

A  
N  
A  
I  
S

# 3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AMBIENTAL VOLUME 1 C



2  
0  
2  
4

EDIÇÃO  
LUSO-BRASILEIRA

***Comissão Organizadora***

Cristiano Poletto  
Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves  
Ivan Cesar Tremarin  
Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro  
João Luís Mendes Pedroso de Lima  
Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia  
André Luis Sotero Salustiano Martim  
Maria Cristina de Almeida Silva  
Cristiane Kreutz  
Francisco Lledo dos Santos  
Marcos Vinicius Costa Rodrigues

**ANAIS DO 3º CONGRESSO  
INTERNACIONAL DE  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**VOLUME 1 C – ARTIGOS COMPLETOS**

**Copyright © 2024, by IAHR Publishing.**

Direitos Reservados em 2024 por **IAHR Publishing.**

**Organização Geral da obra:** Poletto, Cristiano; Inácio Gonçalves, Julio Cesar de Souza; Tremarin, Ivan Cesar; Isidoro, Jorge Manuel Guieiro Pereira; de Lima, João Luís Mendes Pedroso; Maia, Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira; Martim, André Luis Sotero Salustiano; Silva, Maria Cristina de Almeida; Kreutz, Cristiane; dos Santos, Francisco Lledo; Rodrigues, Marcos Vinicius Costa.

**Diagramação:** Cícero Manz Fagotti

**Edição:** Cristiano Poletto

**Revisão:** Elissandro Voigt Beier

**Capa:** Cícero Manz Fagotti

**Copyright © 2024, by IAHR Publishing.**

Derechos Reservados en 2024 por **IAHR Publishing.**

**Organización General de la Obra:** Poletto, Cristiano; Inácio Gonçalves, Julio Cesar de Souza; Tremarin, Ivan Cesar; Isidoro, Jorge Manuel Guieiro Pereira; de Lima, João Luís Mendes Pedroso; Maia, Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira; Martim, André Luis Sotero Salustiano; Silva, Maria Cristina de Almeida; Kreutz, Cristiane; dos Santos, Francisco Lledo; Rodrigues, Marcos Vinicius Costa.

**Maquetación:** Cícero Manz Fagotti

**Edición:** Cristiano Poletto

**Relectura General:** Elissandro Voigt Beier

**Portada:** Cícero Manz Fagotti

---

Anais do 3º Congresso Internacional de Engenharia Ambiental - Volume 1 C / Organizadores: Cristiano Poletto, Julio Cesar de Souza Inácio, Ivan Cesar Tremarin, Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro, João Luís Mendes Pedroso de Lima, Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia, André Luis Sotero Salustiano Martim, Maria Cristina de Almeida Silva, Cristiane Kreutz, Francisco Lledo dos Santos, Marcos Vinicius Costa Rodrigues. Madrid, Espanha: - IAHR Publishing, 2024.

467p.: il.;

ISBN • 978-90-833476-4-6

CDD: 600

*É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por qualquer meio, sem autorização escrita do Editor ou dos Organizadores.*

*ES AUTORIZADA la libre reproducción, total o parcial, por cualquier medio, sin autorización escrita del Editor o de los Organizadores.*

---

***Comissão Organizadora GERAL***

**Dr. Cristiano Poletto (PRESIDENTE)**

IPH / UFRGS

**Dr. Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves**

UFTM

**MSc. Ivan Cesar Tremarin**

Associação dos Engenheiros Ambientais e Sanitaristas do Vale do Taquari RS - EASVA

***Comissão Organizadora INTERNACIONAL***

**Dr. Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro**

Universidade do Algarve

**Dr. João Luís Mendes Pedroso de Lima**

Universidade de Coimbra

**Dr. Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia**

Universidade do Porto

***Comissão Organizadora NACIONAL***

**Dr. André Luis Sotero Salustiano Martim**

UNICAMP

**Dr.<sup>a</sup> Maria Cristina de Almeida Silva**

IPH/UFRGS

**Dr.<sup>a</sup> Cristiane Kreutz**

UTFPR

**Dr. Francisco Lledo dos Santos**

UNEMAT

**MSc. Marcos Vinicius Costa Rodrigues**

FNEAS



## *Comissão Científica*

Aline Ferrão Custódio Passini - UFSM  
Álvaro José Back - EPAGRI/SC  
Amintas Nazareth Rossete - UNEMAT  
André Luis Sotero Salustiano Martim - UNICAMP  
Andrezza Marques Ferreira - CEMADEN  
Carla Eloísa Diniz dos Santos - UFTM  
Carlos Alberto Mendes Moraes - UNISINOS  
Cíntia Soares - UFSC  
Claudia Telles Benatti - UEM  
Cristiane Kreutz - UTFPR  
Cristiano Poletto - IPH/UFRGS  
Diego Andrade Lemos - UFSCAR  
Elizabeth Yukiko Nakanishi Bavastri - UFPR  
Felipe Fernandes - Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira  
Fernando Neves Lima - UNIFEI  
Fernando Periotto - UFSCAR  
Flavia Schwarz Franceschini Zinani - IPH/UFRGS  
Franciéle Schwanck Carlos - IPH/UFRGS  
Francisco Lledo dos Santos - UNEMAT  
Geraldo de Freitas Maciel - UNESP  
Jackeline Tatiane Gotardo - UNIOESTE  
Joel Dias da Silva - FURB  
João L. M. Pedroso de Lima - Univ. de Coimbra / Portugal  
Jorge M. G. Pereira Isidoro - Univ. do Algarve / Portugal  
José Anderson do Nascimento Batista - UNICAMP  
José Augusto Costa Gonçalves - UNIFEI  
José Carlos de Araújo - UFC  
José Gilberto Dalfré Filho - UNICAMP  
Josiane Teresinha Cardoso - UDESC  
Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves - UFTM  
Karina Bruno Lima - UFRGS  
Laura Maria Canno Ferreira Fais - UNICAMP  
Liliane Lazzari Albertin - UNESP  
Liseane Padilha Thives - UFSC  
Lucijane Monteiro de Abreu - UNB  
Luis Eduardo A. S. Suzuki - UFPEL  
Marcelo Giovanela - UCS  
Márcia Teixeira Falcão - UERR  
Maria Cristina de Almeida Silva - UFRGS  
Maristela Denise Moresco Mezzomo - UTFPR  
Michael Mannich - UFPR  
Morgana Silva - UFPEL  
Natan Padoin - UFSC  
Patrícia Diniz Martins - UFTM  
Pedro Alves da Silva Filho - UFRR  
Renato Miranda - USP  
Rodrigo J. F. de Oliveira Maia - Univ. do Porto / Portugal  
Ronaldton Evandro Machado - UNICAMP  
Sidnei Luís Bohn Gass - UNIPAMPA  
Simone Andrea Furegatti - UNESP  
Stenio de Sousa Venancio - UFTM  
Tiago de Vargas - UFRGS  
Viviane Trevisan - UDESC  
Yuri Jacques Agra Bezerra da Silva - UFPI



# ORGANIZAÇÃO



# REALIZAÇÃO





PATROCÍNIO



APOIO



# | SUMÁRIO |

## ARTIGOS COMPLETOS

### MOBILIDADE URBANA

POTENCIAL SOCIOAMBIENTAL DO VARIADOR DE TORQUE EM VEÍCULOS ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO COM PROTÓTIPO .....	13
PERSPECTIVAS SOBRE CAMINHABILIDADE E CONFORTO EM CIDADES DE PEQUENO PORTE.....	20
ESTUDO DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA NO BAIRRO JARDIM CANADÁ NO MUNICÍPIO DE GOIOERÊ, PARANÁ.....	27
AVALIAÇÃO DA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL NA ÁREA CENTRAL DE CAMPO MOURÃO: UM ESTUDO COMPARATIVO UTILIZANDO O ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL (IMUS) .....	32
METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO VIÁRIA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE .....	38

### MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS EXTREMOS

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS E VARIABILIDADE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO DE TIMBÓ, SANTA CATARINA .....	47
CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE FLUJOS NO NEWTONIANOS DESENCADENADOS POR EVENTOS EXTREMOS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA - PERÚ.....	57
AS GEOTECNOLOGIAS E O CADASTRO NACIONAL DE ENDEREÇOS PARA FINS ESTATÍSTICOS NA ANÁLISE DE ENCHENTES NA CIDADE DE ITAQUI - RS .....	66
APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS RECORRENTES PARA A PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DIÁRIA EM MARINGÁ-PR .....	74
ENFRENTANDO INUNDAÇÕES: ANÁLISE E AÇÕES NO BAIRRO FLOR DE NÁPOLIS, SÃO JOSÉ-SC.....	82
ANÁLISE DAS ANOMALIAS DA TEMPERATURA EM FLORIANÓPOLIS (2002 A 2023).....	92
ANÁLISE DA RESILIÊNCIA AOS EXTREMOS CLIMÁTICOS DE CHUVA EM SANTARÉM - PARÁ: ESTUDO PRELIMINAR NA OCUPAÇÃO VISTA ALEGRE DO JUÁ.....	92

### POLÍTICAS PÚBLICAS, LEGISLAÇÃO E MEIO AMBIENTE

DETERMINAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A INSTALAÇÃO DE UM CONSÓRCIO DE ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO NORDESTE DO PARANÁ .....	110
SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E OS DIFERENTES SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO APLICADOS ÀS MUDANÇAS DE USO DA TERRA .....	122
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO SEGUNDO O CENSO 2022 .....	128
ELABORAÇÃO DE INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA NA PRODUÇÃO DE VINHOS TINTOS E BRANCOS EM UMA VINÍCOLA DA SERRA GAÚCHA .....	134



DIREITOS HUMANOS À ÁGUA E AO ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM UNIDADES BÁSICAS DE SAÚDE EM FRANCISCO BELTRÃO-PR.....	144
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SWOT PARA ANÁLISE PERFILÁTICA DAS RPPN BIOMA MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO .....	150
ANÁLISE DA EFETIVIDADE DA POLÍTICA PÚBLICA DE QUALIDADE DO AR NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO .....	157
POLÍTICAS PÚBLICAS: MELHORIA DOS AMBIENTES CONSTRUÍDOS DOS IDOSOS NA VILA VICENTINA DE BAURU/SP - BRASIL .....	157
A GESTÃO COMPARTILHADA DE ESPAÇOS PÚBLICOS ATRAVÉS DA ADOÇÃO: PROPOSTAS PARA A CIDADE DO RIO DE JANEIRO .....	180
COMPROMETIMENTO PÚBLICO PARA MICHAEL SANDEL: BREVES CONSIDERAÇÕES ACERCA DO DIREITO AMBIENTAL CONSTITUCIONAL.....	188
INVENTÁRIO FLORESTAL APLICADO PARA SEGURANÇA VIÁRIA. ESTUDO DE CASO NA BR-495/RJ.....	193
DIAGNÓSTICO DA PARTICIPAÇÃO DA SOCIEDADE CIVIL NOS CONSELHOS ESTADUAIS DE RECURSOS HÍDRICOS BRASILEIROS .....	201
ANÁLISE GEOESPACIAL DA COBERTURA VEGETAL E SUA RELAÇÃO COM A POPULAÇÃO DOS DISTRITOS DA CIDADE DE SÃO PAULO.....	207
ENTIDADE EXECUTIVA E O ASSESSORAMENTO AOS COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDO DE CASO DO AGRUPAMENTO URUGUAI/OESTE NO ESTADO DE SANTA CATARINA .....	216
ENVIRONMENTAL SANITATION IN SLUMS: CASE OF THE FAVELA BEIRA-RIO... 226	
ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO COMO INDICADOR DE SERVIÇOS AMBIENTAIS: BIOMA MATA ATLÂNTICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	234
PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA DEFINIÇÃO DE MÉTODO DE ANÁLISE DE ESPECIALISTAS APLICADO À ELABORAÇÃO DE DIAGNÓSTICOS SOCIOAMBIENTAIS.....	240
CONCEPÇÃO DE FERRAMENTA DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETOS DE MINERAÇÃO A PARTIR DO <i>SOFTWARE</i> MAFMINE .....	250
PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS E ESG NO DESCOMISSIONAMENTO DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO .....	257
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE FERROVIAS SUBMETIDAS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL FEDERAL.....	263
QUALIDADE DOS EIAs DE PORTOS SUBMETIDOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL FEDERAL BRASILEIRO .....	273
AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICAS DE INCENTIVO E PENALIDADES SOBRE A MUDANÇA DE COMPORTAMENTO DE GERADORES DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO .....	284
QUALIDADE DE ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE ATERROS SANITÁRIOS LICENCIADOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO .....	294
AVALIAÇÃO DA DISPOSIÇÃO A PAGAR DOS GRANDES GERADORES PELO MANEJO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS: UM ESTUDO DE CASO EM VITÓRIA-ES .	301

CAPACIDADE DE SUPORTE DE CIFUENTES E NBV APLICADAS NO PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA, MG, BRASIL .....	309
MUDANÇAS NOS USOS DA TERRA (1992 - 2022) EM BACIA HIDROGRÁFICA DE REGIÃO METROPOLITANA: UMA ABORDAGEM SOCIOECOLÓGICA BASEADA NA HEMEROBIA .....	319
SEGURANÇA DO TURISTA EM ÁREAS PROTEGIDAS: O CASO DO PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA, MINAS GERAIS, BRASIL .....	329
AVALIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO RIO DE JANEIRO COMO SUBSÍDIO ÀS POLÍTICAS PÚBLICAS DE MOBILIDADE SUSTENTÁVEL.....	340
CENÁRIOS E DESAFIOS DAS POLÍTICAS DE SANEAMENTO PARA OS POVOS INDÍGENAS NO BRASIL: UMA REVISÃO NARRATIVA .....	347
LEVANTAMENTO E PROPOSIÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A SUSTENTABILIDADE FINANCEIRA DO GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	347
PROPOSTA DE CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE PARA BAIROS EM CRESCIMENTO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, BRASIL .....	347
<b>POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA - MONITORAMENTO E CONTROLE</b>	
PROPOSAL FOR THE SIZING OF A BIOFILTER AIMED AT REMOVING AMMONIA FROM INDUSTRIAL GAS STREAMS .....	378
DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA LIMPA DE CULTIVO PILOTO DE <i>Euglena gracilis</i> : FOTOBIOREACTORES DO TIPO <i>PLASTIC BAG</i> PARA SEQUESTRO DE CARBONO .....	384
APPLICATIONS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN CO <sub>2</sub> CAPTURE: MITIGATING CLIMATE CHANGE THROUGH ADSORPTION PROCESSES.....	392
LEVANTAMENTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM PORTO ALEGRE/RS E SUA INFLUÊNCIA EM ESPÉCIES DE ÁRVORES .....	401
<b>PROCESSOS EROSIVOS E CONTROLE DE VOÇOROCAS</b>	
UTILIZAÇÃO DE ENGENHARIA NATURAL PARA RECUPERAÇÃO DE VOÇOROCA .....	408
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS DE CONTROLE DE EROSIÃO ASSOCIADAS A ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS EM BURI (SP).....	418
ÍNDICE DE ERODIBILIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JARACATIÁ - PR.....	429
ANÁLISE DO IMPACTO DE VOÇOROCAS NO BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO TAMBAÚ/RIO VERDE.....	435
AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE ENZIMAS BIOCATALISADORAS NA ERODIBILIDADE DO SOLO.....	441
EROSÕES HÍDRICAS LINEARES NA ÁREA URBANA DE BOTUCATU/SP: INDICAÇÃO DE DEMANDA POR ATUALIZAÇÃO DE CADASTRAMENTO .....	448
ESTUDO DAS ALTERAÇÕES NO DESEQUILÍBRIO SEDIMENTOLÓGICO OCORRIDAS NO CÓRREGO MUMBUCA NO MUNICÍPIO DE MONTE CARMELO, MG.....	460

# ARTIGOS COMPLETOS



3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE  
**ENGENHARIA  
AMBIENTAL**

– EDIÇÃO LUSO-BRASILEIRA –



2024

ÁREA TEMÁTICA 7

# MOBILIDADE URBANA



3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE  
**ENGENHARIA  
AMBIENTAL**





# POTENCIAL SOCIOAMBIENTAL DO VARIADOR DE TORQUE EM VEÍCULOS ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO COM PROTÓTIPO

**1Daniel Juliano Pamplona da Silva, 2Icaro Hissao Rocha Mandai, 3Thiago de Almeida Baziotti**

*1 Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), e-mail: daniel.silva@unifal-mg.edu.br; 2 UNIFAL-MG, e-mail: icaro.mandai@unifal-mg.edu.br; 3 UNIFAL-MG, e-mail: thiago.baziotti@sou.unifal-mg.edu.br*

**Palavras-chave:** Veículos elétricos; Eficiência; Variador de torque

## Resumo

O artigo discute a introdução de veículos elétricos como uma solução para reduzir as emissões de gases provenientes dos veículos a combustão, destacando a necessidade de considerar o ciclo completo de vida desses veículos para avaliar seu impacto ambiental, sem, contudo, ser este último e escopo deste trabalho. A indústria automobilística busca constantemente formas de reduzir o consumo de combustível, principalmente através da produção de veículos menores e mais leves. Existem, contudo, limitações para diminuir as emissões nocivas desses veículos. Na mesma direção, veículos elétricos têm ganhado popularidade, especialmente no Brasil, inicialmente com veículos urbanos de pequeno porte, como monociclos, patinetes, bicicletas e triciclos, devido à sua capacidade de operar sem emissões, mesmo com dimensões diminutas. O artigo questiona por que não é comum a utilização de câmbio (variador de torque, caixa de marchas) em veículos elétricos, considerando que a falta de câmbio reduziria custos, peso e necessidade de manutenção. Explora-se, porém, que a inclusão de câmbio poderia reduzir o consumo de energia dos veículos elétricos melhorando sua contribuição para a mobilidade sustentável.

A metodologia do estudo envolveu a modificação de um triciclo originalmente projetado para propulsão humana, transformando-o em um veículo elétrico com sistema de marchas. O triciclo escolhido era inicialmente um triciclo cargueiro, o que permitia espaço para a instalação do trem de força elétrico. O veículo foi equipado com um motor de 1000W, acoplado a um sistema de marchas de bicicleta, a saber uma catraca de 7 velocidades e a um cassete de 8 velocidades conectados por meio de uma corrente. Foi construído um suporte metálico para o motor e outro para o sistema de marchas. A bateria utilizada foi construída pelo grupo de pesquisa a partir de células 18650 retiradas de baterias de notebook. As medidas de consumo foram realizadas em um circuito de 1,2 km no Campus Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) durante sete dias, totalizando 84 quilômetros percorridos. O circuito incluía variações de aclive, declive, redutores de velocidade, curvas e retas. Os testes foram realizados em sete marchas diferentes, com 10 voltas completas em cada marcha por dia, mantendo-se a mesma carga na bateria e o mesmo condutor. A relação de transmissão para cada marcha foi determinada a partir do número de dentes das engrenagens motora e movida. Os resultados preliminares indicaram que a primeira marcha proporcionou um menor consumo de bateria em comparação com as marchas superiores.

Os resultados do estudo confirmaram a hipótese de que há uma diferença significativa no consumo de energia com a variação de torque proporcionada pela caixa de marchas, indicando uma relação entre a relação de transmissão e o consumo de energia. Observou-se que, com a diminuição da relação de transmissão (aumento da marcha), aumentava também a potência mecânica útil média (PMUM) entregue pelo motor, o que resultava em um aumento no consumo de energia. No entanto, na marcha mais altas (7ª), mesmo com a diminuição da PMUM, o consumo de energia aumentou, indicando que outros fatores além da potência podem influenciar o consumo. Não foi observada nenhuma evidência de que a diferença de consumo estivesse relacionada à perda de carga da bateria, uma vez que o comportamento do consumo foi linear ao longo do teste. Além disso, o veículo demonstrou capacidade de vencer aclives com sucesso nas marchas mais baixas, enquanto nas marchas mais altas não conseguia atingir velocidades superiores às alcançadas na marcha intermediária, sugerindo que ainda há espaço para estudos adicionais sobre o comportamento do motor em diferentes condições de uso.

As considerações finais deste estudo destacam que a caixa de marchas influenciou significativamente o consumo do veículo elétrico protótipo, demonstrando um aumento inicial de consumo, acompanhado por um aumento de velocidade média nas marchas mais baixas. No entanto, nas marchas mais altas, o consumo continuou aumentando sem um correspondente aumento na velocidade média, sugerindo que essas marchas podem ser desnecessárias no contexto do circuito de testes utilizado. A flexibilidade proporcionada pelas marchas menores foi evidenciada pela capacidade do veículo de vencer aclives que seriam impossíveis nas marchas mais altas, enquanto as marchas maiores aumentaram significativamente a velocidade média do veículo. Para uma conclusão mais definitiva sobre a utilidade das marchas mais altas, seria necessário realizar testes em uma variedade de circuitos. Como passos futuros, pretende-se explorar e correlacionar variáveis como inclinação, velocidade, relação de marcha e consumo, visando a otimização do protótipo para um desempenho máximo com o menor consumo possível, contribuindo assim para aprimorar a tecnologia de veículos elétricos de emissão zero.

## Introdução

Dentre os muitos problemas causados pela ação antrópica ao meio ambiente, a emissão dos veículos a combustão é, sem dúvida, uma parcela que não pode ser desprezada nesta equação. Neste sentido a introdução de veículos elétricos na frota mundial é um fator a ser considerado, por serem veículos com zero emissão de gases. Embora o computo geral do impacto, para



o meio ambiente, da adoção de veículos elétricos, em detrimento dos veículos a combustão seja um assunto bastante complexo, visto que temos que considerar todo o ciclo dos veículos com ambas as matrizes energéticas, discussão essa que não é nova (Ma et al., 2012). É inegável que veículos mais econômicos são inexoravelmente benéficos à sustentabilidade socioambiental.

Na indústria de veículos a combustão, a busca por veículos que consomem menos combustível é uma constante, tanto pelo apelo econômico quanto pelo ambiental (Taylor, 2008). Veículos menores, ou seja, mais leves, são sempre uma opção na busca de menor consumo de combustível, uma vez a energia necessária para deslocar um veículo é proporcional a sua massa. Mas há uma limitação na diminuição dos veículos a combustão interna, assim como na dificuldade de instalação de mecanismos de redução na emissão de gases nocivos ao efeito estufa nestes veículos a combustão de dimensões diminutas. Um exemplo disto é o fato da chegada de injeção eletrônica e catalisadores em motos ter sido bem mais tardia que em carros a combustão interna. Nem vamos entrar no mérito de patinetes e bicicletas motorizadas, muitas vezes com motores de 2 tempos, cuja emissão por cilindrada estoura todos os patamares aceitáveis (Morin et al., 2011).

Por razões mais mercadológicas que socioambientais os veículos elétricos se popularizaram, principalmente no Brasil, inicialmente por veículos urbanos de pequeno porte, tais como monociclos, patinetes, bicicletas e triciclos (Ridelensky et al., 2020). Veículos estes que mesmo podendo ter dimensões portáteis, equiparadas a uma maleta, possuem a capacidade de zero emissão, assim como os automóveis ou caminhões elétricos. Em outras palavras, a diminuição de tamanho, a priori, não gera um problema tecnológico, pelo menos não do ponto de vista de emissão de gases prejudiciais ao meio ambiente. Talvez fosse um problema tecnológico colocar um variador de torque (o famoso câmbio) em um veículo extremamente pequeno, tal como um monociclo, mas em veículos de duas rodas o câmbio já convive pacificamente com a propulsão elétrica (Onohara, 2022).

Fato é que se o câmbio convive bem com o motor elétrico nas bicicletas, pelo menos na mais tecnológicas (que possuem motores na configuração chamada “*mid drive*”) (Schwinden, 2018), por que ele não convive também com a propulsão elétrica em motocicletas, triciclos, automóveis e caminhões? Esta pergunta é a geradora do escopo deste trabalho, pois para esta possibilidade seja cogitada precisa-se encontrar uma vantagem para a inserção de câmbio em um veículo elétrico, uma vez que vantagem para a sua não existência na composição deste veículo são muitas. Com a retirada (ou não colocação) de câmbio em um veículo temos redução de custo, visto que é uma peça a menos a ser adicionada ao trem de força do veículo. Diminuição do peso do veículo, visto que seria um dispositivo a menos para compor a massa do veículo. Menos manutenção, pois são várias peças a menos para desgastar, quebrar ou realizar manutenção preventiva. Por fim, enumera-se a desnecessidade funcional do veículo elétrico ter um câmbio, uma vez que um motor elétrico tem uma faixa de rotação muito maior, tendo todo o seu torque já disponível a zero rotação do motor (Ribeiro, 2021). A título de exemplo, um motor de um carro de passeio possui uma faixa de rotação útil de cerca 5.000 rpm (entre 1.000 rpm e 6.000 rpm) sem danificar o seu bom funcionamento, enquanto um veículo elétrico de mesma potência possui um motor que atua de zero a cerca de 18.000 rpm (Luzzi, 2022).

Há pelo menos duas razões para a inclusão de variador de torque em veículos elétricos, as quais justificam este trabalho e que não foram citadas anteriormente, a saber, o consumo e a flexibilidade para veículos como o da Figura 1, que somente passou a ser capaz de subir ladeiras com inclinações superiores a 15° e atingir velocidades superiores a 40km/h, em trechos planos, após a inclusão de um câmbio em seu trem de força, tornando-o minimamente compatível com a mobilidade urbana.



**Figura 1: Triciclo protótipo equipado com motor elétrico e câmbio**

Seria o consumo de energia de um veículo com câmbio menor que o consumo de um veículo sem câmbio? Se sim, qual seria essa diferença? Seria, esta diferença, suficiente para justificar a inclusão de câmbio nos projetos de veículos elétricos? Com a inserção do câmbio, os veículos elétricos poderiam ter a mesma eficiência e maior flexibilidade de uso com motores menores que aquele necessário para desempenhar as mesmas atividades, tendo uma transmissão de marcha única?



### Material e Métodos

Para o teste de nossa hipótese, utilizamos o triciclo da Figura 2, inicialmente concebido para ser um veículo de propulsão humana com massa de 25,4kg e sistema de tração a pedal de bicicleta. Embora esse triciclo fosse inicialmente montado para apenas um ocupante ele não é o mais compacto dos triciclos, pois é um triciclo cargueiro, o que lhe concede um espaço atrás do banco do condutor. A razão da escolha deste triciclo, para as adaptações desejadas, é que este espaço seria utilizado para a acomodação do trem de força do veículo, que deixaria de ser de propulsão humana e passaria a ter não apenas um motor, como também um sistema de marchas. O fato de ser um triciclo preparado para carregar alguma carga além do condutor também lhe concede um reforço estrutural, o que seria útil, uma vez que o motor, a bateria e o sistema de transmissão somariam um peso extra ao conjunto final de 73,6 kg. A versão atual do protótipo pode ser visto na Figura 1.



**Figura 2: Triciclo original, antes de ser restaurado e alterado.**

Devido ao fato de ser um triciclo cargueiro que iria ser usado sem carga (a qual servia de lastro), foi necessário reduzir a altura final do assento do condutor para conceder maior estabilidade ao veículo. O assento de bicicleta foi substituído por uma cadeira para aumentar o conforto do experimentador. Foi construído um suporte metálico para servir como berço do motor, como pode ser visto na Figura 3a, e um outro suporte para sustentar a um eixo intermediário com uma catraca e um cassete, conforme pode ser visualizado na Figura 3b.



(a)



(b)

**Figura 3: (a) Berço do motor (b) Suporte para cassete, cambio e catraca de bicicleta.**

O motor utilizado no projeto foi um motor de 1000W, conectado a uma catraca (motora) de 7 velocidades, conectada por corrente ao um cassete (movido) de 8 velocidades. Para a mudança entre as engrenagens do cassete foi utilizado um câmbio de bicicletas e para a mudança nas engrenagens da catraca motora foi construído uma cambio utilizando a concepção dos câmbios de bicicleta com marchas convencional.

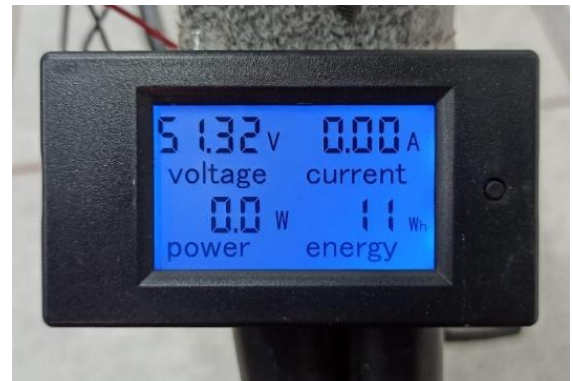
A bateria, nominalmente de 48V e 40Ah, capaz de produzir o dobro da potência máxima do motor no regime de 1C (MIT, 2008), que pode ser vista ao fundo da Figura 3b, foi, também, montada pelo grupo de pesquisa, tendo sido herdada de outro projeto. Esta bateria foi montada a partir de células 18650 retiradas de baterias de notebook, testadas e averiguadas a integridade. Deste modo, embora não seja escopo deste trabalho, a bateria é também um produto sustentável, pois as suas células são retiradas de material condenado e marcado para destruição ou descarte em lixo, cujo descarte incorreto poderia ainda ser um problema ambiental de grande monta (Rahman et al., 2017).



As medidas foram realizadas utilizando um gps automotivo para medir distâncias e tempos, mostrado na Figura 4(a), e um wattímetro para medir consumo, mostrado na Figura 4b.



(a)



(b)

**Figura 4: (a) medidores de distância – gps (b) medidor de consumo.**

As medidas de consumo do triciclo foram realizadas nas dependências do Campus Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), em um horário fixo do dia, a saber, entre 18 e 19 horas, período em que a movimentação de pedestres e veículos é baixa no Campus, evitando-se assim interferências por paradas não programadas. O circuito escolhido possui 1,2 km e está sinalizado na Figura 5 pelas linhas tracejadas em amarelo e vermelho. Este percurso composto é por algumas variações como aclives, declives, redutores de velocidade, curvas, rotatórias e retas que permite desenvolver velocidades típicas de vias urbanas. Os aclives e declives do percurso possuíam inclinações inferiores a 5° com relação à horizontal para que o veículo conseguisse trefegar por todo o circuito em todas as marchas utilizadas.



**Figura 5: Percurso escolhido como circuito de testes. Fonte: Google Maps**

O circuito escolhido pode ser visualizado na Figura 5. O trajeto de cada volta começa na bandeira verde da (entre os prédios C e J), seguindo a linha tracejada amarela, e retornando pela linha tracejada vermelha, passando pelo estacionamento do prédio K e encerrando no ponto de partida (bandeira verde). Para cada dia de teste, foram realizadas 10 voltas completas do





circuito em cada marcha, sempre com a mesma carga na bateria e o mesmo condutor. No total, foram percorridos 12 quilômetros em cada marcha, totalizando 84 quilômetros ao longo de 7 dias, abrangendo, assim, as 7 marchas distintas previamente escolhidas.

Conforme pôde ser observado na descrição do sistema de marchas, tem-se 7 velocidades na catraca motora e 8 no cassette movido, totalizando 56 marchas, contudo muitas destas marchas se superpõem, de modo que efetivamente teríamos cerca de 15 marchas distintas. Optou-se por executar os testes com 7 marchas, para ser um parâmetro de comparação mais próximo das relações de cambio de um automóvel convencional. As informações sobre as marchas podem ser consultadas na Tabela 1.

**Tabela 1: Relação de transmissão por ordem de marcha e diferencial**

Marcha	Número de dentes da engrenagem		Relação de transmissão
	Motora	Movida	
1ª	14	34	2,43
2ª	16	26	1,62
3ª	18	23	1,28
4ª	20	20	1
5ª	22	17	0,77
6ª	24	15	0,62
7ª	34	11	0,32
Diferencial	14	24	1,71

A relação de transmissão é o resultado da divisão do número de dentes da engrenagem movida, pelo número de dentes da engrenagem motora. Como exemplo, a relação de transmissão (RT) da 1ª marcha é igual a  $34/14 = 2,43$ , ou seja, são necessárias 2,43 voltas da engrenagem motora (catraca) para 1 volta da movida (cassete), obtendo assim uma redução da velocidade e um aumento do torque (aumento da força). Esta é a razão da caixa de marchas ou cambio ser chamada nos ambientes técnico automobilístico como conversor de torque. Em testes preliminares desta 1ª marcha observou-se um alívio na carga do motor pela queda da corrente elétrica consumida em tempo real indicada nos medidores, obtendo um menor consumo da bateria em relação às marchas superiores, conforme pode ser observado através dos resultados.

### Resultados e Discussão

Confirmando a hipótese lançada no início do trabalho, houve uma diferença significativa, em termos de consumo energético, medido em KWh, com a variação de torque, conforme pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 2: Consumo e tempo decorrido nos testes em cada uma das marchas**

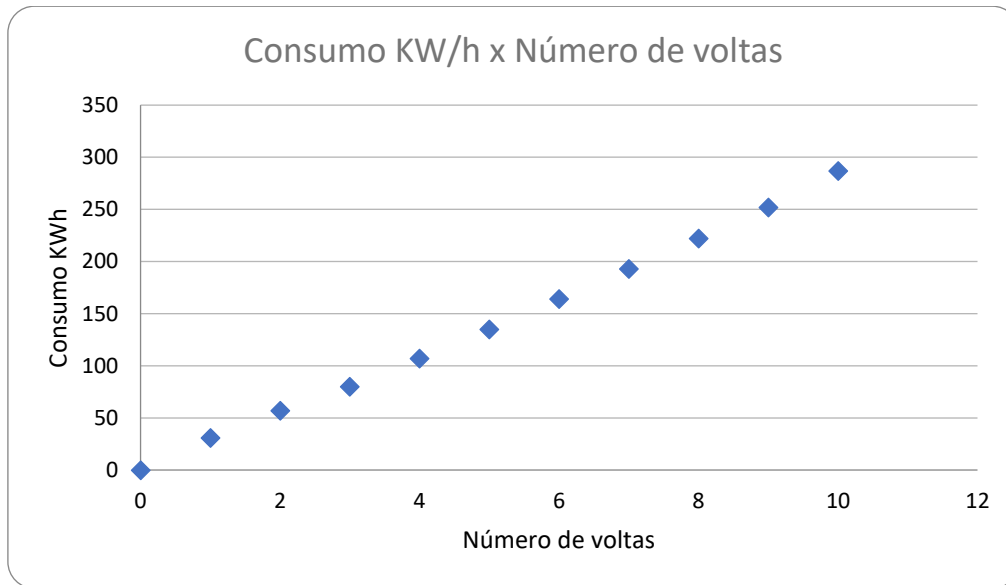
Marcha	Consumo (KWh)	Tempo (min)	PMUM (KWh/min)
1ª	68	67	1,01
2ª	143	48	2,98
3ª	154	42	3,67
4ª	189	40	4,73
5ª	215	34	6,32
6ª	221	34	6,50
7ª	287	36	7,97

Analisando a Tabela 2, observa-se que com a diminuição da relação, ou seja, o aumento da marcha, aumenta também a potência mecânica útil média (PMUM) – aquela entregue pelo motor no formato de trabalho/tempo – e consequentemente aumenta o consumo. Esta verificação seria trivial, já advinda dos veículos a combustão e híbrido, sem nenhuma novidade (). Isso seria verdade e realmente é para as marchas iniciais (1ª à 4ª), porém na 5ª e na 6ª marcha o motor desempenha a mesma PMUM, uma vez que o trabalho de todas as marchas foi o mesmo (mesmo percurso) e estas duas marchas tiveram seus testes feitos exatamente no mesmo tempo. Se a teoria de que apenas a PMUM aumenta o consumo fosse 100% da verdade, o consumo da 5ª e da 6ª marcha deveria ter sido o mesmo e não foi, o consumo da marcha maior (menor relação), foi maior. Para confirmar que há algo a ser investigado neste sentido, na 7ª marcha, que tem uma relação substancialmente menor que a 6ª (cerca de 50%), o motor entregou uma PMUM menor e o consumo foi maior. Em outras palavras, na 7ª marcha, a PMUM diminuiu e a potência consumida aumentou.

Não há nenhum indício de que a diferença de consumo tem alguma ligação com a bateria ter perdido carga e consequentemente alterado seu comportamento, pois não foi evidenciada perda de potência em nenhum momento durante as medidas, o que já era esperado, visto que mesmo na 7ª marcha, que teve o maior consumo, o percurso total de 10 voltas consumiu apenas 15% da carga nominal da bateria. Este resultado era esperado, uma vez que, em sua construção, a bateria foi superdimensionada para os testes visando não interferir no resultado. Podemos ver na Figura 6 um gráfico do consumo pelo



número de voltas, para a 7ª marcha, o qual evidencia que o consumo foi totalmente linear.



**Figura 6: Consumo em função no número de voltas para a 7ª marcha.**

O comportamento evidenciado na Figura 6 se repetiu para todas as marchas, como era de se esperar, uma vez que nas outras marchas, com menor consumo, a bateria se desgastou menos e foi menos exigida que na 7ª marcha.

Outros resultados puderam ser observados, sem, contudo, serem quantificados de forma sistematizada, nesta fase da pesquisa, por não fazerem parte da investigação inicial. Dentre estes resultados coadjuvantes, podem ser citados: a capacidade do veículo vencer aclives (subir morros) nas marchas mais baixas (1ª e 2ª) que não conseguia subir na marcha intermediária (4ª) e menos ainda nas altas (7ª e 8ª). Da mesma forma o veículo claramente conseguiu atingir velocidades maiores, no plano, na marcha intermediária que nas marchas baixas. Nas marchas altas ele não conseguiu atingir velocidades superiores à da marcha intermediária, o que talvez seja possível em declives (descidas). Deste modo ainda se verifica uma grande quantidade de estudos sistemáticos a serem feitos sobre o comportamento do motor do veículo protótipo com relação as marchas em diversos regimes de uso.

### Considerações Finais

A principal consideração que pode se extrair deste trabalho é que a caixa de marchas, também chamada de câmbio ou conversor de torque, influenciou no consumo do nosso veículo elétrico protótipo, montado para a realização deste experimento, como era de se esperar, pois controlar o torque é uma estratégia já conhecida para diminuir consumo de diferentes motores e associações destes (Kitayama et al., 2015). Inicialmente, observou-se um aumento no consumo, correlacionado a um incremento na velocidade média entre as marchas 1 e 5, ou seja, temos uma relação de *trade-off* que necessita uma avaliação mais pormenorizada. Contudo, entre as marchas 5, 6 e 7, a velocidade média não aumentou, pelo contrário diminuiu entre as marchas 6 e 7, ao passo que o consumo continuou aumentando com o aumento da marcha. Isto evidencia que o consumo aumenta de forma monotônica com o aumento da marcha, dentro do intervalo investigado, ou seja, a marcha influencia no consumo do veículo.

Como nas duas últimas marchas, mesmo sem ganho de desempenho houve um aumento de consumo, é inegável que estas duas marchas são totalmente desnecessárias no circuito de testes utilizado. Entretanto, apenas com os testes realizados não se pode dizer que as marchas 6 e 7 são totalmente inúteis no veículo, pois é necessária uma variação de circuitos para garantir essa conclusão. Elas podem aumentar o desempenho (velocidade) do veículo em circuitos com combinações de angulações diferentes das utilizadas neste ensaio.

É inegável que, no protótipo utilizado, as marchas menores deram flexibilidade ao veículo, que passou a conseguir vencer aclives que nas marchas mais altas era impossível. Por exemplo em aclives com inclinações superiores a de 13°, com relação à horizontal, muito frequentes em ambientes urbanos, o veículo somente conseguiu subir na primeira marcha. Logo se selecionássemos a 4ª ou 5ª marcha para uma transmissão única do veículo ele deixaria de ter possibilidade de subir estes morros mais íngremes, deixando de ser uma opção viável para a mobilidade urbana.

Em contrapartida, notou-se com marchas maiores (5ª e 6ª) a velocidade média dobrou em relação à primeira marcha, melhorando muito a versatilidade do veículo que pôde cobrir trajetos maiores em tempos menores. Um estudo sistemático de correlação entre marcha máxima por inclinação, assim como o aumento de velocidade que cada marcha proporciona seriam necessários para verificar quantitativamente esta flexibilidade que o câmbio trouxe ao veículo, porém, é inegável que ela existe.

Por fim, conclui-se que o variador de torque influencia no consumo de veículo elétrico e lhe da flexibilidade. De posse da conclusão inequívoca desta influência e flexibilidade, como passos futuros, alguns já em desenvolvimento no grupo de pesquisa, pretende-se sistematizar os ensaios para explorar e correlacionar as variáveis inclinação, velocidade, relação de marcha e consumo,



visando a obtenção de um protótipo com menor motor possível, menor bateria possível e maior desempenho possível, otimizando-se assim os recursos ambientais na busca de aprimorar a tecnologia de transporte com zero emissão atualmente existente.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, à UNIFAL-MG e ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental (PPGCEA) por todo o apoio e suporte a realização da pesquisa que originou este trabalho.

### Referências Bibliográficas

Kitayama, S.; Saikyo, M.; Nishio, Y.; Tsutsumi, K.; 2015. Torque control strategy and optimization for fuel consumption and emission reduction in parallel hybrid electric vehicles. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, pp.595-611.

Luzzi, J. P.; 2022. Carros elétricos e seus sistemas. *Autonext*, disponível em: <https://blog.autonext.com.br/tecnologia/como-funcionam-os-carros-eletricos/#:~:text=Motor%20de%20indu%C3%A7%C3%A3o%20dos%20carros,impacto%20nos%20passageiros%20%C3%A9%20incompar%C3%A1vel>, acesso em: 06/03/2024.

Ma, H.; Balthasar, F.; Tait, N.; Riera-Palou, X.; Harrison, A; 2012. A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles. *Energy policy*, pp.160-173.

MIT Electric Vehicle Team; 2008. A Guide to Understanding Battery Specifications. Disponível em: [http://mit.edu/evt/summary\\_battery\\_specifications.pdf](http://mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf), acesso em 07/02/2023.

Morin, J. P.; Preterre, D.; Keravec, V.; MONTEIL, C.; Dionnet, F.; 2011. Toxic impacts of emissions from small 50cc engine run under EC47 driving cycle: A comparison between 2-stroke and 4-stroke engines and lube oil quality and ethanol additivation. *SAE International Journal of Engines*, pp.2490-2497.

Onohara, E. Y.; Onohara, M. M.; 2022. Comparações entre a eficiência energética de carro elétrico e de carro à combustão: uma análise dos impactos socioambientais e financeiros. *Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas*, 7(01), 73-92.

Rahman, A.; Afroz, R.; Safrin, M.; 2017. Recycling and Disposal of Lithium Battery: Economic and Environmental Approach. *IJUM Engineering Journal*, pp.238-252.

Ribeiro, R.; 2021. Por que carro elétrico não tem câmbio? *Auto Esporte*, disponível em: <https://autoesporte.globo.com/servicos/noticia/2021/03/por-que-carro-eletrico-nao-tem-cambio.ghtmlm>, acesso em 06/03/2024.

Ridelensky, J. F.; Coutinho, P. A.; da Costa Ridelensky, M.; da Costa Ridelensky, M.; Barrella, W.; 2020. PATINETES ELÉTRICAS, SOLUÇÃO OU PROBLEMA? *Unisantia BioScience*, pp.79-86.

Schwinden, R.; 2018. Motores elétricos para bicicletas-um estudo, *Repositório institucional UFSC*, disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/183592>, acesso em 06/03/2024.

Taylor, A. M.; 2008. Science review of internal combustion engines. *Energy Policy*, pp.4657-4667.





## PERSPECTIVAS SOBRE CAMINHABILIDADE E CONFORTO EM CIDADES DE PEQUENO PORTE

1Maria Aparecida Sidor dos Santos, 2Mariane Kempka, 3Joice Cristini Kuritza

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: marias.2021@alunos.utfpr.edu.br; 2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: marianekempka@utfpr.edu.br; 3 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: joicekuritza@utfpr.edu.br

**Palavras-chave:** Caminhabilidade; cidades de pequeno porte; mobilidade urbana.

### Resumo

O artigo aborda a relevância da caminhabilidade na mobilidade urbana sustentável, com ênfase nas cidades de pequeno porte no Brasil. A Política Nacional de Mobilidade Urbana, implementada em 2012, estabeleceu diretrizes para promover a mobilidade sustentável no país, visando integrar planejamento para a circulação de pessoas e mercadorias, juntamente com regulamentações para o ordenamento urbano. A implementação dessas diretrizes é realizada através do Plano de Mobilidade Urbana, obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes. Embora as cidades de pequeno porte, consideradas aquelas com até 100 mil habitantes, sejam a maioria entre aquelas obrigadas a elaborar o plano, muitas delas ainda não o fizeram. Estas cidades enfrentam desafios relacionados à circulação urbana, afetando a mobilidade e a acessibilidade. A implementação de políticas de mobilidade sustentável pode resultar em locais mais funcionais e sustentáveis, com melhor qualidade de vida para os cidadãos. Uma das possibilidades para melhorar a mobilidade urbana é focar na caminhabilidade, medida pela facilidade de deslocamento a pé no ambiente urbano. Uma cidade caminhável prioriza o pedestre sobre o carro e envolve melhorias na ergonomia, segurança viária, conforto e conectividade. Apesar da importância da mobilidade urbana, o tema da caminhabilidade muitas vezes recebe menos atenção em cidades de pequeno porte devido à menor densidade populacional e complexidade urbana. A caminhabilidade não é apenas um indicador de sustentabilidade urbana, mas também uma ferramenta para gerir o desenvolvimento sustentável. Neste contexto, a ferramenta iCam (Índice de Caminhabilidade) é apresentada como uma forma de avaliar e melhorar a caminhabilidade nas cidades, foi desenvolvida pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento. A ferramenta possui indicadores que abrangem diversas dimensões da experiência do pedestre, como ambiente, atração, calçada, mobilidade, segurança pública e segurança viária. A análise dos indicadores do iCam revelou que as cidades de menor porte possuem um grande potencial para se transformarem em ambientes caminháveis e sustentáveis, pois a medida que aumentem seus desafios com mobilidade, a discussão sobre a caminhabilidade pode se tornar mais relevante. Assim, é crucial reconhecer a importância da caminhabilidade para promover uma mobilidade urbana sustentável e uma melhor qualidade de vida para os habitantes das cidades de pequeno porte. Investir em infraestrutura e políticas públicas que promovam a mobilidade sustentável e o conforto nas ruas é essencial para garantir um futuro promissor para estas comunidades.

### Introdução

A Política Nacional de Mobilidade Urbana, implementada em 2012, estabelece as diretrizes para a promoção da mobilidade urbana sustentável no Brasil, visa integrar as orientações de planejamento para a circulação de pessoas e mercadorias no espaço urbano, juntamente com regulamentações que orientam o ordenamento urbano. A implementação efetiva dos princípios, objetivos e diretrizes desta política é realizada por meio do Plano de Mobilidade Urbana (PMU), obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes e em outras situações específicas (Lei nº 12.587 - PMU BRASIL, 2012).

As cidades de pequeno porte representam a maioria das cidades obrigadas a elaborar o PMU. O IBGE (Instituto brasileiro de Geografia e Estatística) classifica cidades pequenas como aglomerados urbanos com contingente populacional de até 100 mil habitantes. Neste caso, são pelo menos 1576 municípios, o que corresponde a 83,95% dos 1900 municípios brasileiros com mais de 20 mil e menos de 100 mil habitantes (IBGE, 2020).

Atualmente, as políticas públicas de planejamento urbano tendem a direcionar seus esforços para as cidades de maior porte, principalmente as grandes metrópoles e capitais dos estados. Ainda, cabe destacar que, no Brasil, o fato de uma cidade ser de pequeno porte frequentemente implica em precariedade em diversos aspectos e serviços. Muitas cidades de pequeno porte enfrentam desafios relacionados à circulação urbana, afetando a mobilidade e a acessibilidade, como observado em centros urbanos onde o transporte individual motorizado é privilegiado (MAGAGNIN; PIRES, 2016). Desta forma, o desenvolvimento de um planejamento urbano efetivo, não apenas para as grandes metrópoles, mas também para o interior, poderia resultar em municípios potencialmente mais funcionais e sustentáveis, com melhor qualidade de vida e conforto para os cidadãos. É neste contexto que o presente artigo propõe uma abordagem com foco em perspectivas sobre a caminhabilidade em cidades de pequeno porte.

Caminhabilidade é um termo derivado do inglês Walkability e, conforme o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP Brasil), é “a medida em que as características do ambiente urbano favorecem a sua utilização para deslocamentos a pé”. O conceito está relacionado à facilidade e conveniência de caminhar em uma área específica. É fundamental no urbanismo e no planejamento urbano, buscando criar ambientes onde caminhar seja seguro, atraente e prático para os residentes e visitantes. A cidade caminhável é uma parte integrante de um sistema que busca devolver ao pedestre o papel central na vida urbana, desafiando o modelo predominante centrado no automóvel particular. Segundo Malatesta (2016), essa





transformação do espaço envolve melhorias na ergonomia, segurança viária, conforto e conectividade. Uma boa caminhabilidade promove a atividade física, reduz a dependência do carro, estimula a interação social e contribui para a saúde e o bem-estar da comunidade. Isso é alcançado através do design de ruas para pedestres, calçadas amplas, travessias seguras, áreas verdes e acesso a serviços básicos e áreas de lazer, criando ambientes urbanos mais sustentáveis, habitáveis e dinâmicos.

Para Ghidini (2011), a caminhabilidade não é apenas um indicador de sustentabilidade urbana, mas também uma ferramenta para gerir o desenvolvimento sustentável. Ela tem o potencial de revitalizar o espaço urbano, incorporando conceitos e diretrizes que melhoram tanto a infraestrutura física quanto social da cidade. Embora termos semelhantes sejam frequentemente encontrados na literatura, o foco central está na visão abrangente do sistema pedestre, que se desenvolve através da reestruturação de todos os aspectos humanos ao nível da rua, e não apenas na implementação de padrões de acessibilidade universal nas calçadas e passeios (MALATESTA, 2016).

Enquanto as grandes metrópoles lidam geralmente com questões como congestionamento de tráfego, densidade populacional alta e infraestrutura urbana complexa, as cidades de pequeno porte podem enfrentar desafios diferentes, como limitações de financiamento, necessidades de infraestrutura específicas e uma cultura comunitária mais intimista. Apesar dessas diferenças, o objetivo de promover a caminhabilidade permanece o mesmo em ambos os casos: criar ambientes urbanos que sejam seguros, acessíveis e agradáveis para os pedestres, incentivando a atividade física, a interação social e o desenvolvimento econômico local.

Estudos de caso têm surgido como uma ferramenta fundamental para analisar a caminhabilidade em diversas áreas. Esses estudos empregam uma variedade de ferramentas para auxiliar no processo, sendo o iCam, desenvolvido pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), a principal delas. O iCam abrange todos os aspectos que influenciam na caminhabilidade de um determinado local. Um exemplo é o estudo realizado em Apucarana, cidade localizada no centro-norte do estado do Paraná. Nessa pesquisa, foi avaliada a caminhabilidade e a declividade nas proximidades da UTFPR-Apucarana, a região em estudo é periférica e foi revitalizada com a implantação da universidade, abrangendo áreas institucionais/estudantis, residenciais, comerciais, trabalhistas e de lazer (BASAGLIA; Luiza, 2023). Esse trabalho contribui para que novos olhares e perspectivas possam surgir sobre o tema caminhabilidade, e evidencia a possibilidade de utilizar tais ferramentas para aprimorar a caminhabilidade em cidades de porte médio e pequeno, especialmente em áreas com alto fluxo de pessoas.

Assim, adaptar estratégias de caminhabilidade para atender às necessidades específicas de cada tipo de cidade é essencial para garantir que todos os residentes possam desfrutar de seus benefícios. Nas cidades de pequeno porte, é comum que os moradores não precisem percorrer longas distâncias para chegarem aos seus destinos. Diante desse cenário, surge uma oportunidade para promover a locomoção por meio de bicicletas não motorizadas ou a pé. No entanto, devido a certos obstáculos encontrados ao longo do percurso, muitos ainda optam por utilizar outros meios de transporte, como automóveis e motocicletas. Portanto, é pertinente que os gestores municipais investiguem as condições do planejamento da mobilidade ativa nestas cidades, de modo a compreender a situação atual e, conseqüentemente, elaborar Planos de Mobilidade Urbana que sejam representativos e eficazes aos locais a que se destinam.

## Metodologia

Inicialmente, para ampliar a compreensão teórica sobre o tema, foram selecionados artigos científicos, estudos de caso e dados de sistemas que ofereceram resultados e enriqueceram a abordagem adotada neste trabalho.

O estudo discutiu sobre as categorias, indicadores e métricas da ferramenta iCam, proposta pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), buscando inferir sobre a relação entre as categorias da ferramenta com o porte dos municípios. Por fim, as discussões foram desenvolvidas de modo a oportunizar cidades mais acessíveis, seguras e sustentáveis, incentivando o deslocamento a pé como uma opção viável e saudável.

## Resultados e discussões

### Plano de Mobilidade Urbana

O Plano de Mobilidade Urbana emerge como um guia estratégico essencial para o planejamento de curto, médio e longo prazo, visando aprimorar a mobilidade urbana dentro das cidades. Este instrumento é composto por uma série de objetivos e metas, destinado a desenvolver estratégias que abrangem tanto recursos materiais quanto humanos, com o intuito de efetivar mudanças significativas no cenário local em prol do progresso urbano e da satisfação das necessidades dos residentes.

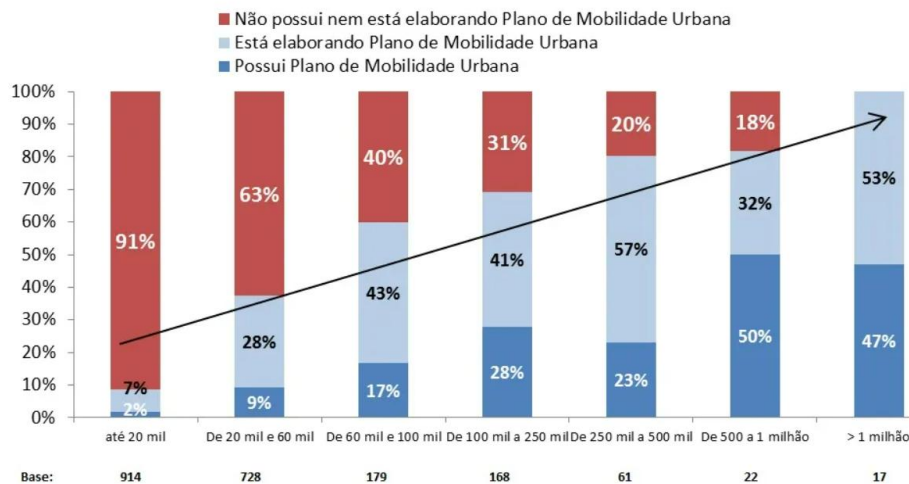
É crucial que a elaboração deste plano seja realizada considerando a estreita relação com o Plano Diretor da cidade, a fim de elucidar seu papel no contexto do desenvolvimento urbano (Plano de Mobilidade Urbana de Porto Alegre, 2018). A Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), estabelecida pela Lei Federal 12.587 em 3 de janeiro de 2012, tornou obrigatória, conforme o artigo 24, a elaboração do Plano para municípios com mais de 20 mil habitantes.

Este enquadramento legal enfatiza a importância vital do Plano de Mobilidade Urbana na gestão e no planejamento das cidades, destacando-o como um componente central para enfrentar os desafios contemporâneos relacionados à mobilidade e ao desenvolvimento urbano. Além disso, ressalta a necessidade de uma abordagem integrada, na qual o plano esteja alinhado com outras políticas e diretrizes urbanas, garantindo uma perspectiva abrangente e coerente para a evolução de todas as cidades, incluindo as de pequeno porte.

Apesar disto, a Secretaria Nacional de Transporte e Mobilidade Urbana (SNTMU), vinculada ao Ministério das Cidades, conduziu um levantamento abrangendo 3.341 municípios, além do Distrito Federal, a fim de avaliar a situação dos Planos de Mobilidade Urbana (SNTMU, 2016). Entre esses municípios, apenas 193 têm seus planos elaborados, apenas 9% das cidades



que responderam às solicitações da Pasta, com abrangência de 25% da população brasileira. Notavelmente, nos municípios com mais de 250 mil habitantes, a proporção daqueles que afirmaram ter elaborado seus Planos de Mobilidade é maior, estes municípios representam sozinhos 21% da população de todo o país, como apresentado na Figura 1.



**Figura 1: Percentual de municípios que possuem o Plano de Mobilidade Urbana por porte de municípios.**  
**Fonte: SNTMU BRASIL, 2016**

A partir da observação da figura 1, pode-se verificar que em cidades de maior porte a preocupação com a mobilidade urbana, expressa pela presença de plano de mobilidade, é mais evidente. Pode-se inferir que a motivação deste fato se deve, entre outros, aos maiores índices de congestionamento, maior tempo de deslocamento, preocupação com poluição do ar e emissões de carbono, acessibilidade e segurança viária. No entanto, no contexto das cidades com até 100 mil habitantes, escopo desta pesquisa, observa-se que a maioria delas não possui nem está em processo de elaboração de um Plano de Mobilidade Urbana. A ausência de planejamento pode significar aumento com problemas ligados a mobilidade urbana, impactando diretamente a qualidade de vida da população destas localidades.

### Avaliação da Caminhabilidade

A ferramenta iCam, lançada em 2016 pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), pode ajudar a avaliar e melhorar a caminhabilidade nas cidades. Seu desenvolvimento foi baseado em uma ampla gama de referências nacionais e internacionais sobre caminhabilidade e sobre a elaboração e aplicação de índices similares, com o propósito de que a ferramenta registrasse as condições dos espaços urbanos sob o olhar do pedestre (ITDP Brasil, 2018).

A versão mais atualizada da ferramenta é o Índice de Caminhabilidade Versão 2.0, que possui quinze indicadores distribuídos em seis categorias, as quais incorporam diferentes dimensões da experiência do pedestre, como apresentado no Quadro 1.

Os indicadores apresentados no Quadro 1 podem ser empregados em análises completas no índice de caminhabilidade. Neste trabalho, buscou-se discutir cada categoria, especialmente sob a perspectiva das cidades de pequeno porte. Neste contexto, o indicador Ambiente é influenciado por diversos fatores, como a presença adequada de sombra e abrigo nas calçadas que pode melhorar significativamente a experiência dos pedestres, especialmente em regiões com clima quente ou chuvas frequentes, incentivando mais pessoas a caminhar e explorar a cidade. Embora as pequenas cidades sejam geralmente associadas a ambientes mais tranquilos, a poluição sonora proveniente do tráfego de veículos e atividades comerciais intensas pode ser um desafio, tornando crucial a avaliação e monitoramento dos níveis de ruído para garantir uma caminhada mais tranquila e segura.

Além disso, a gestão eficaz da coleta de lixo e a manutenção da limpeza das ruas desempenham um papel fundamental na qualidade de vida dos pedestres e na atratividade dos espaços públicos. De acordo com o Índice de Sustentabilidade da Limpeza (ISLU), desenvolvido pelo grupo PwC (PricewaterhouseCoopers) em colaboração com o SELUR (Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana) e a ABLP (Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública), entre as cinquenta cidades que se destacaram positivamente no estudo sobre o gerenciamento de resíduos, 48 são municípios com menos de 50 mil habitantes. Dessas, 80% estão situadas na região Sul do Brasil, enquanto os restantes 20% estão no Sudeste. Esse índice funciona como um indicador para avaliar o comprometimento das localidades com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, sancionada em 2010, que visa promover a qualidade ambiental, a sustentabilidade e a proteção à saúde e ao bem-estar social nas diferentes localidades do país.



**Quadro 1: Categorias e indicadores do iCam e suas respectivas métricas.**

CATEGORIA	INDICADORES	MÉTRICA
Ambiente	Sombra e abrigo	Porcentagem do segmento de calçada que possui elementos de sombra ou abrigo adequados.
	Poluição sonora	Nível de intensidade sonora das ruas.
	Coleta de Lixo e Limpeza	Avaliação do indicador de percepção de limpeza urbana no ambiente de circulação de pedestres.
Atração	Fachadas fisicamente permeáveis	Número médio de entradas e acessos de pedestres por cada 100 metros de face de quadra.
	Fachadas visualmente ativas	Porcentagem da extensão da face de quadra com conexão visual com as atividades no interior dos edifícios.
	Uso público diurno e noturno	Número médio de estabelecimentos e áreas públicas com uso público diurno e noturno por cada 100 metros de face de quadra.
	Usos mistos	Porcentagem do total de pavimentos com uso predominante nas edificações confrontantes ao segmento de calçada.
Calçada	Pavimentação	Existência de pavimentação na calçada e suas condições de implantação e manutenção
	Largura	Largura da faixa de circulação da calçada e adequação ao fluxo de pedestres existente.
Mobilidade	Distância a pé ao transporte	Distância percorrida a pé (em metros) até a estação mais próxima de transporte de média ou alta capacidade ou outros sistemas de transporte público coletivo
	Dimensão das quadras	A extensão lateral da quadra (equivalente ao segmento de calçada).
Segurança Pública	Fluxo de pedestres diurno e noturno	Fluxo de pedestres em circulação em diferentes horários.
	Iluminação	Avaliação da qualidade da iluminação noturna no ambiente de circulação de pedestres.
Segurança Viária	Tipologia de rua	Avaliação da tipologia da rua em relação ao ambiente de circulação de pedestres.
	Travessias	Porcentagem de travessias seguras e acessíveis a pessoa com deficiência em todas as direções a partir do segmento de calçada.

**Fonte: Adaptado de Índice de Caminhabilidade Versão 2.0 - ITDP Brasil, 2018.**

No contexto da atração, as cidades de pequeno porte são frequentemente percebidas como menos atrativas do que as metrópoles, devido à sua arquitetura mais simples e à oferta limitada de atividades. Além disso, a vida noturna nessas cidades tende a ser menos desenvolvida devido ao menor número de estabelecimentos que permanecem abertos durante a noite, resultando em uma população mais ativa durante o dia. Dessa forma, os dados da categoria atração destacam a importância de projetar e desenvolver áreas urbanas que promovam a interação social, a atividade econômica e o uso eficiente do espaço, criando ambientes urbanos mais atraentes e sustentáveis para os pedestres em cidades pequenas (ITPD Brasil, 2018).

Já para a categoria calçada, em cidades pequenas podem variar de bem cuidadas e amplas a estreitas e irregulares, dependendo do nível de desenvolvimento e das políticas municipais. Algumas oferecem espaços seguros e confortáveis para pedestres, enquanto outras podem enfrentar muitos desafios de acessibilidade. Em geral, esses espaços desempenham um papel importante como locais de encontro e convívio social, destacando a importância de seu projeto e manutenção para a qualidade de vida da comunidade.

Em um estudo de caso em Santana do Araguaia, município de pequeno porte no interior do Pará, os moradores relataram dificuldades no deslocamento a pé devido às calçadas. Entre as dificuldades percebidas pelos pedestres, as opções mais votadas incluíam: inexistência de calçadas definidas para pedestres; falta de sombreamento proporcionado por árvores; presença de diversos obstáculos nas calçadas, como plantas arbustivas ou galhos baixos propensos a causar acidentes, postes, lixeiras, placas indicativas de estabelecimentos comerciais, entulhos, entre outros elementos; falta de rampas para facilitar o acesso; ausência de uma delimitação clara entre a área destinada a veículos motorizados e a área para circulação a pé; diferenças de altura entre as calçadas; e uso de material inadequado no calçamento, que não é antiderrapante, não é uniforme ou está danificado. Estas condições relatadas pelos moradores de Santana do Araguaia são situações recorrentes em vários outros municípios (ARAÚJO; Andrea, 2020).

Para a categoria mobilidade, na comparação das cidades de diferentes portes, especialmente no que diz respeito à distância a pé ao transporte e dimensão das quadras, pode-se inferir sobre dois aspectos. Em cidades menores, as distâncias entre os pontos de interesse e os sistemas de transporte podem ser mais curtas, pelo perímetro urbano ser menor, facilitando o acesso a pé. As quadras geralmente são menores, o que significa que as distâncias a percorrer durante as caminhadas são mais curtas. Por outro lado, se o transporte público apresentar capilaridade ou não for suficiente ao porte e fluxo da localidade, pode haver





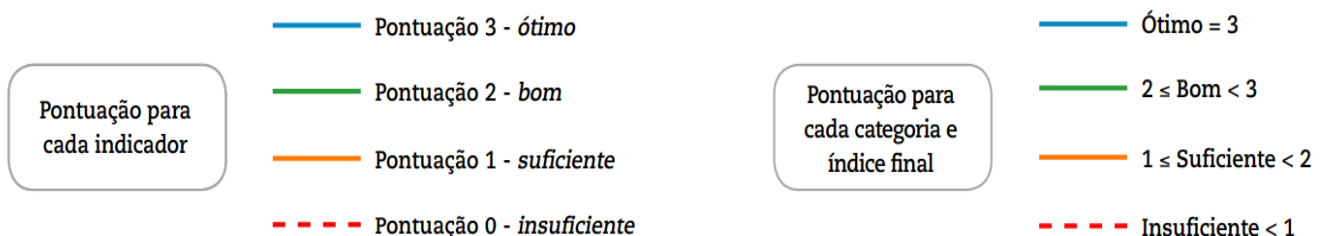
necessidade de percorrer longas distâncias a pé até encontrar a primeira opção de transporte público. Pesquisadores da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade Federal de Alagoas (Ufal) apontaram o transporte coletivo muitas vezes é inadequado nas cidades menores, com uma rede descontínua, problemas de integração física, temporal e tarifária, além de baixa frequência nas periferias, onde é mais demandado.

Em suma, a avaliação da caminhabilidade na categoria de mobilidade, considerando as cidades de pequeno porte, pode ser positiva devido à proximidade dos pontos de interesse e à menor extensão das quadras, facilitando a locomoção a pé, mas também pode ser negativa, se o transporte público estiver subdimensionado ou concentrado em poucas ruas.

Na categoria segurança pública, apesar de os índices de violência, em geral, serem menores em cidades de pequeno porte, considerando a métrica dos indicadores propostos, que tratam fluxo de pedestres em diferentes horários e da iluminação, pode-se ter resultados ruins em algumas cidades, principalmente porque o fluxo de pedestres será naturalmente menor e a iluminação pública pode ser insuficiente. Assim, ruas desertas e com visibilidade reduzida aumentam a sensação de insegurança para os pedestres. Infelizmente, no período noturno acontecem boa parte dos acidentes com pedestres, sobretudo em locais em que a iluminação é precária. O inquérito da VIVA (Vigilância de Violência e Acidentes) de 2014, divulgado pelo Ministério da Saúde, apontou que 33,6% das ocorrências que vitimizaram pedestres ocorreram à noite. Além de prevenir acidentes, uma iluminação adequada pode reduzir o medo do crime entre os residentes. Quando as pessoas se sentem seguras em seus ambientes, estão mais propensas a participar ativamente da comunidade e desfrutar dos espaços públicos (GHIDINI, 2011).

Na comparação entre segurança viária para pedestres em cidades de diferentes portes, nuances significativas surgem em relação à tipologia das ruas e travessias. Enquanto as cidades grandes exibem uma tipologia mais diversificada, potencialmente resultando em um ambiente de circulação de pedestres mais desafiador devido à complexidade das vias e ao volume de tráfego variável, as cidades pequenas tendem a oferecer ruas mais simples e uniformes, proporcionando um ambiente potencialmente mais previsível e seguro para os pedestres. Quanto às travessias, embora as grandes cidades possam implementar uma variedade de medidas de segurança, como semáforos e faixas elevadas, a uniformidade e acessibilidade dessas travessias podem ser menos consistentes devido à ampla gama de interseções e vias. Por outro lado, nas cidades pequenas, embora as travessias sejam mais diretas e simples, a menor densidade de tráfego e a menor complexidade das vias podem contribuir para que a maioria das travessias seja acessível e segura para pedestres, incluindo aqueles com deficiência.

Todos os indicadores apresentados no quadro possuem relação com a caminhabilidade em uma determinada cidade, o sistema de pontuação usa escala de 0 a 3 com parâmetros específicos para cada indicador, determinando a pontuação do segmento de calçada, como apresentado na figura 2. A alocação dos resultados em classes é baseada nos conceitos de sensibilidade e especificidade. Além da pontuação para cada indicador, os segmentos de calçada também recebem uma pontuação de 0 a 3 para cada categoria e para o iCam final, calculado pela média das pontuações dos indicadores de cada categoria e das categorias, respectivamente.



**Figura 2: Pontuações do iCam.**  
**Fonte: ITDP Brasil, 2018**

Apesar dos desafios supracitados, ao examinar cuidadosamente as categorias e indicadores de caminhabilidade, torna-se evidente que as cidades de pequeno porte têm alto potencial para se tornarem ambientes propícios à caminhada. Nesse contexto, o uso de ferramentas como o iCam pode ser altamente benéfico aos gestores municipais, identificando os principais pontos nos quais a cidade precisa melhorar. A partir dessas informações, é possível implementar medidas de intervenção na infraestrutura urbana com relativa facilidade, contribuindo para a criação de ambientes mais seguros e acessíveis para a população.

O tema da caminhabilidade muitas vezes recebe menos atenção em cidades de pequeno porte, principalmente devido à menor densidade populacional e complexidade urbana. Nestas áreas, a infraestrutura para pedestres pode não ser prioritária, já que há menos tráfego de pedestres e menos problemas de congestionamento nas ruas. Além disso, a cultura do uso do carro como principal meio de transporte pode estar mais enraizada, levando a menos discussões sobre a importância da caminhabilidade para a comunidade.

Em muitas cidades menores, os recursos financeiros tendem a ser direcionados para outras necessidades, como infraestrutura básica, educação e saúde. Isso pode resultar em menos investimentos em calçadas, travessias seguras e outras medidas que promovam a segurança e comodidade dos pedestres. No entanto, à medida que essas comunidades crescem e enfrentam desafios de urbanização, a discussão sobre a caminhabilidade pode se tornar mais relevante e ganhar destaque na agenda urbana.

Embora a caminhabilidade possa ser subestimada em cidades de pequeno porte, é fundamental reconhecer sua





importância para promover uma mobilidade urbana sustentável e uma melhor qualidade de vida para os habitantes. À medida que as cidades continuam a evoluir, é crucial que os planejadores urbanos e líderes comunitários considerem a inclusão de medidas que tornem as ruas mais seguras e acessíveis para os pedestres, garantindo que todos os membros da comunidade possam desfrutar de espaços urbanos mais acolhedores e confortáveis.

### Considerações finais

A implementação efetiva da Política Nacional de Mobilidade Urbana e a elaboração de Planos de Mobilidade Urbana são passos essenciais para direcionar o desenvolvimento das cidades de pequeno porte em direção a uma mobilidade mais equitativa e eficiente. No entanto, os dados revelam uma lacuna significativa na adoção dessas medidas nessas localidades, destacando a necessidade de ações para preencher essa falha e garantir que essas cidades estejam devidamente equipadas para enfrentar os desafios futuros.

Desta forma, a discussão sobre caminhabilidade e conforto nas cidades de pequeno porte emergiu como um tema de grande relevância, corroborada por estudos como os de Bernardinis, Straub e Pavelski (2021) que analisaram a caminhabilidade em cidades como Prudentópolis, assim como os trabalhos de Barmpas et al. (2021) e Castro e Kanashiro (2021) que também contribuíram para a compreensão desse fenômeno em contextos similares. Essas pesquisas ressaltam a importância do planejamento urbano estratégico e da implementação de políticas públicas voltadas para a mobilidade sustentável, em linha com os resultados apresentados por Ghidini (2011) sobre a caminhabilidade como medida urbana sustentável.

Enquanto muitas cidades pequenas podem parecer distantes dos problemas de tráfego e congestionamento frequentemente associados às metrópoles, a caminhabilidade e o conforto das ruas desempenham um papel crucial na qualidade de vida da população. Este artigo discutiu perspectivas sobre caminhabilidade e conforto nessas cidades, destacando a importância do planejamento urbano estratégico e da implementação de políticas públicas voltadas para a mobilidade sustentável. Complementar a isso, a ferramenta iCam, destacada por ITDP Brasil (2016), oferece categorias e indicadores bastante claros para avaliar a caminhabilidade das cidades, fornecendo insights valiosos sobre áreas de melhoria e orientando intervenções eficazes na infraestrutura urbana. Ao reconhecer o potencial das cidades de pequeno porte para se tornarem ambientes mais propícios à caminhada e à sustentabilidade, os planejadores urbanos podem adotar medidas proativas para promover uma mobilidade mais inclusiva e acessível para todos os residentes.

Embora a caminhabilidade possa não receber a mesma atenção em cidades de pequeno porte em comparação com áreas urbanas maiores, é crucial reconhecer seu papel na promoção de qualidade de vida e no desenvolvimento urbano sustentável. Ao priorizar investimentos em infraestrutura para pedestres, criar ambientes urbanos seguros e atrativos e promover uma cultura de mobilidade ativa, as cidades de pequeno porte podem se tornar exemplos de excelência em caminhabilidade, beneficiando tanto os residentes quanto o meio ambiente. Em suma, seguindo as evidências apresentadas por Stewart et al. (2016) e Norton et al. (2023) sobre associações entre o ambiente construído e a prática de caminhar em diferentes contextos urbanos, investir na caminhabilidade é investir no futuro sustentável e inclusivo das cidades de pequeno porte do Brasil.

### Agradecimentos

Os Autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio recebido na realização do trabalho.

### Referências Bibliográficas

ARAÚJO, Andrea Nazaré Barata de; MONTEIRO, Érica Corrêa; COSTA, Mateus Araújo; MONTEIRO, Marcela Marçal Maciel; COSTA FILHO, Galafre Guttemberg da; PASSOS DE OLIVEIRA, Antonio Carlos Santos do Nascimento. A caminhabilidade como indicador de qualidade de vida: Estudo de caso de Santana do Araguaia-PA. [https://conara.unifesspa.edu.br/images/II\\_CONARA\\_2020/ARTIGOSARQ/A\\_caminhabilidade\\_como\\_indicador\\_de\\_qualidade\\_de\\_vida\\_Estudo\\_de\\_caso\\_de\\_Santana\\_do\\_Araguaia-PA\\_edio\\_Leandro.pdf](https://conara.unifesspa.edu.br/images/II_CONARA_2020/ARTIGOSARQ/A_caminhabilidade_como_indicador_de_qualidade_de_vida_Estudo_de_caso_de_Santana_do_Araguaia-PA_edio_Leandro.pdf)

BERNARDINIS, Marcia de Andrade Pereira; STRAUB, Julia Ditzel; PAVELSKI, Luziane Machado. A caminhabilidade em cidades de pequeno porte: um estudo de caso na cidade de Prudentópolis. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, v. 10, n. 1, p. 99-126, 2021.

Barmpas, Georgios, Georgios Georgiadis, Anastasia Nikolaidou, Rafail Katkadigkas, e Dimitrios Tsakiris. "Evaluating Pedestrian Environments: Evidence from Small Cities in Greece". *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61075-3\\_58](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61075-3_58).

Berglund, Ulla. "Walkability in the everyday landscape of small towns - For transport, pleasure and health". *History of the Future: 52nd World Congress of the International Federation of Landscape Architects, IFLA 2015 - Congress Proceedings*, 2015. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84949791597&partnerID=40&md5=f147049c89bb3f750a20983fe90e97ed>.

Castro, Caroline Cesário de, e Milena Kanashiro. "Walkability in small towns: Collating objective variables and in situ observations; [Caminhabilidade em pequenas cidades: Cotejamento entre variáveis objetivas e observações in loco]". *Arquiteturavista*, 2021. <https://doi.org/10.4013/arq.2021.172.06>.



GHIDINI, Roberto. A caminhabilidade: medida urbana sustentável. Revista dos Transportes Públicos–ANTP. São Paulo, v. 33, p. 21-33, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores Sociais Municipais 2010 - Uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000006475711142011571416899473.pdf>>. Acesso em: fev.2024.

BASAGLIA, Luiza Helena e BARBOSA, Cynthia Correa Lopes. Caminhabilidade e declividade nas imediações da UTFPR Apucarana. XIII Seminário de Extensão e Inovação XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Novembro, 2023.

Ignaccolo, Matteo, Giuseppe Inturri, Nadia Giuffrida, Michela Le Pira, Vincenza Torrisi, e Giovanni Calabrò. “A step towards walkable environments: Spatial analysis of pedestrian compatibility in an urban context”. European Transport - Trasporti Europei, 2020. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85087333386&partnerID=40&md5=bc1qf92drq0wwm8w7rnw9d8p4wjvaut2csdd5sg2cx>.

ITDP Brasil – Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento do Brasil. Índice de Caminhabilidade–Ferramenta, 2016. Disponível em: <<http://2rps5v3y8o843iokettbxnya.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2016/09/2016-09-ITDP-caminhabilidade-ferramenta.pdf>> . Acesso em: fev.2024.

MAGAGNIN, R. C.; PIRES, I. B. As diferentes percepções sobre os problemas de mobilidade urbana em uma cidade brasileira de médio porte: a visão dos especialistas e da população de Jundiaí (SP – Brasil). In: 7º PLURIS – (Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional e Sustentável: contrastes, contradições e complexidades, 2016, Maceió. Anais... . 11 p.)

MALATESTA, M. E. B. Andar a pé: um modo de transporte para a cidade de São Paulo (São Paulo, 2008). DOI: 10.11606/D.16.2008.tde-11032010-093613

Norton, Briony A., Meghann Mears, Philip H. Warren, Gavin M. Siriwardena, Kate E. Plummer, Tim Turner, Steven Hancock, Darren R. Grafius, e Karl L. Evans. “Biodiversity and environmental stressors along urban walking routes”. Urban Forestry and Urban Greening, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127951>.

PITILIN, Taiany Richard et al. A caminhabilidade: uma análise bibliométrica. Revista de Morfologia Urbana, v. 8, n. 2, p. e00129-e00129, 2020.

Stewart, Orion T, Anne Vernez Moudon, Brian E Saelens, Chanam Lee, Bumjoon Kang, e Mark P Doescher. “Comparing Associations Between the Built Environment and Walking in Rural Small Towns and a Large Metropolitan Area”. Environment and Behavior, 2016. <https://doi.org/10.1177/0013916515612253>.



# ESTUDO DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA NO BAIRRO JARDIM CANADÁ NO MUNICÍPIO DE GOIOERÊ, PARANÁ

**1Lucas de Araújo Souza, 2Paula Cristina de Souza, 3Gabriel de Freitas Mendonça Junior**

*1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: lucas\_araujos23@hotmail.com; 2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: paulasouza@utfpr.edu.br; 3 Centro Universitário Integrado, e-mail: gabrielmendoncajunior@gmail.com*

**Palavras-chave:** Máximo de 03 (três) e separadas por ponto e vírgula

## Resumo

O estudo investigou a rede de drenagem pluvial do bairro Jardim Canadá, na cidade de Goioerê, Paraná, devido aos desafios decorrentes da urbanização crescente e das chuvas intensificadas. A pesquisa enfatizou a importância da drenagem urbana na infraestrutura e no bem-estar social das cidades. Utilizando informações de projetos, mapas e visitas ao local, foram analisadas as características da rede existente, incluindo áreas de contribuição e vazões correspondentes. Além disso, foram consideradas possíveis vazões adicionais e avaliada a capacidade de escoamento da rede usando o método racional. Os resultados indicaram desafios significativos na rede de drenagem do bairro, com sobrecargas e altas velocidades identificadas em alguns trechos, mesmo sem considerar as vazões adicionais. Com a inclusão dessas vazões, os problemas se agravaram, com pontos de estrangulamento e sobrecarga inicial na rede. Foi evidenciado que é fundamental realizar investimentos contínuos na infraestrutura de drenagem urbana para assegurar um sistema robusto e eficiente, capaz de responder às demandas das áreas urbanas e prevenir impactos.

## Introdução

A drenagem pluvial urbana desempenha um papel crucial na mitigação dos problemas enfrentados pelas cidades devido às chuvas, como erosão, alagamentos, enxurradas e o aumento da transmissão de doenças. Sem um sistema eficiente de drenagem pluvial, a execução de obras de infraestrutura urbana, como pavimentação e conjuntos habitacionais, torna-se inviável (DAL-PRÁ, 2016). Com o rápido processo de urbanização global, a população mundial em áreas urbanas atingiu 55% em 2022, com expectativa de crescimento para 68% até 2050, de acordo com a ONU. Esse aumento acelerado da urbanização tem contribuído para o agravamento dos problemas relacionados à drenagem urbana, conforme observado por BASSO et al. (2018), que destacam os desafios enfrentados por diversas cidades brasileiras no manejo da água da chuva e seus impactos ambientais e sociais.

A legislação brasileira reconhece a importância da drenagem pluvial funcional para o bem-estar social, conforme estabelecido na Lei nº 10.251 de 2001, que estabelece diretrizes para políticas urbanas. A infraestrutura urbana é um direito dos cidadãos, e a cooperação entre governos, iniciativa privada e sociedade é fundamental para o desenvolvimento urbano em benefício do interesse social (BRASIL, 2001). Nesse contexto, o presente estudo propõe analisar a rede de drenagem pluvial do bairro Jardim Canadá, em Goioerê, visando identificar possíveis problemas em seu dimensionamento e funcionamento.

A necessidade crescente da drenagem pluvial urbana nas cidades brasileiras reflete as mudanças na paisagem natural devido à urbanização e expansão urbana, afetando a hidrologia local de maneira significativa. Conforme definido pela ABNT NBR 10844 (2015), a drenagem pluvial urbana abrange um conjunto de obras e instalações que buscam minimizar os efeitos das águas pluviais, protegendo a saúde pública, o patrimônio e o meio ambiente, além de promover o bem-estar da população. No entanto, o desafio enfrentado no Brasil é a falta de planejamento e investimentos adequados nessa área (MELO et al., 2017), que exigem um planejamento estratégico considerando aspectos técnicos, políticos, sociais e econômicos.

Um sistema de drenagem pluvial bem planejado e executado traz inúmeros benefícios à população, reduzindo os impactos das enchentes e enxurradas, garantindo assim a segurança e a qualidade de vida dos moradores. Diante desses desafios e considerações, este trabalho propõe uma análise detalhada da rede de drenagem pluvial do bairro Jardim Canadá, em Goioerê, visando identificar e compreender os possíveis problemas de dimensionamento e causas subjacentes, contribuindo para a gestão eficiente das águas pluviais nessa área urbana.

Os objetivos específicos deste estudo estão alinhados com essa necessidade urgente. Primeiramente, foi realizado um levantamento detalhado da rede de drenagem pluvial existente no bairro Jardim Canadá, por meio de análise de projetos, mapas e visitas de campo. Em seguida, foram calculadas as áreas de escoamento superficial que contribuam para a rede e determinadas suas vazões correspondentes, identificando assim as demandas hidráulicas na época. Além disso, o estudo buscou examinar possíveis vazões adicionais que poderiam sobrecarregar a rede de drenagem e verificar sua capacidade de escoamento usando métodos de dimensionamento adequados, como o método racional.

## Material e Métodos

O local de estudo está situado no município de Goioerê-PR (Figura 1), no bairro residencial denominado Jardim Canadá, que trata-se de um bairro com área residencial de média renda em consolidação, quanto a seu zoneamento é caracterizado como ZRE3 (Zona Residencial Multifamiliar Horizontal), o que implica de acordo com os parâmetros urbanísticos do município e índices de ocupação do solo, uma taxa de permeabilidade mínima de 10%.





**Figura 1: Delimitação e localização da área de estudo.**

O projeto de drenagem do bairro Jardim Canadá foi analisado, juntamente com as Leis Gerais do Plano Diretor Municipal, mapas de zoneamento, leis complementares e outras informações relevantes ao estudo. Visitas in loco foram realizadas e análises foram conduzidas utilizando o software *Google Earth Pro*.

Este arquivo apresenta as instruções de formatação para a submissão de trabalhos para o 3º Congresso Internacional de Engenharia Ambiental (3º CIEA) que será realizada em Porto Alegre/RS, de 26 a 29 de novembro de 2024.

Para o cálculo de vazão, foi utilizado o método racional, considerado o tempo de concentração inicial de 12 minutos. A intensidade pluviométrica foi obtida através da equação da chuva do município de Cianorte, proposta por Fendrich (1998), com tempo de recorrência de 10 anos. Uma vez que Cianorte é um município da região de Goioerê e a sua equação da chuva se mostrou-se satisfatória para atender os dados da região.

O coeficiente de Runoff foi definido através dos valores referencias de Witken (1978, apud COSTA; SIQUEIRA; MENEZES FILHO, 2007, p.36), considerando que o bairro pertence a uma zona de edificação não muito densa, com ruas e calçadas pavimentadas, obtendo um valor de  $C = 0,65$ . A vazão foi calculada pelo método racional através da Equação (1), a área de contribuição foi subdividida em formas geométricas menores, formando mosaicos, o que levou ao cálculo da vazão superficial local para cada área de contribuição da rede de drenagem. Para as vazões totais considerou-se o somatório das vazões que chegavam ao poço de visita em análise, o emprego deste método foi possível haja vista que a área da bacia hidrográfica era inferior a  $2\text{km}^2$  (CURITIBA, 2012).

$$Q = c \cdot i \cdot A \quad (1)$$

Onde: Q é vazão superficial local ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), C o coeficiente de escoamento superficial, i a intensidade da chuva ( $\text{m/s}$ ) e A, a área da bacia contribuinte local ( $\text{m}^2$ ).

Além da extração dos diâmetros das tubulações do projeto de dimensionamento fornecido pela prefeitura, foram realizadas verificações in loco da rede de drenagem pluvial do bairro Jardim Canadá. Essas verificações foram conduzidas de acordo com os parâmetros estabelecidos por Costa, Siqueira e Menezes Filho (2007), os quais definem critérios fundamentais para a adequada funcionalidade da rede. Dentre esses critérios, destacam-se a faixa aceitável da relação altura da lâmina d'água-diâmetro, recomendada entre 0,10 (10%) e 0,85 (85%), que influencia diretamente na capacidade de escoamento e prevenção de alagamentos. Além disso, foram consideradas as velocidades mínima e máxima do fluxo de água, estabelecidas em 0,75 m/s e 5,0 m/s, respectivamente, visando garantir tanto a eficiência do sistema quanto a sua segurança estrutural. Essas análises técnicas fornecem um embasamento sólido para o planejamento e a execução de intervenções na rede de drenagem pluvial, contribuindo para a mitigação de problemas relacionados à inundação e ao transbordamento em períodos de chuvas intensas.

### Resultados

Em um primeiro momento foi feito a análise do dimensionamento da rede de galerias pluviais do bairro Jardim Canadá sem levar em consideração as vazões adicionais provenientes do bairro Cidade Alta e da Avenida Santos Dumont. Para as verificações, foram adotados os parâmetros pré-estabelecidos propostos por Siqueira e Menezes Filho (2007), sendo a faixa aceitável da relação altura da lâmina d'água-diâmetro entre 0,10 e 0,85, velocidade mínima de 0,75 m/s e máxima de 5,0 m/s. No primeiro trecho, localizado na rua Cândido Portinari, constatou-se que a vazão requerida é superior a capacidade da rede. Conforme Tabela 1, observou-se que nos trechos iniciais da rede, a relação h/D já ultrapassava 0,85.

No trecho PV03 – PV04 os valores de k e  $\theta$ (rad) estão além dos limites estabelecidos tomando referência de Azevedo Netto e Araújo (1998). Ao observar o trecho anterior (PV02 – PV03), percebe-se que o parâmetro h/D ultrapassou o limite de 85%, isso nos leva a concluir que no trecho de PV03 – PV04, a galeria excedeu a capacidade recomendada pelo autor. A partir do trecho PV04 – PV05, a tubulação apresenta um diâmetro de 800mm, conforme verificado no local, essa alteração permitiu que a rede funcionasse dentro dos parâmetros pré-estabelecidos.

A análise detalhada do dimensionamento da rede de galerias pluviais no bairro Jardim Canadá proporcionou parâmetros valiosos sobre a capacidade de escoamento da infraestrutura existente. Os resultados dessas avaliações são essenciais para identificar os pontos críticos e as limitações da rede de drenagem, fornecendo subsídios para a proposição de medidas corretivas e aprimoramentos necessários. Essas ações visam garantir um sistema eficiente e resiliente capaz de atender às demandas hidráulicas atuais e futuras da região.





**Tabela 1: Rede de drenagem na rua Cândido Portinari**

Trecho	Q(l/s)	D(mm)	Sg(%)	k	$\theta$ (rad)	h/D	V (m/s)
PV01 – PV02	659	600	2,96	0,22247	3,65	0,627	3,5
PV02 – PV03	1069	600	2,99	0,36237	5,83	0,987	3,79
PV03 – PV04	1523	600	3,89	0,45229	14,15	0,148	2,58
PV04 – PV05	1878	800	3,17	0,28699	4,21	0,755	4,61
PV05 – PV06	2017	800	3,12	0,31043	4,51	0,817	4,59

Ao prosseguir ao longo da rede a partir do PV06, adentramos na rua Helena de Paula Sestak. Na porção inicial deste trecho (PV06 – PV07), a inclinação da galeria é de 1,92%, enquanto na porção final (PV09 – PQ10) é de 6,15%. Esta variação de inclinação resulta em um escoamento mais lento na parte inicial, o que por sua vez aumenta a altura da lâmina de água em relação ao diâmetro da tubulação. Em contraste, na porção final com uma inclinação mais acentuada, a velocidade de escoamento aumenta consideravelmente. Esses detalhes estão resumidos na Tabela 2.

**Tabela 2: Rede de drenagem rua Helena de Paula Sestak**

Trecho	Q(l/s)	D(mm)	Sg(%)	k	$\theta$ (rad)	h/D	V (m/s)
PV06 – PV07	2122	800	1,92	0,4171	9,45	0,494	2,80
PV07 – PV08	2400	800	2,31	0,42904	10,77	0,188	2,55
PV08 – PV09	2703	800	3,02	0,42313	10,09	0,338	3,16
PV09 – PQ10	2981	800	6,15	0,32705	4,81	0,87	6,42

Nos segmentos compreendidos entre o PV06 e o PV09, verificou-se que os valores de k e  $\theta$  excedem as recomendações estabelecidas por Azevedo Netto e Araújo (1998), indicando uma potencial inadequação do sistema nesses trechos. Da mesma forma, a análise do trecho PV09 - PQ10 revelou que os parâmetros de verificação não foram atendidos, com os valores de h/D e V fora da faixa recomendada de  $0,10 < h/D < 0,85$  e  $0,75 < V < 5,0$ (m/s). Essas constatações sugerem a necessidade de uma investigação mais aprofundada desses trechos, a fim de compreender melhor as causas subjacentes aos problemas de drenagem. É importante ressaltar que esses problemas não só comprometem a eficiência do sistema de escoamento, mas também resultam em problemas recorrentes de manutenção do asfalto local, especialmente em períodos chuvosos. Essa situação não é incomum em áreas urbanas com deficiências na drenagem, onde a capacidade de escoamento inadequada pode levar a alagamentos frequentes e danos à infraestrutura viária. Uma das estratégias frequentemente sugeridas para melhorar o desempenho do sistema de drenagem é o aumento do diâmetro das tubulações. Estudos como o de Fok et al. (2015) destacam que um aumento no diâmetro das tubulações pode resultar em uma capacidade de escoamento maior, reduzindo os riscos de alagamentos e transbordamentos. No entanto, análises realizadas conforme descrito por Castro e Melo (2018) demonstram que, em certos casos, mesmo com o aumento do diâmetro, as velocidades de escoamento podem permanecer altas, o que pode comprometer a eficácia do sistema. Considerando que a rua em questão apresenta uma declividade significativa, como observado por Cruz e Silva (2019), é importante considerar que a inclinação das tubulações também desempenha um papel crucial na capacidade de escoamento. Alterar a inclinação das tubulações para adequá-las à inclinação da via pode ajudar a otimizar o fluxo de água, reduzindo as velocidades e melhorando a eficiência do sistema de drenagem, conforme discutido por Smith e Johnson (2020). Essas medidas visam não apenas minimizar os problemas relacionados à inundação e ao transbordamento durante períodos de chuvas intensas, mas também garantir a sustentabilidade e a eficácia a longo prazo do sistema de drenagem, levando em consideração as condições específicas da rua e do ambiente urbano circundante.

Após prosseguir com a análise nas vias do bairro, verificou-se que os segmentos de galeria localizados na rua Aroeira não apresentam nenhuma discrepância significativa, sugerindo conformidade com os parâmetros de verificação estabelecidos. No entanto, ao examinar a rede de galerias que se estende desde a Avenida Antônio Sestak até as conexões com as redes das ruas Aroeira (PQ14) e Helena de Paula Sestak (PQ10), foram identificados problemas específicos nos trechos entre o PV20 e o PQ24. Essas observações apontam para desafios significativos relacionados à capacidade de escoamento e à relação altura do fluxo/diâmetro da tubulação (h/D) nesses segmentos. A análise detalhada desses trechos revela que as velocidades de escoamento excedem os limites recomendados, enquanto a relação h/D indica possíveis restrições hidráulicas. Tais descobertas destacam a necessidade de intervenções específicas para corrigir essas deficiências e garantir o desempenho adequado do sistema de drenagem nessas áreas.

Durante a análise dos trechos compreendidos entre o PV20 e o PQ10, foram identificados problemas significativos relacionados às altas velocidades de escoamento, excedendo o limite estabelecido de 5 m/s, conforme recomendado por Azevedo Netto e Araújo (1998). Notavelmente, no PQ10, destaca-se um aumento considerável na vazão, uma vez que é neste ponto que o PV9 da rua Helena de Paula Sestak contribui substancialmente para a vazão em direção à avenida. A revisão dos dados apresentados na Tabela 4 evidencia que os trechos PQ10 – PQ22 e PQ22 – PQ23 não satisfazem os critérios de verificação



estabelecidos para os parâmetros  $k$  e  $\theta$ . Além disso, no segmento PQ23 – PQ24, embora os valores se aproximem dos limites definidos para  $k$  e  $\theta$ , a relação  $h/D$  atinge 98,1% e a velocidade atinge 8,97 m/s, ultrapassando os respectivos parâmetros de verificação de 85% e 5 m/s. A Figura 9 apresenta uma perspectiva do PQ22, evidenciando a notável inclinação do terreno nos trechos entre o PV20 e PQ22. Essas observações reforçam a necessidade premente de intervenções específicas para corrigir as deficiências hidráulicas nessas áreas críticas da rede de galerias urbanas, visando garantir um escoamento eficiente e sustentável das águas pluviais.

A imagem da Figura 1 mostra o terreno em aclive, sentido contrário ao fluxo de água na galeria apresentado na Tabela 2. Essa representação visual é importante para destacar a configuração topográfica do local.



**Figura 1: Vista do PQ22 - Aclive na Avenida Antônio Sestak.**

Na continuação da análise da rede de drenagem pluvial urbana do bairro Jardim Canadá, observou-se outra ramificação dessa rede, conectada à avenida Antônio Sestak no PQ24. Durante a inspeção da rua Pinus, entre PV25 e PQ28, foi notada uma deficiência na verificação da velocidade de escoamento no trecho PV27 – PQ28, onde a velocidade excede em 0,47 m/s o limite de 5,00 m/s, indicando uma condição preocupante para o sistema de drenagem. Similarmente, na rua Cidreira, entre PV31 e PV32, foi registrada uma velocidade de 5,12 m/s, ultrapassando o limite recomendado. No segmento do PQ28 ao PQ24, foram identificadas velocidades excessivas entre o PQ28 e PV34, destacando desafios significativos na gestão do escoamento pluvial na região.

Diante dessas constatações, ações corretivas tornam-se imperativas. Uma análise aprofundada do dimensionamento hidráulico da rede de galerias pode ser realizada para identificar e corrigir possíveis inadequações no projeto original, visando reduzir as velocidades de escoamento excessivas. Além disso, a implementação de dispositivos de controle de velocidade, como dissipadores de energia ou dispositivos de regulação de vazão, pode ser considerada para diminuir as velocidades nos trechos críticos da rede. Adicionalmente, a adoção de programas regulares de manutenção preventiva, incluindo limpeza e inspeção das tubulações, é fundamental para prevenir obstruções e acúmulos de sedimentos, garantindo o funcionamento eficiente do sistema de drenagem e mitigando os riscos de problemas hidráulicos.

No contexto dos trechos da rede de drenagem em análise, onde não são encontradas estruturas coletoras (bocas de lobo), a vazão permaneceu constante. Embora todos os segmentos da Rua Açaí tenham passado na verificação de  $k$  e  $\theta$ , os trechos PQ28 – PQ33 e PQ33 – PV34 apresentaram velocidades excessivas, indicando possíveis problemas de capacidade hidráulica nesses locais. Para mitigar esses problemas, pode-se considerar a implementação de dispositivos de controle de velocidade, como dissipadores de energia ou dispositivos de regulação de vazão. Além disso, no ponto final da rede de drenagem, conectado ao dissipador, ocorre uma travessia na BR-272, realizada por meio de uma tubulação de aço com diâmetro de 1400mm. Ao examinar a rede a partir do PQ24, que recebe a vazão do PQ23 (Avenida Antônio Sestak) e do PV36 (Rua Açaí), até o dissipador, observou-se que nenhum trecho passou pela verificação da constante " $k$ " e ângulo central ( $\theta$ ), resultando em valores discrepantes para a relação  $h/D$  e a velocidade ( $V$ ). Isso sugere a possibilidade de restrições hidráulicas ao longo desses trechos, o que pode ser corrigido por meio da revisão do dimensionamento hidráulico da rede e possíveis ajustes na inclinação das tubulações.

Na segunda análise da rede de drenagem pluvial do bairro Jardim Canadá, foram incluídas as galerias pluviais do bairro Cidade Alta e da Avenida Santos Dumont. A influência dessas galerias, delineada em projeto, pode afetar o dimensionamento e o desempenho da rede de drenagem. A conexão da galeria pluvial do bairro Cidade Alta ocorre no PV31, na interseção da Rua Ouro Branco com a Rua das Sphatodias, enquanto da Avenida Santos Dumont é no PV15, no cruzamento da Avenida Dr. Rosalvo Gouveia de Mello Leitão com a Avenida Antônio Sestak. A identificação desses pontos foi realizada in loco.

As obras na Avenida Santos Dumont já foram concluídas, e é notável que a tubulação da Rua Manuel Pereira Melo tem diâmetro de 800mm, conectando-se ao PV15, que continua com uma tubulação de 600mm. A análise revelou que a capacidade de vazão da rede existente não é suficiente para lidar com as vazões adicionais das galerias anexas, agravando os problemas identificados no primeiro dimensionamento. Isso evidencia a necessidade de revisão do dimensionamento hidráulico e possíveis adequações nas tubulações para assegurar a funcionalidade da rede de drenagem.

Diante dos desafios identificados na análise da rede de drenagem pluvial do bairro Jardim Canadá, algumas soluções podem ser consideradas para mitigar os problemas observados. Uma possível abordagem seria a ampliação da capacidade de



vazão da rede, através do aumento do diâmetro das tubulações em pontos estratégicos. Além disso, a instalação de estruturas de controle de vazão, como caixas de retenção, poderia ajudar a regular o fluxo de água, evitando sobrecargas no sistema. Outra medida seria o aprimoramento da manutenção preventiva da rede, incluindo a limpeza periódica das galerias pluviais para evitar obstruções. A implementação de tecnologias de gerenciamento de águas pluviais, como o uso de pavimentos permeáveis e áreas verdes, também poderia contribuir para reduzir a quantidade de água que ingressa no sistema de drenagem. Essas soluções, quando combinadas de forma integrada, têm o potencial de melhorar significativamente a eficiência e a resiliência da rede de drenagem pluvial do bairro Jardim Canadá.

### Comentários finais

Este estudo empreendeu uma investigação abrangente da rede de drenagem pluvial urbana no bairro Jardim Canadá, utilizando uma combinação de mapas, projetos e análises in loco. O objetivo central foi avaliar a eficácia e a capacidade operacional da infraestrutura existente, considerando as áreas de escoamento superficial e suas respectivas demandas de vazão. Inicialmente, foi realizado um levantamento minucioso de toda a infraestrutura da rede de drenagem pluvial, proporcionando um mapeamento detalhado e preciso das suas características. Posteriormente, foram realizados cálculos para determinar as áreas de escoamento superficial que contribuem para a rede, juntamente com as vazões correspondentes. Além disso, foi identificada a incorporação das redes de galerias pluviais dos bairros Cidade Alta e Avenida Santos Dumont à rede em análise, o que impactou significativamente a capacidade de escoamento desta última. A análise subsequente, utilizando o método racional, revelou desafios significativos na rede de drenagem, evidenciando sobrecargas e altas velocidades em diversos trechos, mesmo antes da consideração das vazões adicionais.

A partir dessas constatações, tornou-se evidente a necessidade de intervenções corretivas para melhorar a funcionalidade e a capacidade de escoamento da rede de drenagem pluvial. Possíveis soluções incluem o aumento da capacidade hidráulica de trechos estratégicos da rede, por meio do dimensionamento adequado das tubulações e a instalação de estruturas de controle de vazão, como caixas de retenção. Além disso, a implementação de práticas de gestão sustentável de águas pluviais, como a introdução de pavimentos permeáveis e áreas verdes, poderia contribuir para reduzir a quantidade de água que ingressa na rede.

Em suma, este estudo forneceu uma compreensão aprofundada dos desafios enfrentados pela rede de drenagem pluvial no bairro Jardim Canadá, ressaltando a importância de investimentos contínuos em infraestrutura de drenagem urbana. Espera-se que essas informações sirvam como base para futuras intervenções e melhorias na gestão das águas pluviais no município de Goioerê, contribuindo para a resiliência e sustentabilidade das áreas urbanas.

### Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão pelo apoio recebido.

### Referências Bibliográficas

AZEVEDO NETTO, J. M. A. Manual de Hidráulica. 8.ed. São Paulo., Editora Edgar Bucher, 1998

BASSO, L.; WEIXTER, C. A.; SILVA, B. M.; ALMEIDA, F. C. Gerenciamento da Drenagem Urbana. Um Desafio Multidisciplinar e Multissetorial, Três Lagoas, MS, v. 15, ed. 1, 2018.

BRASIL. Lei n.10.257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 2001. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm)>. Acesso em: 11 mar. 2022.

Castro, R.; Melo, A.; 2018. Evaluation of the efficiency of drainage systems in urban areas. In Procedia Engineering, Vol. 212, pp. 1046-1053. Elsevier.

Cruz, J.; Silva, M.; 2019. Impact of street slope on urban drainage performance. Journal of Hydrology, 574, 890-900.

Smith, R.; Johnson, K.; 2020. Effect of pipe slope on drainage performance in urban areas. Urban Water Journal, 17(2), 112-124.

DAL-PRÁ, L. Drenagem Urbana: Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar. O Paraná em debate, 2016. Disponível em: . Acesso em: 19 set. 2022.

FENDRICH, Roberto. Chuvas Intensas para Obras de Drenagem. 2. Ed. Curitiba: Champagnat. 1998.

Fok, L.; Wong, T.; Leung, W.; 2015. Improvement of urban drainage system through pipe size optimization. In Procedia Engineering, Vol. 119, pp. 952-961. Elsevier.

MELO, J. A., SOUZA, C. S., & SILVA, L. R. Desafios da drenagem urbana no Brasil: planejamento estratégico para a gestão das águas pluviais. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.

Smith, R.; Johnson, K.; 2020. Effect of pipe slope on drainage performance in urban areas. Urban Water Journal, 17(2), 112-124.





# AVALIAÇÃO DA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL NA ÁREA CENTRAL DE CAMPO MOURÃO: UM ESTUDO COMPARATIVO UTILIZANDO O ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL (IMUS)

1Isabela Coimbra Amaral, 2Paula Cristina de Souza 3Gabriela Maciel de Souza,  
4Gabriel de Freitas Mendonça Junior

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: paulasouza@utfpr.edu.br ; 2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: isabelaamaral@alunos.utfpr.edu.br ; 3 Universidade de São Paulo, e-mail: gabrielamacielsouza@usp.br; 4 Centro Universitário Integrado, e-mail: gabrielmendoncajunior@gmail.com

**Palavras-chave:** Desafios urbanos, gestão de cidades e dinâmicas urbanas

## Resumo

A mobilidade urbana é crucial para o desenvolvimento sustentável das cidades, especialmente em áreas metropolitanas densamente povoadas, onde o aumento populacional gera impactos expressivos a curto e longo prazo. O Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS), desenvolvido por Costa (2008), surge como uma ferramenta valiosa para analisar e melhorar os aspectos sociais, econômicos e ambientais da mobilidade urbana. Este estudo concentra-se na avaliação da mobilidade urbana sustentável na área central de Campo Mourão, utilizando o IMUS como ferramenta de análise. Os objetivos incluem calcular o IMUS, analisar estratégias para mobilidade sustentável e comparar os resultados com outras cidades similares. Os resultados obtidos revelam uma situação preocupante em Campo Mourão, destacando a necessidade de ações corretivas e investimentos estratégicos para melhorar a infraestrutura e os serviços de transporte na região. Os resultados desta pesquisa representam uma análise abrangente da mobilidade urbana sustentável na área central de Campo Mourão. Ao calcular o IMUS e examinar 87 indicadores distintos, foram identificadas lacunas significativas na mobilidade urbana da cidade. A comparação com Curitiba, uma referência internacional em mobilidade urbana sustentável, evidencia disparidades marcantes, ressaltando a necessidade de investimentos e políticas direcionadas para melhorar a eficiência e a sustentabilidade do transporte urbano em Campo Mourão.

Para enfrentar esses desafios, é essencial promover investimentos em transporte público, infraestrutura cicloviária e políticas de planejamento urbano sustentável. Além disso, é crucial considerar as especificidades locais e as demandas da população ao formular e implementar políticas e projetos de mobilidade urbana. A participação ativa da comunidade, o envolvimento de stakeholders e parcerias público-privadas podem ser instrumentos poderosos para impulsionar o progresso nessa área crucial para o desenvolvimento urbano sustentável.

## Introdução

A mobilidade urbana é um tema que remonta aos primórdios da civilização humana, sendo intrínseco à própria evolução das cidades. Desde os tempos antigos, as sociedades têm buscado meios eficazes de deslocamento dentro de seus espaços urbanos, inicialmente através de sistemas rudimentares que evoluíram ao longo dos séculos. No entanto, foi com o advento da Revolução Industrial e o subsequente crescimento acelerado das cidades que a mobilidade urbana se tornou um desafio cada vez mais premente.

Neste contexto, diversas cidades ao redor do mundo se destacaram como modelos de gestão em mobilidade urbana, implementando políticas e projetos inovadores para enfrentar os desafios do transporte nas áreas urbanas. Cidades como Copenhague, na Dinamarca, e Curitiba, no Brasil, são frequentemente citadas como exemplos de sucesso na promoção da mobilidade sustentável. Em Copenhague, por exemplo, a ênfase no transporte público, na infraestrutura cicloviária e na integração entre os modos de transporte tem sido fundamental para reduzir a dependência do automóvel e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. Já em Curitiba, o sistema BRT (Bus Rapid Transit), pioneiro no mundo, revolucionou o transporte coletivo urbano, proporcionando eficiência e acessibilidade para a população.

Essas cidades modelo de gestão em mobilidade urbana inspiram e fornecem importantes lições para outras localidades enfrentarem seus próprios desafios de transporte urbano. Autores como Jan Gehl, urbanista dinamarquês conhecido por sua abordagem centrada no ser humano para o design urbano, e Jaime Lerner, ex-prefeito de Curitiba e arquiteto responsável pela implementação do sistema BRT na cidade, têm contribuído significativamente para o desenvolvimento de teorias e práticas que promovem uma mobilidade urbana mais sustentável e inclusiva.

A qualidade da mobilidade urbana é um elemento crucial para o desenvolvimento sustentável das cidades, especialmente em regiões metropolitanas densamente povoadas. O aumento populacional tem gerado impactos expressivos, tanto a curto quanto a longo prazo, afetando não apenas o presente, mas também comprometendo o bem-estar das gerações futuras. Nesse contexto, torna-se fundamental compreender e aprimorar a mobilidade urbana, visando atender às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades.

O Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS), desenvolvido por Costa (2008), surge como uma ferramenta valiosa nesse cenário. Fundamentado em premissas que englobam os aspectos sociais, ambientais e econômicos da mobilidade





urbana, o IMUS proporciona uma análise abrangente da situação de uma cidade, permitindo identificar áreas de melhoria e subsidiando a formulação de políticas públicas eficazes.

Diante da complexidade dos desafios enfrentados pelas áreas urbanas, o IMUS destaca-se como um instrumento capaz de fornecer uma compreensão holística da mobilidade urbana, abordando desde questões tradicionais até aspectos relacionados à sustentabilidade. Com sua estrutura composta por diversos domínios, temas e indicadores, o IMUS oferece uma visão detalhada e multifacetada da realidade urbana, possibilitando a análise comparativa entre diferentes localidades.

Nesse contexto, o presente estudo propõe-se a avaliar a mobilidade urbana sustentável na área central do município de Campo Mourão, utilizando o IMUS como ferramenta de análise. O objetivo geral é realizar uma análise dos índices referentes à mobilidade urbana sustentável nessa região específica, enquanto os objetivos específicos incluem o cálculo do IMUS, a análise dos efeitos de estratégias voltadas para a mobilidade sustentável e a comparação dos resultados obtidos com cidades que possuem o IMUS calculado.

Compreender a situação atual da mobilidade urbana em Campo Mourão e compará-la com outras cidades proporcionará insights valiosos para a formulação de políticas e a implementação de medidas que promovam a mobilidade sustentável. Além disso, o estudo contribuirá para uma compreensão mais ampla das dinâmicas urbanas em jogo, destacando desafios e oportunidades específicos da região. Em última análise, busca-se não apenas melhorar a qualidade de vida dos habitantes de Campo Mourão, mas também contribuir para o desenvolvimento sustentável da cidade e das gerações futuras.

### Metodologia

O Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) é uma ferramenta que auxilia no estudo e monitoramento da mobilidade urbana e no desenvolvimento de políticas públicas que visam um sistema de mobilidade sustentável e qualidade de vida (Costa, 2008). Sua estrutura é composta por 9 Domínios, divididos em 37 Temas e 87 Indicadores. Essa composição inclui temas tradicionais e temas relacionados à mobilidade sustentável que podem ser adaptados à realidade da cidade a que se aplica.

Os indicadores são pontuados por meio de um sistema de ponderação que reconhece as contribuições relativas de cada elemento e os certifica individualmente e em grupos, permitindo incorporar os índices ou usá-los para criar políticas de mobilidade direcionadas, permitindo o uso eficiente de recursos (Miranda, 2010).

Como verificado, o índice IMUS requer um número grande de dados e informações para poder ser calculado. Como alguns dos dados podem estar indisponíveis ou não ser de fontes seguras, a avaliação desses dados se torna inviável. Portanto, previamente será feita uma consulta para determinar quais dados estão disponíveis para fazer parte do cálculo. Para verificar a disponibilidade das informações, será feita a classificação de Curto, Médio e Longo prazo, assim como da qualidade, que pode ser Alta, Média ou Baixa.

No caso de dados não disponíveis, os cálculos dos seus indicadores ficam impossibilitados de serem calculados. No entanto, como já citado na fundamentação teórica, o IMUS é uma ferramenta adaptável, e seu sistema de pesos colabora para a compensação dos dados ausentes.

Os pesos dos indicadores de um tema são igualmente distribuídos, e na falta de um indicador, o peso é distribuído aos demais, possibilitando o cálculo do tema. Os temas também possuem pesos, seguindo a mesma lógica anterior na falta de dados, o que possibilita o cálculo do domínio.

Apesar da distribuição de pesos ser um ponto favorável para possibilitar a aplicação do IMUS, é necessário ressaltar que essa distribuição pode encobrir problemas dos indicadores. Um tema pode apresentar um bom resultado, e mesmo assim ter um indicador com problemas.

O cálculo dos indicadores no Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) é diversificado e não segue um padrão único para todos os indicadores. Alguns indicadores requerem informações espaciais, enquanto outros exigem cruzamento de dados. A aplicação dos cálculos para cada indicador específico é detalhada no Guia de Indicadores do IMUS (Costa, 2008). Este guia estabelece as diretrizes para os indicadores, incluindo sua definição, unidade de medida, referências, relevância, contribuição, pesos atribuídos, dados de base necessários, fontes de dados recomendadas, método de cálculo e critérios de normalização e avaliação. Essas informações são essenciais para garantir a consistência e precisão na análise da mobilidade urbana sustentável.

O resultado do Índice de Mobilidade Urbana Sustentável varia de zero (0,00) até um (1,00), sendo que um valor superior a 0,50 é considerado um resultado positivo, pois fica acima do valor médio da escala. Os domínios podem ser classificados individualmente, possibilitando a compreensão da eficiência das políticas de mobilidade urbana.

Ao final, os resultados obtidos serão comparados com estudos de outras cidades. Para tal, será necessária a adaptação dos dados dos estudos atual e dos correlatos, utilizando apenas os indicadores existentes em ambos os estudos.

Para a aplicação do método IMUS, foi escolhida a cidade de Campo Mourão, uma região do estado do Paraná, sendo o 21º município mais populoso do estado, com aproximadamente 96.102 habitantes e 787,55 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). A localização privilegiada da região do Centro-Oeste do Paraná a coloca na rota integrada entre os grandes centros urbanos do país e o Mercosul.

O agronegócio é a principal atividade econômica da cidade, com destaque para o cultivo de soja e milho. Além disso, a cidade conta com uma unidade das maiores empresas processadoras de carne. O processamento de grãos e a produção de carne de aves são fatores-chave que contribuem para a geração de emprego e renda e para a consolidação da cidade como Polo Alimentar Brasileiro (Prefeitura de Campo Mourão).



### Resultados e Discussão

O Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) é uma ferramenta essencial para avaliar a eficiência e sustentabilidade da mobilidade urbana em diferentes localidades. No caso específico de Campo Mourão, aplicando a metodologia apresentada por Costa (2008), a análise revela um desempenho global modesto, indicando a necessidade de melhorias em diversos aspectos da mobilidade urbana no centro da cidade. O IMUS global calculado para a área central de Campo Mourão é de 0,375, indicando um desempenho modesto em termos de mobilidade urbana sustentável.

Ao desmembrar esse índice nas dimensões social, econômica e ambiental, observamos que todas apresentam valores relativamente baixos: 0,131, 0,123 e 0,121, respectivamente. Embora a dimensão social se destaque ligeiramente, a diferença entre as pontuações é mínima, sugerindo que todas as áreas estão igualmente carentes de melhorias. Os resultados do estudo apontam que, embora a dimensão social se destaque ligeiramente em relação às outras, todas as dimensões - social, econômica e ambiental - demonstram pontuações abaixo do ideal. Isso sugere que existem deficiências significativas que afetam a mobilidade urbana, refletindo em um baixo índice geral de aproveitamento, o que indica a urgência de intervenções para promover melhorias.

Foi realizada uma simulação com os valores não calculados em dois cenários para análise. O primeiro cenário foi estimado os valores dos índices não calculados com uma média de valores esperados para eles (0,50) e no segundo cenário foi feito com os valores máximos (1,00) para a análise dos resultados finais com uma pontuação positiva. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1: Simulação para valores não calculados**

Dimensão IMUS	Valor Normalizado	Valor Estimado	Valor máximo
IMUS global	0,375	0,5	0,622
IMUS social	0,131	0,171	0,212
IMUS econômica	0,123	0,163	0,202
IMUS ambiental	0,121	0,164	0,207

Ao simular os valores dos índices não calculados em dois cenários distintos, observou uma grande discrepância entre os valores normalizados e os valores estimados ou máximos. Mesmo com essa correção, os valores permanecem abaixo do ideal, ressaltando a necessidade de aprimoramento em todas as áreas analisadas.

Uma análise mais detalhada dos indicadores revela que alguns aspectos da mobilidade urbana, como o transporte público e a acessibilidade, apresentam resultados positivos. No entanto, outros aspectos, como o planejamento integrado e a conformidade com a legislação urbanística, ainda carecem de melhorias significativas. Vários fatores podem contribuir para os resultados modestos observados no IMUS de Campo Mourão. Em primeiro lugar, é importante considerar o crescimento urbano desordenado e a falta de planejamento integrado. O rápido crescimento populacional e a expansão urbana descontrolada podem sobrecarregar a infraestrutura existente, resultando em congestionamentos, poluição e falta de acessibilidade.

Uma comparação com a cidade de Curitiba pode ser observada no Quadro 2, onde destaca ainda mais as deficiências de Campo Mourão em relação à mobilidade urbana sustentável.

**Quadro 2: Comparação de scores Campo Mourão e Curitiba**

Dimensão IMUS	Valor Normalizado	
	Campo Mourão	Curitiba
IMUS global	0,375	0,745
IMUS social	0,131	0,255
IMUS econômica	0,123	0,25
IMUS ambiental	0,121	0,249

Os índices de Curitiba são significativamente mais altos em todas as dimensões avaliadas, sugerindo que a capital paranaense possui um planejamento e gestão urbanos mais eficientes. A comparação entre Campo Mourão e Curitiba destaca ainda mais as deficiências da primeira em relação à segunda. Curitiba supera significativamente Campo Mourão em todos os aspectos avaliados, o que sugere que a capital paranaense possui um planejamento e gestão urbanos mais eficientes.

Para melhorar sua mobilidade urbana e promover um desenvolvimento sustentável, Campo Mourão precisa investir na



expansão e na melhoria de sua coleta de dados, além de promover pesquisas e iniciativas específicas nesse campo. Inspirar-se em casos de sucesso, como o de Curitiba, pode fornecer insights valiosos para a cidade melhorar sua infraestrutura e serviços urbanos, elevando assim a qualidade de vida de seus habitantes e sua competitividade no cenário regional.

Em suma, os resultados do IMUS em Campo Mourão destacam a necessidade urgente de intervenções para promover uma mobilidade urbana mais sustentável. Recomenda-se que a cidade invista em políticas e projetos que promovam o transporte público, incentivem o uso de meios de transporte alternativos e promovam um crescimento urbano mais ordenado e sustentável.

Além disso, é fundamental que Campo Mourão melhore sua coleta de dados e promova pesquisas e iniciativas focadas em mobilidade urbana. Inspirar-se em casos de sucesso, como o de Curitiba, pode fornecer insights valiosos para a cidade melhorar sua infraestrutura e serviços urbanos, elevando assim a qualidade de vida de seus habitantes e sua competitividade no cenário regional.

Jeffrey Tumlin, em seus estudos sobre mobilidade urbana sustentável nos Estados Unidos, analisou cidades como São Francisco, Portland e Seattle. Em seu livro "Sustainable Transportation Planning: Tools for Creating Vibrant, Healthy, and Resilient Communities" (2012), Tumlin enfatizou a importância de políticas de transporte orientadas para o uso do solo e de investimentos em transporte público para reduzir a dependência de veículos motorizados e promover uma mobilidade mais sustentável. Seus resultados mostraram que cidades que adotaram políticas de transporte mais progressistas experimentaram reduções significativas nas emissões de carbono e congestionamento, além de melhorias na qualidade do ar e na saúde pública.

Ao considerar os resultados desses estudos em conjunto com o nosso próprio estudo sobre mobilidade urbana sustentável em Campo Mourão, fica evidente que investimentos em transporte público, infraestrutura cicloviária e design urbano voltado para as pessoas são essenciais para promover uma mobilidade mais sustentável e inclusiva em diferentes cidades ao redor do mundo.

Além das análises específicas sobre Campo Mourão e Curitiba, o estudo de Miranda (2010) fornece uma perspectiva valiosa sobre a mobilidade urbana sustentável. Ao desenvolver o Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) e aplicá-lo em diferentes localidades, Miranda oferece insights sobre os desafios e oportunidades enfrentados pelas cidades brasileiras em relação à mobilidade urbana. Seu estudo destaca a importância de avaliar quantitativa e qualitativamente diversos aspectos relacionados à mobilidade, incluindo cenários essenciais como os sociais, econômicos e ambientais.

Ao comparar os resultados obtidos em Campo Mourão com os estudos de Miranda, observamos que ambas as análises convergem em apontar a necessidade de melhorias significativas na mobilidade urbana. Enquanto o IMUS de Campo Mourão indica um desempenho modesto, com valores baixos em todas as dimensões avaliadas, o estudo de Miranda provavelmente encontrou padrões semelhantes em outras cidades brasileiras. Isso sugere que os desafios enfrentados por Campo Mourão são representativos de problemas mais amplos relacionados à mobilidade urbana no país.

No entanto, é importante ressaltar que cada cidade possui suas características únicas e enfrenta desafios específicos em relação à mobilidade urbana. Portanto, é essencial adaptar estratégias e políticas para atender às necessidades e peculiaridades de cada localidade. Enquanto algumas cidades podem se beneficiar de investimentos em transporte público e infraestrutura cicloviária, outras podem exigir soluções mais voltadas para o planejamento urbano e uso do solo.

Nesse sentido, os estudos de Winston (2022), Tang et al. (2021), e Frackelton et al. (2013) oferecem abordagens e ferramentas que podem ser adaptadas e aplicadas em diferentes contextos urbanos. Ao integrar os resultados desses estudos com os resultados obtidos em Campo Mourão e as análises de Miranda, os gestores públicos e planejadores urbanos podem desenvolver estratégias mais eficazes para promover uma mobilidade urbana sustentável e melhorar a qualidade de vida nas cidades brasileiras.

A análise comparativa dos resultados obtidos em Campo Mourão, Curitiba e Goiânia, conforme apresentado por ABDALA (2013), revela uma diversidade significativa nos níveis de mobilidade urbana sustentável entre essas cidades. Ao examinar essas discrepâncias, é possível perceber não apenas as diferenças numéricas nos índices de mobilidade, mas também as implicações profundas que essas disparidades têm no desenvolvimento urbano e na qualidade de vida dos cidadãos. Enquanto Campo Mourão exibe um desempenho modesto, com um IMUS global de 0,375, e Curitiba se destaca significativamente com um IMUS global de 0,745, Goiânia apresenta um valor intermediário, registrando um IMUS global de 0,658. Essa variação substancial nos resultados sugere disparidades marcantes nas políticas de mobilidade urbana e na infraestrutura entre as três cidades, refletindo diferentes abordagens e níveis de comprometimento com a sustentabilidade em suas estratégias urbanas. Este contraste destaca a importância premente de uma análise mais aprofundada para compreender as especificidades de cada contexto urbano e direcionar intervenções específicas que abordem os desafios únicos enfrentados por cada localidade. A comparação entre essas cidades ressalta a complexidade e a diversidade dos fatores que influenciam a mobilidade urbana sustentável, enfatizando, assim, a importância crítica de políticas adaptadas e soluções personalizadas para promover uma melhoria significativa nesse aspecto crucial do desenvolvimento urbano. A necessidade de uma abordagem holística e contextualizada para lidar com as questões de mobilidade urbana se torna evidente diante dessas discrepâncias, destacando a urgência de ações coordenadas e direcionadas para alcançar um futuro urbano mais sustentável e inclusivo para todas as cidades.

A análise dos resultados também revela que, apesar de Goiânia ainda não ter alcançado níveis plenamente satisfatórios de sustentabilidade, o valor calculado indica que a cidade está dando os primeiros passos em direção aos princípios da mobilidade urbana sustentável. Este dado destaca a importância crítica de avaliações contínuas e monitoramento da mobilidade urbana, bem como a necessidade premente de implementação de políticas públicas eficazes que promovam o uso racional do espaço urbano e dos modos de transporte. Além disso, ressalta a urgência de intervenções direcionadas para melhorar a qualidade de vida e a





sustentabilidade das cidades brasileiras como um todo.

Portanto, ao considerar os resultados de Campo Mourão, Curitiba e estudos anteriores mencionados, torna-se evidente que a mobilidade urbana sustentável é um desafio complexo que requer uma abordagem integrada e multifacetada. Somente por meio de investimentos coordenados e políticas abrangentes, as cidades podem enfrentar os desafios da mobilidade urbana e criar ambientes urbanos mais sustentáveis, inclusivos e resilientes para seus habitantes. A análise aprofundada desses resultados destaca a necessidade de medidas concretas e estratégias específicas adaptadas às necessidades individuais de cada localidade, a fim de alcançar uma mobilidade urbana verdadeiramente sustentável em todo o país.

### Considerações Finais

O Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS) é uma ferramenta essencial para avaliar a eficiência e sustentabilidade da mobilidade urbana em diferentes localidades. No caso específico de Campo Mourão, aplicando a metodologia apresentada por Costa (2008), a análise revela um desempenho global modesto, indicando a necessidade de melhorias em diversos aspectos da mobilidade urbana no centro da cidade. O IMUS global calculado para a área central de Campo Mourão é de 0,375, indicando um desempenho modesto em termos de mobilidade urbana sustentável.

Ao desmembrar esse índice nas dimensões social, econômica e ambiental, observamos que todas apresentam valores relativamente baixos: 0,131, 0,123 e 0,121, respectivamente. Embora a dimensão social se destaque ligeiramente, a diferença entre as pontuações é mínima, sugerindo que todas as áreas estão igualmente carentes de melhorias.

Os resultados do estudo apontam que, embora a dimensão social se destaque ligeiramente em relação às outras, todas as dimensões - social, econômica e ambiental - demonstram pontuações abaixo do ideal. Isso sugere que existem deficiências significativas que afetam a mobilidade urbana, refletindo em um baixo índice geral de aproveitamento, o que indica a urgência de intervenções para promover melhorias.

Foi realizada uma simulação com os valores não calculados em dois cenários para análise. O primeiro cenário foi estimado os valores dos índices não calculados com uma média de valores esperados para eles (0,50) e no segundo cenário foi feito com os valores máximos (1,00) para a análise dos resultados finais com uma pontuação positiva.

Ao simular os valores dos índices não calculados em dois cenários distintos, observou-se uma grande discrepância entre os valores normalizados e os valores estimados ou máximos. Mesmo com essa correção, os valores permanecem abaixo do ideal, ressaltando a necessidade de aprimoramento em todas as áreas analisadas.

Uma análise mais detalhada dos indicadores revela que alguns aspectos da mobilidade urbana, como o transporte público e a acessibilidade, apresentam resultados positivos. No entanto, outros aspectos, como o planejamento integrado e a conformidade com a legislação urbanística, ainda carecem de melhorias significativas.

Vários fatores podem contribuir para os resultados modestos observados no IMUS de Campo Mourão. Em primeiro lugar, é importante considerar o crescimento urbano desordenado e a falta de planejamento integrado. O rápido crescimento populacional e a expansão urbana descontrolada podem sobrecarregar a infraestrutura existente, resultando em congestionamentos, poluição e falta de acessibilidade.

Uma comparação com a cidade de Curitiba destaca ainda mais as deficiências de Campo Mourão em relação à mobilidade urbana sustentável. Os índices de Curitiba são significativamente mais altos em todas as dimensões avaliadas, sugerindo que a capital paranaense possui um planejamento e gestão urbanos mais eficientes. A comparação entre Campo Mourão e Curitiba destaca ainda mais as deficiências da primeira em relação à segunda. Curitiba supera significativamente Campo Mourão em todos os aspectos avaliados, o que sugere que a capital paranaense possui um planejamento e gestão urbanos mais eficientes.

Para melhorar sua mobilidade urbana e promover um desenvolvimento sustentável, Campo Mourão precisa investir na expansão e na melhoria de sua coleta de dados, além de promover pesquisas e iniciativas específicas nesse campo. Inspirar-se em casos de sucesso, como o de Curitiba, pode fornecer insights valiosos para a cidade melhorar sua infraestrutura e serviços urbanos, elevando assim a qualidade de vida de seus habitantes e sua competitividade no cenário regional.

Em suma, os resultados do IMUS em Campo Mourão destacam a necessidade urgente de intervenções para promover uma mobilidade urbana mais sustentável. Recomenda-se que a cidade invista em políticas e projetos que promovam o transporte público, incentivem o uso de meios de transporte alternativos e promovam um crescimento urbano mais ordenado e sustentável. Além disso, é fundamental que Campo Mourão melhore sua coleta de dados e promova pesquisas e iniciativas focadas em mobilidade urbana. Inspirar-se em casos de sucesso, como o de Curitiba, pode fornecer insights valiosos para a cidade melhorar sua infraestrutura e serviços urbanos, elevando assim a qualidade de vida de seus habitantes e sua competitividade no cenário regional.

### Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, pelo apoio recebido.

### Referências Bibliográficas

ABDALA, Ivanilde Maria de Rezende. APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL (IMUS) EM GOIÂNIA. 2013. 204 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, GOIÂNIA, 2013.



BLUM, M. D. C. Índice de Mobilidade Urbana Sustentável (IMUS): série histórica para Porto Alegre (2008-2018). Dissertação (Bacharel em Ciências Econômicas) - Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/225746>. Acesso em 8 de maio de 2022.

COSTA, M. S. Um Índice de Mobilidade Urbana Sustentável. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-01112008-200521/publico/Tese\\_MCOSTA.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-01112008-200521/publico/Tese_MCOSTA.pdf). Acesso em 8 de maio de 2022.

Frackelton, A., Grossman, A., Palinginis, E., Castrillon, F., Elango, V., & Guensler, R. (2013). Measuring walkability: Development of an automated sidewalk quality assessment tool. *Suburban Sustainability*, 1(1), 1–15. <https://doi.org/10.5038/2164-0866.1.1.4>.

Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C., & Pratlong, F. (2021). Introducing the "15-Minute City": Sustainability, resilience and place identity in future post-pandemic cities. *Smart Cities*, 4(1), 93–111. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010006>

Smith, V., Malik, J., & Culler, D. (2013). Classification of sidewalks in street view images. In 2013 International Computing Conference Proceedings, Arlington, VA, (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/IGCC.2013.6604476>

Zapata-Diomedes, B., Boulangé, C., Giles-Corti, B., Phelan, K., Washington, S., Veerman, J. L., & Gunn, L. D. (2019). Physical activity-related health and economic benefits of building walkable neighbourhoods: A modelled comparison between brownfield and greenfield developments. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 16(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0775-8>

Winston, N. (2022). Sustainable community development: Integrating social and environmental sustainability for sustainable housing and communities. *Sustainable Development*, 30(1), 191–202. <https://doi.org/10.1002/sd.2238>.

Tang, B., Ho, W. K. O., & Wong, S. W. (2021). Sustainable development scale of housing estates: An economic assessment using machine learning approach. *Sustainable Development*, 29(4), 708–718. <https://doi.org/10.1002/sd.2168>.



# METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO VIÁRIA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE

1Helbert Gil Loureiro, 2Andreza Santana Moreira, 3Rocheli Carnaval Cavalcanti, 4Ana Paula Silva Teles e 5Ana Claudia Marques

1 Universidade Católica Dom Bosco, e-mail: [helbert.loureiro@hotmail.com](mailto:helbert.loureiro@hotmail.com); 2 Universidade Católica Dom Bosco, e-mail: [andrezambg@hotmail.com](mailto:andrezambg@hotmail.com); 3 Universidade Católica Dom Bosco, e-mail: [rocheli@ucdb.br](mailto:rocheli@ucdb.br); 4 Universidade Católica Dom Bosco, e-mail: [rf7792@ucdb.br](mailto:rf7792@ucdb.br); 5 Universidade Católica Dom Bosco, e-mail: [professora\\_anamarques@hotmail.com](mailto:professora_anamarques@hotmail.com)

**Palavras-chave:** Sistema de Tráfego; Hierarquização Viária; Mobilidade Urbana.

## Resumo

Antônio João é um município localizado na região sul do Estado de Mato Grosso do Sul, na fronteira com o Paraguai, e possui uma população de 9.303 habitantes. A cidade não tem uma hierarquização viária nem uma padronização de vias estabelecidas em legislação própria, o que torna importante a adoção de uma hierarquia viária bem definida e uma padronização das seções transversais das vias. A pesquisa foi realizada de forma qualitativa e quantitativa, analisando a malha viária urbana e agrupando as vias de acordo com a classificação de hierarquia viária estabelecida no art. 60 da Lei Federal n.º 9.503, de 23 de setembro de 1997, além disso, foram localizados os polos geradores de tráfego. A cidade possui uma malha viária de 41,092 km com um traçado do tipo xadrez, estruturado pelas Avenida Eugênio Penzo e Rua João Nunes. Devido ao porte pequeno da cidade, as vias foram classificadas em: arteriais, coletoras e locais. Quanto aos polos geradores de tráfego, percebe-se que são empreendimentos que geram fluxos de forma pontual, de acordo com o funcionamento do horário do comércio local. Os materiais fornecidos por este estudo, como a planta de seção transversal das vias urbanas e a planta de situação com a classificação viária e localização dos polos geradores de tráfego, poderão servir de base e auxílio para um planejamento por parte do poder público municipal visando um desenvolvimento eficiente, sustentável e integrado do sistema viário.

## Introdução

O sistema viário urbano é um dos elementos que contribuem para a integralidade e eficiência da circulação em prol de uma melhor qualidade de vida, segurança e bem-estar. Os estudos de planejamento viário resultam do diagnóstico dos impactos sobre as vias pelo desenvolvimento urbano, pela circulação viária e pelo fluxo de tráfego, ordenando assim a unificação do zoneamento com o sistema viário. O deslocamento da população entre as diversas áreas urbanas influencia no agrupamento das vias em hierarquias funcionais.

Pela ótica futurista, lógica e racional, as vias precisam ser planejadas seguindo critérios definidos em legislação municipal quanto à padronização da geometria e perfil de seção transversal, considerando o estado atual e futuro de tráfego.

A hierarquização fornece ferramentas que permitem verificar o traçado e identificar os trechos que possuem atribuição incompatível com o fluxo que recebem, permitindo que sejam estabelecidas políticas públicas para ordenamento e reestruturação viária que atendam à acessibilidade e à mobilidade dos cidadãos.

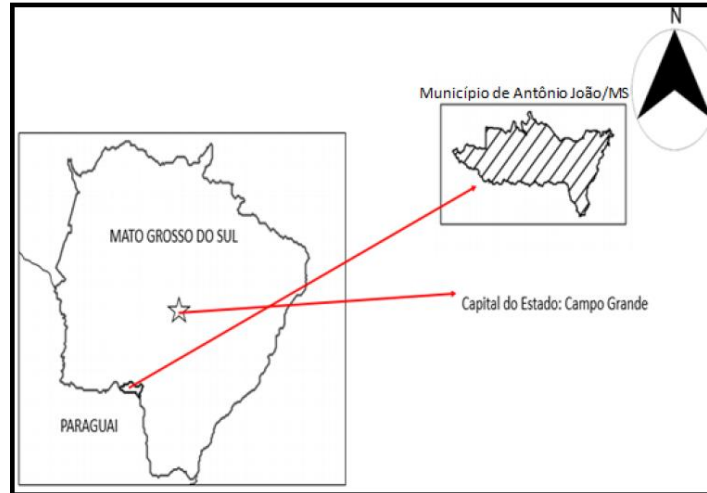
O objetivo deste estudo é classificar as vias urbanas de Antônio João/MS em vias arteriais, coletoras e locais, propondo uma metodologia de hierarquização conforme as funções que exercem no sistema viário.

A escolha da cidade de Antônio João/MS para objeto de estudo foi especialmente em razão dessa urbe não possuir um plano diretor vigente e nem um plano de mobilidade urbana, implicando em um sistema viário não hierarquizado. A relevância deste estudo parte do pressuposto do levantamento e da análise de toda malha viária, resultando em perfis hierárquicos padronizados que poderão auxiliar em políticas públicas de implantação de um sistema viário eficiente e integrado ao desenvolvimento da cidade.

## Material e Métodos

Antônio João é um município localizado na região sul do Estado de Mato Grosso do Sul na fronteira com o Paraguai conforme Figura 1, precisamente na latitude -22°11'28" e longitude -55°56'51", situando-se cerca de 320 km da capital Campo Grande. Possui área territorial de 1.142,895 km<sup>2</sup>; com uma população de 9.303 habitantes (IBGE, 2022).

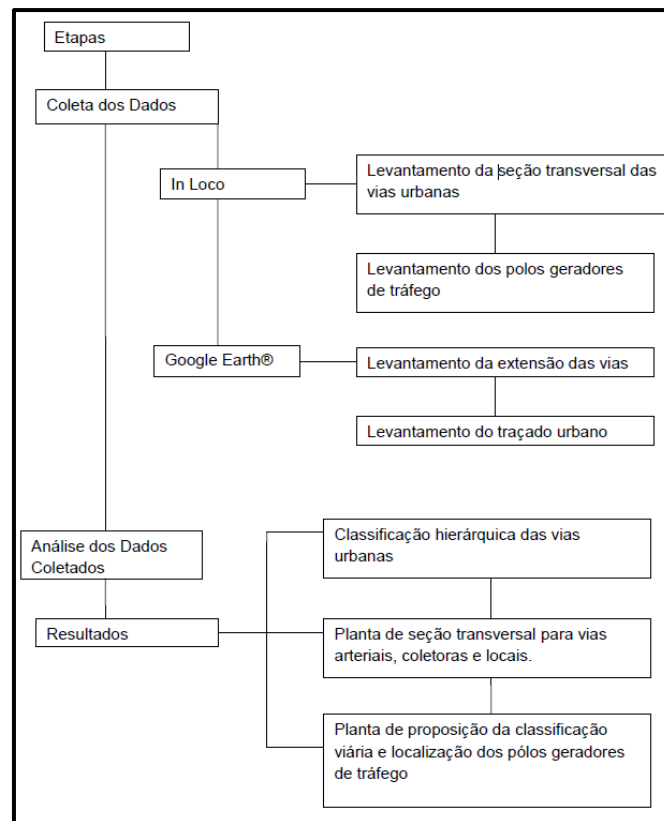




**Figura 1: Localização do município de Antônio João/MS.**

O estudo foi realizado de forma qualitativa e quantitativa, analisando a malha viária urbana de Antônio João/MS e agrupando as vias em três classes: arteriais, coletoras e locais, de acordo com a classificação de hierarquia viária estabelecida no art. 60 da Lei Federal n.º 9.503, de 23 de setembro de 1997.

O fluxograma ilustrado na Figura 2 demonstra os passos seguidos na metodologia deste trabalho.



**Figura 2: Fluxograma dos passos seguidos na metodologia deste trabalho.**

O levantamento da seção transversal das vias urbanas foi realizado por uma equipe de duas pessoas, durante três dias, no período compreendido entre 07h e 11h, e entre as 13h e as 18h. Foi utilizada uma trena de 50 metros para as medições e fichas para anotação dos dados.

As vias foram agrupadas de acordo com a direção em que seguem, ou seja, vias norte-sul e vias leste-oeste. As medições foram feitas em trechos intercalados a cada 100 metros de extensão, primeiro nas vias no sentido norte-sul e depois nas vias no sentido leste-oeste.

Os polos geradores de tráfego foram identificados levando em consideração as atividades ou empreendimentos que causam interferência no tráfego, com suas localizações marcadas.



O levantamento da extensão das vias foi realizado utilizando a ferramenta de medição entre dois pontos do software Google Earth Pro®, na versão gratuita 7.3.0.3832 (32-Bit). Para isso, marcou-se um ponto no início e outro no final da via, permitindo que o software fornecesse a medida da extensão da via.

O Google Earth® foi escolhido por ser uma ferramenta excelente e acessível, que oferece imagens de satélite, informações sobre hidrografia e perfil do terreno, além de possibilitar a medição de distâncias e áreas.

O traçado urbano foi analisado a partir de imagens de satélite do Google Earth®, comparando-o com os quatro tipos de traçados propostos por Silva (2010) e Krüger (2012), no caso: tipo em xadrez, tipo em grelha, tipo rádio concêntrico e tipo cluster.

A análise dos dados foi feita da seguinte forma:

#### a) Classificação hierárquica das vias:

Seguindo o que foi mencionado por Silva (2010) e Brasil (2010), as vias foram agrupadas em três tipos: vias arteriais, vias coletoras e vias locais, de acordo com as seguintes características:

- Vias arteriais: são as vias com largura entre 25 e 40 metros, incluindo avenidas e ruas comerciais, possuem passeios laterais de aproximadamente 2,50 metros, podem ter canteiros centrais e permitem o deslocamento entre diferentes regiões da cidade.

- Vias coletoras: são as vias com largura entre 15 e 25 metros, com passeios laterais de 2 metros, podem ter canteiro central e têm a função de coletar o trânsito das vias locais e distribuir nas vias arteriais.

- Vias locais: são as vias com largura aproximada de 15 metros, com passeios laterais de cerca de 2 metros, sem canteiro central, possuem caráter de ligação residencial.

#### b) Planta de seção transversal das vias urbanas:

Para a elaboração das plantas, foi utilizado o software AutoCAD® 2016, versão estudantil em língua inglesa, da empresa Autodesk. Foram feitos três tipos de plantas de seções transversais para as vias existentes: via arterial, via coletora e via local, na escala 15:1 para melhor visualização, com a apresentação das larguras das pistas, das faixas de rolamento e dos passeios laterais.

Durante a elaboração dos perfis de seção transversal, foram analisados os seguintes quesitos propostos por Brasil (2010), relacionados abaixo:

- Calçada: Para o estudo, foram adotadas as seguintes larguras: 4,00 m em vias arteriais, que atravessam áreas comerciais e industriais; 2,50 m em vias coletoras, que atendem principalmente áreas comerciais e residenciais; e 1,80 m em vias locais, que recebem o fluxo dos próprios moradores.

- Faixas de Serviço: Para o estudo, foram adotadas as seguintes larguras: 1,00 m em vias arteriais e em vias coletoras; e 0,80 m em vias locais, que recebem principalmente postes com a passagem da rede de energia, telefonia e iluminação pública.

- Faixa de estacionamento: Para o estudo, foram adotadas as seguintes larguras: 3,60 m em vias arteriais, levando em consideração a segurança quanto à abertura das portas dos veículos, espaço para manobras de saída e a parada de veículos de cargas; 3,00 m em vias coletoras, para assegurar a segurança quanto à abertura das portas dos veículos e possíveis paradas de veículos de cargas; e 2,00 m em vias locais, devido ao menor tráfego.

- Faixas de Rolamento: Para o estudo, foram adotadas as seguintes larguras: 4,30 m em vias arteriais, considerando o tráfego de cargas e de veículos; 3,50 m em vias coletoras, considerando o tráfego de veículos e possivelmente de cargas; e 2,80 m em vias locais, devido principalmente ao tráfego de veículos.

- Ciclovias: Para o estudo, foram adotadas as seguintes larguras: 1,50 m para ciclovias unidirecionais em vias arteriais e 1,20 m em vias coletoras.

- Canteiros Centrais: Para o estudo, foram adotadas as seguintes larguras: 4,00 m em vias arteriais e 2,80 m em vias coletoras.

#### c) Planta de proposição de classificação viária:

Com as vias devidamente hierarquizadas, foi elaborada uma planta da malha viária do perímetro urbano na escala 1:6 para uma melhor visualização, com legendas em três cores distintas representando as vias arteriais, coletoras e locais.

Na planta, foram incluídas indicações da localização dos polos geradores de tráfego nas vias para auxiliar na compreensão do fluxo de trânsito, sendo identificadas por legendas.

### Resultados e Discussão

Pela análise da Figura 3, observa-se que o padrão das vias urbanas de Antônio João/MS é composto por paralelos e ortogonais que se cruzam, formando um traçado semelhante a um tabuleiro de xadrez. As vias são principalmente estruturadas pela Avenida Eugênio Penzo, representada pela cor verde, e pela Rua João Nunes, representada pela cor vermelha.



**Figura 3: Traçado urbano de Antônio João/MS.**

Para compreender o comportamento do tráfego de uma cidade, é essencial agrupar as vias em classes hierarquizadas e identificar os polos geradores de tráfego.

O quadro 1 mostra as duas vias classificadas como arteriais, representando 12,24% da extensão total da malha viária. Essas vias são corredores de tráfego que atravessam todas as regiões da cidade e são extensões de rodovias dentro do perímetro urbano, recebendo tanto o tráfego de veículos quanto de cargas.

**Quadro 1: Levantamento de vias arteriais**

Vias Arteriais	
Logradouro	Extensão da Via (Km)
Rua João Nunes	2,68
Avenida Eugênio Penzo	2,35
Total:	5,03

O quadro 2 mostra as três vias classificadas como coletoras, representando 12,36% da extensão total da malha viária. Essas vias coletam e distribuem o trânsito das vias locais nas arteriais e vice-versa, formando um fluxo de trânsito definido entre vias de hierarquias diferentes.

**Quadro 2: Levantamento de vias coletoras**

Vias Coletoras	
Logradouro	Extensão da Via (Km)
Rua Vereador Artur de Oliveira	2,11
Rua Pantaleão Coelho Xavier	1,32
Rua Urias de Almeida	1,65
Total:	5,08

O quadro 3 mostra as trinta e três vias classificadas como locais, representando 75,40% da extensão total da malha viária. Essas vias são principalmente utilizadas para acesso às residências e possuem características que as distinguem das outras hierarquias.





**Quadro 3: Levantamento de vias locais**

Vias Locais	
Logradouro	Extensão da Via (Km)
Rua Norte I	0,104
Rua Intendente Ponciano de Matos	0,534
Rua Miranda	0,635
Rua Marechal Floriano Peixoto	0,489
Rua Campanário	0,332
Rua Goiás	0,4
Rua Bonifácia Jaquete	0,47
Rua Santa Catarina	0,441
Rua Vicente Soares	0,563
Rua Campo Grande	1,25
Rua Neco Manoel Flores	0,682
Rua Valdomiro F. Silva	0,316
Rua Mato Grosso	1,06
Rua Vitório Penzo	0,876
Rua Clarinda de Deus Viana	1,63
Rua Joana Eliza Gomes	2,14
Rua Verônica Oliveira Soares	0,726
Rua Presidente Dutra	0,651
Rua Querino Zanquet	0,16
Rua Martina Franco Gonçalves	0,817
Rua Coronel Cancelo	0,816
Rua Fernando Saldanha	2,1
Rua Joana de Almeida Matos	2,05
Rua José Cláudio Vieira	1,11
Rua Neres B. Prestes	0,968
Rua Bela Vista/Rua Genésio Flores Viana	2,2
Rua Juraci Pereira	0,465
Rua Amantino Rodrigues dos Santos	1,63
Rua Frederico Beni	0,811
Rua Presidente Tancredo Neves	1,43
Rua Presidente Vargas	1,49
Rua Cândido G. de Souza	1,29
Rua Miguel Glanerte	0,346
<b>Total:</b>	<b>30,982</b>

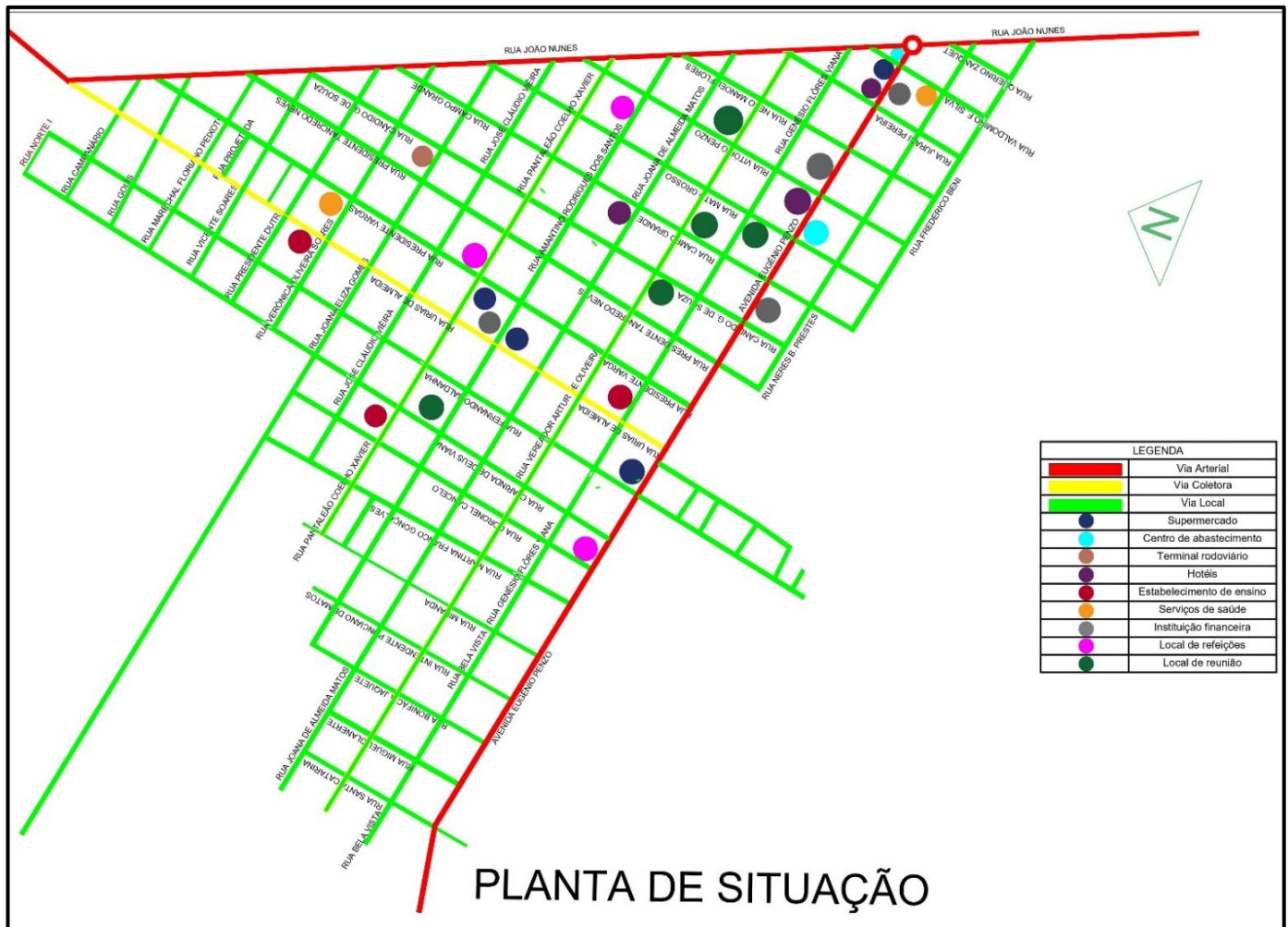
O quadro 4 apresenta os polos geradores de tráfego de acordo com as atividades que exercem.

Os locais de reunião são os mais numerosos, pois incluem templos religiosos, mas sua influência no tráfego ocorre em horários específicos de celebração de cerimônias. Os supermercados, instituições financeiras, estabelecimentos de ensino, locais de refeições, centros de abastecimento e serviços de saúde influenciam na geração de tráfego durante o horário comercial local, das 07h às 17h. Os hotéis e terminal rodoviário geram tráfego de forma pontual, não abrangendo um período extenso como os supermercados, instituições financeiras e afins.

**Quadro 4: Levantamento de polos geradores de tráfego**

Polos Geradores de Tráfego	
Tipo	Quantidade
Local de reunião	5
Supermercado	4
Instituição financeira	4
Hotéis	3
Estabelecimento de ensino	3
Local de refeições	3
Centro de abastecimento	2
Serviços de saúde	2
Terminal rodoviário	1

Portanto, a malha viária urbana de Antônio João/MS é composta por 41,092 km de vias, as quais foram classificadas em arteriais, coletoras e locais, conforme mostrado na Figura 4.



**Figura 4: Classificação viária urbana de Antônio João/MS e localização de polos geradores de tráfego.**

Em relação às vias atuais, observam-se dimensões não padronizadas em relação à seção transversal, largura de pista, faixas de rolamento e passeios.

As vias arteriais têm seção transversal de via coletora, como a Avenida Eugênio Penzo, e seção de via local, como a Rua João Nunes. Já em relação às vias locais, quatro delas, no caso as ruas Martina Franco Gonçalves, Fernando Saldanha, Presidente Tancredo Neves e Presidente Vargas, possuem seção transversal de via coletora.

A metodologia prevê uma padronização, onde foram apresentados em planta os perfis de seções transversais para as vias arteriais, coletoras e locais, conforme a Figura 5, sugeridos para a implantação de novas vias ou para a continuidade das vias existentes.

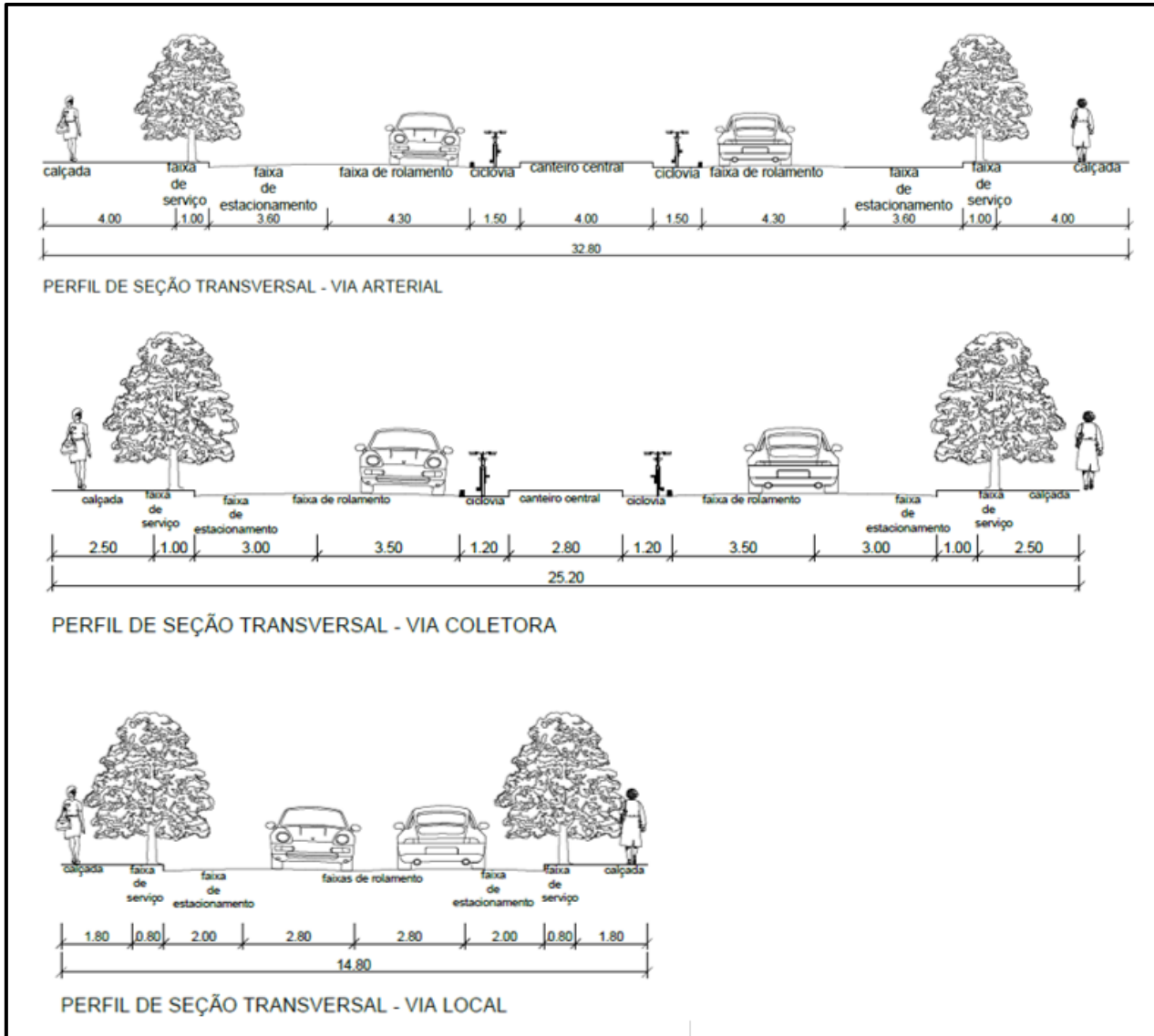


Figura 5: Sugestão de perfil de seção transversal para as vias urbanas de Antônio João/MS.

### Considerações finais

As cidades são sistemas dinâmicos que passam por mudanças ao longo do tempo, não são estáticas, sem movimento. Com isso, é importante buscar um planejamento que integre o uso do solo com o sistema viário, algo que seja a longo prazo, considerando o deslocamento da população e os tipos de serviços e funções que a cidade oferece.

Ao hierarquizar o sistema viário de uma cidade, é essencial encontrar a melhor classificação que atenda às necessidades locais de circulação de pessoas e mercadorias, com base na importância do fluxo e movimentação, de maneira funcional.

Portanto, constata-se que em cidade de pequeno porte, a melhor classificação funcional, é aquela que engloba as vias em: arteriais, coletoras e locais.

É importante ressaltar que a influência dos polos geradores de tráfego nas vias, está relacionada ao horário de funcionamento desses estabelecimentos, de forma pontual.

Como a cidade está em constante evolução, é imprescindível uma metodologia de padronização geométrica das vias, respeitando cada hierarquia e o fluxo que recebem. Isso auxilia na preparação da urbe para o crescimento ordenado, aquele em que é mitigado problemas hoje visualizados nas cidades brasileiras: engarrafamento, congestionamento, falta de estacionamentos, etc.

Por fim, a hierarquização permite concretizar o funcionamento correto das vias para atendimento do que lhe é solicitado quanto ao tráfego de veículos e ao tipo de serviços nela inseridos, auxiliando na diminuição de eventuais impactos potenciais no sistema viário, contribuindo para o desenvolvimento eficiente, sustentável e integrado do sistema viário.

Como benefícios da correta hierarquização, temos: a determinação da velocidade correta para determinado trecho da via; o uso de sinalização viária adequada; o equilíbrio entre pedestres e veículos; o auxílio no zoneamento da cidade, separando as áreas industriais e de serviços das áreas residenciais; a distribuição de faixas de estacionamento ao longo das vias; e a canalização de tráfego para determinadas vias, entre outros.





## Referências Bibliográficas

Brasil; 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Lei n.º 9.503, de 23 de setembro de 1997.

Brasil; 2010. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de projeto geométrico de travessias urbanas.

Brasil; 2001. Departamento Nacional de Trânsito. Manual de procedimentos para o tratamento de polos geradores de tráfego.

GOOGLE. GoogleMaps: Antônio João/MS. Disponível em:

<<https://www.google.com.br/maps/place/Ant%C3%B4nio+Jo%C3%A3o+-+MS,+79910-000/@-22.1897747,-55.9548245,15.08z/data=!4m5!3m4!%201s0x9462f025e0a98063:0xb6240b059d6f3bf8!8m2!3d-22.1894613!4d-55.9516016>>.

Acessado em: 22 de abril de 2024.

IBGE; 2022. Cidades: Antônio João/MS. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/antonio-joao/panorama>>.

Acessado em: 23 de abril de 2024.

IBGE; 2022. Histórico de Antônio João/MS. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/antonio-joao/historico>>.

Acessado em: 27 de abril de 2024.

KRÜGER, E. T; 2012. Padrões de traçado viário urbano e acessibilidade: uma abordagem das relações com o sistema de circulação. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas.

SILVA, J. A. da; 2010. Direito urbanístico brasileiro. Malheiros Editores LTDA, 6ª ed.

ÁREA TEMÁTICA 8

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS EXTREMOS



3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE  
**ENGENHARIA  
AMBIENTAL**



# ANÁLISE DE TENDÊNCIAS E VARIABILIDADE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO DE TIMBÓ, SANTA CATARINA

1Álvaro José Back, 2José Luiz Rocha Oliveira, 3Cláudia Weber Corseuil

1 Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), e-mail: [ajb@epagri.sc.gov.br](mailto:ajb@epagri.sc.gov.br);

2 Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), e-mail: [joseoliveira@epagri.sc.gov.br](mailto:joseoliveira@epagri.sc.gov.br);

3 Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e-mail: [claudia.weber@ufsc.br](mailto:claudia.weber@ufsc.br)

**Palavras-chave:** mudanças climáticas; eventos extremos; sazonalidade da precipitação

## Resumo

As mudanças climáticas e possíveis alterações nos regimes de precipitação constituem-se em uma das maiores preocupações da comunidade científica mundial. Vários modelos climáticos preveem alteração no regime de chuvas, com a intensificação dos eventos extremos e aumento da irregularidade da precipitação. Dessa forma, estudos relacionados à variabilidade e à tendências nas séries históricas de precipitação são importantes para o planejamento de atividades agrícolas bem como para mitigação de possíveis efeitos das mudanças climáticas.

Esse estudo teve como objetivo analisar a série histórica de precipitação do município de Timbó, Santa Catarina, avaliando a presença de tendências e sua regularidade. Foram utilizados os dados diários do período de 1929 a 2023 da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), localizada no município de Timbó, Santa Catarina. Foram calculados os índices de mudanças climáticas aplicados aos dados de precipitação estabelecidos pela Equipe de Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDMI). Para a verificação da hipótese de não haver tendência nas séries foi utilizado o teste de Mann-Kendall ao nível de significância de 5%. A magnitude da tendência e seu intervalo de confiança de 95% foram determinados com o teste de Thei-Sen. A regularidade da precipitação foi avaliada com o Índice de Sazonalidade da Precipitação (ISP) e o Índice de Irregularidade da Precipitação (SI), calculado para as séries de precipitação mensal e anual.

Os resultados mostraram tendência significativa ( $p < 0,05$ ) de aumento nos índices PRCPTOT, SDII, R20mm, R95p e CWD, sendo não significativa para os demais índices. A precipitação total anual (PRCPTOT) apresentou mediana de 1542,5 mm, com tendência ( $\beta$ ) de aumento de 2,0967 mm por ano, o que corresponde a 209,7mm em um século. No entanto, o intervalo de confiança de 95% para essa tendência é de 0,304 a 3,967 mm ano<sup>-1</sup>. Dos índices diretamente relacionados a eventos extremos observa-se que não foram significativos (R95p, Rx1day, Rx2Day, Rx5Day).

O Índice de Sazonalidade de Precipitação (ISP) variou de 0,234 a 0,738, com média de 0,461. Observa-se que 35% dos anos foram classificados com precipitação bem distribuída ao longo do ano ( $0,20 < \text{ISP} < 0,40$ ); 49,5% dos anos foram classificados como precipitação sazonal, com curta estação seca ( $0,60 < \text{ISP} < 0,60$ ); e 13,4% como precipitação totalmente sazonal ( $0,60 < \text{ISP} < 0,80$ ).

O Índice de Irregularidade (SI) anual variou de 0,0 a 0,55, com média de 0,18, classificado como irregularidade “Muito baixa”. Predominam (61,7%) anos com irregularidade “Muito baixa” ( $\text{SI} < 0,2$ ), seguido de 13,8% dos anos com irregularidade “Baixa” ( $0,20 \text{ IS} < 0,25$ ), e nas demais classes a ocorrência varia de 4,2 a 7,4% dos anos. Todas as séries apresentam assimetria positiva, com valores superiores a 2 nos meses de abril, junho, agosto e outubro. As séries mensais apresentam valores de SI superiores a série anual, justificados pela maior variação dos dados mensais.

## Introdução

As mudanças climáticas tem sido um dos problemas de maior preocupação da comunidade científica nas últimas décadas. Vários estudos apontam para aumento de temperatura e mudanças nos regimes de chuvas (IPCC, 2013; IPCC, 2023). As observações nas séries históricas de precipitação registradas em diferentes regiões do globo terrestre, bem como as projeções dos modelos climáticos, evidenciam o aumento na frequência de ocorrência de eventos de chuvas intensas como consequência do aquecimento global (Muller et al., 2011). Para a região Sul do Brasil as projeções climáticas apontam para aumento de chuvas e aumento de frequência de eventos extremos. Essas alterações climáticas podem trazer graves consequências para a agricultura, com aumento de prejuízos por estiagens ou excessos de chuvas (IPCC, 2013; Cera & Ferraz, 2015). Bergamaschi (2017) destaca que as regiões Sul e Sudeste do Brasil apresentam clima com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, no entanto, as estiagens frequentes impõem limitações à agricultura, sobretudo no extremo sul do Brasil.

O aumento da magnitude e frequência de eventos extremos de chuvas pode ter como impacto o aumento de áreas de risco por escorregamento de encostas (Sant Ana et al., 2019; Penereiro & Meschiatti, 2018). A ocorrência de estiagens prolongadas pode trazer prejuízos a produção agrícola, aumento da demanda de água por irrigação e a também afetar a geração de energia.

Nesse contexto, a análise de tendências nas séries de precipitação, bem como a avaliação da regularidade da precipitação de uma determinada região, são importantes para o planejamento de uso dos recursos hídricos, bem como de atividades diretamente ligadas ao clima como a agricultura. Estudos que buscam avaliar a distribuição temporal da precipitação ao longo do ano auxiliam na gestão dos recursos hídricos, na prevenção de riscos de inundações e enchentes, bem como em estratégias de planejamento do uso do solo (Raziei, 2018).





Ainda, estudos de tendências de índices de extremos climáticos permitem verificar se determinado local está sendo exposto a possíveis mudanças no comportamento desta variável (Nóbrega et al., 2015). Portanto, a análise de séries climáticas e avaliação de tendências é importante para o planejamento das atividades e mitigação de possíveis consequências das alterações.

A sazonalidade da precipitação ou a sua distribuição sazonal tem um grande impacto na ocorrência e intensidade dos extremos de precipitação (Pendergrass e Knutti, 2018). O Índice de Sazonalidade de Precipitação (ISP), proposto por Walsh e Lawler (1981), foi idealizado para avaliar a sazonalidade da precipitação e vem sendo utilizado por diversos autores no mundo, sob distintas bases temporais (Back et al., 2024). O ISP permite a quantificação da variabilidade anual da precipitação, em face de variações sazonais, não permitindo, todavia, enxergar variações mensais, o que pode requerer outros tipos de análises (Summer et al., 2001). Esse índice, portanto, pode ser bastante útil para compara as variabilidades intersazonais da precipitação em distintas regiões. Summer et al. (2001) destacam que a facilidade de computacional torna o ISP uma ferramenta ideal para o estudo da variação espacial e temporal da sazonalidade, desde que sejam consideradas informações complementares sobre a quantidade de precipitação. No entanto, o índice não fornece informações sobre quando e quanta precipitação ocorre, e baseia-se simplesmente no somatório das diferenças mensais do módulo a partir de uma média mensal.

A irregularidade de precipitação pode ser medida relacionado os dados de precipitação em intervalos mensal ou anual consecutivos avaliando a sua variabilidade. Nesse sentido, Martin-Vide (2003) propôs o Índice de Irregularidade Temporal (S1), em que valores de precipitação consecutiva muito similar apresentam um índice próximo de zero. Por outro lado, valores de precipitação consecutiva muito diferente apresentam S1 positivos.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo analisar a série histórica de precipitação de Timbó, Santa Catarina, avaliando a presença de tendências e sua regularidade.

### Material e Métodos

Foram utilizados os dados diários do período de 1929 a 2023 da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), localizada no município de Timbó, Santa Catarina (ANA, 2024). O clima da região é do tipo mesotérmico úmido, sem estação seca e com verão quente (Cfa). A chuva média anual é de 1764 mm, com a precipitação média mensal variando de 101 mm em agosto a 239 mm em janeiro. O número médio de dias de chuva anual é de 126 dias. A evapotranspiração anual é de 934 mm, com valores mensais variando de 39 mm em julho a 137 mm em janeiro, mostrando excesso hídrico em todos os meses do ano (Back, 2020).

Para avaliar a tendência na série de dados de precipitação foram calculados os 11 índices de mudanças climáticas definidos, pela Equipe de Especialista em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas (*Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indexes - ETCCDMI*) (Peterson, 2005). Devido a preocupação com eventos extremos de chuva usados no dimensionamento de obras hidráulicas foi incluído ainda o índice Rx2day para analisar as séries de máximas anuais com duração de dois dias.

Tabela 1 estão relacionados os índices aplicados aos dados de precipitação com a descrição e unidade. Maiores detalhes podem ser obtidos em Peterson (2005) e Sensoy et al. (2007). No cálculo dos índices são considerados os dados diários de precipitação (RR), sendo que de acordo com Peterson (2005), quando o valor da precipitação diária for menor que 1 mm ( $RR < 1,0$  mm) o dia é considerado seco, caso contrário ( $RR \geq 1$  mm), o dia é considerado úmido.

**Tabela 1: Índices climáticos de precipitação pluvial, com as respectivas descrições e unidades de medida**

Índice	Nome do Indicador	Descrição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Total de precipitação no dias úmidos ( $RR \geq 1$ mm)	mm
SDII	Intensidade média diária	Precipitação total dividido pelo número de dias úmidos ( $RR \geq 1$ mm)	mm dia <sup>-1</sup>
R10mm	Número de dias de chuva intensa	Contagem anual de dias quando $RR \geq 10$ mm	dias
R20mm	Número de dias de chuva muito intensa	Contagem anual de dias quando $RR \geq 20$ mm	dias
Rnmm	Contagem anual de dias quando $PRCP \geq n$ mm	Contagem anual de dias quando $RR \geq n$ mm	mm
R95p	Dias muito úmidos	Total de precipitação quando $RR >$ percentil 95	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Total de precipitação quando $RR >$ percentil 99	mm
Rx1day	Precipitação máxima em um dia	Precipitação máxima em um dia	mm
Rx2day	Precipitação máxima em dois dias	Precipitação máxima em dois dias	mm
Rx5day	Precipitação máxima em cinco dias	Precipitação máxima em um cinco dias	mm
CDD	Dias secos consecutivos	Máximo de dias consecutivos com $RR < 1$ mm	dias
CWD	Dias chuvosos consecutivos	Máximo de dias úmidos consecutivos com $RR \geq 1$ mm	dias

No índice Rnmm pode-se definir o limite de acordo com o interesse específico. Foi considerado o valor de 50 mm



conforme indicado por Back et al. (2023), justificando como limite aproximado das séries máximas anuais de chuvas diárias de Santa Catarina.

Para avaliar a tendência nas séries foi utilizado o teste Mann-Kendall, que é um teste não paramétrico amplamente usado para verificar se uma série temporal possui tendências (Back, 2001) e recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (Yue et al., 2002). Por ser um método não paramétrico, não requer uma distribuição normal dos dados. Outra vantagem deste método é que ele é quase imune a mudanças repentinas ou sequências não uniformes.

No teste de Mann-Kendall se rejeita a hipótese nula de não existência de tendência na série, se a estatística  $Z < Z_{\alpha/2}$  ou  $Z > Z_{\alpha/2}$ , em que a estatística normalizada Mann-Kendall  $Z$ , segue a distribuição normal com média zero (0,0) e variância um (1,0). A estatística Mann-Kendall  $S$  é dada pela equação:

$$S = \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{i=j+1}^N \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (1)$$

em que:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{se } \theta > 0 \\ 0 & \text{se } \theta = 0 \\ -1 & \text{se } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Para variável aleatória independente distribuída identicamente (sem tendência) a média e a variância de  $S$  são dadas pelas equações descritas seguir:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_t^N t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (4)$$

em que  $t$  é a extensão a qualquer empate.

O método de Mann-Kendall não fornece a estimativa da magnitude da tendência, sendo assim utiliza-se o teste de Theil-Sen para que a magnitude desta possa ser estabelecida por um estimador de declividade mediana  $\beta$ . A declividade  $\beta$  é a mediana sobre todos os pares de combinações possíveis para a totalidade da série de dados. Para obter a estimativa robusta da inclinação ( $\beta$ ), a equação é dada por:

$$\beta = \text{mediana} \left( \frac{Y_j - Y_i}{t_j - t_i} \right), \text{ para todos } i < j, \quad (5)$$

em que:  $\beta$  representa a mediana da inclinação, obtida de todas as possíveis combinações de dois pontos da série temporal;  $Y_i$  é a variável testada para tendência;  $T$  é o tempo.

Segundo Hensel & Hirsch (2002), a regressão linear de Theil-Sen é menos afetada pelos problemas comuns de dados de recursos hídricos (assimetria, discrepâncias), do que a regressão tradicional, portanto, fornece uma estimativa robusta da inclinação típica.

Para avaliar a sazonalidade foram empregados o Índice de Sazonalidade da Precipitação (ISP) e o Índice de Irregularidade Temporal (S1). O ISP foi idealizado por Walsh & Lawler (1981) para avaliar a sazonalidade da precipitação. Esse índice reflete o grau de concentração anual da precipitação, isto é, indica a tendência de que um lugar tem mais precipitação em certo mês ou estação, em comparação com outros.

A equação que define o ISP é a que segue:

$$\text{ISP} = \frac{1}{P_a} \sum_{i=1}^{12} \left| P_i - \frac{P_a}{12} \right| \quad (6)$$

onde  $P_a$  é a precipitação total anual para o ano em particular estudado (mm) e  $P_i$  é a precipitação mensal do mês  $i$  (mm).

Esse índice varia de zero (no qual todos os meses possuem a mesma precipitação), até 1,83 (se toda a precipitação ocorresse em um único mês). No intuito de quantificar os valores encontrados, foram aplicados graus de sazonalidade como sugeridos por Elagib (2011) (Tabela 2).

**Tabela 2: Regimes sazonais da precipitação indicado pelo ISP**

ISP	Regime de precipitação
-----	------------------------



< 0,19	Precipitação bem distribuída ao longo de todo o ano
0,20 – 0,39	Precipitação bem distribuída ao longo de todo ano, mas com uma estação úmida bem definida
0,40 – 0,59	Precipitação sazonal, com uma curta estação seca
0,60 – 0,79	Precipitação totalmente sazonal
0,80 – 0,99	Precipitação sazonal, com uma longa estação seca
1,00 – 1,19	Maior parte da precipitação corre em 3 meses ou menos
>1,20	Absoluta sazonalidade, com quase toda a precipitação ocorrendo em 1 a 2 meses

O S1, proposto por Martin-Vide (2003), é calculado por:

$$S_l = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left| \ln \left( \frac{P_{i+1}}{P_i} \right) \right| \quad (7)$$

Em que Pi é a precipitação anual ou mensal.

Este índice oscila entre zero e infinito, sendo que valores próximos de zero indicam regularidade das chuvas enquanto que valores muito altos deste índice denotam maior irregularidade das chuvas (Tabela 3).

**Tabela 3: Classificação da irregularidade da precipitação em função do S1**

Classe	S1
Muito baixa	< 0,20
Baixa	0,20-0,24
Moderada	0,25- 0,29
Moderadamente alta	0,30 – 0,34
Alta	0,35-0,39
Muito alta	> 0,40

### Resultados e Discussão

Na Tabela 4 constam os resultados do teste de Mann-Kendall para tendência nas séries dos índices de precipitação. Observa-se que foi identificada tendência significativa ( $p < 0,05$ ) de aumento nos índices PRCPTOT, SDII, R20mm, R95p e CWD. Para o índice CDD, embora indique redução ( $Z = -0,92$ ) assim como os demais índices, a tendência não foi significativa.

Os resultados do teste de Theil-Sen devem ser analisados sempre que o teste de Mann-Kendall for significativo, e nestes casos o valor de  $\beta$  representa a magnitude da tendência. A precipitação total anual (PRCPTOT) apresentou mediana de 1542,5 mm, com tendência ( $\beta$ ) de aumento de 2,0967 mm por ano, o que corresponde a 209,7mm em um século. No entanto, o intervalo de confiança de 95% para essa tendência é de 0,304 a 3,967 mm/ano. Nas Figuras 2 e 3 estão representados os valores dos índices e suas respectivas tendências.

Dos índices diretamente relacionados a eventos extremos observa-se que não foram significativos (R95p, Rx1day, Rx2Day, Rx5Day). Essa constatação é importante, uma vez que na hidrologia é comum utilizar as séries de máximas anuais de chuva diária (Rx1day), assumindo a estacionariedade, isto é, que não há tendências. Dessa forma, a constatação de que não há tendências significativas nas séries de máximas anuais é importante para a confiabilidade nas obras hidráulicas dimensionadas a partir das chuvas máximas diárias.

Vários estudos envolvendo indicadores de extremos de precipitação na América do Sul revelam tendências de aumento de tais indicadores, principalmente sobre a região Sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e na região norte e central da Argentina (Haylock et al., 2006; Marengo et al., 2010). No Brasil existem estudos que apontam para aumento de chuvas, principalmente nas regiões Sul e Sudeste (Campos et al., 2006; Marengo & Camargo, 2007; Nobre et al., 2010; Minuzzi & Caramori, 2011; Pinheiro et al., 2013; Damé et al., 2013; Guedes et al., 2015; Regoto et al., 2018; Barros et al., 2021). Outros trabalhos mostram ausência de tendências nas séries climáticas (Natividade et al., 2017; Penereiro & Meschiatti, 2018). Com relação às séries de máximas anuais, a maioria dos estudos realizados na região Sul do Brasil não identifica tendências significativas (Back et al., 2017). Essa aparente discordância entre alguns autores deve-se em parte: 1) pelas diferenças em relação ao tamanho e período de dados das séries usadas; 2) pelas diferenças nos métodos e testes estatísticos usados; e 3) pela influência de eventos de El Niño e La Niña, o que ressalta a necessidade de realizar estudos atualizados com os dados locais.

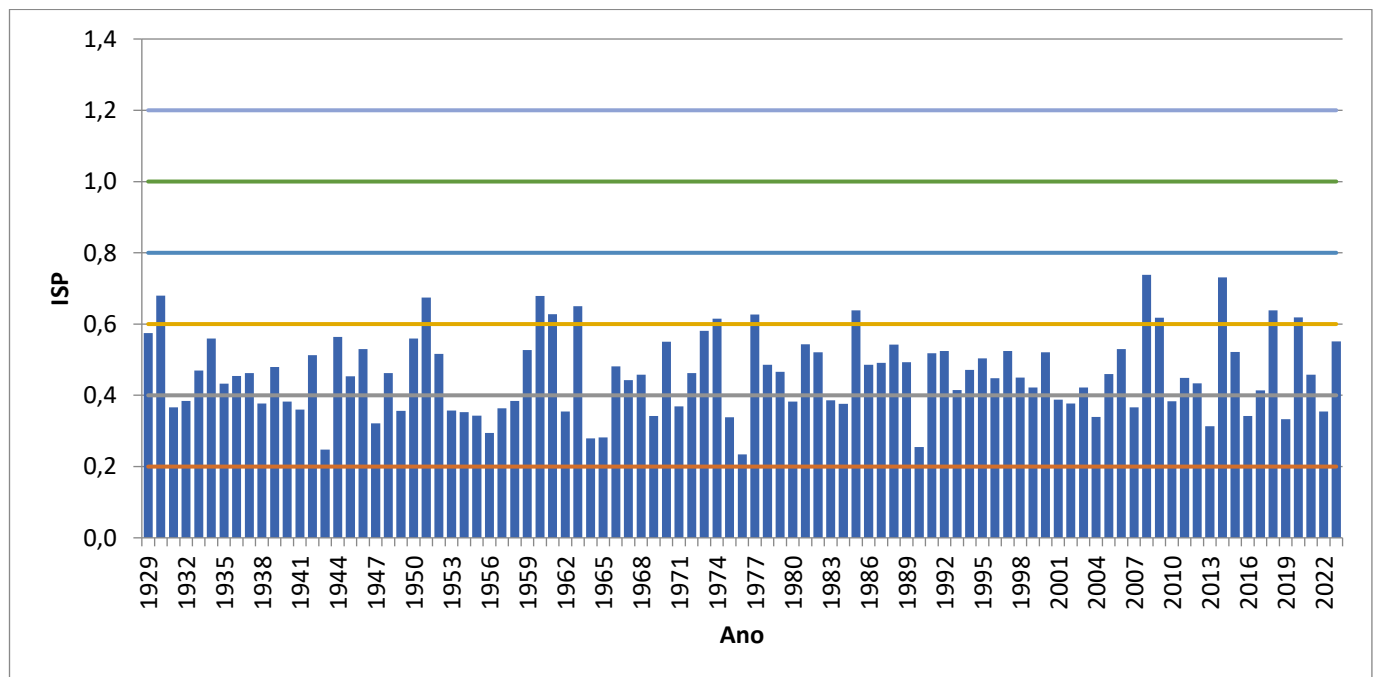
**Tabela 4: Resultados do teste de Mann-Kendall e Theil-Sen**





Índice	Teste de Mann-Kendall			Teste de Theil-Sen			
	S	Z	p-valor	Mediana	$\beta$	Intervalo de confiança 95% para $\beta$	
PRCPTOT	706	2,2670	0,0234	1542,5	2,097	0,304	3,967
SDII	620	1,9900	0,0466	12,8	0,0132	0,000	0,026
R10mm	424	1,3600	0,1738	50	0,0448	-0,018	0,107
R20mm	650	2,0870	0,0369	25	0,0476	0,000	0,091
R50mm	485	1,5560	0,1197	3	0,0000	0,000	0,026
R95p	950	3,0510	0,0023	728,5	2,3063	0,867	3,813
R99p	428	1,3730	0,1698	231,9	0,7929	-0,307	1,863
Rx1day	146	0,4660	0,6411	81,2	0,0491	-0,125	0,215
Rx2day	356	1,1410	0,2537	111,2	0,1317	-0,100	0,344
Rx5day	515	1,6530	0,0984	144,8	0,2500	-0,042	0,541
CDD	-287	-0,9200	0,3578	19	-0,0179	-0,065	0,025
CWD	836	2,6850	0,0073	7	0,0164	0,000	0,034

O Índice de Sazonalidade de Precipitação (ISP), apresentado na Figura 1, variou de 0,234 a 0,738, com média de 0,461. A partir dos valores de ISP verificou-se que 35,1% dos anos foram classificados como precipitação bem distribuída ao longo do ano ( $0,20 < \text{ISP} < 0,40$ ); 49,5% dos anos foram classificados como precipitação sazonal, com curta estação seca ( $0,40 < \text{ISP} < 0,60$ ); e 13,4% como precipitação totalmente sazonal ( $0,60 < \text{ISP} < 0,80$ ). Os resultados estão de acordo com Back et al. (2023) que constataram para a região Sul do Brasil valores médios de ISP variando de 0,4 a 0,6.



**Figura 1: Índice de Sazonalidade de Precipitação de Timbó, SC (1929 -2023).**

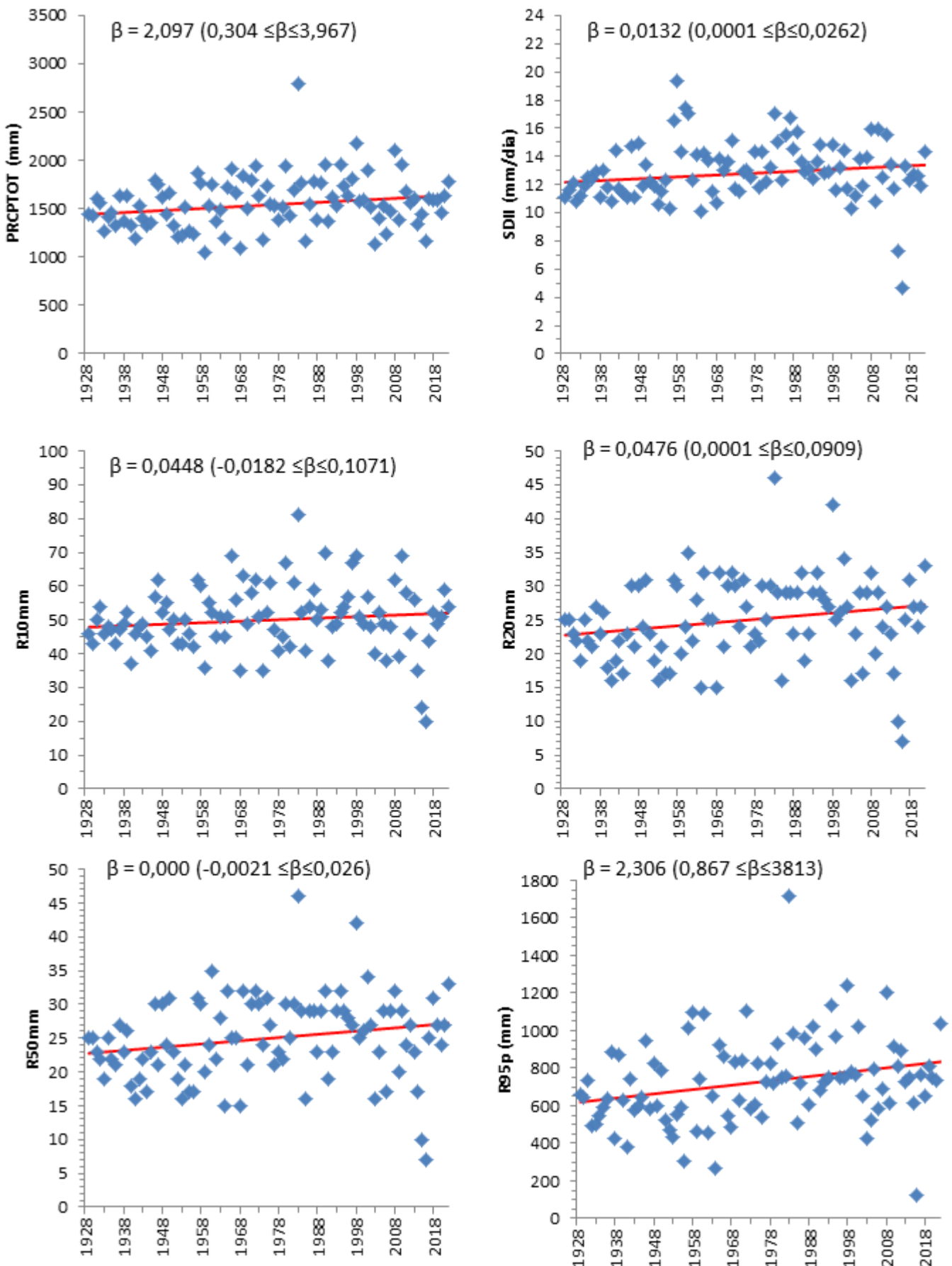


Figura 2: Tendências nos índices PRCPTOT, SDII, R10mm, R20mm, R50mm e R95p de Timbó, SC.

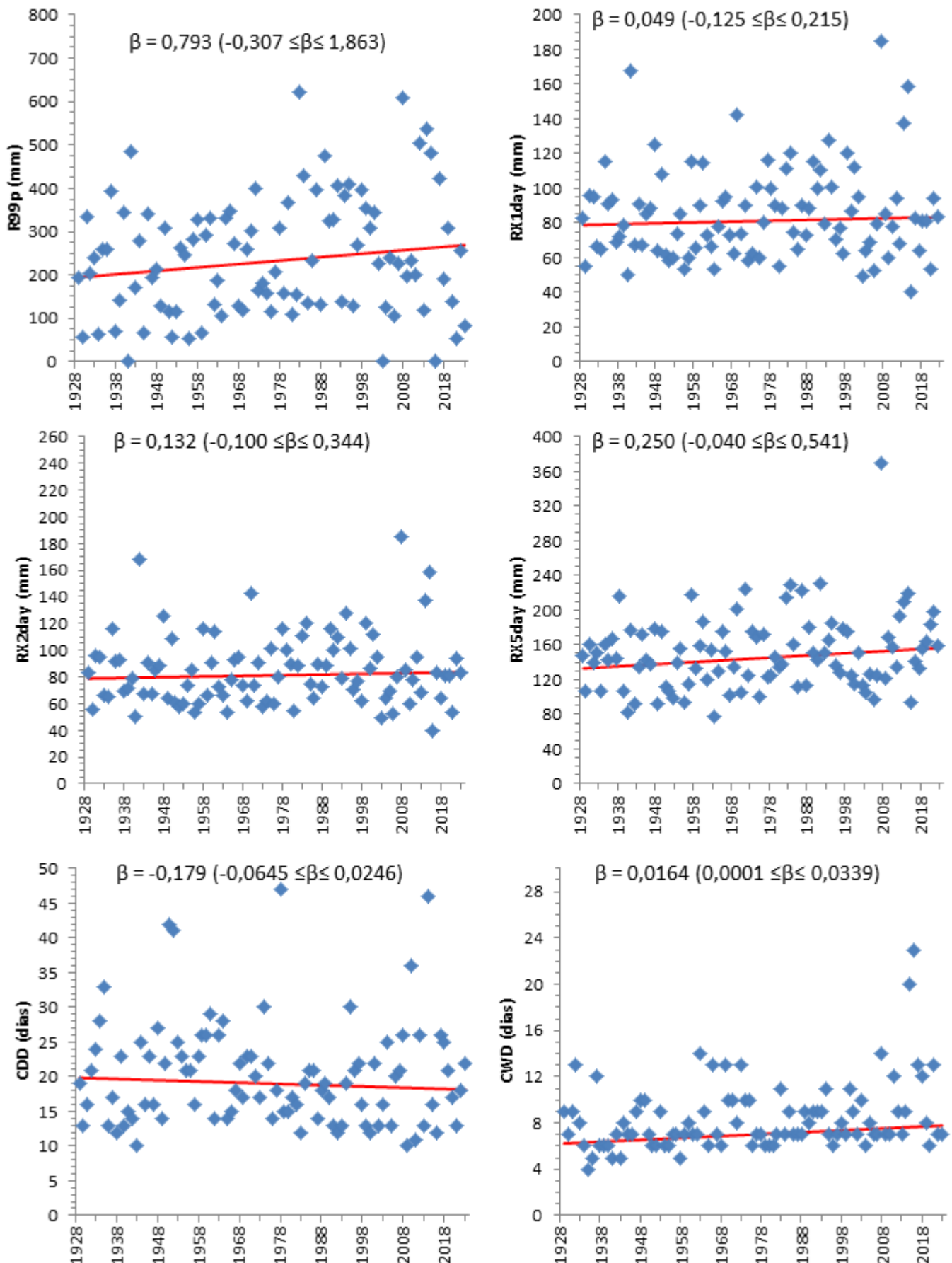


Figura 3: Tendências nos índices  $R99p$ ,  $RX1day$ ,  $RX2Day$ ,  $RX5day$ ,  $CDD$  e  $CWD$  de Timbó, SC.





O Índice de Irregularidade (SI) anual variou de 0,0 a 0,55, com média de 0,18, classificado como irregularidade “Muito baixa”. Na Figura 4 observa-se que predominam (61,7%) anos com irregularidade “Muito baixa” ( $SI < 0,2$ ) seguido de 13,8% dos anos com irregularidade “Baixa” ( $0,20 \leq SI < 0,25$ ) e nas demais classes a ocorrência varia de 4,2 a 7,4% dos anos. Na Tabela 5 constam as estatísticas do índice SI para séries mensais e anual. Observa-se que todas as séries apresentam assimetria positiva, com valores superiores a 2 nos meses de abril, junho, agosto e outubro. Também se observa que os valores de SI nas séries anuais apresentam valores superiores, que é justificada pela maior variação dos dados mensais. Siqueira e Nery (2021) encontram para a região Nordeste do Brasil valores médios de SI variando de 0,26 a 0,44. Lana e Burgueño (2000) analisando dados de precipitação da Espanha obtiveram valores de SI para série anual variando de 0,27 a 0,42 e para série mensal com valores médios de 1,248 a 1,564.

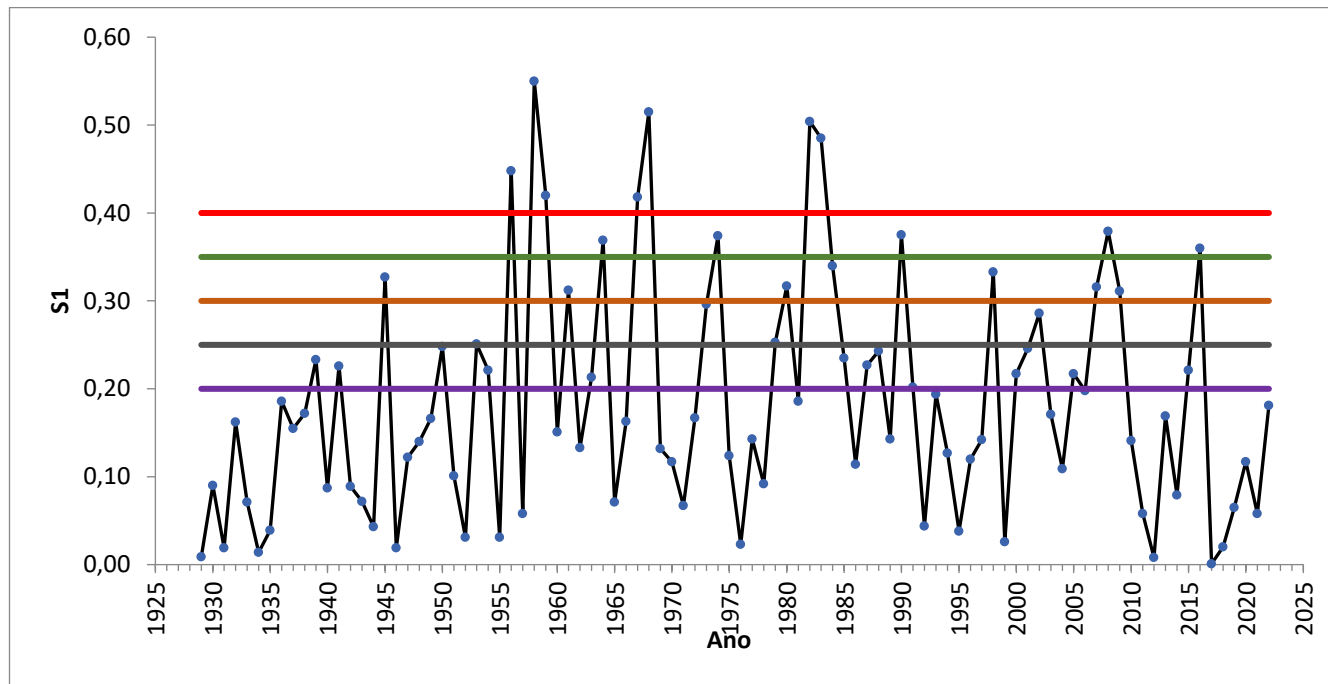


Figura 4: Índice de irregularidade da precipitação anual de Timbó, SC (1929 -2023).

Tabela 5. Resumo estatístico do índice de irregularidade da precipitação mensal e anual de Timbó, SC (1929 -2023)

Estatística	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Quartil 1	0,17	0,30	0,24	0,31	0,48	0,29	0,35	0,34	0,27	0,26	0,31	0,20	0,08
Mediana	0,41	0,55	0,61	0,69	0,83	0,57	0,62	0,69	0,54	0,47	0,62	0,44	0,16
Quartil 3	0,72	0,87	1,08	1,15	1,49	0,94	1,29	1,03	1,01	0,75	0,95	0,75	0,25
Máximo	1,69	1,96	2,00	5,20	4,18	3,58	3,20	5,16	2,64	3,37	2,19	1,62	0,55
Média	0,49	0,61	0,69	0,84	1,05	0,77	0,88	0,86	0,69	0,60	0,69	0,52	0,18
Assimetria	1,166	0,766	0,677	2,716	1,156	2,030	1,047	2,521	1,152	2,626	0,905	0,814	0,806

### Considerações Finais

Utilizando uma série histórica com 95 anos de dados de precipitação diária de Timbó-SC foi possível constatar tendências estaticamente significativas de aumento nos índices de precipitação total anual (PRCPTOT), chuva média diária (SDII), dias com chuva acima de 20 mm (R20mm), chuva acima do percentil 95% (R95p) e dias chuvosos seguidos (CWD). Para o índice CDD, embora indique redução ( $Z -0,92$ ), assim como os demais índices, a tendência não foi significativa.

Nos eventos de chuva extrema não foi constatada tendência significativa. Essa constatação é importante para estudos de risco de inundações e enchentes, bem como no dimensionamento de obras hidráulicas.

Com relação a sazonalidade da precipitação observou-se que o ISP médio de 0,461, classificado como precipitação sazonal, com curta estação seca. Nos valores anuais, 35% dos anos apresentaram ISP entre 0,20 e 0,40 e em 49,5% dos anos o ISP foi de 0,40 a 0,60. Somente 13,4% dos anos foram classificados como regime de precipitação totalmente sazonal ( $0,60 < ISP < 0,80$ ).

O Índice de Irregularidade da Precipitação (SI) apresentou a média de 0,18, classificado como irregularidade “Muito baixa”, predominando valores anuais (61,7%) com irregularidade “Muito baixa” ( $SI < 0,2$ ), seguido de 13,8% dos anos com



irregularidade “Baixa” ( $0,20 IS < 0,25$ ). O presente trabalho pode contribuir para estudos futuros que necessitam conhecer a variabilidade da precipitação de longos períodos de tempo, bem como para o planejamento das atividades que dependem de uma boa disponibilidade de água, como a agricultura e geração de energia.

### Referências Bibliográficas

- Agência Nacional de Águas E Saneamento Básico - ANA. Hidroweb: Sistemas de Informações Hidrológicas. Available at: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: fev, 2024.
- Back, Á.J. 2020. Informações climáticas e hidrológicas dos municípios catarinenses (com programa HidroClimaSC). Florianópolis: Epagri, 157p.
- Back, Á.J. 2001. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, n.5, p.717-726.
- Back, Á. J.; Back, B.; Back, L. 2023. Avaliação de tendências nas séries de precipitação de Capinzal, Santa Catarina In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2023, Guarapuava: ABClima, v.1. p.462 – 476.
- Back, Á J.; Corseuil, C.W.; Gonçalves, F.N. 2017. Análise de tendências nas séries de precipitação da bacia do Rio Capivarí, Santa Catarina. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p.1-8.
- Back, Á. J.; Galatto, S.L.; Souza, G. S. 2024. Analysis of the seasonality of rain in Brazil from 1990 to 2022. Concilium, v.24, n.2, p.72-190.
- Barros, V.S.; Gomes, V.K.; Júnior, I.B.S.; Silva, A.S.V.; Silva, A.S.A.; Bejan, L.B. 2021. Análise de tendência do índice de precipitação padronizado em Recife-PE. Research, Society and Development, v.10, n.8, e52310817458.
- Bergamaschi, H. 2017. As plantas e o clima: Princípio e aplicações. Guaíba: Agrolivros, 352p
- Campos, C.; Alves, R.; Braga, H.J. 2006. Mudanças climáticas atuais e seus impactos no Estado de Santa Catarina. Agropecuária Catarinense, v. 19, p. 31-35.
- Cera, J.C.; Ferraz, S.E.T. 2015. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. Revista Brasileira de Meteorologia, v.30, n. 1, p. 81-88.
- Damé, R.C.F.; Teixeira, C.F.A.; Bacelar, L.C.S.; Winkler, A.S.; Santos, J.P. 2013. Montonic trend and change points in southern Brazil precipitation. Engenharia Agrícola, v. 33, n. 2, p.258-268.
- Elagib, N.A. 2011. Changing rainfall, seasonality and erosivity in the hyper-arid zone of Sudan. Land degrad. 2, pp.505-512.
- Guedes, H. A. S.; Priebe, P. S.; Manke, E.B. 2019. Tendências em Séries Temporais de Precipitação no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 2, pp.283 291.
- Haylock, M. R.; Peterson, T.C.; Alves, L.M.; Ambrizzi, T.; Anunciação, Y.M.T et al. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. Journal of Climate. Boston, v. 19, p.1490-1512.
- Hensel, D. R.; Hirsch, R. M. 2002. Statistical Methods in Water Resources. USGS, 2002. 510 p.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. The Physical Science Basis – Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Brussels.
- Marengo, J.; Camargo, C.C. 2007. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. International Journal of Climatology, v.28, p. 893–904.
- Lana, X.; Burgueño, A. 2000. Some Statistical Characteristics of Monthly and Annual Pluviometric Irregularity for de Spanish Mediterranean Coast Theoretical and Applied Climatology, 65, pp.79-97.
- Marengo, J.A.; Rusticucci, M.; Penalba, O.; Renom, M. 2010. An Intercomparison of Observed and Simulated Extreme Rainfall and Temperature Events during the Last Half of the Twentieth Century: part 2: Historical Trends. Climatic Change, 98: 509–529.
- Martin-Vide, J. 2003. El tiempo y el clima. Valant: Rubes, 127p.
- Minuzzi, R. B.; Caramori, P. H. 2011. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no Estado do Paraná. Revista Ceres, v.58, n.5, p. 593-602
- Muller, C.J.; O’gorman P.A.; Back L.E. 2011. Intensification of precipitation extremes with warming in a cloud-resolving model. Journal of Climate, v.24, p.2784–2800, 2011



- Natividade, U.A.; Garcia, S.R.; Torres, R.R. 2017. Tendência dos Índices de Extremos Climáticos Observados e Projetados no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 4, 600-614.
- Nobre, C.A.; Young, A.F.; Saldiva, P.; Marengo, J.A.; Nobre, A.D.; Junior, S.A.; Silva, G.C. M.; Lombardo, M 2010. Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Sumário Executivo. 32 p.
- Nóbrega, R.S.; Farias, R.F.L.; Santos, C.A.C. 2015. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, p.171-180
- Pendergrass, A.G.; Knutti, R. 2018. The uneven nature of daily precipitation and its change. *Geophysical Research*
- Penreiro, J.C.; Meschiatti, M C. 2018. Tendências em séries anuais de precipitação e temperaturas no Brasil. *Engenharia Sanitaria eAmbiental*, v.23, n.2, p. 319-331.
- Peterson, T.C.2005. Climate change indices. *World meteorological Organization Bulletin*, v.54, p.83-86, 2005.
- Pinheiro, A.; Graciano, R.L.G.; Severo, D.L. 2013. Tendência das séries temporais de precipitação da região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, n.3, p.281-290.
- Regoto, P.; Dereczynski, C.; Silva, W.L.; Santos, R.; Confalomieri, U. 2018. Tendências de Extremos de Precipitação para o Estado do Espírito Santo. *Anuário do Instituto de Geociências*, v.41, n.1, p.365-381.
- Raziei, T. 2018. An analysis of daily and monthly precipitation seasonality and regimes in Iran and the associated changes in 1951-2014. *Theoretical and Applied Climatology*, p.1-20.
- Sant Ana, W. de O.; Back, Á.J. 2019. Tendência do aumento de chuvas e suas implicações na estabilidade de encostas no Sul de Santa Catarina. *Revista Tecnologia e Ambiente*, v. 25, p.95-109, 2019.
- Sensoy , S.; Peterson, T.C.; Alexander, L.V.; Zhang, X. 2007. Enhancing middle east climate change monitoring and indexes. *American Meteorological Society*, p1249-1254.
- Siqueira, B.; Nery, J.T. 2020. Tendências das séries temporais de precipitação no estado do Paraná. *Geosp – Espaço e Tempo*, v. 24, n. 3, p. 616-633.
- Siqueira, B.; Nery, J.T. 2021. Spatial and temporal variability of precipitation concentration in northeastern Brazil. *Investigaciones Geográficas*, n.104, e60091.
- Sumner, G.; Homar, V.; Ramis, C. 2001. Precipitation seasonality in Eastern and Southern coastal Spain. *International Journal of Climatology*, v.21, p.219-247.
- Walsh, R.P.D.; Lawler, D.M. 1981. Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time. *Weather*, v.36, n.7, p.201-208.
- Yue, S.; Pilon, P.; Cavadias, G. 2002. Power of the Mann-Kendall and spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, v.259, n.1-4, p. 254-271.





# CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE FLUJOS NO NEWTONIANOS DESENCADENADOS POR EVENTOS EXTREMOS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA - PERÚ

**1Jossue David Palma Ramos, 2Jose Carlos Oppe Caceres, 3Joel Ccancapa Puma**

*1,2,3 Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú  
jossue.palma@ucsm.edu.pe; jose.oppe@ucsm.edu.pe; joel.ccancapa@ucsm.edu.pe*

**Palabras clave:** Tormentas Extremas; Flujos no Newtonianos; Inundaciones.

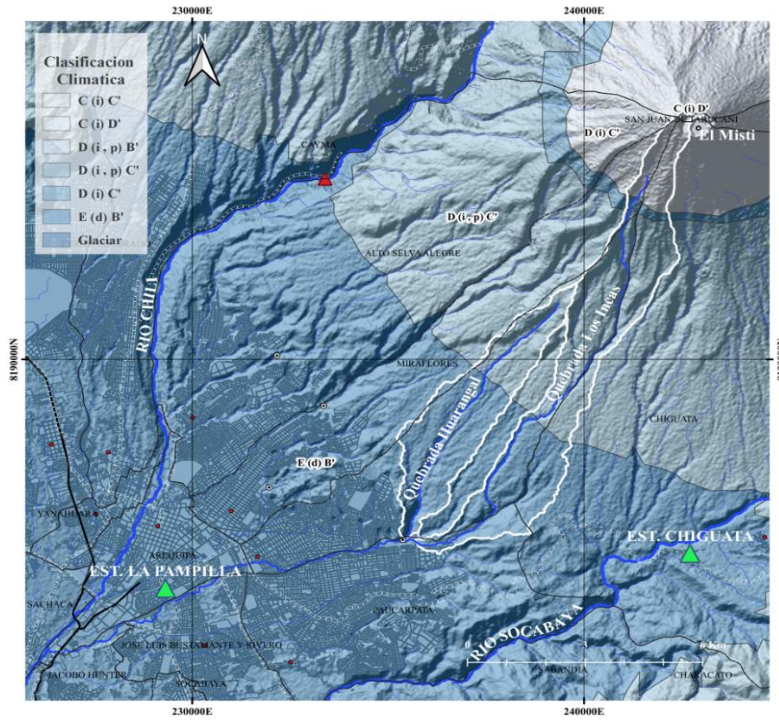
## Resumen

La ciudad de Arequipa, la segunda ciudad más importante del Perú, cada año sufre de desbordes e inundaciones en las márgenes de los cauces de las quebradas que hacen su ingreso a la ciudad y que confluyen hacia el río Chili, desencadenados por precipitaciones de corta duración, pero de alta intensidad. Situación que se agrava por la poca o nula planificación urbana, ya que, en más de los últimos 20 años las tormentas extremas se hacen cada vez más frecuentes debido al cambio climático. Este estudio presenta los resultados por la ocurrencia de flujos de lodo y escombros debido a lluvias extremas. Se utilizó la serie de tiempo de precipitación de la estación La Pampilla del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) con un registro de 42 años (1981 - 2022) para obtener hidrogramas de avenidas con el modelo HEC - HMS, considerando un perfil de tormenta tipo SCS-II. Se caracterizó los parámetros del modelo reológico en base al estudio de mecánica de suelos realizado en puntos críticos de la ciudad, para calibrar el modelo hidráulico a través de eventos históricos suscitados con las nuevas características de flujo no newtoniano en HEC - RAS. Finalmente, se elaboró mapas cartográficos en QGIS que permiten evaluar las zonas de peligro por inundación de la torrencera Los Incas.

## Introducción

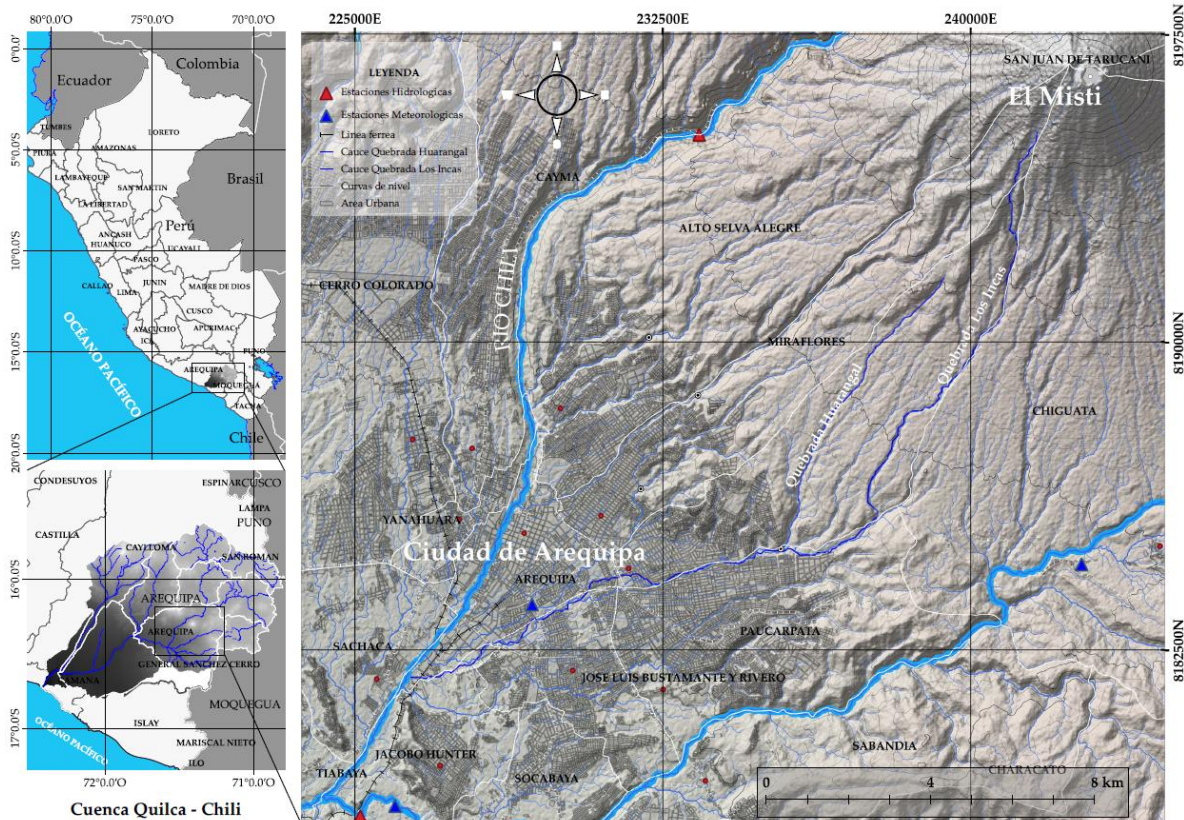
El último informe del Foro Económico Mundial [WEF] (2023), sobre riesgos globales, identifico a corto y largo plazo los desastres naturales y fenómenos meteorológicos extremos como los más críticos y que cada vez estamos menos preparados. El Perú está altamente expuesto frente al cambio climático, que repercute en la severidad y ocurrencia de fenómenos meteorológicos como El Niño, una situación que se agrava por la situación de desigualdad, pobreza y crecimiento demográfico (IPCC, 2022). Trancoso et al. (2024) evaluaron tendencias de series temporales continuas a largo plazo, concluyendo luego de evaluar 146 modelos climáticos (1980-2099) a escala global, condiciones futuras significativamente más húmedas para la vertiente del Pacífico y los Andes peruanos. El fenómeno del Niño costero ocurrido entre el 2016 y 2017, evidencio estudios deficientes en la parte hidrológica e hidráulica, lo que conllevó a la destrucción de más de 449 puentes a nivel nacional según el Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI] (2017). Arequipa, alberga más de 1 millón 316 mil habitantes según el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú [INEI] (2017) y la ciudad cada año sufre de inundaciones en los cauces de las torrenceras que confluyen hacia el río Chili, por precipitaciones de corta duración pero de alta intensidad, y en más de los últimos 20 años las tormentas extremas se hacen cada vez más frecuentes debido al cambio climático (Ccancapa et al., 2024) desencadenando en caudales más críticos hacia las torrenceras existentes. De esta manera, la caracterización de eventos extremos es de suma importancia para desarrollar estrategias efectivas de adaptación y mitigación de riesgos de desastre. Estudios recientes de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en Arequipa Metropolitana (2018), evidencio también que los sistemas de infraestructura e información frente a inundaciones son de vital importancia, para enfrentar las fuertes precipitaciones e inundaciones que se generan actualmente y que se ven potenciadas por el cambio climático. Por consiguiente, la presente investigación permite, de una manera inédita, cuantificar las áreas de peligro y de alto riesgo por inundaciones en la ciudad de Arequipa, caracterizando las lluvias extremas registradas por la estación La Pampilla, (representativa de la ciudad) a través de umbrales de precipitación máxima, con el fin de informar a la población sobre la peligrosidad de un fenómeno meteorológico adverso, previsto o en desarrollo, constituyendo así índices climáticos de lluvias extremas, con un método práctico y reconocido internacionalmente (Alfaro, 2014). La metodología aplicada puede servir de base para solucionar problemas similares en otras ciudades de iguales características, a través de la importancia sobre la gestión de riesgos de desastre frente al cambio climático. Por lo tanto, un indicador básico para una adecuada planificación y programación de actividades económicas, socio económicas, socio ambientales y de intervención territorial es conocer los diferentes regímenes climáticos presentes. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] el año 2020, elaboró el estudio Climas del Perú: Mapa de clasificación Climática Nacional y fue actualizado el año 2021 por el método de Thornthwaite, como una herramienta para conocer los diferentes tipos de clima en el Perú, para la toma de decisiones y reducción de riesgos de desastres, predominando en la ciudad de Arequipa un clima árido y templado E(d)B' (Figura 1) con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año (SENAMHI, 2021).





**Figura 1: Adaptação própria, Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática Nacional. Fuente: SENAMHI (2021).**

Según el diagnóstico que presenta el Plan de Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili (2015), la ciudad de Arequipa es el punto de mayor riesgo por huaicos, debido principalmente al crecimiento indiscriminado de la ciudad por una falta de planificación, un deficiente sistema de alcantarillado y la invasión de los cauces naturales. La ciudad (Figura 2), se encuentra dentro de la cuenca Quilca – Chili con un área de 13,457 km<sup>2</sup> y está ubicado en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes, por lo que pertenece a la vertiente del océano pacífico. Abarca prácticamente toda la provincia de Arequipa, al suroeste del territorio peruano, entre la Latitud Sur 15° 37' 50'' y 16° 47' 10'' y la Longitud Oeste 70° 49' 15'' y 72° 26' 35''.



**Figura 2: Ubicación de la ciudad de Arequipa y quebrada Los Incas bajo el volcán Misti.**



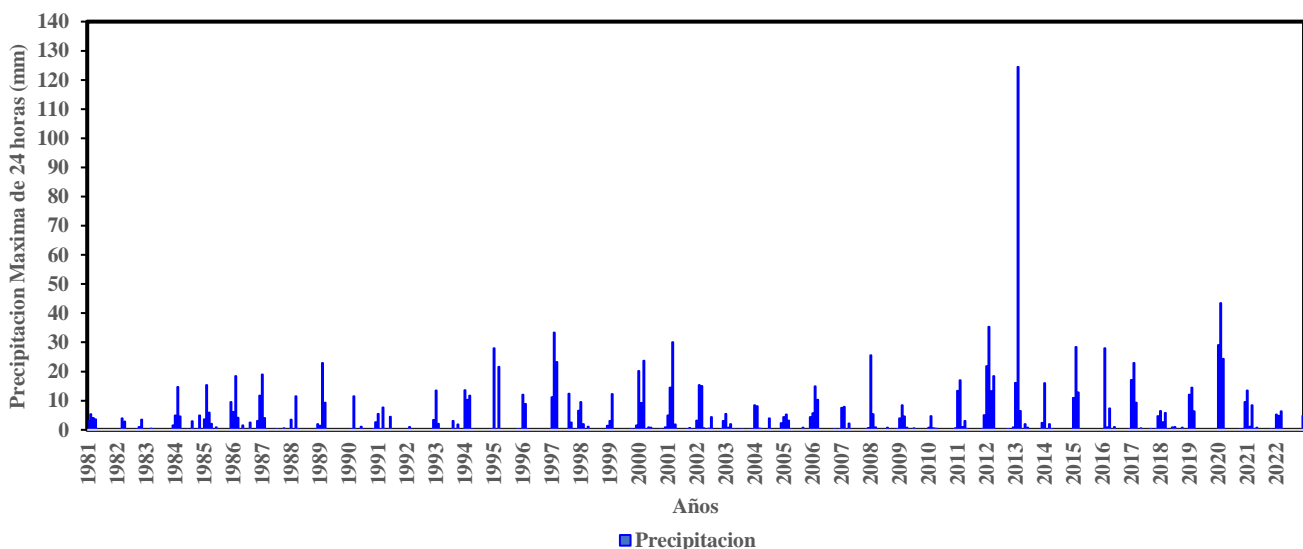
### Materiales y Métodos

Las inundaciones son la causa más frecuente de daños a la infraestructura en comparación con cualquier otro tipo de peligro natural (Pregolato et al., 2022). En la ciudad de Arequipa se han evidenciado el mal dimensionamiento y destrucción de puentes sobre las torrenteras, como también una planificación urbana inadecuada (El Búho, 2021) desencadenados por lluvias extremas. La interferencia antropogénica en el sistema climático se manifiesta cada vez más como intensidades y probabilidades alteradas de fenómenos meteorológicos extremos (Seneviratne et al., 2021) y se evidencia en la ciudad, a través de eventos históricos como fueron los años: 1995, 1997, 2001, 2008, 2012, 2013, 2015, 2016 y 2020 suscitados en época de lluvia (enero, febrero y marzo), representando pérdidas económicas que superan los S/. 350 millones en infraestructuras por lluvias torrenciales y la activación de quebradas (08 de febrero del 2013) (Figura 3), como consecuencia de no contar con estudios básicos de manera cuantitativa. Por esta razón, se dé necesidad realizar estudios por eventos extremos, como estudios de caso, debido a las características del evento y la solidez de la evidencia misma (Clarke et al., 2023).



**Figura 3: A) Calles invadidas de lodo por activación de quebradas posteriormente torrenteras. B) Vías destruidas como consecuencias de las inundaciones por acción de la intensa lluvia registrada. Fuente: Diario Correo (2013).**

Los umbrales son indicadores que van en relación con la peligrosidad ya sea de precipitación, nivel del agua o caudal. Para una caracterización de lluvias extremas, un criterio común es establecer umbrales de precipitación como índices climáticos. Para la determinación de umbrales de precipitación máxima para este estudio, se siguió de acuerdo con el procedimiento descrito por Alfaro (2014), el cual es utilizado por norma técnica del SENAMHI. Thouret et al. (2013) proporcionaron el mapeo y la cartografía como fuente de apoyo para el peligro y riesgo frente a inundaciones repentinas y lahares (flujos de lodo volcánico) de las quebradas San Lázaro y Huarangal a través de la morfología de los cauces. Sin embargo, Ccancapa et al. (2024) mencionan que se requiere de un análisis precipitación – escorrentía para obtener caudales máximos a través de un modelo hidrológico en base a datos observados de una estación meteorológica (Figura 4).



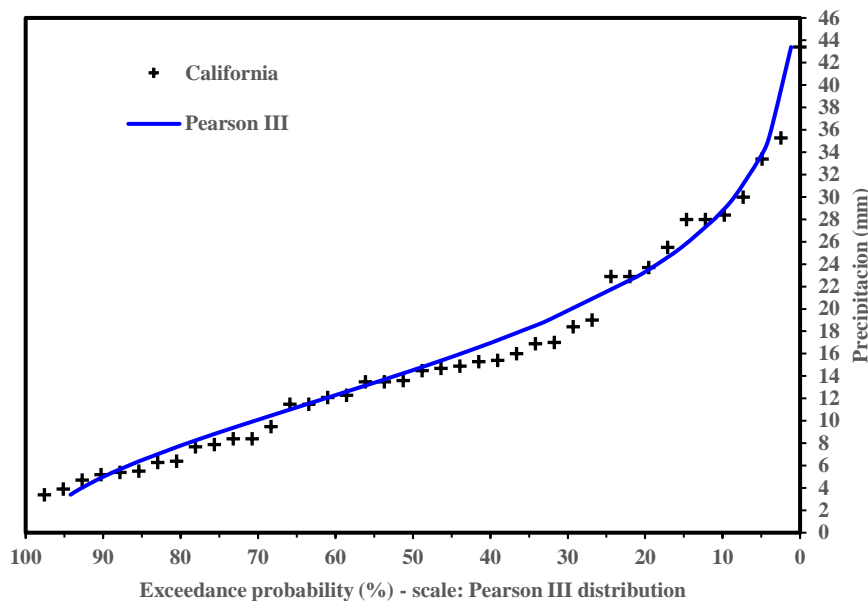
**Figura 4: Precipitación máxima de 24 horas de la Estación La Pampilla (1981 - 2022).**

La delimitación de las cuenca se realizó siguiendo las buenas prácticas desarrolladas en Qgis, por Der Kwats y Menke (2019), determinando las características fisiográficas y geomorfológicas para la quebrada Los Incas en base al modelo digital de elevación FAB-DEM, a resolución de 30 m, ya que los últimos datos de elevación global contienen aspectos forestales y de construcción que limitan su utilidad para aplicaciones que requieren alturas precisas del terreno, en particular la simulación de inundaciones (Hawker et al., 2022). El hidrograma líquido se obtuvo a partir de datos de precipitaciones máximas de 24 horas





de la estación La Pampilla (Figura 1), con un registro de 42 años (1981 - 2022). Luego, se realizó el análisis de frecuencia según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje [MHHYD] del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], para ocho funciones de distribución de probabilidad teóricas (Normal, Log Normal II/III Parámetros, Gumbel, Log Gumbel, Gamma II/III Parámetros y Log Pearson tipo III), se tuvo en cuenta la teoría de valores extremos para caracterizar los eventos de precipitación extrema (Endara, 2017), con siete funciones empíricas de probabilidad (Hazen, California, Weibull, Chegodayev, Blom, Gringorten y Cunnane) para determinar el mejor ajuste a la serie de caudales máximos a través de la prueba no paramétrica de bondad y ajuste Smirnov - Kolmogorov con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ . La función empírica California, Weibull y la teórica Pearson III, Gumbel son las que mejor se ajustaron. Las Figura 5 muestra el análisis de frecuencia y el ajuste. Para determinar el hidrograma líquido, se utilizó el modelo hidrológico del HEC - HMS, con la metodología del Servicio de Conservación de Suelos (SCS, 1986) para conocer la lluvia neta con el número de curva (SCS, 1972) y el método de transformación precipitación - escorrentía por el hidrograma unitario (SCS, 1972). Para el presente estudio se utilizó la distribución de tormenta SCS - Tipo II que calcula los hidrogramas de avenida para precipitación de 24 horas y la distribución Tipo II por tratarse de cuencas altoandinas, los parámetros de entrada al modelo HEC - HMS.



**Figura 5: Análisis de frecuencia de la estación La Pampilla (1981 - 2022).**

Determinar el tipo de flujo y la lluvia como factor desencadenante en regiones áridas es crucial (Siman-Tov y Marra, 2023) y según el manual de flujo de lodo y escombros de HEC-RAS (2020), a medida que la carga de sedimentos aumenta y se vuelve más gruesa, el fluido pasa de newtoniano a hiperconcentrado, lodo, escombros y finalmente flujos clásticos. La ecuación hidráulica de momento (ecuación 1) es utilizada para flujo newtoniano.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (1)$$

Donde,  $S_f$  representa todas las pendientes de pérdida adimensional en las simulaciones newtonianas, incluidas la expansión, contracción y el viento. Los métodos de flujo de lodo y escombros son enfoques no newtonianos, que calculan las pérdidas internas de los modelos de tensión-deformación que no tienen una intersección cero y/o no son lineales. Hay una variedad de enfoques para simular fluidos no newtonianos, para este estudio se realizó un enfoque monofásico es decir a través de parámetros reológicos con el modelo HEC - RAS en su nueva versión 6.4 basados en algoritmos no newtonianos en DebrisLib (Gibson et al., 2020). El enfoque monofásico para flujo de lodo y escombros simplemente agrega otra pendiente de pérdida adimensional, una pendiente de lodo y escombros ( $S_{MD}$ ) (ecuación 2), que incorpora los efectos no newtonianos en las ecuaciones hidráulicas.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f + S_{MD} \right) = 0 \quad (2)$$

Representando los efectos no newtonianos como una pendiente de “fricción” que es el movimiento matemático que permite incorporar la “reología” que es el estudio de como los materiales se deforman bajo esfuerzo o tensión. Para determinar los mapas de peligro frente a inundaciones generalmente toma dos pasos, un análisis hidrológico para determinar la magnitud de la descarga de tormenta de baja probabilidad (100 años) y un modelo hidráulico 1D/2D para estimar la profundidad del flujo



(Mazer et al., 2021). En el Perú, la ANA, es un organismo público adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego, responsable de dictar normas y establecer los procedimientos para la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos. Según el Uso y Gestión de Fajas Marginales (2020), se busca establecer un límite superior de la ribera, una “Faja Marginal”, donde se señala que en terrenos aledaños a los cauces naturales o artificiales de las fuentes de agua colindantes a asentamientos poblacionales un “periodo de retorno de 100 años. El modelamiento bidimensional (2D) para cada torrentera se realizó con la ayuda del software HEC - RAS (Hydrologic Engineering Center's – River Analysis System), teniendo en cuenta condiciones contorno o frontera de entrada (Flow Hydrograph), salida (Normal Depth) y la rugosidad de Manning (Figura 31), tomando valores recomendados por libro hidráulica de canales abiertos de Ven Te Chow (1994).

### Resultados y discusión

Para la estación la Pampilla, los datos de precipitación acumulada se ordenaron de menor a mayor con 996 días con lluvia ( $RR > 0.1 \text{ mm}$ ) y se calcularon los percentiles de la serie de 995 días con lluvia, excluyendo el mayor valor registrado (124.5 mm) debido a una lluvia excepcional (Cacya et al., 2013), y a la estadística de los valores extremos. Hubo 833 datos faltantes en la serie (Figura 6) lo que representa un 5.3 % de datos faltantes a causa de trazas.

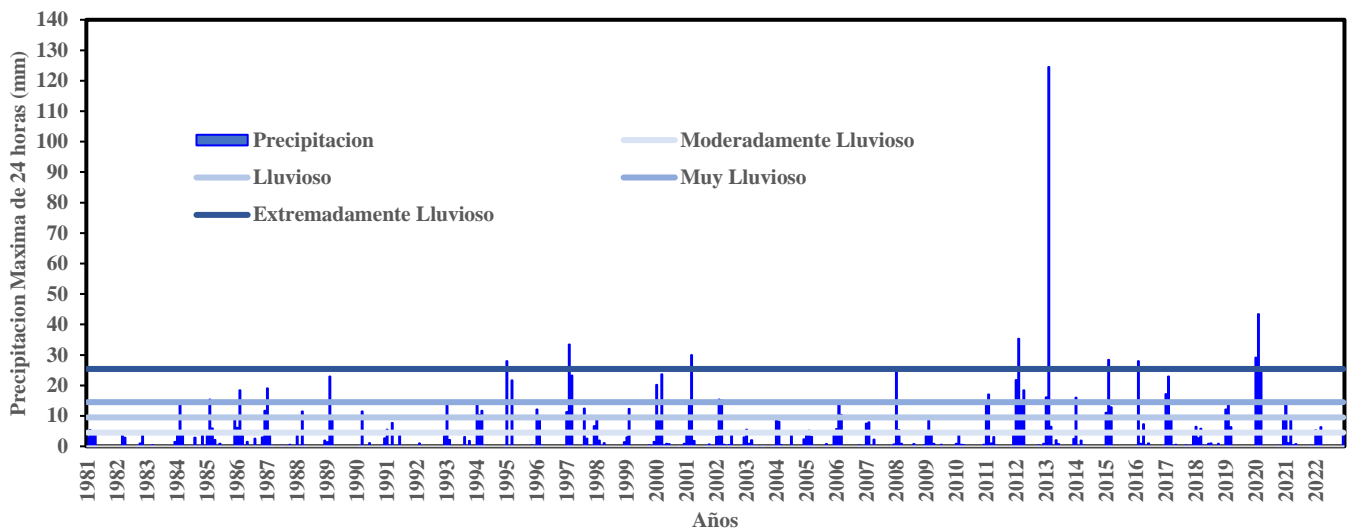


Figura 6: Umbrales de precipitación máxima - Estación La Pampilla (1981 - 2022).

Los aspectos topográficos tienen un factor importante en la producción de sedimentos como la pendiente, en tal sentido se determinó el perfil longitudinal de las quebradas posteriormente torrenteras Huarangal y Los Incas, que se encuentran a la margen izquierda del río Chili y que confluye hacia él, presentando una pendiente del cauce principal que va desde los 7 a 18.0 %, lo que sugiere una alta capacidad de transporte ante máximas avenidas. Se evidencio también, que la principal fuente de sedimentos está localizada en la parte media-alta de las quebradas y que corresponden a depósitos sedimentarios aluviales antiguos y el principal modo de erosión es el de tipo superficial, cárcavas y fluvial del cauce principal (Figura 7).

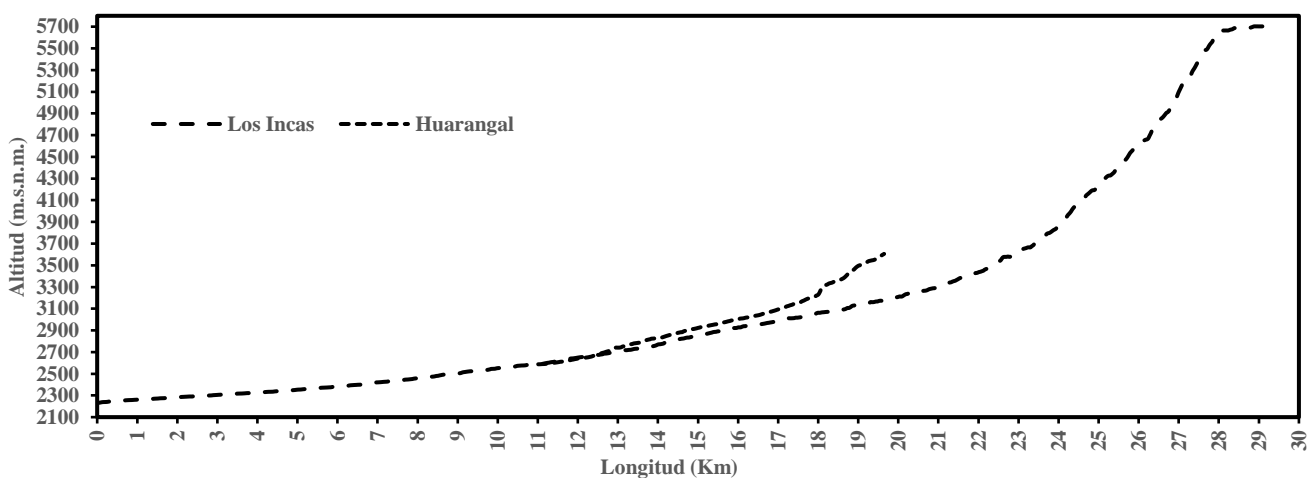


Figura 7: Perfil longitudinal del cauce principal de la quebrada Los Incas y Huarangal.

La quebrada Los Incas se delimito hasta la confluencia del río Chili, presentando un área de drenaje (A) de 41.3 Km<sup>2</sup>, un perímetro (P) de 39.1 Km y una diferencia altitudinal (DA) de 3576.4 m, respecto a sus parámetros de forma la quebrada



presenta un índice de compacidad o Gravelius ( $C_g$ ) de 2.9 y longitudes de rectángulo equivalente de 31.5 y 1.4 Km (lado mayor y menor), lo que sugiere una cuenca alargada (probabilidad baja de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta), se espera una respuesta hidrológica inmediata. En cuanto a los parámetros de relieve, se halló que la longitud del cauce principal ( $L$ ) es de 27.1 Km, una pendiente media de cuenca ( $j$ ) y de cauce principal ( $J$ ) de 19.4 % (Tabla 6) y 13.0 % respectivamente, estas características corresponden a relieves fuertemente accidentados o empinados, lo que sugiere peligro extremo de erosión de suelos (CENEPRED, 2014) y gran capacidad de transporte de sedimentos en época de avenidas. La curva hipsométrica de la cuenca representa el área de drenaje con relación a su altitud, se encontró que más del 60 % del área de drenaje se encuentra por encima de los 2882.6 m.s.n.m. y su altitud media de 3046.3 m.s.n.m. Asimismo, la pendiente longitudinal del cauce principal y su curva hipsométrica sugiere una cuenca en estado de equilibrio (Curva B). Según Shen et al. (2018) la relación entre los procesos de erosión, transporte y deposición de flujos de escombros es la base de la evaluación del peligro a través de la variabilidad espacial de las propiedades mecánicas de los depósitos de sedimentos en zonas afectadas. De esta manera, se realizó estudios de mecánica de suelos en puntos críticos de la quebrada Los Incas, encontrando un mayor porcentaje de arenas con limos (50%) sobre las gravas (30%), cantos rodados (15%) y residuos sólidos (5%) a nivel de cimentación de suelos con SUCS=SP (arenas con mala gradación). Los resultados en la torrentera (simulaciones) para la parametrización de “Suelo Típico” con el modelo O’Brien Equation (Quadratic) para flujos de lodo y escombros ( $C_v > 60\%$ ) por medio de eventos históricos suscitados como fue el año 2020 (Figura 8), sobreestimaron la llanura aluvial. Sin embargo, dada la incertidumbre y la sensibilidad de los parámetros de calibración (Gibson et al., 2022), muestran resultados acordes a zonas de peligro por inundación en la ciudad de Arequipa (Figura 9) con el modelo HEC - RAS.



**Figura 8: Registro del 25 de febrero de 2020. Precipitaciones de fuerte intensidad provocaron la activación de quebradas y huaicos, con ingreso de lodo al Terminal Terrestre y el Terrapuerto de la ciudad de Arequipa. Fuente: El Búho (2020).**

Roldan et al. (2022) evaluaron la cuenca Chimba en Antofagasta del desierto de Atacama (Chile) por presentarse diferentes características geomorfológicas, geológicas y climáticas (Zona árida), provocando catástrofes. Concluyendo que el factor pluviométrico es capaz de provocar deslizamientos en zonas de montaña. Martínez et al. (2023) evaluaron inundaciones en la ciudad de Santa Clara, Cuba. La investigación desarrollo un modelo de simulación hidráulica unidimensional (1D) y bidimensional (2D) con el modelo numérico HEC - RAS y métodos basados en SIG (Sistema de Información Geográfica). Concluyendo que los mapas de inundación en áreas urbanas son una herramienta para los planificadores de gobiernos locales para la evaluación de riesgos y el desarrollo de planes estratégicos de mitigación, con el fin de reducir pérdidas humanas y económicas durante un evento. Almeida et al. (2019) realizaron una evaluación de flujo de lodo y escombros por lluvias torrenciales en zonas de montaña caracterizados por el desprendimiento de material de laderas y de cauces en Mirave (Tacna - Perú). Concluyendo que el modelo utilizado para evaluar el riesgo de desastres por flujos no newtonianos de manera empírica tiene resultados aceptables, de acuerdo con huellas históricas dejadas por el evento del 08 de febrero del 2019. Thouret et al. (2022) analizaron las quebradas San Lázaro y Huarangal por movimientos rápidos de masa y lahares a través de modelos numéricos en hidráulica torrencial (Tatan2F, VolcFlow y Flo-2D), determinando áreas de posible afectación por desborde e inundación, con el objetivo de proporcionar información a los tomadores de decisión y emprender proyectos de modernización y mejora de la planificación ante riesgos urbanos. De esta manera, se evaluaron 21 puntos críticos en la quebrada Los Incas, presentando zonas de potencial erosión y socavación, además por desbordes en las márgenes derecha e izquierda de la torrentera. Evidenciando puntos de ALTA vulnerabilidad hidrológica e hidráulica en el Ovalo Av. Los Incas, Terminal Terrestre y



Terrapuerto. Además, altas velocidades ( $> 3 \text{ m/s}$ ) en el puente de la Av. Alfonso Ugarte. Por consiguiente, se recomienda tomar medidas estructurales de protección tanto en la margen derecha e izquierda. También, medidas de gestión de riesgos como resultado del estudio, la construcción de infraestructuras con diseños adecuados y acorde a las características de la ciudad de Arequipa. Finalmente, una integración institucional y sensibilización a la población por la ocurrencia eventos hidrometeorológicos extremos.

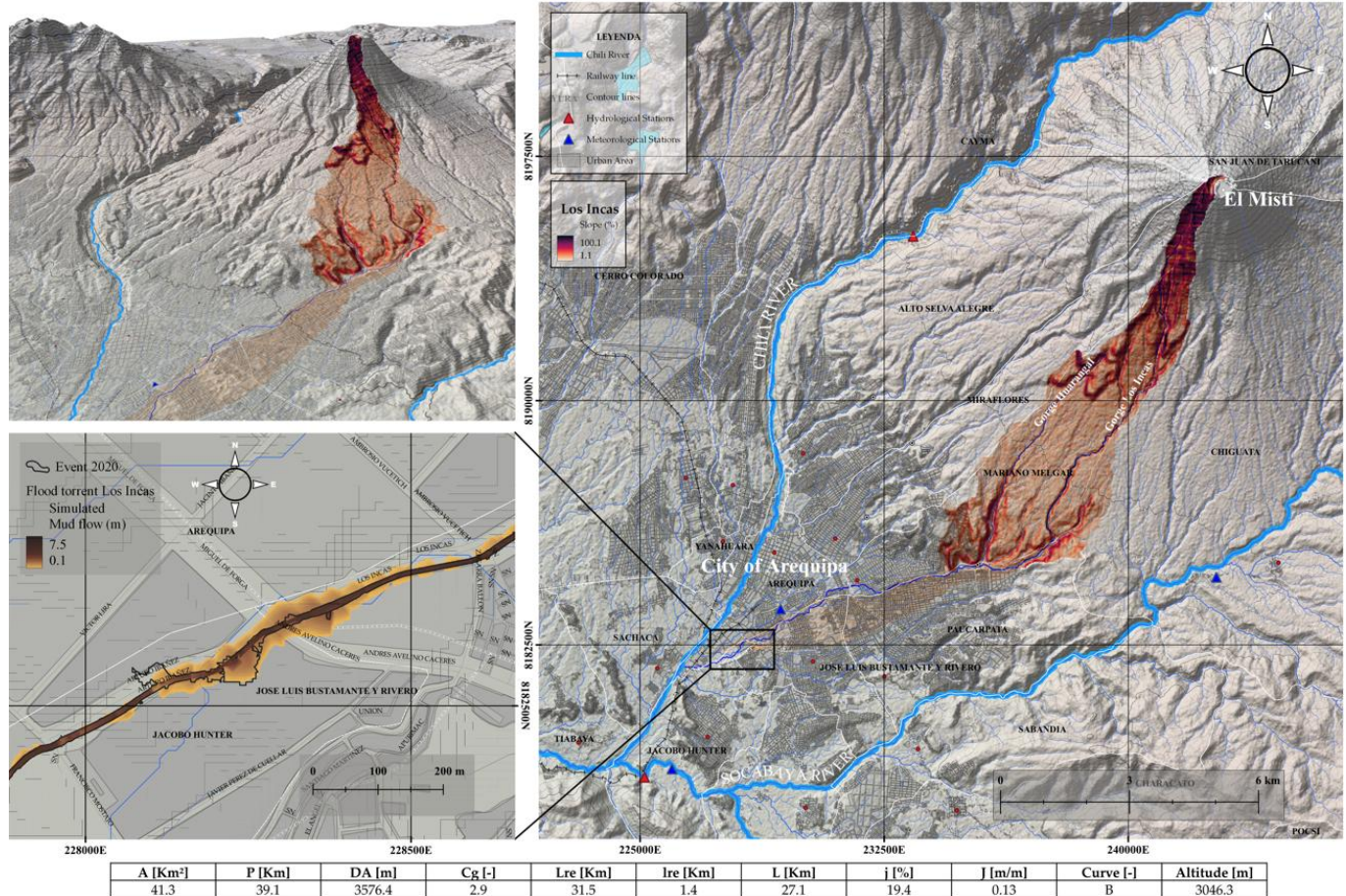


Figura 9: Modelamiento por flujo de lodo en la torrentera Los Incas.

### Conclusiones

Se determinó el peligro de inundaciones a través de la caracterización de las precipitaciones máximas de 24 horas (lluvias extremas) de la estación La Pampilla entre 1981 – 2022 (15,340 datos), permitiendo determinar un umbral de “extremadamente lluvioso” (percentil 99) que se presenta aproximadamente cada 5 años en la ciudad de Arequipa, como eventos desencadenantes a movimientos rápidos de masa (inundaciones no newtonianas) como fueron los años 1995, 1997, 2001, 2008, 2012, 2013, 2015, 2016 y 2020.

Los resultados en las torrenteras (simulaciones bidimensionales) para la parametrización de suelo típico con el modelo O’Brien Equation (Quadratic) para flujos de lodo y escombros ( $C_v > 60\%$ ), por medio de eventos históricos suscitados (2020), sobreestimaron la llanura aluvial. Sin embargo, dada la incertidumbre y la sensibilidad de los parámetros de calibración muestran resultados acordes a zonas de peligro por inundación en la ciudad de Arequipa.

La concentración volumétrica ( $C_v$ ) tiene un gran impacto entre el esfuerzo de cedencia ( $\tau_y$ ) y la viscosidad dinámica ( $\mu_r$ ), tal como se evidencia en el análisis de sensibilidad realizado en el presente estudio por medio de la taxonomía de HEC-RAS.

### Comentarios finales

Esta investigación fue financiada por la Universidad Católica de Santa María, a través del proyecto “Semilleros de Investigación – Convocatoria Estudiantes 2024”.

### Agradecimientos

A la Universidad Católica de Santa María (UCSM) por el financiamiento, en cuyo marco se desarrolló el presente proyecto de



investigación aplicada.

### Referencias Bibliográficas

- Alfaro, L.; 2014. Estimación de umbrales de precipitación extremas para la emisión de avisos meteorológicos.
- Almeida, A.; Quisca, S.; Castillo, L.; 2019. Numerical Simulation of Debris Flows of the Catastrophic Event of February 2019 in Mirave – Peru. *Revista Ambiente & Água*.
- [ANA] Autoridad Nacional del Agua; 2015. Plan de gestión de los recursos hídricos de la cuenca Quilca – Chili.
- [ANA] Autoridad Nacional del Agua; 2020. Uso y Gestión de Fajas Marginales.
- [CAF] Corporación Andina de Fomento. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en Arequipa Metropolitana; 2018.
- Cacya, L.; Meza, P.; Carlotto, V.; Mamani, L.; 2013. Aluvión del 8 de febrero del 2013 en la ciudad de Arequipa. *Internacional Peligros Geológicos*.
- Ccancapa, J.; Hidalgo, V.A.; Noriega, G.Y.; Chávez, A.E.; Marques M.; 2024. Analysis and risk prevention due to floods in high-risk gorges in the city of Arequipa – Perú. *Tecnología y Ciencias del Agua* 15(6).
- Chow, V. T.; 1994. Hidráulica de Canales Abiertos.
- Clarke, B.; Otto, F.; Jones, R.; 2023. When don't we need a new extreme event attribution study?. *Climatic Change* 176(60).
- [CENEPRED] Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres; 2014. Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales.02 versión.
- Gibson, S.; Floyd, I.; Sánchez, A.; Heath, R.; 2020. Comparing single-phase, non-Newtonian approaches with experimental results: Validating flume-scale mud and debris flows in HEC-RAS. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15(3) 540-553.
- Gibson, S.; Sánchez, A.; 2021. HEC-RAS Mud and Debris Flow: User and Technical Reference Manual v6.1.
- Gibson, S.; Zandonadi, L.; Ackerman, C.; Ortman, N.; Amorim, R.; Floyd, I.; Eom, M.; Creech, C.; Sánchez A.; 2022. Prototype Scale Evaluation of Non-Newtonian Algorithms in HEC-RAS: Mud and Debris Flow Case Studies of Santa Barbara and Brumadinho. *Geosciences*, 12(3) 134.
- Hawker, L.; Uhe, P.; Paulo, L.; Sosa, J.; Savage, J.; Sampson, C.; Neal, J.; 2022. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters* 17.
- [INDECI] Instituto Nacional de Defensa Civil; 2017. Compendio Estadístico del INDECI 2017 Gestión Reactiva.
- [INEI] Instituto Nacional de Estadística e Informática; 2017. Arequipa alberga a 1 millón 301 mil habitantes a los 476 años de su creación política.
- Martinez, G.; Garcia-Chevesich, P.; Guillen, M.; Tejada-Purizcana, T.; Martinez, K.; Ticona, S.; Novoa, H.; Crespo, J.; Holley, E.; McCray, J.; 2023. Urban Stormwater Quality in Arequipa, Southern Peru: An Initial Assessment. *Water* 16 (1) 108.
- Mazer, K.E.; Tomasek, A.A.; Daneshvar, F.; Bocardo Delgado, E.F.; Bowling, L.C.; Frankenberger, J.R.; McMillan, S.K.; Novoa, H.M.; Zaballos-Velarde, C.R.; 2021. Integrated Hydrologic and Hydraulic Analysis of Torrential Flood Hazard in Arequipa, Peru. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 171 93–110.
- Pregnotato, M.; Winter, AO; Mascarenas D.; Sen, AD; Bates, P.; Motley MR. 2022. Assessing flooding impact to riverine bridges: an integrated analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 22(5) 1559-1576.
- Roldan, F.; Salazar I.; Gonzalez, G.; Roldan, W.; Toro, N.; 2022. Flow-Type Landslides Analysis in Arid Zones: Application in La Chimba Basin in Antofagasta, Atacama Desert (Chile). *Water* 14(14), 2225.
- [SENAMHI] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú; 2021. Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática Nacional.
- Seneviratne, S.I.; Zhang, X.; Adnan, M.; 2021. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate In Climate Change





2021 the physical science basis Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 1513–1766.

Siman-Tov, S.; Marra, F.; 2023. Antecedent rainfall as a critical factor for the triggering of debris flows in arid regions. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 23(3) 1079-1093.

Thouret, J.-C.; Enjolras, G.; Martelli, K.; Santoni, O.; Luque, J. A.; Nagata, M.; Arguedas, A.; Macedo, L.; 2013. Combining criteria for delineating lahar - and flash-flood-prone hazard and risk zones for the city of Arequipa, Peru. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13 339-360.

Thouret, J.C.; Arapa, E.; Charbonnier, S.; Guerrero, A.; Kelfoun, K.; Cordoba, G.; Rodriguez, D.; Santoni, O.; 2022. Modeling Tephra Fall and Sediment-Water Flows to Assess Their Impacts on a Vulnerable Building Stock in the City of Arequipa, Peru. *Frontiers in Earth Science*.

Trancoso, R.; Syktus, J.; Allan, R.P; 2024. Significantly wetter or drier future conditions for one to two thirds of the world's population. *Nature Communications* 15, 483.

Van Der Kwast, H.; Menke, K.; 2019. Qgis for Hydrological Applications Recipes for Catchment Hydrology and Water Management.

[WEF] World Economic Forum; 2023. The Global Risks Report. Ginebra. Suiza.





# AS GEOTECNOLOGIAS E O CADASTRO NACIONAL DE ENDEREÇOS PARA FINS ESTATÍSTICOS NA ANÁLISE DE ENCHENTES NA CIDADE DE ITAQUI - RS

**1Sidnei Luís Bohn Gass, 2Dieison Morozoli da Silva, 3Robert Martins da Silva**

*1 Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui, e Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: sidneibohngass@gmail.com; 2 Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: dieison.geo@gmail.com; 3 Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui, e-mail: robertsilva@unipampa.edu.br*

**Palavras-chave:** inundações, planejamento, geoprocessamento.

## Resumo

As inundações são um desafio para a gestão de cidades e a sua compreensão é estratégica para o enfrentamento de desastres. Nesse contexto, as geotecnologias têm muito a contribuir, possibilitando a análise espacial dos fenômenos a um baixo custo econômico. Além disso, o Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE), recentemente atualizado pelo IBGE também pode acrescentar informações valiosas ao processo de planejamento e tomada de decisões. Com isso, esse trabalho objetivou a integração de produtos de sensoriamento remoto, geoprocessamento e do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos no estudo das enchentes na cidade de Itaqui, RS. Dados do satélite CBERS-4A foram combinados com o CNEFE para a identificação do número de atingidos pela enchente no dia 01/11/2023. Os mesmos dados do CNEFE foram analisados em conjunto com a altimetria e a delimitação das áreas de risco à inundações, possibilitando a identificação dos imóveis expostos cada nível de risco. Os dados obtidos foram semelhantes aos divulgados pela Defesa Civil do município e sua obtenção e processamento não demandaram custos financeiros. Com o trabalho foi percebida a potencial contribuição das geotecnologias para a gestão de eventos de desastre, além de sua praticidade e baixo custo.

## Introdução

Um dos desafios para a manutenção da vida humana na terra é a ocorrência dos desastres naturais. Para que um fenômeno natural seja considerado desastre é preciso que este ocorra em áreas com presença humana, pois “fenômenos físicos não configuram desastres quando acontecem em local remoto, sem a presença antrópica” (Cunico; Oka-Fiori, 2014, p. 10).

Na história recente do Brasil não há registros de eventos significativos de desastres naturais como erupções vulcânicas, terremotos e tsunamis, porém episódios como deslizamentos de encostas, alagamentos, temporais e enchentes são causadores de prejuízos e fatalidades. As enchentes, tema norteador desse trabalho, são uma realidade de desastre natural enfrentada principalmente por aglomerados urbanos situados às margens de cursos hídricos. Além disso, “a inundações é o desastre hidrológico mais frequente no mundo” (Moreira; Kobiyama, 2021, p. 309). Um exemplo desse cenário pode ser observado em Itaqui, cidade situada na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul. A cidade, que conta com um considerável número de residências nas proximidades de um rio e um arroio que circundam a sede urbana, é mobilizada de forma praticamente periódica por conta das áreas inundadas. Diante dessa realidade, são necessários esforços e planejamentos capazes de atender a população atingida de forma ágil e eficaz.

Para que seja possível uma melhor compreensão das demandas decorrentes dos episódios de enchentes é primordial que seu comportamento seja conhecido. Nesse contexto, a utilização de metodologias capazes de registrá-las de forma espacial e quantitativa é necessária. Para que isso aconteça, uma das possibilidades reside em lançar mão do geoprocessamento e do sensoriamento remoto, o que torna possível o cruzamento e obtenção de informações de forma ágil.

O geoprocessamento “engloba o total conjunto de técnicas ligadas à informação espacial, quer seja no tocante a coleta, armazenamento, tratamento e análise, bem como uso integrado desses dados geográficos” (Medeiros, 2012). É através do geoprocessamento que planos de informações, tanto matriciais, quanto vetoriais e alfanuméricos, são integrados e podem ser unidos, recortados e selecionados, para o estudo das informações que possuam localização sobre a superfície da Terra.

O sensoriamento remoto pode ser descrito como “uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres” (Meneses; Almeida, 2012, p. 3). A radiação solar que chega até a superfície terrestre é refletida pelos corpos que nela se encontram, sejam essas áreas de vegetação, corpos d’água, solo exposto, entre outras possibilidades. Cada corpo, devido sua composição molecular, reage de forma distinta à radiação solar e então os níveis de energia refletidos também são característicos de cada alvo. A energia refletida pode ser registrada por sensores orbitais, em especial os satélites, na forma de imagens, as quais representam de forma visual os fenômenos ocorridos na superfície terrestre, inclusive aqueles invisíveis à olho nu.

Uma das formas de aplicar o geoprocessamento é através da utilização de softwares de Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIGs), nos quais é possível que imagens, vetores e dados alfanuméricos diversos sejam integrados para a obtenção, visualização e representação de informações acerca de uma determinada porção da superfície terrestre que tenha suas coordenadas conhecidas.



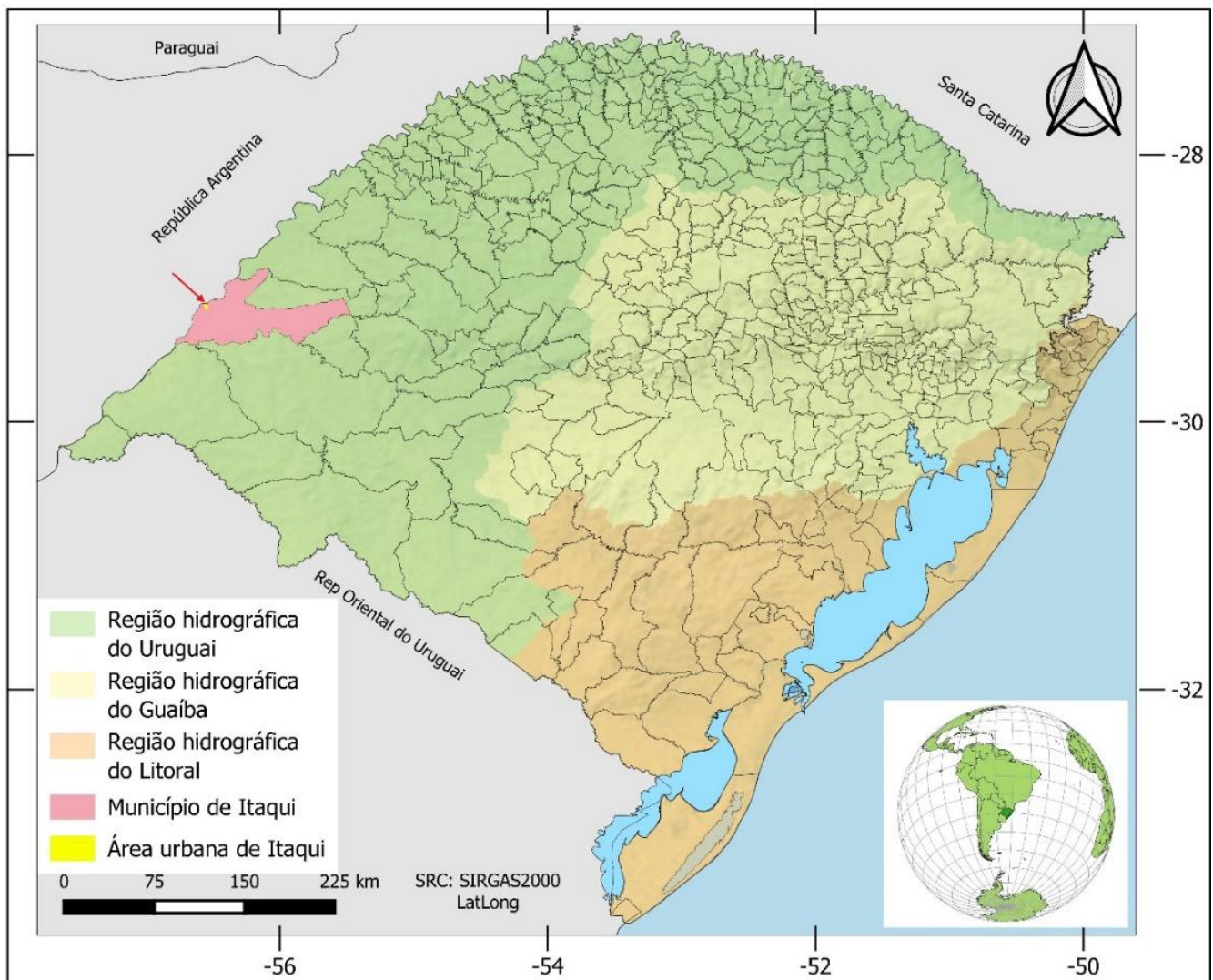
Uma vez que os SIGs se apresentam como ferramentas poderosas e versáteis, é a partir da disponibilidade de informações geolocalizadas e detalhadas que se pode compreender melhor as realidades de um local. É nesse cenário que o Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos – CNEFE (IBGE, 2024) ganha destaque, ao se tratar de uma camada vetorial do tipo ponto, que localiza de forma georreferenciada os endereços visitados pelo Censo 2022.

Posto o paradigma das enchentes como desastres naturais e das possibilidades inerente ao geoprocessamento remoto, bem como a disponibilidade de um cadastro georreferenciados dos imóveis em 2022, é de se esperar que a integração dessas informações venha a contribuir para ações de planejamento e gestão dos eventos de inundação.

Diante desse cenário, esse trabalho objetivou a integração de produtos de sensoriamento remoto, geoprocessamento e do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos no estudo das enchentes na cidade de Itaquí, RS.

### Material e métodos

A área de estudo definida para o trabalho foi a sede urbana do município de Itaquí, localizado na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1). Foi tomado como recorte temporal o ano de 2023, no qual ocorreram os episódios mais recentes de inundação decorrentes da enchente dos cursos d'água que circundam a cidade.



**Figura 1: Localização da área de estudo.**

**Fonte: os autores.**

Para a visualização da área urbana e da área inundada foi utilizada uma imagem do satélite CBERS-4A, da órbita 231 e ponto 150, capturada em 01 de novembro de 2023. Apesar dessa data não corresponder à maior cota de inundação, coincidiu com uma imagem sem cobertura de nuvens e coincidente com período de ocorrência dos eventos. A imagem foi recortada para as proximidades da sede urbana. Foi feito o mosaico das camadas correspondentes ao intervalo visível do espectro eletromagnético, sendo obtida uma composição colorida com resolução espacial de 8 metros. Essa composição colorida foi posteriormente associada à banda pancromática através de um procedimento de *pansharpening*, sendo obtida uma imagem com





pixels de 2 metros de resolução espacial. De posse da imagem, foi feita a vetorização da área visivelmente coberta pela lâmina d'água, sendo o arquivo *geopackage* resultante do tipo área (polígono).

A delimitação das diferentes áreas de risco foi feita a partir das áreas definidas por Silva *et al* (2020), cedidas gentilmente pelos autores.

Através do portal de visualização e download do CNEFE (IBGE, 2024) foi obtida a camada vetorial de pontos correspondentes aos endereços do Rio Grande do Sul, disponibilizados no formato de valores separados por vírgulas (CSV). Cabe ressaltar que a iniciativa do CNEFE é anterior ao ano de 2022, porém o Censo 2022 foi a atualização mais recente adicionada a este cadastro, inclusive de forma georreferenciada. As informações foram importadas como texto e convertidas ao formato *geopackage* para uso posterior. O *geopackage* de pontos foi então recortado para a área de abrangência da lâmina d'água da inundação identificada na imagem de satélite e para os limites das áreas de risco.

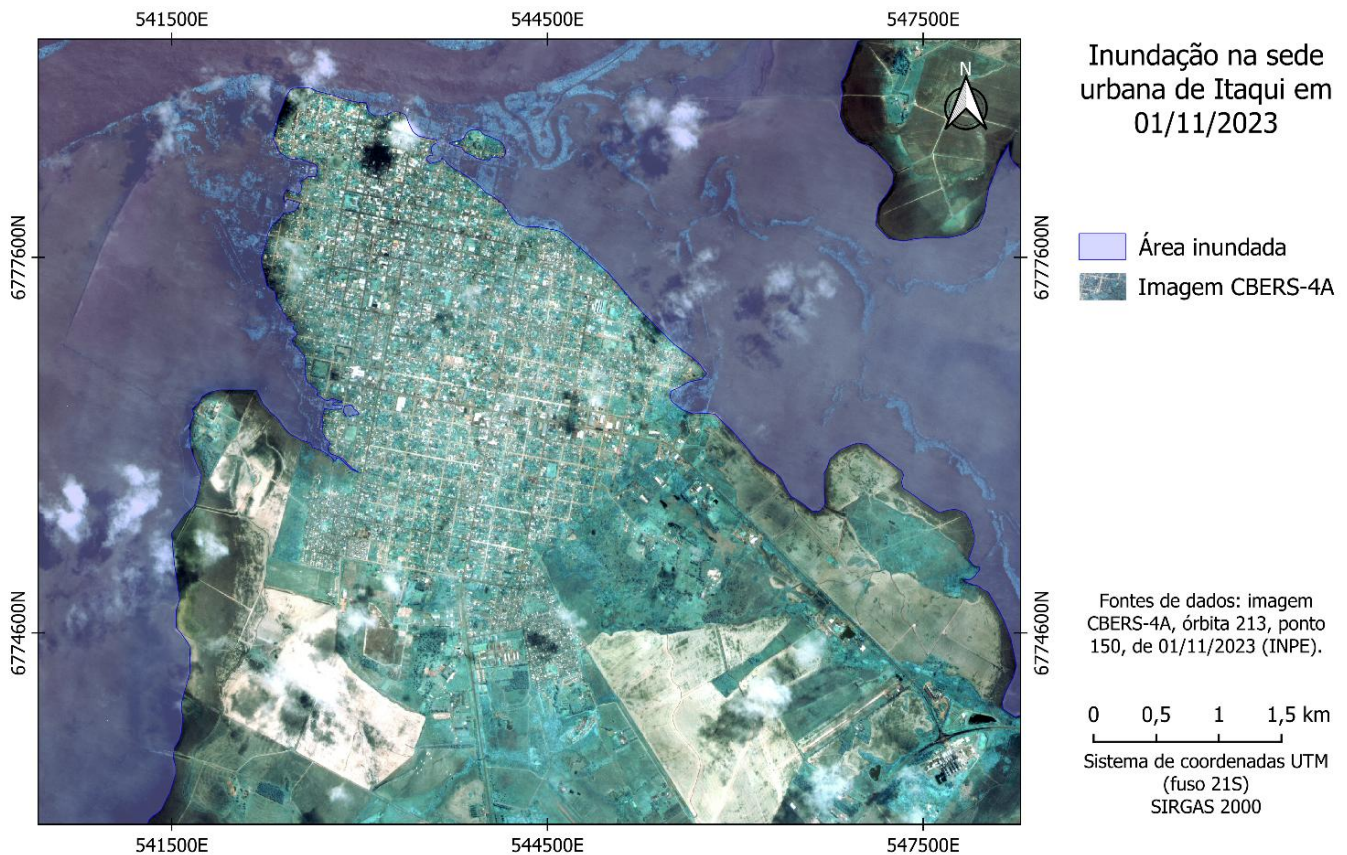
As informações selecionadas foram compiladas na forma de mapas.

### Resultados e discussão

Apesar da recorrência das enchentes em Itaqui de forma praticamente anual (Silva, 2014), ainda não é possível antecipar a ocorrência dos episódios de inundação. O autor também demonstra que em virtude disso, aqueles moradores que não possuem casas de alvenaria adaptaram suas casas de madeira para que sejam arrastadas por tratores e então removidas para áreas em que a lâmina d'água não alcança. Isso decorre da sobreposição entre a área de influência dos cursos d'água e a mancha urbana da cidade.

A inundação ocorrida nos meses finais do ano de 2023, apesar de abranger predominantemente as áreas não-habitadas, conforme pode ser visualizado na Figura 2, também toca as margens da cidade e entra por suas vias de circulação, principalmente nas porções noroeste e leste. Nos locais mais a nordeste a inundação é mais modesta, sendo atingidas apenas as bordas da estrutura urbana.

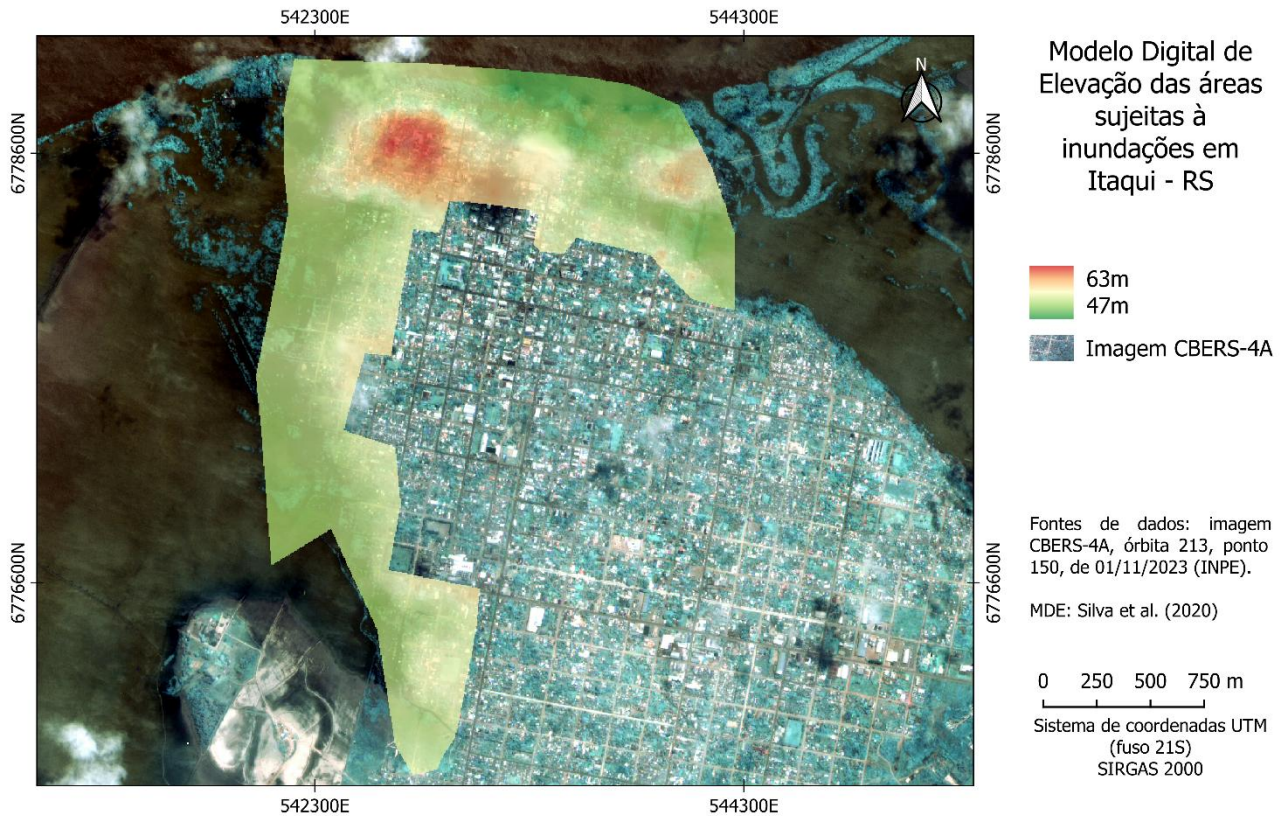
Um outro aspecto que merece consideração é a forma como o relevo na cidade, praticamente plano, como é possível visualizar na Figura 3, que se soma à proximidade com os cursos d'água, possibilitando que principalmente as áreas residenciais mais externas sejam atingidas pelas inundações. Com relação às áreas rurais adjacentes à sede urbana, apesar de não comportarem grandes aglomerações de imóveis, ainda contam com a presença de plantações, animais que precisam ser removidos e infraestruturas necessárias à manutenção dos estabelecimentos agropecuários.



**Figura 2: Representação da enchente ocorrida em 01 de novembro de 2023 sobre a sede urbana de Itaqui.**

Fonte: elaborado pelos autores com dados do satélite CBERS-4A (INPE, 2024)





**Figura 3: Modelo Digital de Elevação das áreas de risco de inundação em Itaqui – RS.**

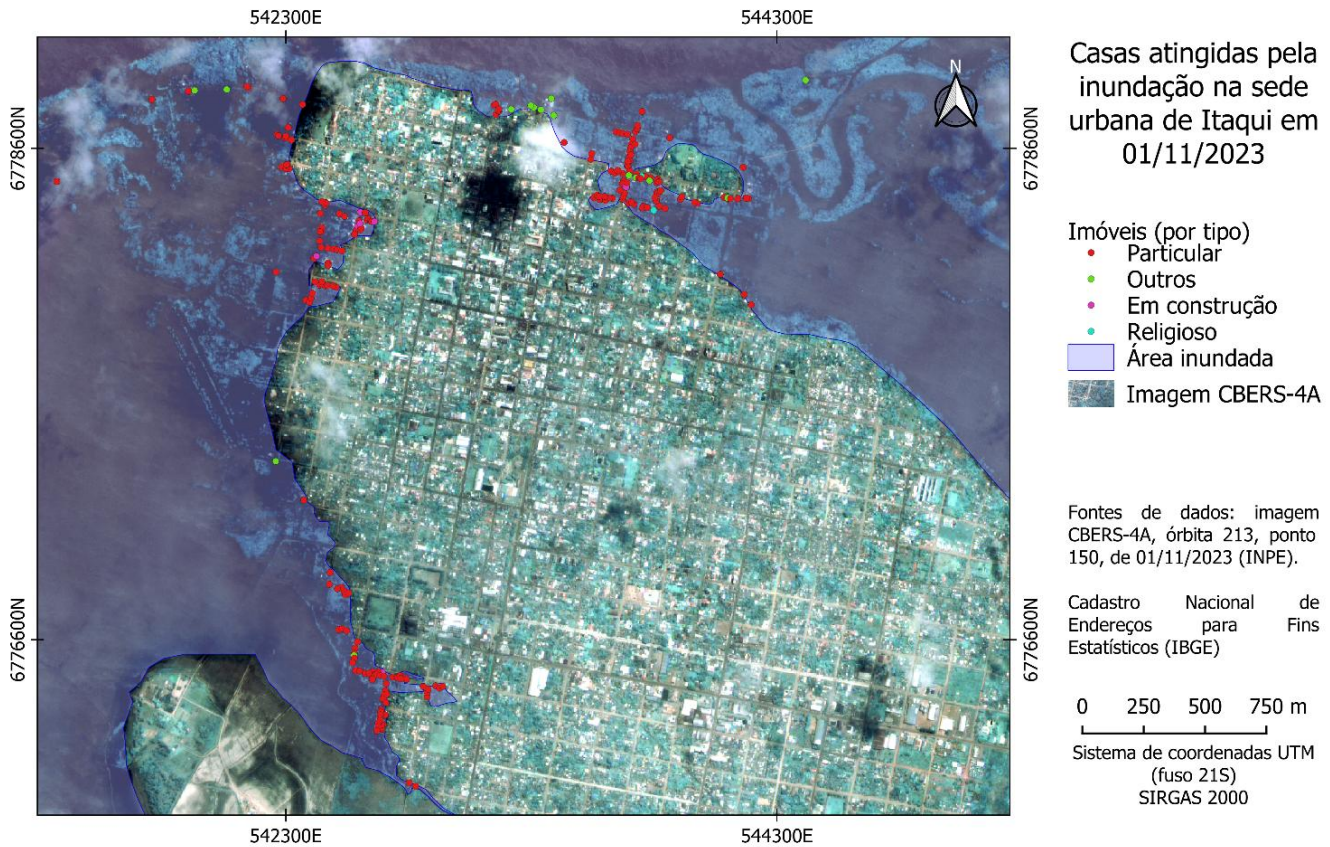
**Fonte: adaptado de Silva *et al.* (2020)**

Apesar dos constantes avanços tecnológicos que chegam aos sensores orbitais e da resolução espacial que atualmente pode chegar à ordem do metrô ou mesmo dos centímetros, estabelecer algumas quantificações a partir da interpretação visual de imagens pode nem sempre ser uma tarefa fácil. Além da limitação imposta pela resolução espacial de dois metros, barreiras físicas como vegetação alta, telhados contíguos, são alguns dos desafios à contagem de imóveis presentes em uma imagem de satélite.

É justamente no contexto da necessidade de fazer uma contagem mais próxima da realidade que o CNEFE tem a contribuir. Enquanto a imagem de satélite foi bastante prática para a delimitação da área inundada, a partir do cadastro é possível obter um retrato consideravelmente próximo da realidade, com a quantidade de residências atingidas, além de um diagnóstico socioeconômico daqueles que nelas habitam, se necessário for.

A partir da análise visual da Figura 4, é observável que as residências atingidas estão localizadas nas regiões mais afastadas, inclusive nas proximidades de matas ciliares. Apesar de não ser uma regra, geralmente esses locais concentram a população menos favorecida economicamente. Também cabe ressaltar que “um aumento da vulnerabilidade ambiental, social ou socioeconômica pode significar um aumento das catástrofes” (Parizzi, 2014, p. 2). Com isso, enquanto a presença de moradores na área de influência das cheias se configura uma temática socioeconômica que chama atenção, também se soma a isso a necessidade do acompanhamento do número de pessoas nessa situação, pois com o crescimento de moradias em locais impróprios, também tende a crescer o número de atingidos, além da pressão exercida sobre as áreas de interesse ambiental.





**Figura 4: Residências atingidas pela enchente de 01 de novembro de 2023 em Itaquí – RS.**  
**Fontes: elaborado pelos autores com dados do satélite CBERS-4A e CNEFE (IBGE, 2024)**

As residências identificadas na Figura 4, quando recortadas para a área de abrangência da lâmina d’água, totalizaram 268 endereços, dos quais predominaram as residências particulares. A tabela 1 apresenta a distribuição numérica de cada uma das classes de residências, de acordo com a organização do CNEFE.

**Tabela 1: Quantificação de imóveis inundados em 01/01/2023 em Itaquí, RS**

Tipo de imóvel	Quantidade inundada
Particular	239
Outros	20
Em construção	7
Religioso	2
<b>Total</b>	<b>268</b>

Com relação ao tipo de residências atingidas pela inundação, apesar da predominância das casas já estabelecidas, é notória também a presença de imóveis em construção, em especial nas áreas à noroeste. A ocorrência de construção de imóveis nesses locais pode levar a questionar sobre a disponibilidade de locais seguros bem como nos fatores que levam a ocupação dessas áreas, como limitações econômicas.

A confrontação do número de residências atingidas identificadas a partir do CNEFE com os dados oficiais divulgados pela Defesa Civil, conforme Figura 5, resultou em uma diferença de trinta e um imóveis (um erro de 10,37%). O resultado foi considerado satisfatório, haja visto que a acurácia dos pontos pode ser da ordem de metros se a captura de coordenadas não for realizada com equipamentos GNSS adequados, além da imposição restrita pela resolução espacial, que pode ter resultado em dificuldades de identificar a superfície inundada. Além disso, também é pertinente destacar que o cadastro se refere aos endereços, não fazendo necessariamente a distinção do número de imóveis nele contidos. A exemplo, as normas de registro do cadastro apontam que “um condomínio de apartamentos possui diversas unidades no mesmo número de endereço. É fundamental, portanto, o uso do complemento para identificar bloco e/ou apartamento”. Com isso, também pode ocorrer a distorção dos valores reais



**Figura 5: Dados oficiais sobre as inundações em Itaqui-RS no dia 01/11/2023.**

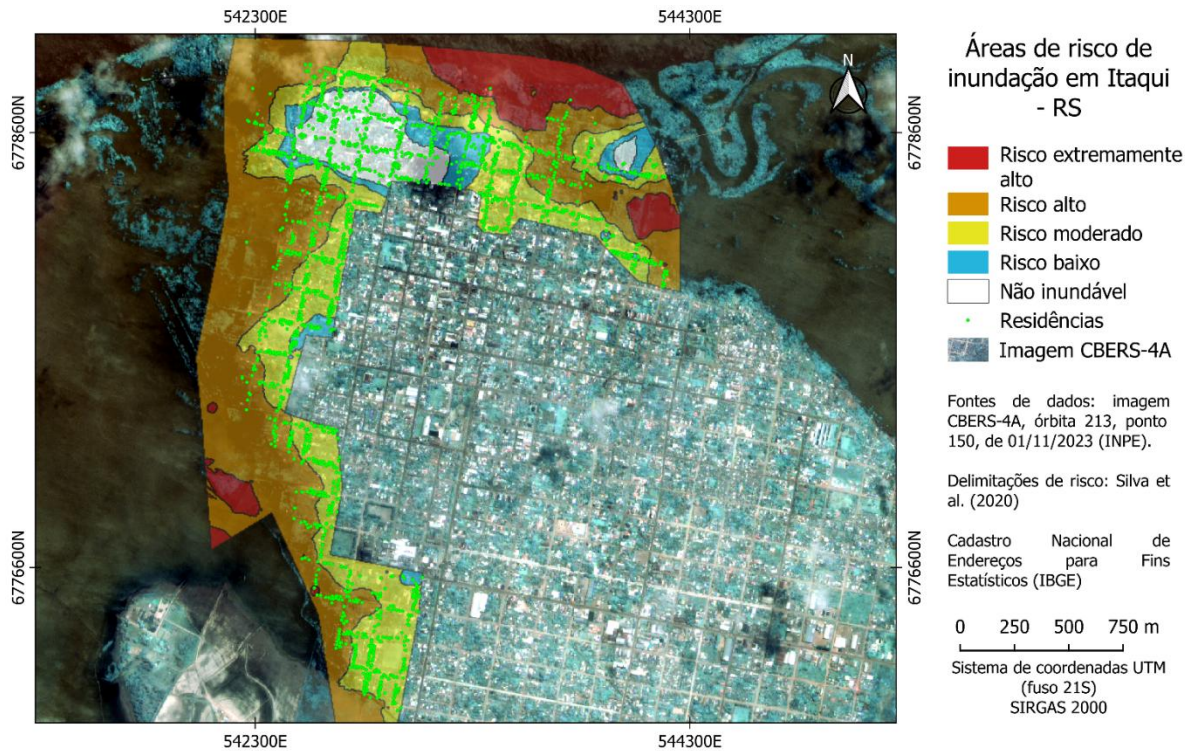
**Fonte: rede social da prefeitura de Itaqui – RS (Itaqui, 2023)**

Apesar da diferença numérica entre o número de residências identificadas como inundadas a partir do CNEFE e do número informado pela Defesa Civil, o método proposto forneceu um número consideravelmente próximo da realidade e certamente tende a contribuir para ações de diagnóstico e planejamento.

Para que ações de planejamento sejam possíveis é pertinente que seja conhecido o comportamento das enchentes conforme cada inundação. Em vista disso, uma das alternativas possíveis é a construção de um histórico da relação entre as cotas de inundação e a área coberta pela respectiva lâmina d'água. Outra possibilidade reside no conhecimento da topografia das áreas de interesse, de tal modo que a partir das formas do relevo a diferentes projeções de cotas de inundação se torna possível a previsão da área inundada.

Se o planejamento é possível a partir da identificação de possíveis áreas de inundação, quanto melhor a caracterização do relevo de uma área urbana, também são esperados melhores resultados na previsão de áreas inundadas. Essa premissa foi alcançada pelo trabalho de Silva *et al* (2020), que ao elaborarem um Modelo Digital de Elevação (MDE) das áreas de inundação recorrente na cidade de Itaqui, a partir da utilização de levantamentos com equipamentos de Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) associados a nivelamentos geométricos. O trabalho resultou na elaboração de um mapa de áreas de risco de inundação agrupadas conforme sua intensidade, e sua representação pode ser verificada na Figura 6.





**Figura 6: Residências atingidas pela enchente de 01 de novembro de 2023 em Itaquí – RS.**  
Fontes: elaborado pelos autores com dados do satélite CBERS-4A e CNEFE (IBGE, 2024)

**Tabela 2: Quantificação de imóveis expostos a diferentes níveis de risco de inundação em Itaquí, RS**

Risco	Quantidade de imóveis inundáveis
Extremamente alto	3
Alto	485
Moderado	1216
Baixo	271
Não inundável	420
<b>Total</b>	<b>2395</b>

Tanto a partir da Figura 6 quanto dos dados presentes na tabela 2 é notória a predominância de casas inundáveis que estão nas áreas de risco moderado e alto. Em comparação com a figura 4, é perceptível que as residências atingidas pela enchente em 01 de novembro de 2023 também estão localizadas nessas áreas.

A comparação entre os mapas da inundação identificada pela imagem de satélite e as áreas de risco definidas por Silva et al (2020) também possibilita identificar semelhanças no que diz respeito ao formato assumido pela água que cobre a mancha urbana. Na porção noroeste da cidade representada pela Figura 4 a forma das áreas não inundadas é consideravelmente semelhante aos locais de risco baixo e inexistente para a mesma região. Da mesma semelhante, a Figura 4 apresenta no norte da cidade a presença de uma área não inundada, porém cercada pela água, enquanto na Figura 4, a região correspondente é abrangida por risco baixo ou inexistente de inundação, porém cercada por riscos maiores. Assim sendo, este pode ser considerado um indício entre a correspondência entre as áreas de risco e a área inundada que foi identificada a partir da imagem oriunda de sensoriamento remoto.

Se por um lado as residências com risco moderado e alto apresentam contagens expressivas, os imóveis em áreas com risco extremamente elevado são poucos. Visualmente, isso pode ser atribuído ao fato de as áreas de risco extremamente elevado corresponderem a locais de maior proximidade aos cursos d'água e distantes da mancha urbana.

A inundação pouco expressiva dos locais de risco baixo e moderado reforça que a recorrência da lâmina d'água nesses locais é de intervalos maiores. Cabe ressaltar, entretanto, que cotas de inundação maiores foram alcançadas em datas diferentes àquela da imagem utilizada para a delimitação das cheias sobre a cidade de Itaquí no primeiro dia de novembro de 2023. Das áreas de risco baixo ou inexistente merece destaque novamente a formação de uma ilha ao norte da cidade. Ainda que a água não atinja as residências, sua presença pode impor restrições à circulação e utilização de serviços, levando os moradores a também se encontrarem em situação de calamidade.

Considerados os resultados até então, se percebe a correspondência com a realidade tanto a partir do cruzamento dos



produtos de sensoriamento remoto e geoprocessamento com respaldo no CNEFE quanto pela utilização de modelos de previsão de cotas de inundação baseados no relevo. Diante disso, assim como é possível a previsão de cotas de inundação para dias futuros, assim como demonstrado na Figura 3, também é possível projetar a área a ser inundada e, por conseguinte, o número de residências a serem atendidas. Com isso, o direcionamento de esforços e recursos pode ser otimizado.

A utilização de uma imagem de satélite para a caracterização da enchente em Itaqui encontrou uma aplicação bastante simplificada. Em contrapartida, a indisponibilidade de mais imagens, seja pela resolução temporal do satélite CBERS-4A quanto pela presença excessiva de nuvens em algumas datas tornou inviável a visualização das cheias em diferentes datas, inclusive naquelas em que as maiores cotas altimétricas foram alcançadas.

O CNEFE, ao servir como fonte de dados a serem delimitados pela área inundada, se mostrou satisfatoriamente próximo da realidade. Apesar da ocorrência de discrepância entre o número de casas identificadas como inundadas e o número declarado pela defesa civil, a diferença não foi expressiva, consideradas possíveis erros de posicionamento dos pontos que representam os endereços, bem como por eventuais erros na delimitação da cheia registrada pela imagem de satélite.

A análise das áreas de risco propostas por Silva et al (2020) permitiu observar semelhanças com a realidade, principalmente no que diz respeito a conformação espacial das cheias.

### Considerações finais

As inundações são uma problemática recorrente para cidades situadas nas proximidades de cursos d'água e, portanto, é pertinente o desenvolvimento constante de metodologias capazes de prevenir e mitigar esses eventos. Para que isso seja possível, é preponderante conhecer a realidade dos locais atingidos, principalmente no que diz respeito à quantidade de residências atingidas, cenário no qual a disponibilidade do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos certamente tem muito a contribuir.

A possibilidade de combinar dados de inundação com a localização dos endereços possibilita identificar as demandas de trabalhos, além de colaborar para o direcionamento correto de esforços e auxílios.

Posta a disponibilidade gratuita de imagens, planos de informações vetoriais, dados alfanuméricos e registros cartográficos combinados em um SIG como o QGIS, certamente se desenha um cenário que possibilita a identificação de resultados a partir de um custo econômico baixo ou praticamente nulo. Em tempo, também é possível que as próprias administrações públicas mantenham a atualização dos cadastros de endereços nas áreas de risco, alimentando o SIG periodicamente com informações que serão cruciais para a pronta resposta na ocorrência de eventos adversos.

A partir desse trabalho foi possível a integração do CNEFE a outros dados georreferenciados, resultando na identificação do número de residências atingidas pelas enchentes no ano de 2023 em Itaqui-RS com considerável acurácia, além da delimitação da quantidade de residências expostas a cada nível de risco. Com relação aos níveis de risco, a disponibilidade de dados detalhados sobre a altimetria das áreas de risco, oriundas do trabalho de Silva et al (2020), foram cruciais.

### Referências Bibliográficas

Cunico, C; Oka-Fiori, C. 2014. O estado de normalidade e o estado de exceção diante da importância das categorias de “vulnerabilidade”, “risco” e “resiliência”. *Caminhos de Geografia*, v. 15, n. 52, p. 01–20.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Padrão de Registro de Endereços – Definições e orientações de uso.

IBGE. 2024. CNEFE – Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/38734-cadastro-nacional-de-enderecos-para-fins-estatisticos.html>

Itaqui. 2023. Boletim da Defesa Civil de Itaqui – 31 de outubro. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/CzH9md8tWPF/>

Medeiros, A. M. L. 2012. Artigos sobre conceitos em geoprocessamento. Ebook. Disponível em: <https://clickgeo.com.br/wp-content/uploads/2012/09/E-book-Artigos-sobre-Conceitos-em-Geoprocessamento-Anderson-Medeiros.pdf>

Medeiros, P. R.; Almeida, T. 2012. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.

Moreira, L. L.; Kobiyama, M. 2021. Panorama de estudos sobre índice de vulnerabilidade às inundações no Brasil através de revisão bibliográfica. *Caminhos de Geografia*, v. 22, n. 79, p. 309–320.

Parizzi, M. G. 2014. Desastres naturais e induzidos e o risco humano. *Geonomos*, v. 22, p. 1-9.

Silva, D. M. 2014. Áreas de Preservação Permanente e áreas de inundação: estudo de caso na área urbana de Itaqui, RS, Brasil. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/jspui/bitstream/rii/6944/1/Dieison%20Morozoli%20da%20Silva%20-%202014.pdf>

Silva, R. M.; Moreira, V. S.; Lopes, A. B.; Araújo, P. V. N.; Cortes, A. F. 2020. Proposta metodológica de alta acurácia para delimitação de áreas de inundação urbana: um estudo de caso em Itaqui – RS, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v. 43, p. 263-276.





# APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS RECORRENTES PARA A PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DIÁRIA EM MARINGÁ-PR

1Gustavo Carraro Ninno, 2Bruna Forestieri Bolonhez, 3André Rodrigues da Silva, 4Hemerson Donizete Pinheiro

1 Universidade Estadual de Maringá, e-mail: ra104209@uem.br; 2 Universidade Estadual de Londrina, e-mail: bruna.bolonhez@uel.br; 3 Universidade Estadual de Londrina, e-mail: andre.rodrigues@uel.br; 4 Universidade Estadual de Londrina, e-mail: hemersonpinheiro@uel.br

**Palavras-chave:** modelagem climatológica; LSTM; RNA

## Resumo

Avanços significativos na compreensão e previsão das variáveis climáticas têm sido viabilizados por novas tecnologias e progressos na área da inteligência artificial. O uso de redes neurais artificiais e recorrentes tem se mostrado promissor na previsão de eventos sazonais, devido à sua habilidade em identificar dependências temporais. Este estudo investigou a eficiência das arquiteturas de redes neurais recorrentes (LSTM e GRU) na previsão diária de precipitação e temperatura. Utilizando séries históricas de uma estação climatológica em Maringá-PR, foram elaborados modelos de previsão com uma e múltiplas variáveis preditoras. A série temporal analisada abrangeu dados de 01 de janeiro de 2003 até 31 de dezembro de 2022 e as etapas metodológicas incluíram a coleta e análise das séries históricas de parâmetros atmosféricos de uma estação climatológica localizada em Maringá-PR; a seleção das variáveis preditoras com base em uma matriz de correlação; desenvolvimento de um algoritmo padronizado utilizando redes neurais recorrentes para modelar a temperatura e precipitação; a classificação da performance dos modelos com base na precisão dos resultados. A programação foi realizada em Python, com o uso das bibliotecas Keras, OS, Pandas e Numpy. Os resultados revelaram que o modelo GRU, treinado com uma única variável preditora, demonstrou um melhor desempenho na previsão diária da temperatura (RMSE = 1,93), destacando-se significativamente em comparação com a capacidade observada para o modelo de previsão da precipitação, que apresentou um RMSE de 3,25. A adição de variáveis atmosféricas baseadas na matriz de correlação não gerou melhoras significativas, ocasionando somente uma pequena melhora na capacidade preditiva de dias sem chuva.

## Introdução

O clima exerce influência sobre uma ampla variedade de atividades humanas e naturais. Esse impacto crescente tem fomentado o interesse no desenvolvimento de modelos e ferramentas capazes de prever fenômenos climáticos (Golding et al., 2019; Sit et al., 2020). Conforme o *Center for Research of the Epidemiology of Disasters* - CRED, o Brasil foi o país mais afetado por desastres naturais na América do Sul, muitos dos quais causados por excesso de chuvas. Assim, a criação de modelos capazes de prever a frequência e intensidade desses eventos permitiria a mitigação dos danos potenciais destes (Carrasco et al., 2020). Paralelamente, há um interesse na modelagem e previsão da temperatura, devido à sua influência direta nos demais parâmetros climáticos e na qualidade de vida. Por exemplo, a temperatura ambiente afeta reações fisiológicas humanas e o estresse térmico, reduzindo o conforto ambiental e aumentando os custos energéticos para controle térmico (Amorim et al., 2020).

A partir de séries temporais climatológicas, pode-se aplicar modelos estatísticos de previsão, que requerem conjuntos de valores analisados ao longo do tempo e parâmetros correlacionados. Entre esses modelos, as Redes Neurais Artificiais (RNA) se destacam pela sua adaptabilidade.

As RNAs consistem em uma camada de entrada, uma camada de saída e, pelo menos, uma camada oculta. Essas camadas são compostas por neurônios, que possuem funções internas cujos pesos são ajustados durante o processo de calibração. Durante essa etapa, a rede aprende os comportamentos e padrões dos vetores numéricos, bem como o efeito das variáveis explanatórias que foram incluídas na série de treinamento.

No contexto da modelagem de dados de séries temporais, recomenda-se o uso das redes neurais recorrentes (Gonçalves, Mateus, Medeiros, 2021). Esse tipo de rede neural possui uma célula de memória que armazena os valores de saída dos neurônios, permitindo que sejam utilizados no aprendizado da próxima camada e interação subsequente (Goodfellow, Bengio, Courville, 2018). Isso possibilita que as redes capturem informações contextuais e dependências de longo prazo durante o processo de aprendizado.

Entre as redes neurais recorrentes, a *Long Short-Term Memory* (LSTM) é projetada para resolver problemas de dissipação a longo prazo. Diferente das redes neurais recorrentes convencionais, a LSTM possui quatro camadas e uma célula recorrente, permitindo a aprendizagem de dependências de longo prazo (Vasco, 2020). De forma semelhante, a *Gated Recurrent Unit* (GRU) também se concentra na solução de problemas de dissipação de gradiente. A GRU, no entanto, é uma rede mais simplificada, com menos parâmetros e treinamento mais rápido, sendo recomendada para análises com uma menor quantidade de dados (Vasco, 2020).

Diante do exposto, a previsão meteorológica é uma área de pesquisa que lida com diversas variáveis e incertezas, com um grande potencial de aplicação de redes neurais. Por essas razões, esta pesquisa teve como objetivo modelar os dados de



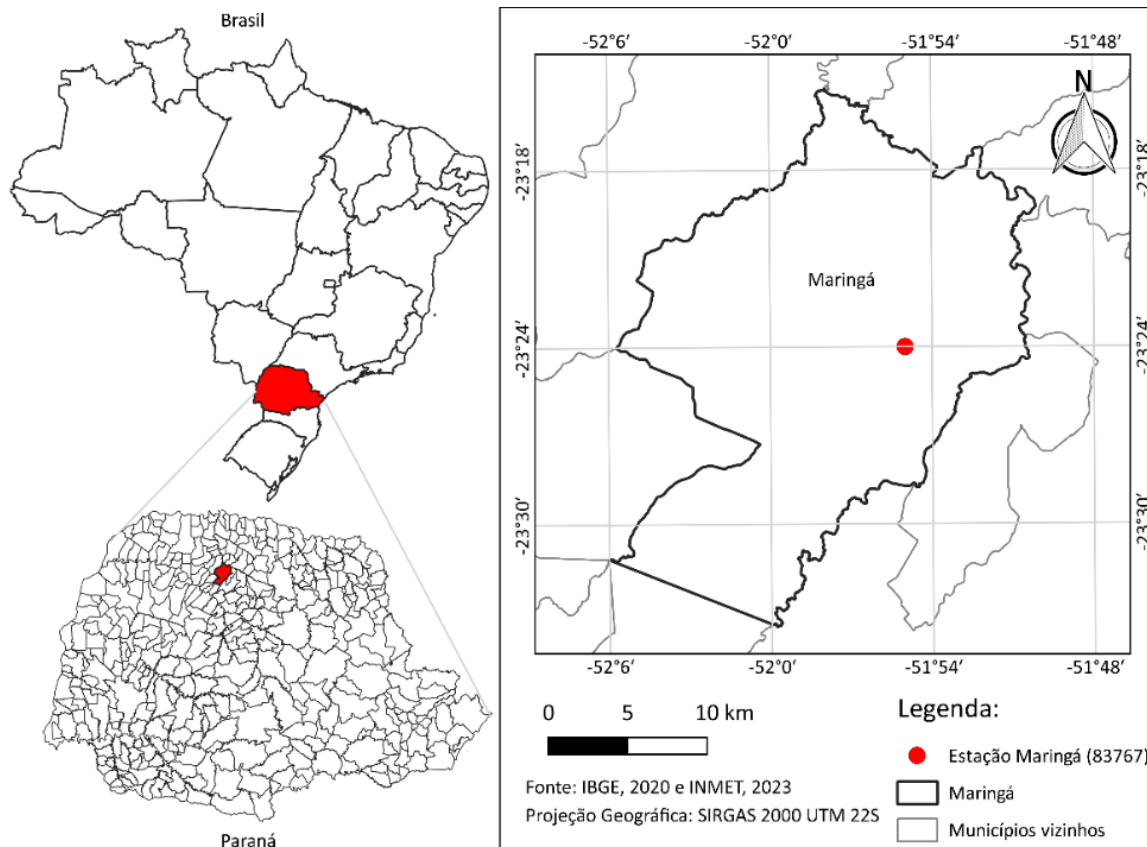


temperatura e precipitação atmosférica diária de uma estação climatológica localizada na região urbana de Maringá, no estado do Paraná, comparando as previsões geradas pelos modelos LSTM e GRU.

### Materiais e Métodos

#### Dados climáticos

As séries temporais utilizadas neste estudo foram coletadas na Estação Climatológica Principal de Maringá, cuja localização é indicada na Figura 1 (INMET, 2023a; 2023b). Para a análise da situação climática atual do município, empregou-se uma série histórica de 20 anos, abrangendo o período de 01/01/2003 a 31/12/2022. Dados anteriores foram descartados devido a falhas nas séries históricas, o que impossibilitava a modelagem adequada das redes neurais. Entre os parâmetros atmosféricos disponíveis, foram coletados dados de temperatura (°C), umidade (%), pressão (hPa), velocidade do vento (m/s), direção do vento (°), nebulosidade (décimos), insolação (h), temperatura máxima e mínima (°C) e precipitação (mm).



**Figura 1: Mapa de localização da estação climatológica de Maringá (Código 83767).**

Para garantir a representatividade dos dados coletados das estações, foi realizado um tratamento deles. Séries medidas em escalas temporais inferiores a um dia foram agrupadas para obtenção médias totais diárias. Em relação à precipitação, registros negativos na série temporal foram descartados. Da mesma forma, valores negativos e nulos foram excluídos para os parâmetros de umidade e pressão. Para a temperatura, conforme o INMET (2023b), a cidade de Maringá registrou temperaturas negativas em apenas três ocasiões em toda sua história, nenhuma delas ocorrendo no período incluído no estudo. Portanto, valores negativos de temperatura também foram descartados, sendo considerados erros de registro.

#### Seleção das variáveis preditoras

O processo de modelagem com redes neurais recorrentes pode incorporar séries complementares de variáveis independentes, além da variável principal que se deseja prever. Para selecionar as variáveis a serem incluídas nas RNA, foi realizada uma análise de correlação entre os valores diários dos parâmetros climáticos registrados na estação.

A correlação entre as variáveis climáticas foi calculada utilizando o Coeficiente de Pearson. Com isso, gerou-se uma matriz de correlação, na qual valores próximos de -1 (representados em vermelho) indicam uma forte correlação negativa entre os parâmetros, e valores próximos de 1 (representados em azul) indicam uma forte correlação positiva. Valores próximos de zero (representados em branco) indicam ausência de correlação (Naghetini, Pinto, 2007).

A correlação segundo o Coeficiente de Pearson foi calculada entre as variáveis climáticas medidas na estação. Uma matriz de correlação foi gerada, representando os valores da correlação entre as variáveis, de modo que quanto mais próximo do valor -1 (cor vermelha), há uma correlação negativa fraca entre os parâmetros. Já quanto mais próximo do valor 1 (cor azul), há



uma maior correlação positiva entre as variáveis. Por fim, valores próximos a zero representam a ausência de correlação (cor branca) (Naghetini, Pinto, 2007).

Baseando-se nos resultados da matriz de correlação, foram selecionadas as variáveis que apresentaram maior correlação com a temperatura e a precipitação. Essas variáveis foram então incluídas como preditoras nos modelos LSTM e GRU.

### Construção dos modelos

Para desenvolver os modelos de previsão de temperatura e precipitação, utilizou-se a linguagem de programação Python, juntamente com as bibliotecas *Numpy*, *Pandas*, *OS* e *Keras*. Estas bibliotecas oferecem implementações prontas para modelagem de redes neurais LSTM e GRU, exigindo apenas a adaptação do código para as variáveis climáticas estudadas e os hiperparâmetros das RNAs.

O processo de construção dos modelos teve início com a importação das séries de dados tratados e das bibliotecas mencionadas, seguida pela normalização das séries climáticas da estação. O período original foi dividido em duas séries, utilizando 80% da série histórica para a construção de uma série de treinamento e reservando os 20% finais para a série de validação.

Para determinar a melhor configuração das redes LSTM e GRU na previsão de precipitação e temperatura, procedeu-se com a calibração de seus hiperparâmetros. Uma rede neural base foi definida com três camadas: a primeira sendo composta de uma camada LSTM com 64 unidades de memória, seguida por uma camada densa de 8 neurônios com função de ativação *Rectified Linear Unit* (ReLU), e concluindo com uma camada densa de um neurônio com função de ativação linear. A partir dessa configuração base, foram realizados diversos testes modificando-se os parâmetros de Taxa de Aprendizagem (*Learning Rate* - LR), Tamanho da Janela (*Window Size* - WS) e número de *Epochs*. A taxa de aprendizado regula os pesos de rede neural em relação ao gradiente de perda. Já o tamanho da janela define a janela deslizante de dados utilizada para a previsão (Goodfellow, Bengio, Courville, 2018). O número de *Epoch* representa a quantidade de vezes que o algoritmo é treinado com a série fornecida (Ouma, Cheruyot e Wachera, 2021).

Os modelos foram ajustados separadamente para prever temperatura e precipitação, utilizando dados de precipitação estimados em milímetros por dia e temperatura média diária em graus Celsius. Inicialmente, o tamanho da janela (WS) foi fixado em 5 dias com 10 *epochs*, e avaliou-se o desempenho do modelo variando a Taxa de Aprendizagem (LR) entre 0,0001, 0,001, 0,01 e 0,1 (Arunkumar et al., 2022; Haq, Jilani, Prabu, 2022). Após identificar a melhor métrica entre os testes para LR, o valor ótimo foi fixado. Em seguida, repetiu-se o processo para WS de 15 e 30 dias, adotando o melhor valor encontrado entre os diferentes tamanhos de janela analisados. Por fim, avaliou-se o impacto do número de *epochs*, variando entre 10, 50 e 100 (Hosseinzadeh et al., 2023; Bendali et al., 2023; Khumadi, Raafi'udin, Solihin, 2020).

Para o treinamento e comparação da qualidade dos modelos durante a calibração dos hiperparâmetros, utilizou-se a função de perda Erro Quadrático Médio (MSE) (Eq. 1) e a métrica de eficiência Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) (Eq. 2) (Naghetini, Pinto, 2007; Haq, Jilani, Prabu, 2022). O MSE quantifica o erro em modelos estatísticos, medindo a diferença média quadrada entre os valores observados e os previstos. Quando não há erro no modelo, o MSE é zero. À medida que o erro aumenta, o valor do MSE também aumenta (Ding et al., 2023). O RMSE, obtido pela raiz quadrada do MSE, possui a mesma unidade de medida que os valores observados e previstos, servindo como uma medida do desvio médio entre os valores observados e previstos (Poornima, Pushpalatha, 2019).

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_r - Y_p)^2}{n} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_r - Y_p)^2}{n}} \quad (2)$$

Onde: *MSE* é o Erro Quadrático Médio; *RMSE* é a Raiz Do Erro Quadrático Médio;  $Y_r$  é o valor real da variável;  $Y_p$  foi o valor previsto para a variável, e  $n$  é o número total de pares de valor observados e estimados.

Após a formulação do código base para as redes neurais, o processo de modelagem foi iniciado para comparar a eficiência entre diferentes arquiteturas. Utilizando a configuração otimizada de hiperparâmetros previamente determinada, novos modelos foram treinados nas séries de calibração, alternando entre as arquiteturas LSTM e GRU no framework de programação. As métricas MSE e RMSE foram novamente empregadas para comparar a qualidade das previsões obtidas para as séries de validação de temperatura e precipitação de ambos os modelos. Em seguida, avaliou-se o efeito do uso de variáveis preditoras complementares, selecionadas com base nos resultados da matriz de correlação. Esses novos modelos LSTM e GRU foram criados e calibrados, e a qualidade das previsões destes foi avaliada para a série de calibração e validação.

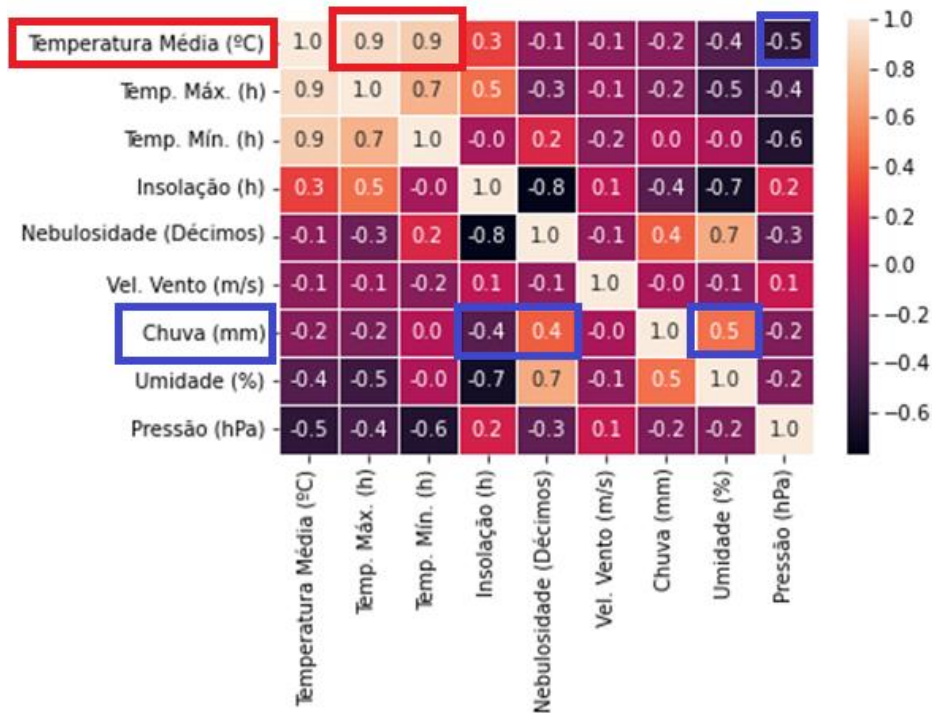
## Resultados e Discussões

### Matriz de correlação

A partir dos dados disponíveis na plataforma digital do INMET (2023a, 2023b), aviu-se a necessidade de correção de valores irregulares, considerando a natureza dos fenômenos climáticos. Entretanto não foram encontrados dados inválidos que necessitassem de correções. Em seguida, procedeu-se à análise das séries históricas dos parâmetros climáticos utilizando a matriz



de correlação no ambiente Python, o que resultou na elaboração da matriz apresentada na Figura 2.



**Figura 2: Matriz de correlação entre os parâmetros climáticos da Estação Climatológica de Maringá.**

Observou-se na matriz que, durante o período analisado, a temperatura média diária apresentou a maior correlação positiva com as temperaturas máximas e mínimas diárias (0,9). Em seguida, a terceira maior correlação foi com a pressão atmosférica (-0,5), indicando uma relação inversamente proporcional. Em comparação com o estudo de Lisboa et al. (2022), que abordou a predição de umidade, temperatura e iluminação em ambientes internos, verificou-se que a temperatura média possui um coeficiente de correlação de -0,4 com a umidade, o que é congruente com os resultados obtidos.

No que se refere à precipitação, observou-se uma maior correlação com a umidade (0,5), seguida pela nebulosidade (0,4) e insolação (-0,4). Além disso, constatou-se que a temperatura média possui correlações mais robustas do que a precipitação, o que pode influenciar a capacidade preditiva dos modelos desenvolvidos.

### Modelos de previsão

Os resultados dos testes realizados para o ajuste das configurações da rede neural de base LSTM são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Métricas de performance dos testes de calibração dos hiperparâmetros do modelo base LSTM**

	Modelos com variação do LR			Modelos com variação do WS			Modelos com variação do Epoch		
	0,0001	0,001	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>LR</b>	0,0001	0,001	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>WS</b>	5	5	5	5	15	30	30	30	30
<b>Epoch</b>	10	10	10	10	10	10	10	50	100
<b>MSE<sub>TEMP</sub></b>	13,294	4,03	4,23	15,19	4,03	3,97	3,95	3,95	3,86
<b>RMSE<sub>TEMP</sub></b>	3,646	2,00	2,05	3,89	2,00	1,99	1,98	1,98	1,96
<b>MSE<sub>PRECIP</sub></b>	146,64	145,48	145,85	146,87	145,48	144,64	144,26	144,26	121,49
<b>RMSE<sub>PRECIP</sub></b>	12,10	12,06	12,07	12,11	12,06	12,02	12,01	12,01	11,02

Considerando os resultados das simulações realizadas, pode-se concluir que a taxa de aprendizado que resultou no melhor desempenho foi a de 0,001. A melhora da qualidade derivada do uso de taxas de aprendizado mais baixas já foi avaliada em outros estudos de redes neurais, como os realizados por Goodfellow, Bengio e Courville (2018) e Arunkumar et al (2022). Constata-se também que os algoritmos para precipitação e temperatura geraram melhores modelagens quando treinados com um tamanho de janela maior, igual a 30 dias, contemplando um maior número de dados passados para treinamento. O uso desse WS





resultou em uma diferença relativa de -0,31% para o segundo melhor resultado para a temperatura, e uma diferença de -0,13% para a segunda melhor métrica de precipitação. Tais conclusões são próximas às de Bendali et al. (2020), com a melhor performance ocorrendo com a utilização de valores maiores de WS (Khumadi, Raafi'udin, Solihin, 2020).

Para os *Epochs*, comprovou-se a redução do RMSE em função de seu aumento. Com base nos testes realizados, a configuração para 100 *Epochs* produziu aos menores valores das métricas de qualidade, ou seja, produzindo o melhor ajuste dos modelos à série de calibração. Houve alterações do RMSE em -0,25% para a temperatura e uma alta taxa de -30,87% para precipitação quando comparado aos modelos de 50 e 100 interações. Como verificado por Arunkumar et al (2022), o número ideal de *Epochs* pode variar para diferentes tipos de dados e modelos, justificando a necessidade dos testes realizados.

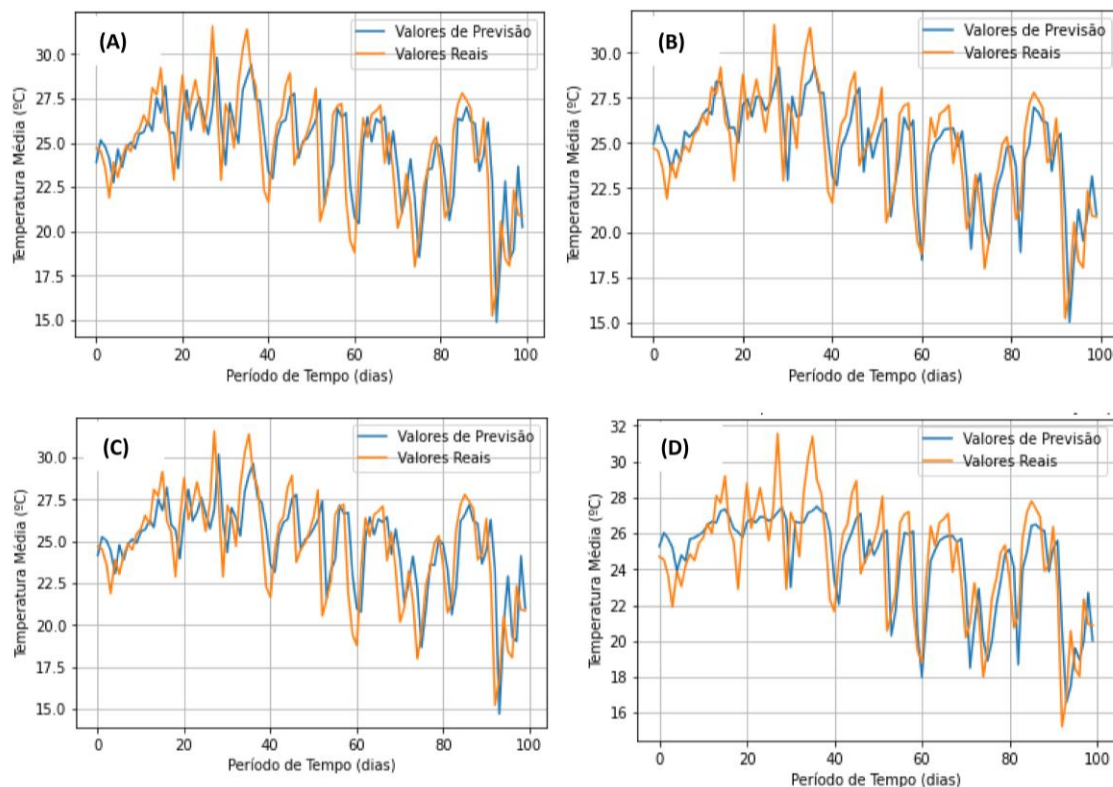
A partir das configurações definidas para os modelos base, foi realizada a análise da qualidade das previsões de temperatura e precipitação utilizando as arquiteturas LSTM e GRU com uma única ou múltiplas variável preditora.

Os resultados das métricas de desempenho dos modelos de previsão de temperatura estão resumidos na Tabela 2. De acordo com os valores obtidos, a modelagem utilizando a rede neural GRU com uma única variável preditora (temperatura média dos últimos 30 dias) apresentou melhor desempenho com base na métrica RMSE (1,93) para a série de validação. Por outro lado, a utilização da arquitetura LSTM com uma única variável preditora resultou em valores de RMSE maiores (1,96), representando um aumento de 1,5% em comparação com a arquitetura GRU.

Ao analisar o impacto da inclusão de mais variáveis predictoras, observou-se uma redução na qualidade das previsões independentemente da arquitetura utilizada. Para as arquiteturas LSTM, o efeito foi menos significativo, resultando em uma alteração de apenas 0,5% no RMSE da série de validação, conforme ilustrado nas Figuras 3A e 3B. Por outro lado, para a arquitetura GRU, a inclusão levou a uma piora na previsão da temperatura, com um aumento de 8% no RMSE e uma redução na capacidade de prever dias mais quentes, como mostrado nas Figuras 3C e 3D.

**Tabela 2: Métricas de performance dos modelos de previsão da temperatura média diária**

Modelo	LSTM (1 variável)	LSTM (4 variáveis)	GRU (1 variável)	GRU (4 variáveis)
Variáveis predictoras	Temperatura média nos últimos 30 dias	Temp. média, temp. máx., temp. mín. e pressão nos últimos 30 dias	Temperatura média nos últimos 30 dias	Temp. média, temp. máx., temp. mín. e pressão nos últimos 30 dias
MSE	3,84	3,88	3,74	4,39
RMSE	1,96	1,97	1,93	2,09



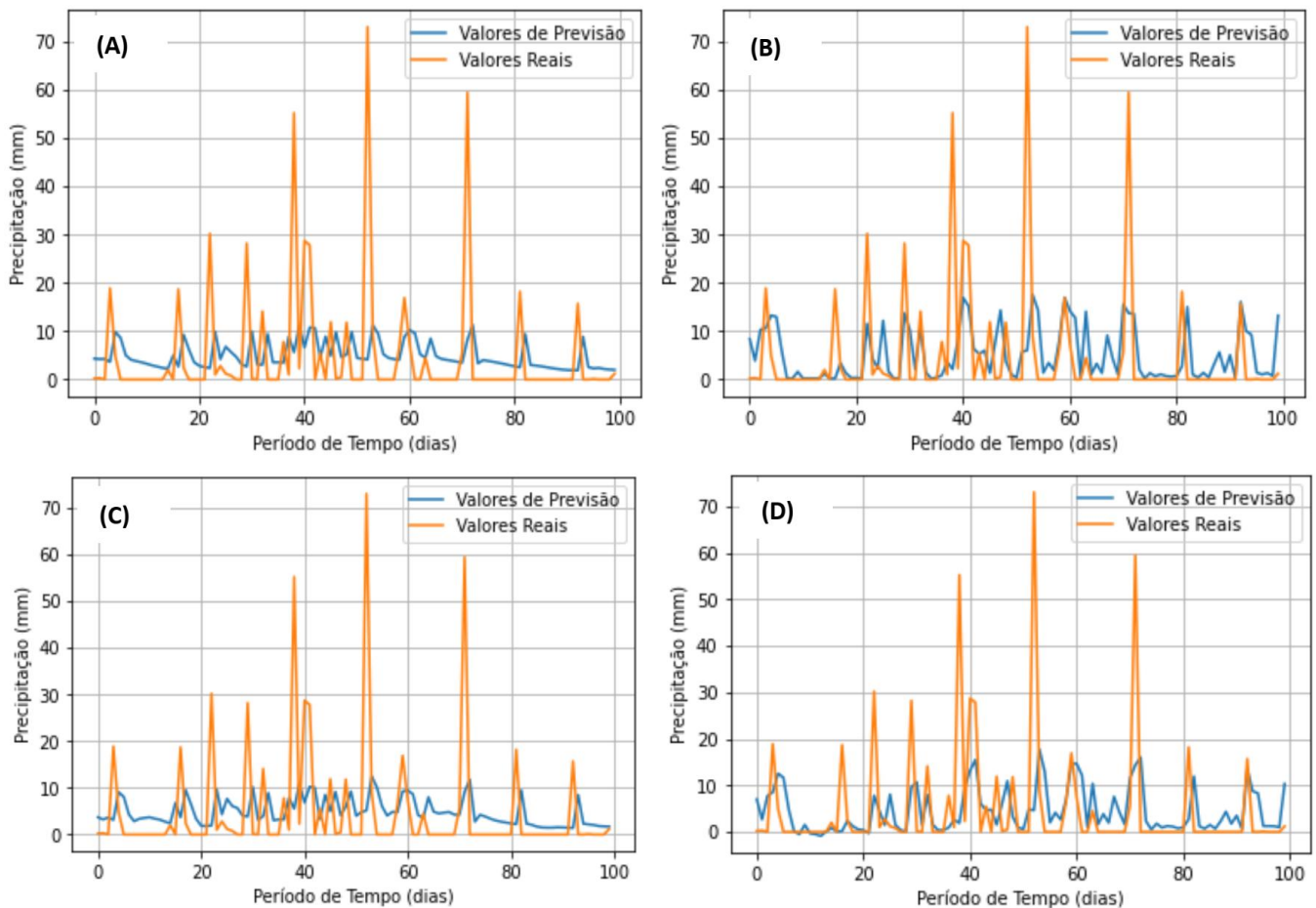
**Figura 3: Previsão da temperatura com (A) LSTM (1 variável), (B) LSTM (4 variável), (C) LSTM (1 variável) e (D) LSTM (4 variável) para os primeiros 100 dias da série de validação.**



Para a precipitação, o modelo que apresentou as melhores métricas foi novamente o GRU com o uso de apenas uma variável preditora, conforme indicado pelos resultados apresentados na Tabela 3. Entretanto, ao comparar as graficamente as previsões (Figura 4), observa-se que nenhuma das arquiteturas conseguiu prever com eficiência as precipitações diárias. Essa performance pode ser justificada pela própria natureza do fenômeno da precipitação, que não possui uma regularidade homogênea em termos de frequência e sazonalidade na escala temporal diária. Como resultado, há variações abruptas na série original, o que dificulta a precisão das previsões.

**Tabela 3: Métricas de performance dos modelos de previsão da precipitação total diária**

Modelo	LSTM (1 variável)	LSTM (4 variáveis)	GRU (1 variável)	GRU (4 variáveis)
Variáveis predictoras	Precipitação média nos últimos 30 dias	Precipitação, umidade, nebulosidade e insolação nos últimos 30 dias	Precipitação média nos últimos 30 dias	Temp. Média, temp. Máx., temp. Mín e pressão nos últimos 30 dias
MSE	63,79	90,05	54,56	69,95
RMSE	7,98	9,48	7,38	8,36



**Figura 4: Previsão da precipitação com (A) LSTM (1 variável), (B) LSTM (4 variável), (C) LSTM (1 variável) e (D) LSTM (4 variável) para os primeiros 100 dias da série de validação.**

Semelhante aos resultados observados na previsão da temperatura, a inclusão de mais variáveis predictoras não resultou em melhorias significativas nas métricas do modelo de precipitação. No entanto, conforme ilustrado na Figura 4, os modelos que utilizaram mais variáveis apresentaram uma capacidade relativamente melhor de prever dias sem chuva e estimar intensidades mais elevadas de precipitação. Apesar desses avanços, os modelos ainda não demonstraram uma performance significativa para aplicação prática.



### Comentários Finais

A modelagem de séries temporais realizada com os modelos LSTM e GRU para o município de Maringá-PR demonstrou ser satisfatória apenas para a previsão da temperatura. Evidenciou-se que o modelo GRU utilizando apenas uma variável preditora obteve as melhores métricas de desempenho tanto para temperatura quanto para precipitação. No que se refere à temperatura, a inclusão de mais variáveis preditoras selecionadas com base na matriz de correlação não contribuiu para melhorar a capacidade dos modelos. Ao contrário, observou-se uma deterioração nas métricas e análises gráficas, indicando que tais modelos enfrentaram dificuldades na previsão de temperaturas elevadas. Para a precipitação, nenhum dos modelos utilizados apresentou uma performance satisfatória. No entanto, foi perceptível por meio na análise gráfica que a inclusão de mais parâmetros auxiliou na previsão da ocorrência das precipitações, embora ainda não tenha alcançado uma performance significativa.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

### Referências Bibliográficas

Poleto, C.; Cardoso, R.; 2012. Gerenciamento de Recursos Hídricos. Anais do X ENES, pp.10-16.

Arunkumar, K. E.; Kalaga, D. V.; Kumar, CH. M. S.; Kawaji, M.; Brenza, T. M.; 2022. Comparative analysis of gated recurrent units (GRU), long short-term memory (LSTM) cells, autoregressive integrated moving average (ARIMA), seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) for forecasting COVID-19 trends. Alexandria Engineering Journal, v. 61, n. 10, p. 7585–7603.

Amorim, A. E. B.; Labaki, L. C.; Maia, P. A.; Barros, T. M. S.; Monteiro, L. R.; 2019. Exposição ocupacional ao calor em atividades a céu aberto na construção de estruturas de edifícios. Ambiente Construído, v. 20, p. 231–245.

Bendali, W.; Saber, I.; Bourachdi, B.; Boussetta, M.; Mourad, Y.; 2020. Deep learning using genetic algorithm optimization for short term solar irradiance forecasting. Anais do International Conference on Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS), p.1–8.

Carrasco, A. R.; Sapucci, L. F.; Mattos, J. G. Z. DE; Lorenzo, M. S.; Montejó, I. B.; 2020. Explorando as particularidades do método orientado a objetos na avaliação das previsões de precipitação. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, p. 317–333.

Ding, Y.; Yu, G.; Tian, R.; Sun, Y.; 2023. Application of a hybrid CEEMD-LSTM model based on the standardized precipitation index for drought forecasting: The case of the Xinjiang Uygur autonomous region, China. Atmosphere, v. 13, n. 9.

Gonçalves, H.E.; Mateus, A.C.; Medeiros, L.X.; 2021. Previsão dos índices de chuva acumulados na cidade de Uberlândia utilizando redes neurais artificiais LSTM. Anais da Conferência de Estudos de Engenharia Elétrica.

Golding, N.; Hewitt, C.; Zhang, P.; 2019. Co-development of a seasonal rainfall forecast service: Supporting flood risk management for the Yangtze River basin. Climate Risk Management, v. 23, p. 43–49.

Goodfellow, I.; Bengio, Y.; Courville, A. 2016. Deep learning. Cambridge: MIT Press.

Haq, M. A.; Jilani, A. K.; Prabu, P.; 2022. Deep learning based modeling of groundwater storage change. Computers, Materials & Continua, v. 70, n. 3, p. 4599–4617.

Hosseinzadeh, P.; Nassar, A.; Boubrahimi, S.; Hamdi, S.; 2023. ML-Based streamflow prediction in the upper colorado river basin using climate variables time series data. Hydrology, v. 10, n. 2.

INMET. 2023a. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - Série Histórica - Dados Mensais – Precipitação. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.

INMET. 2023b. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - Série Histórica - Dados Mensais – Temperatura. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.

Khumaidi, A.; RAAFI'UDIN, R.; SOLIHIN, I. P. Pengujian algoritma long short term memory untuk prediksi kualitas udara dan suhu kota bandung. Journal of Telematika, v. 15, n. 1, 2020. Disponível em: <<https://journal.itbh.ac.id/telematika/article/view/340>>. Acesso em: 4 de jul. 2023.





Lisboa C., D.; Barros N., N.; Von Lochter, J. 2022. Aprendizado de máquinas automatizado para predição de umidade, temperatura e iluminação em ambientes internos. *Journal of Innovation and Science: research and application*, v. 2, n. 1.

Naghattini, M.; Pinto, É. J.; 2007. *Hidrologia Estatística*. CPRM.

Ouma, Y. O.; Cheruyot, R.; Wachera, A. N.; 2021. Rainfall and runoff time-series trend analysis using LSTM recurrent neural network and wavelet neural network with satellite-based meteorological data: case study of Nzoia hydrologic basin. *Complex & Intelligent Systems*, v. 8, p. 213–236.

Poornima, S.; Pushpalatha, M.; 2019. Prediction of rainfall using intensified LSTM based recurrent neural network with weighted linear units. *Atmosphere*, v. 10, p. 668.

Sampaio, G.; Leite, P.; Dias, S. 2014. Evolução dos modelos climáticos e de previsão de tempo e clima. *Revista USP*, n.103, p. 41.

Sit, M.; Demiray, Bekir Z; Xiang, Z.; et al; 2020. A comprehensive review of deep learning applications in hydrology and water resources. *Water Science and Technology*, v. 82, p. 2635–2670.

Vasco, L. 2020. Um Estudo de Redes Neurais Recorrentes no Contexto de Previsões no Mercado Financeiro. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos – UFSCar - Departamento de Computação Engenharia de Computação.



## ENFRENTANDO INUNDAÇÕES: ANÁLISE E AÇÕES NO BAIRRO FLOR DE NÁPOLIS, SÃO JOSÉ-SC

**1Jefferson Schmitt, 2Aline Schafer Werlich, 3Felipe Fabiano da Silva, 4Guilherme dos Santos, 5José César da Silva Neto, 6Mariana Serafim, 7Rafael Roberto Hauptli, 8Geannina Terezinha dos Santos Lima**  
*1 Centro universitário Estácio de Santa Catarina, e-mail: schmitt.jeffe@hotmail.com; 2 Centro universitário Estácio de Santa Catarina, e-mail: alineschaferw@gmail.com; 3 Centro universitário Estácio de Santa Catarina, e-mail: felipefabiano0806@gmail.com; 4 Centro universitário Estácio de Santa Catarina, e-mail: 09santosgui@gmail.com; 5 Centro universitário Estácio de Santa Catarina, e-mail: neto5555@hotmail.com; 6 Centro universitário Estácio de Santa Catarina, e-mail: mariana.serafim@gmail.com; 7 Centro universitário Estácio de Santa Catarina, e-mail: hauptlirafael3@gmail.com; 8 Centro universitário Estácio de Santa Catarina, e-mail: geanninasantos@hotmail.com.*

### Resumo

As mudanças climáticas aumentaram a frequência e a intensidade de eventos extremos, incluindo enchentes, ao alterar os padrões de precipitação e intensificar as chuvas. Este trabalho investigou as causas e propôs soluções para as inundações recorrentes no bairro Flor de Nápolis, em São José, Santa Catarina. As inundações, agravadas por altos índices de chuva e interferências humanas, como ocupações inadequadas, falta de infraestrutura e acúmulo de lixo, geram desafios corriqueiros como drenagem insuficiente, desalojamento, vítimas fatais, condições propícias para a propagação de doenças transmitidas pela água, como cólera e leptospirose, e prejuízos financeiros devido a perda de residências e bens pessoais. Para entender melhor a situação, foram realizadas visitas ao bairro e entrevistas com os moradores. Além de ouvir suas preocupações, buscou-se colaborar com a comunidade para encontrar soluções. Desenvolvemos métodos viáveis, apresentados por meio de gráficos e mapas, que poderiam ser implementados pelos moradores ou por órgãos públicos. Entre as medidas identificadas para mitigar as inundações, destacaram-se: a conscientização sobre o descarte correto de lixo, o alargamento do leito do córrego, a contenção adequada, a renovação da mata ciliar e a garantia de um caminho desobstruído para o escoamento da água. Essas soluções exigiriam um esforço conjunto entre a população e os órgãos públicos para transformar o bairro em um lugar mais seguro e agradável. Neste contexto, foi produzido um vídeo educacional com as informações coletadas, que foi posteriormente adicionado às redes sociais e divulgado na comunidade. Recebemos feedback positivo dos moradores e do presidente da associação de um bairro vizinho, que manifestou interesse em desenvolver este projeto nas comunidades adjacentes ao Rio Maruim. O objetivo era implementar as melhorias propostas e apresentá-las aos órgãos públicos competentes, buscando garantir uma melhor qualidade de vida para todos os afetados pelas enchentes do Rio Maruim, que banha os municípios de São Pedro de Alcântara, Palhoça e São José, desaguando na Baía Sul entre o continente e a Ilha de Santa Catarina. Este trabalho demonstrou como uma pesquisa extensiva pode levar a soluções eficazes para problemas comunitários.

**Palavra-chave:** Inundações; Flor de Nápolis; Mudanças Climáticas.

### Introdução

As mudanças climáticas estão alterando os padrões de chuva, resultando em um aumento significativo de desastres naturais e eventos hidrológicos extremos, como enchentes, inundações e longos períodos de seca (Sousa et al., 2023). Segundo o Relatório Pleno, Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA), mais de 800 mil pessoas foram afetadas por cheias (alagamentos, enxurradas e inundações) em todo o país em 2020. Este relatório também destaca que, na região Sul do Brasil, há uma tendência de aumento na disponibilidade hídrica, associada a uma maior incidência de cheias e inundações, ressaltando a importância deste tema na região.

Recentemente, o fenômeno El Niño causou fortes chuvas no Sul do Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul, resultando em uma das maiores enchentes já registradas no país. Municípios como Eldorado do Sul, Caxias do Sul, Lajeado, Estrela, Canoas e Porto Alegre foram severamente afetados, com uma precipitação acumulada de 778 mm e o nível do Rio Guaíba ultrapassando os 5 metros.

O excesso de água saturou o solo, impedindo a infiltração e provocando deslizamentos de terra. Quando o solo fica saturado, sua capacidade de absorção diminui, desencadeando o escoamento superficial. Esse processo se inicia com pequenos filetes de água que seguem o relevo do solo. Ao longo do percurso, a vegetação atua como uma barreira ao escoamento, promovendo a infiltração. Combinada com a topografia do ambiente, a vegetação pode formar uma micro-rede de drenagem, transformando-se em cursos d'água mais estáveis, como arroios e rios (Tucci, 2001).

Essa situação resultou em um colapso nos serviços essenciais do estado: o abastecimento de água foi interrompido, o sistema de drenagem foi sobrecarregado e as enchentes contaminaram as fontes de água potável com esgoto e detritos sólidos, aumentando o risco de doenças na população. Para mitigar enchentes, é crucial evitar o desmatamento em áreas de vegetação nativa, pois a vegetação reduz a erosão do solo e o escoamento superficial, encaminhando gradativamente a água aos rios e oceanos.



Em 2022, um alto volume de precipitação em Santa Catarina causou enchentes, alagamentos e deslizamentos de terra, forçando moradores de várias cidades a abandonarem suas casas. Mais de 20,5 mil pessoas foram impactadas pelas chuvas, com 70 cidades prejudicadas e seis delas em situação de emergência: Araquari, Bom Retiro, São José do Cedro, Saltinho, Santa Terezinha do Progresso e Serra Alta. Em São José, o bairro Flor de Nápolis foi gravemente afetado, com a água atingindo mais de 3 metros de altura, inundando 80% da área e desalojando centenas de moradores, conforme o relatório da defesa civil do estado de Santa Catarina realizado em 2022.

Esses eventos recentes, juntamente com as vítimas, desabrigados e os custos econômicos associados à reconstrução de edifícios, estradas e pontes, destacaram a urgência de discutir a mitigação das mudanças climáticas e adaptar as cidades com infraestrutura resiliente a eventos extremos. Portanto, é essencial implementar estratégias de prevenção e mitigação para reduzir esses impactos. Além disso, as ações para a mitigação de enchentes estão alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 e 11, que visam garantir acesso à água potável e saneamento básico, e tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.

Neste contexto, este trabalho aborda um tema de grande relevância para a região de São José, em Santa Catarina, especificamente no bairro Flor de Nápolis: as enchentes. As enchentes são influenciadas por diversos fatores, que serão explorados ao longo deste trabalho. Esses fatores contribuem para a complexidade do problema e exigem uma análise cuidadosa para a busca de soluções efetivas.

Os impactos dessas enchentes na sociedade local são profundos e multifacetados. Durante o período de cheias, muitos moradores encontram-se desabrigados, forçados a abandonar suas casas para buscar segurança. Além disso, a perda material é significativa, com muitos perdendo bens de valor inestimável. No entanto, os problemas não terminam quando as águas recuam. As consequências das enchentes se estendem muito além do evento em si. Uma das questões mais graves é o surgimento de doenças, muitas vezes causadas pelo contato com a água contaminada. Entre os exemplos de doenças associadas a esse contato estão a leptospirose, a hepatite A, a febre tifoide e gastroenterites infecciosas, que, se não tratadas de maneira adequada, podem levar à morte.

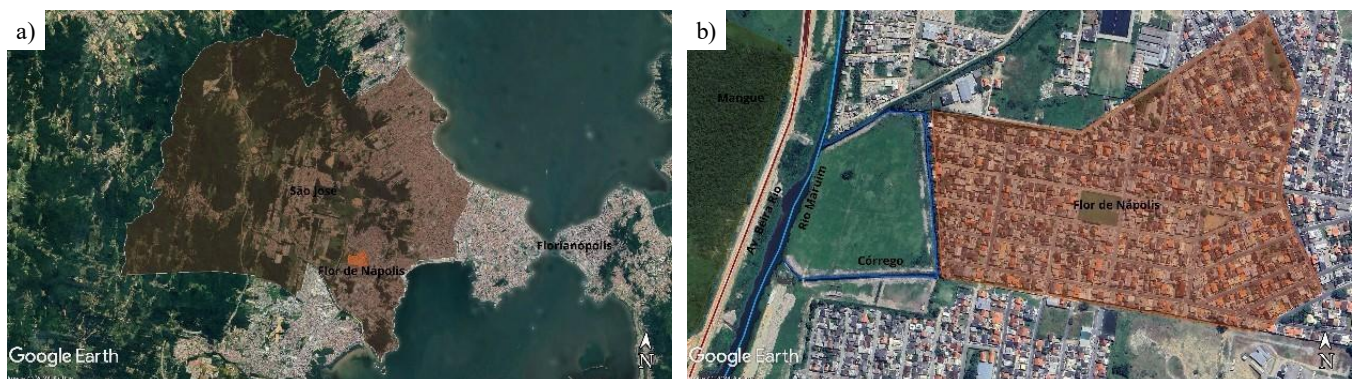
O objetivo deste trabalho não é apenas compreender melhor esses desafios, mas também encontrar maneiras de reduzir seus efeitos e, idealmente, evitar que ocorram. Através dessa abordagem, espera-se contribuir para a resiliência e o bem-estar da comunidade do bairro Flor de Nápolis.

### Metodologia

Inicialmente, foram examinadas as principais calamidades que afetam a região da Grande Florianópolis. Os principais desastres naturais encontrados no estado de Santa Catarina, localizado na região sul do Brasil, são os alagamentos, as inundações, as enchentes e os deslizamentos de terra. No entanto, os alagamentos são os mais frequentes, afetando muitas cidades e bairros em todo o estado.

Embora os alagamentos causem mortes, doenças e perdas materiais, existem soluções adequadas que podem minimizar ou eliminar esses problemas em alguns casos. Para a escolha do local de estudo, foi observado que várias cidades do estado são afetadas, principalmente em bairros da cidade de São José-SC (Figura 1a). Devido ao aumento da população, houve uma expansão urbana em regiões próximas aos canais, naturalmente sujeitas a inundações.

No entanto, a busca por um local mais vulnerável, com pouca informação e apoio dos órgãos públicos, foi tida como meta para desenvolver o estudo. Nesta conjuntura, o Bairro Flor de Nápolis em São José-SC foi observado como um dos bairros mais atingidos nos últimos anos pelas fortes chuvas (Figura 1b). Pesquisas como as conduzidas por Cardozo et al. (2010) e Sánchez (2015) evidenciaram a frequente incidência de inundações decorrentes de eventos pluviométricos intensos em São José, especialmente nos bairros Flor de Nápolis, Forquilha, Sertão do Maruim e Picadas do Sul.



**Figura 1: Mapeamento das áreas afetadas por alagamentos devido às fortes chuvas: a) bairros afetados em São José, b) bairro Flor de Nápolis, local de estudo em São José-SC.**

Fonte: Google Earth (2024)



O bairro Flor de Nápolis, com aproximadamente 4.000 mil habitantes, situado ao sul da cidade de São José, no estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil, é conhecido por sua localização próxima aos bairros Picadas do Norte e Picadas do Sul, além da cidade de Palhoça. As principais vias do bairro incluem a Rua Treze de Junho, a Rua Santa Bárbara e a Rua José Luiz de Souza, que servem como importantes conexões comerciais. Predominantemente residencial, o bairro oferece uma variedade de serviços locais, como lanchonetes, padarias, mercados, bares e escritórios, além de um campo de futebol central que os moradores utilizam como área de lazer nos fins de semana.

A localização do bairro e seus limites naturais, como o Rio Maruim, um córrego, a Avenida Beira Rio e um mangue, são elementos importantes a serem considerados (Figura 1b). Esses limites naturais contribuem para a combinação única de vida residencial e comercial, cercada por belas paisagens naturais.

Após uma análise abrangente do bairro, foi iniciada uma investigação para identificar as principais fontes das frequentes inundações na área. A proximidade do rio e a possibilidade de descarte irregular de lixo no sistema de drenagem pluvial foram consideradas como fatores importantes. Durante uma visita de inspeção, foi observado que a topografia do bairro é um fator chave, pois grande parte dele está ao nível do rio, contribuindo para os alagamentos.

Outra preocupação é a gestão de resíduos. Embora o bairro esteja relativamente limpo, o acúmulo de lixo em algumas ruas movimentadas é um dos fatores que contribuem para as inundações. Melhorar a gestão de resíduos pode ajudar a resolver esse problema.

Durante a visita, foi percorrido as principais ruas do bairro, especialmente as mais afetadas, e entrevistamos moradores de diferentes faixas etárias. As entrevistas foram fundamentais para validar teorias sobre as causas das inundações e identificar novas preocupações levantadas pela população.

Entre as causas identificadas, o córrego adjacente ao bairro possui uma profundidade limitada devido ao nivelamento com o mar, e sua estreiteza contribui para as inundações. Embora a prefeitura municipal realize trabalhos para alargar o leito do córrego, o material escavado acaba retornando durante as chuvas, assoreando-o novamente e gerando problemas para os moradores (Figura 2). Portanto, é crucial buscar soluções mais eficazes para mitigar esses problemas recorrentes.

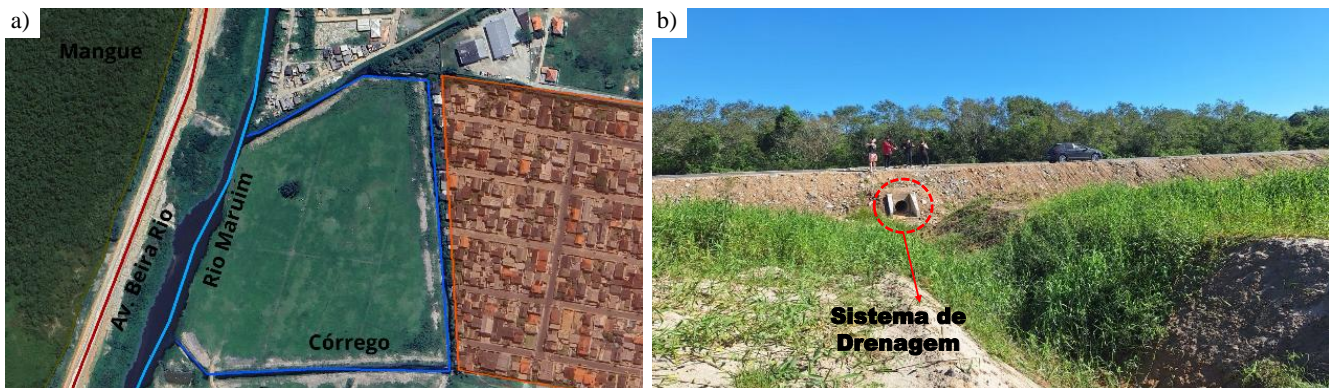


**Figura 2: Corte realizado na encosta do rio pela prefeitura para ampliar o leito do córrego.**

Os moradores destacaram um fator importante que contribuiu para as inundações no bairro: o início das obras da Avenida Beira Rio. O levantamento realizado confirmou essa influência significativa. Antes da construção da avenida, o bairro já enfrentava alagamentos, porém com menos frequência. Isso se devia ao fato de que, quando o Rio Maruim transbordava, as águas fluíam para o mangue do outro lado, evitando grandes volumes de água no bairro (Figura 3a).

Com a criação da Avenida Beira Rio, uma grande barreira artificial foi erguida, impedindo que a água alcançasse o mangue e deixando o bairro sem outra saída para o escoamento. A construção da avenida elevou-se cerca de 5 metros acima do terreno natural (Figura 3b). Além disso, todos os efluentes pluviais da avenida são direcionados para o mesmo rio já sobrecarregado durante as cheias, aumentando o risco das inundações no bairro (Figura 4).





**Figura 3:** Mapa do local de estudo do bairro Flor de Nápolis, localizado em São José - SC: a) indica a localização do mangue que anteriormente contribuía para a drenagem das águas pluviais no bairro, b) mostra a construção da Avenida Beira Rio, elevada cerca de 5 metros acima do terreno natural, redirecionando o sistema de drenagem para o Rio Maruim.



**Figura 4:** Rio Imaruí e ao fundo bairro Flor de Nápolis.

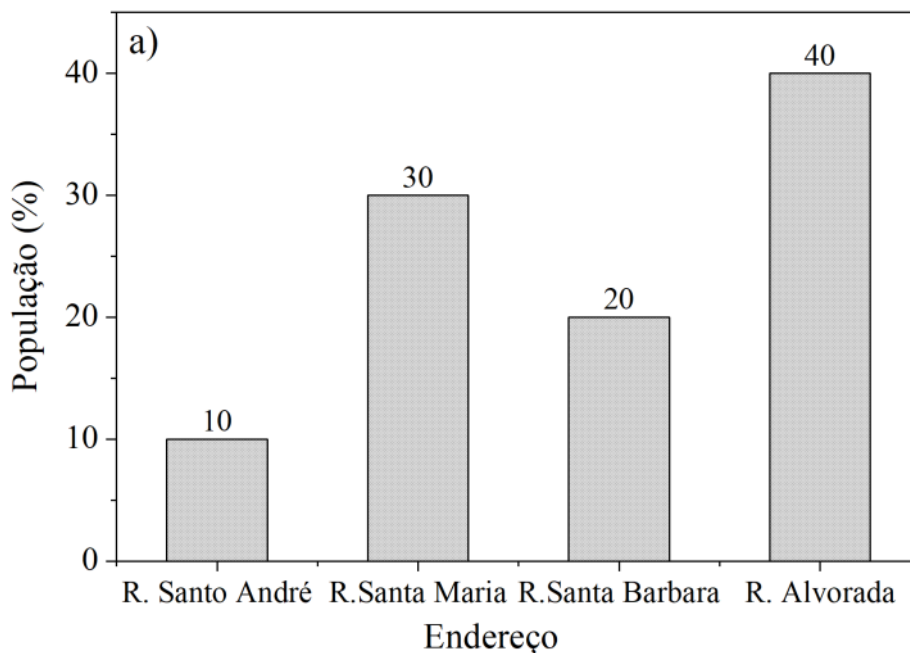
Outro aspecto relevante sobre as inundações foi destacado em duas entrevistas realizadas com moradores do bairro, ambos residentes desde sua fundação. Os pais de uma das entrevistadas foram os primeiros a se estabelecer na região e construir uma casa lá. Há aproximadamente 40 anos, o bairro foi aprovado para ser construído em uma área de mangue devido a especulações imobiliárias e interesses políticos. Embora fosse esperado que o terreno passasse por elevações e aterramentos para facilitar a construção das residências, isso não aconteceu. O loteamento foi aprovado e as vendas iniciaram até que ocorreu a primeira grande enchente, relatada pelos moradores em 1991.

A presença de características de mangue no terreno afeta a absorção da água, que não é eficiente, resultando em um tempo prolongado para a diminuição do nível das águas. O solo de um mangue, rico em matéria orgânica e água, torna-se ainda mais encharcado durante chuvas intensas. Isso pode causar inundações nas áreas vizinhas, pois o solo não consegue absorver toda a água extra. Além disso, as chuvas intensas podem causar erosão, afetando o ecossistema do mangue.

### Resultados e Discussões

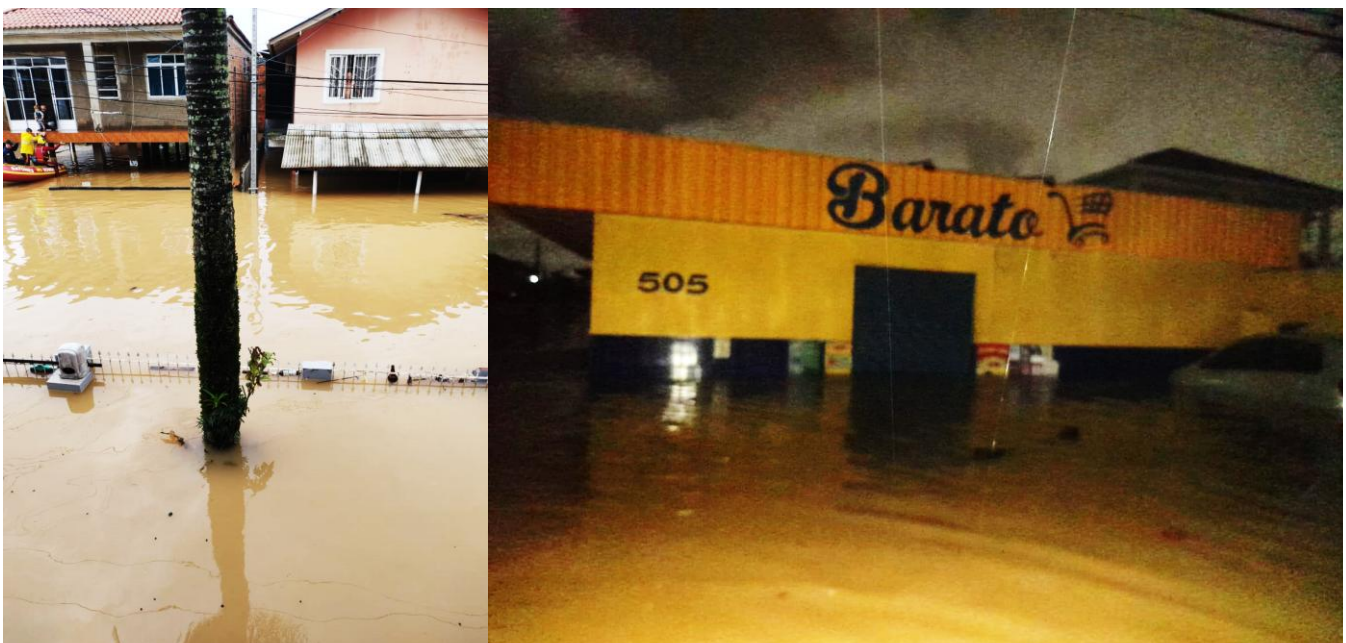
Durante a visita ao local, foi possível ampliar as percepções e compreender o sentimento da comunidade ao lidar com as consequências dos alagamentos e inundações. Foi possível perceber o nível de preocupação e entender a problemática em todo o seu contexto. As entrevistas realizadas forneceram um embasamento sólido para as soluções que seriam apresentadas. Nos resultados a seguir, derivados das entrevistas, foi compreendido melhor os aspectos da população e suas perspectivas. Foram entrevistadas aproximadamente 50 pessoas da comunidade, moradores e comerciantes das principais ruas do bairro Flor de Nápolis (Figura 5).





**Figura 5: Distribuição dos moradores entrevistados de acordo com as ruas onde residem e os edifícios comerciais.**

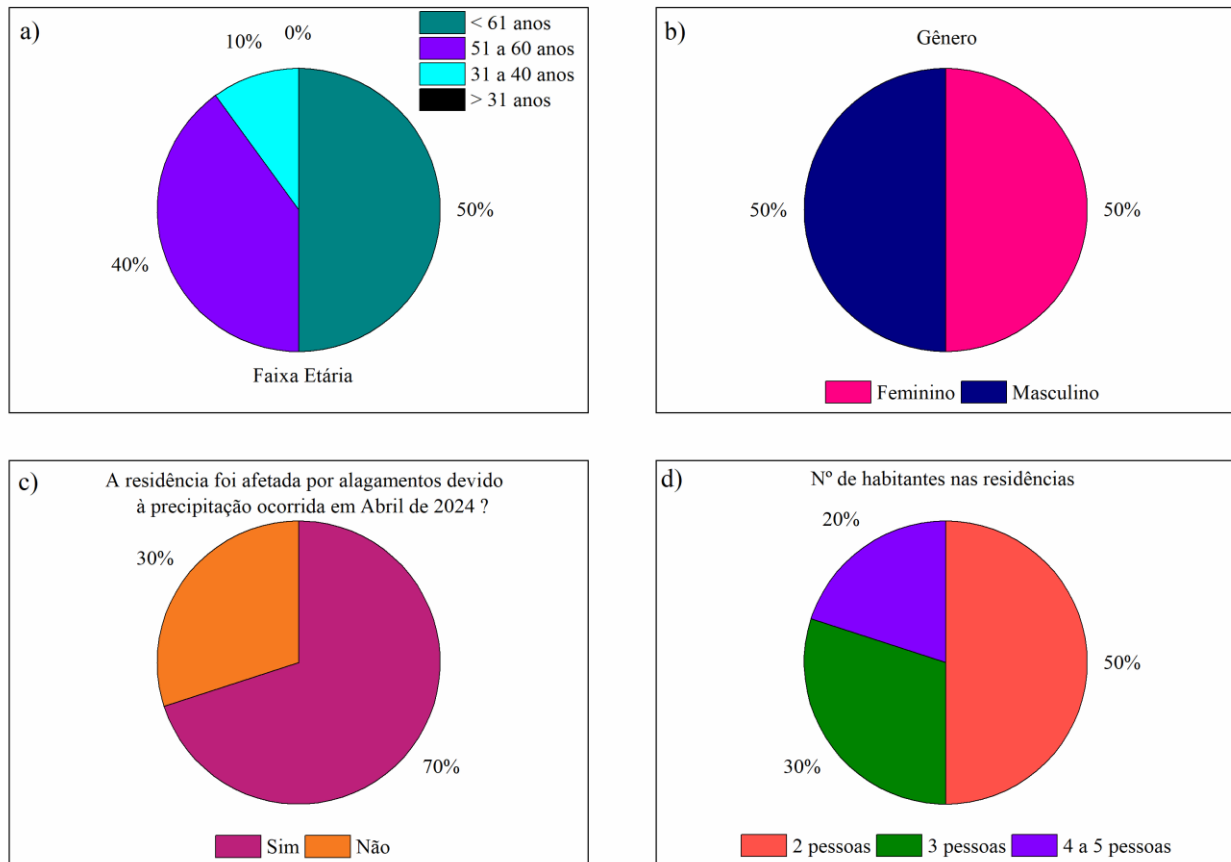
A análise revelou que a Rua da Alvorada foi severamente impactada pelos alagamentos do bairro. Por estar em um terreno mais baixo e diretamente conectada ao córrego, foi a primeira área a sofrer com as inundações. Em 2022, a situação chegou a um ponto crítico, com a água atingindo o telhado das casas térreas, resultando em danos significativos para os moradores, conforme a Figura 6.



**Figura 6: Situação da Rua da Alvorada com as fortes chuvas em novembro de 2022.**  
Fonte: Moradores locais (Joyce), 2022

Durante as entrevistas, constatou-se que a maioria dos entrevistados eram pessoas idosas, com idade superior a 61 anos (Figura 7a). Quanto à distribuição por gênero, tanto homens quanto mulheres do bairro foram entrevistados em proporções iguais (Figura 7b). Observou-se ainda que a grande maioria dos entrevistados, cerca de 70%, teve suas residências afetadas ou enfrentou algum tipo de impacto devido à última inundação ocorrida em abril de 2024 (Figura 7c). Em relação à composição familiar, a maioria das residências abriga no máximo duas pessoas (Figura 7c).

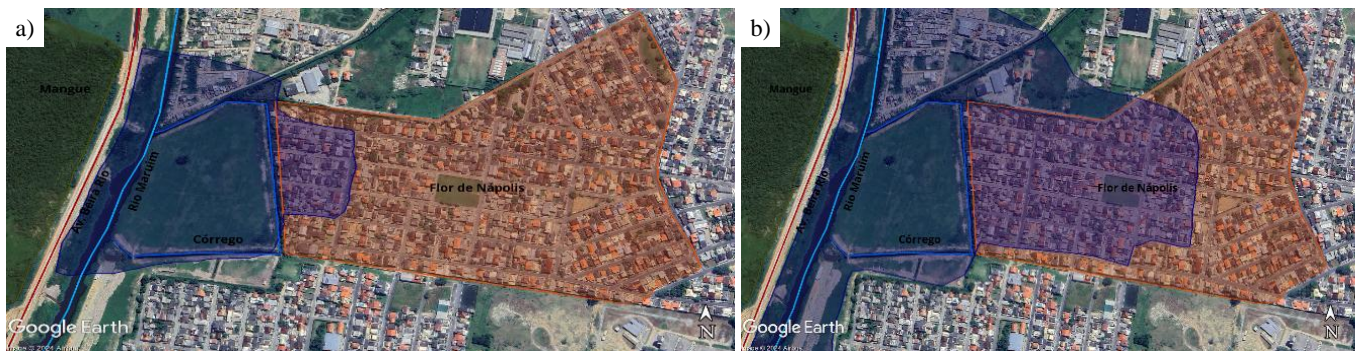




**Figura 7: Resultados obtidos a partir do levantamento realizado no bairro Flor de Nápolis: a) faixa etária dos entrevistados, b) gênero dos entrevistados, c) residências afetadas com as precipitações em abril de 2024, d) número de habitantes nas residências.**

Em abril de 2024, Santa Catarina enfrentou outro período de fortes chuvas, alcançando até 400mm, conforme relatório da defesa civil. O bairro Flor de Nápolis também foi afetado, com várias casas inundadas e muitas perdas materiais. Embora não tenham ocorrido fatalidades, as preocupações persistem, especialmente para os residentes próximos ao córrego, que sofrem mais com essas condições climáticas adversas.

Essa enchente foi significativa, porém não tão devastadora quanto a ocorrida em novembro de 2022, que causou danos extensos ao bairro. A Figura 8 compara as áreas afetadas pelos moradores em 2024 e 2022, sendo este último marcado por uma das piores enchentes na história do bairro. Os registros de 30 dias de chuva, entre 20 de novembro e 20 de dezembro de 2022, mostram quase 1000 mm acumulados na região da Grande Florianópolis. Nesta conjuntura os moradores relataram que os níveis de água em 2022 foram extraordinariamente altos, chegando a ultrapassar 2 metros de altura no ponto mais central do bairro, o campo de futebol, como ilustrado na Figura 9.



**Figura 8: Área em azul determina os pontos afetados no bairro pela inundação: a) abril de 2024, e b) novembro de 2022. Fonte: Google Earth (2024)**

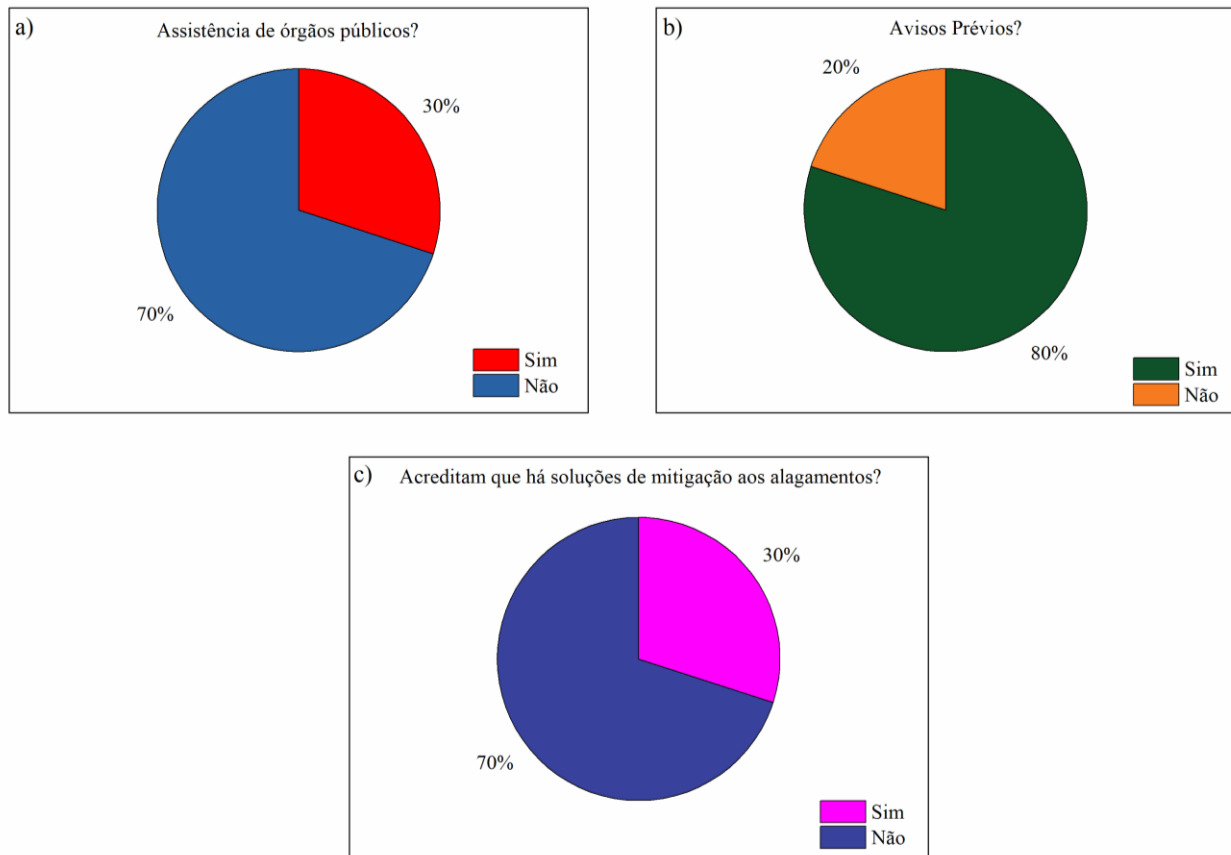


**Figura 9: Situação do bairro Flor de Nápolis com as chuvas em novembro de 2022.**

**Fonte: Moradores Joyce e Wilmara, 2022**

Neste contexto, todos os moradores entrevistados já enfrentaram alagamentos, enchentes ou inundações devido às fortes chuvas. Quando perguntados sobre o apoio dos órgãos públicos durante as enchentes, os moradores afirmaram que a Prefeitura Municipal forneceu cestas básicas, produtos de limpeza e realizou a remoção de entulhos e a limpeza do bairro após os eventos. Após as enchentes de abril de 2024, o leito do córrego adjacente foi ampliado. Em 2022, devido ao grande número de afetados, houve desconto no IPTU dos imóveis para auxiliar na recuperação. No entanto, ao longo dos anos, os incentivos municipais ficaram limitados a isso, causando insatisfação na população (Figura 10a).

Os alertas preventivos geralmente são emitidos pela própria comunidade, via grupos no WhatsApp ou boca a boca, quando o rio está prestes a transbordar. As mídias sociais também desempenham um papel importante na disseminação de informações e na preparação para as enchentes. Além disso, alertas da Defesa Civil fornecem informações precisas (Figura 10b). Quanto aos resultados obtidos sobre a expectativa da população em relação a soluções possíveis para mitigar as inundações, cerca de 70% acreditam que não existem soluções para lidar com esses problemas (Figura 10c).



**Figura 10: Resultados obtidos a partir do levantamento realizado no bairro Flor de Nápolis: a) assistência de órgãos públicos, b) avisos prévios, c) soluções para mitigação das inundações.**





Após analisar todas as questões e buscar soluções eficazes para mitigar os problemas, contrastamos com as respostas dos moradores que acreditam que não há solução para o problema.

O primeiro passo para garantir um bairro livre de enchentes é promover o descarte adequado do lixo. Evitar jogar lixo no chão, o que frequentemente obstrui os canais de drenagem, pode resolver uma parte significativa dos problemas. Durante as pesquisas realizadas no bairro, essa conscientização foi promovida e mostrou resultados positivos. É um princípio simples, mas que pode gerar grandes avanços.

O alargamento do leito do córrego ao lado do bairro tem sido uma prática recorrente, porém sua eficácia tem sido comprometida pela natureza pouco resistente das margens, compostas principalmente por barro, o que resulta em novos assoreamentos e na repetição dos alagamentos. Uma solução viável seria combinar o alargamento com a construção de uma contenção adequada, como a utilização de gabiões, criando uma barreira contra o transbordamento do Rio Maruim.

A renovação da mata ciliar, tanto ao redor do córrego quanto do rio, é essencial, pois ela atua como uma barreira natural contra a erosão das margens dos rios e o assoreamento. Além disso, a mata ciliar contribui para a redução da temperatura local e promove o bem-estar da comunidade ao restaurar o aspecto verde da área.

Para resolver o problema causado pela construção da Avenida Beira Rio, que bloqueou o escoamento do transbordamento do rio em direção ao manguezal, uma solução simples seria a instalação de dutos subterrâneos sob a avenida para conectar o rio ao manguezal. Dessa forma, em períodos de enchentes, a água seria direcionada para o manguezal em vez de inundar o bairro.

Por fim, a implementação de uma bacia de retenção de águas pluviais seria uma medida eficaz para prevenir alagamentos. Essa estrutura temporariamente armazena o escoamento da chuva e o libera de maneira controlada, reduzindo o risco de inundações e erosão do solo. Canalizando as águas pluviais para essa bacia, elas seriam temporariamente retidas e liberadas de forma controlada após as chuvas, prevenindo assim alagamentos no bairro (Figura 11).



**Figura 11: Possíveis soluções para os problemas enfrentados.**  
**Fonte: Google Earth, 2024**

## Conclusão

As medidas mencionadas neste estudo têm o potencial de melhorar significativamente a vida da população afetada por inundações. Muitos moradores vivem com o constante medo de alagamentos, o que prejudica sua qualidade de vida e senso de segurança. No entanto, a implementação das soluções propostas pode trazer uma sensação de tranquilidade e proteção para essas pessoas.

Essas soluções abrangem desde ações simples que podem ser adotadas pela comunidade, como a conscientização sobre o descarte adequado de lixo, até intervenções mais complexas que exigem a colaboração dos órgãos públicos, como o alargamento do leito do córrego e a construção de bacias de retenção de águas pluviais.

É importante destacar que o custo financeiro dessas intervenções é relativamente baixo se comparado aos benefícios que trarão para a comunidade. O retorno sobre o investimento não se resume apenas a aspectos monetários, mas também inclui a melhoria da qualidade de vida, a preservação do meio ambiente e a capacidade da comunidade em lidar com eventos climáticos extremos.

Portanto, é essencial que tanto os moradores quanto os órgãos públicos trabalhem juntos na implementação dessas medidas. Somente através dessa cooperação será possível transformar o bairro em um lugar mais seguro e resiliente, capaz de enfrentar os desafios climáticos com mais eficácia.

Para finalizar este estudo, produzimos um vídeo educacional que foi compartilhado com a comunidade local, demonstrando que existem soluções viáveis para os problemas enfrentados. É necessário o engajamento de todos, incluindo autoridades políticas e moradores, para construir um bairro que promova qualidade de vida e bem-estar para todos. Para acessar o vídeo basta scanear o QR Code abaixo.





Qrcode vídeo de conscientização

### Agradecimentos

Expressamos nossa sincera gratidão ao Centro Universitário Estácio de Santa Catarina por nos oferecer um ambiente tão propício para o aprendizado e a pesquisa.

Agradecemos imensamente a toda comunidade e aos moradores do bairro Flor de Nápolis, situado em São José – SC, por sua valiosa colaboração e esclarecimento sobre os eventos climáticos ao longo dos anos. Suas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Programa Pesquisa Produtividade do Centro Universitário Estácio pelo apoio financeiro.

### Referências bibliográficas

Agência Nacional de Águas (ANA). Conjuntura Recursos Hídricos Brasil, 2021.

Sousa, I. A.; Bortolozzo, C. A.; Mendes, T. S. G.; Andrade, M. R. M.; Neto, G. D.; Metodiev, D.; Tristan, P.; Howley, Noel.; Simões, S. J. C.; Mendes, R. M. 2020. Development of a soil moisture forecasting method for a landslide early warning system (LEWS): Pilot cases in coastal regions of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 131, p.104631.

Cardozo, F. S.; Herrmann, M. L.P.; Pereira, G; 2010. Análise das áreas suscetíveis a inundações na Bacia do rio Forquilhas, São José/SC. *GEOUSP: espaço e tempo*, São Paulo, n. 27, p. 33- 45.

Sánchez, G.M; 2015. Análise da relação entre as inundações e a evolução urbana na bacia do Ribeirão Forquilhas, São José/SC, no período de 1975 a 2011. Dissertação de mestrado. Programa de Pos-Graduação em Geografia, UFSC, Florianópolis, 183p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ. Fortes chuvas no município de São José causam alagamentos e deslizamentos. Disponível em: <https://saojose.sc.gov.br/fortes-chuvas-no-municipio-de-sao-jose-causam-alagamentos-e-deslizamentos/14110/>. Acesso em: 25 abr. 2024.

ND MAIS. Chuva provoca alagamentos e interdita rodovia na Grande Florianópolis. Disponível em: <https://ndmais.com.br/transito/chuva-provoca-alagamentos-e-interdita-rodovia-na-grande-florianopolis/>. Acesso em: 25 abr. 2024.

NSCTOTAL. Pelo menos 70 cidades são atingidas pela chuva do final de semana em SC. Disponível em: <https://www.nsctotal.com.br/noticias/pelo-menos-70-cidades-sao-atingidas-pela-chuva-do-final-de-semana-em-sc>. Acesso em: 25 abr. 2024.

CBN. Chuva em Santa Catarina pode ser três vezes maior do que esperado para abril em apenas quatro dias. Disponível em: <https://cbn.globo.com/brasil/noticia/2024/04/15/chuva-em-santa-catarina-pode-ser-tres-vezes-maior-do-que-esperado-para-abril-em-apenas-quatro-dias.ghtml> Acesso em: 25 abr. 2024.

JM ONLINE. ‘Enchente de São José’ causa danos. Disponível em: <https://jmonline.com.br/cidade/enchente-de-s-o-jose-causa-danos-1.117294/>. Acesso em: 26 abr. 2024.

DEFESA CIVIL DE SC. ATUALIZAÇÃO ENCHENTES EM SC ( 17:45 ). Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/noticias/atualizacao-enchentes-em-sc-17-45/>. Acesso em: 26 abr. 2024.



DEFESA CIVIL DE SC. Mais de 20 mil pessoas foram atingidas pela chuva em Santa Catarina. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/noticias/mais-de-20-mil-pessoas-foram-atingidas-pela-chuva-em-santa-catarina/>. Acesso em: 26 abr. 2024.

DEFESA CIVIL DE SC. Atualização Enchentes em SC (17:45). Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/noticias/atualizacao-enchentes-em-sc-17-45/>. Acesso em: 26 abr. 2024.

METSUL. Chuva de até 350 mm causa deslizamentos e enchente em Santa Catarina. Disponível em: <https://metsul.com/chuva-de-ate-350-mm-causa-deslizamentos-e-enchente-em-santa-catarina/>. Acesso em: 26 abr. 2024.

BRASIL ESCOLA. Enchentes: causas, consequências, como prevenir. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/enchentes.htm>. Acesso em: 26 abr. 2024.

ILIBRARY. Função das bacias de retenção - Bacias de Retenção. Disponível em: <https://ilibrary.org/article/funcao-das-bacias-de-retencao-bacias-de-retencao.qvv8710q>. Acesso em: 18 abr. 2024.

MATHIDRO. Bacias de retenção. Disponível em: <https://www.mathidro.pt/bacias-de-retencao/>. Acesso em: 14 abr. 2024.

CANHOLI, A.P. Drenagem urbana e Controle de Enchentes, 2ª edição, 2014.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2ª edição. Porto Alegre, 2001.

FRANK, B. SEVEGNANI, L. Desastre de 2008 no Vale do Itajaí. Água, gente e política. Blumenau, 2009.



## ANÁLISE DAS ANOMALIAS DA TEMPERATURA EM FLORIANÓPOLIS (2002 A 2023)

**1Iria Sartor Araujo, 2Hamilton Justino Vieira**

1 Epagri, e-mail: iriaaraujo@epagri.sc.gov.br; 2 Epagri, e-mail: vieira@epagri.sc.gov.br

**Palavras-chave:** estação meteorológica; normal climatológica; série histórica.

### Resumo

O clima se dá pelo comportamento e a atuação das condições da atmosfera em um dado local, consistindo em uma série de padrões climáticos que se sucedem e se repetem ciclicamente durante um período de meses ou anos. Relatórios de avaliação do IPCC evidenciam o consenso da comunidade científica acerca da atual situação e das perspectivas do clima para o futuro caso não ocorram mudanças mediante a cooperação mundial. Tais consequências não atingem todos os pontos do planeta nas mesmas condições, sendo algumas regiões mais suscetíveis a vivenciar problemas relacionados com o aquecimento global. O relevo diversificado de Santa Catarina influencia de maneira direta os padrões de tempo e clima locais, determinando variações de temperatura, regimes de chuva e provocando eventos extremos. Em se tratando de características climáticas e de tempo para Santa Catarina, incluindo os extremos de temperatura, o município de Florianópolis apresenta como característica peculiar os diferentes tipos de tempo, que por sua vez, definem as condições climáticas do local, por estar localizado numa região de fortes contrastes de massas de ar tropicais e polares, e de diferentes tipos de tempo. O clima de Florianópolis é classificado como CFa, pela escala de Köppen e Geiger, sendo mesotérmico úmido com chuvas bem distribuídas, verões quentes e invernos brandos, conforme o Atlas Climatológico de Santa Catarina. A Epagri, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, possui uma rede de estações meteorológicas distribuídas em todo o território do estado, sendo uma delas localizada em Florianópolis, e que possui uma série histórica de 28 anos de dados (1995 a 2023), o que possibilita efetuar análises consistentes da climatologia e das anomalias de diferentes variáveis, entre elas a temperatura do ar. Portanto, neste contexto, verifica-se a importância em avaliar as anomalias de temperatura mensais em Florianópolis, SC (mínima, máxima e média), no período de 2002 a 2023, para validar a metodologia utilizada, a qual poderá ser replicada nas demais estações meteorológicas de Santa Catarina.

### Introdução

O clima se dá pelo comportamento e a atuação das condições da atmosfera em um dado local, consistindo em uma série de padrões climáticos que se sucedem e se repetem ciclicamente durante um período de meses ou anos.

Criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), em conjunto com a Organização das Nações Unidas (ONU), o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) é responsável pela publicação de relatórios de avaliação (*Assessment Report*), os quais evidenciam o consenso da comunidade científica acerca da atual situação e das perspectivas do clima para o futuro caso não ocorram mudanças mediante a cooperação mundial (IPCC, 2023b).

Tais consequências não atingem todos os pontos do planeta nas mesmas condições, sendo algumas regiões mais suscetíveis a vivenciar problemas relacionados com o aquecimento global (MENDONÇA, 2014).

Segundo o Guia de Práticas para Climatologia da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2018), há uma dificuldade na determinação do mínimo de anos necessário para representar a variabilidade do clima. Para a maioria das variáveis meteorológicas, são necessários pelo menos 10 anos de dados para um resultado estatístico significativo, e até 30 anos no caso da precipitação.

O relevo diversificado de Santa Catarina influencia de maneira direta os padrões de tempo e clima locais, determinando variações de temperatura, regimes de chuva e provocando eventos extremos. Esta diversidade geomorfológica, juntamente com outros fatores, torna o Estado uma região complexa para avaliar as características regionalizadas das condições meteorológicas (Oliveira, 2023).

Em se tratando de características climáticas e de tempo para Santa Catarina, incluindo os extremos de temperatura, conforme Monteiro (2007) e Alves et al. (2016) o município de Florianópolis apresenta como característica peculiar os diferentes tipos de tempo, que por sua vez, definem as condições climáticas do local, por estar localizado numa região de fortes contrastes de massas de ar tropicais e polares, e de diferentes tipos de tempo. Devido a sua posição subtropical, apresenta características climáticas controladas pela penetração, atuação e choque das massas Polar Marítima (mPm) e Tropical Marítima do Atlântico (mTa), com verões quentes e invernos frescos (NIMER, 1979).

O clima de Florianópolis é classificado como CFa, pela escala de Köppen e Geiger, sendo mesotérmico úmido com chuvas bem distribuídas, verões quentes e invernos brandos, conforme o Atlas Climatológico de Santa Catarina (PANDOLFO et al. 2002). Porém o município de Florianópolis, devido a sua proximidade com o mar, é frequentemente afetado pelas inúmeras mudanças no tempo, na pressão atmosférica, e, ainda, alta umidade relativa do ar, o que interfere na variação e na amplitude térmica nas diferentes estações do ano, como pode-se observar nos trabalhos de Mendonça (2002) e Herrmann et al. (2009).

A Epagri, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, possui uma rede de estações meteorológicas distribuídas em todo o território do estado, sendo uma delas localizada em Florianópolis, e que possui uma série histórica de 28 anos de dados (1995 a 2023), o que possibilita efetuar análises consistentes da climatologia e das anomalias de diferentes variáveis, entre elas a temperatura do ar.





Portanto, neste contexto, verifica-se a importância em avaliar as anomalias de temperatura mensais em Florianópolis, SC, no período de 2002 a 2023, para validar a metodologia utilizada, a qual poderá ser replicada nas demais estações meteorológicas de Santa Catarina.

### Material e Métodos

Para a análise das anomalias da temperatura e as normais climatológicas, foram utilizados dados da estação meteorológica convencional da Epagri em Florianópolis (entre 1995 e 2001) e dados da estação automática telemétrica entre 2002 e 2023.

A estação meteorológica está localizada na Epagri de Florianópolis, onde se encontra o Centro de Treinamento (lat-22,97 long-43,23, altitude 10m).

Os dados da estação meteorológica automática telemétrica de Florianópolis, da Epagri, são medidos e transmitidos de forma horária, para o banco de dados da Epagri, e são armazenados após qualificação, para dar confiabilidade à série histórica, a qual será utilizada para cálculo das normais climatológicas.

Os dados são qualificados por um sistema automatizado e também pelos técnicos da Epagri- Ciram (Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina), sendo posteriormente publicados em diferentes plataformas, sendo uma delas o Agroconnect, no qual pode-se visualizar os dados de temperatura, e outras variáveis meteorológicas, dos últimos 60 dias (<https://ciram.epagri.sc.gov.br/agroconnect/>).

A partir das normais climatológicas (1995 a 2023) para a temperatura mínima, máxima e média, foram feitos os cálculos das anomalias, comparando com os dados mensais observados entre os anos de 2002 e 2023.

### Resultados e Discussão

Abaixo a Tabela 1 mostra a normal climatológica da temperatura mínima, máxima e média, a partir da série histórica da estação meteorológica da Epagri em Florianópolis (1995 a 2023), a qual foi utilizada para os cálculos das anomalias entre os anos de 2002 e 2023.

**Tabela 1: Normal climatológica da temperatura – Florianópolis, SC (1995 a 2023)**

Mês	Tmin_med_mensal <sup>1</sup>	Tmax_med_mensal <sup>2</sup>	Tmed_mensal <sup>3</sup>
JANEIRO	21,47	29,42	25,03
FEVEREIRO	21,35	29,87	25,13
MARCO	20,62	29,09	24,32
ABRIL	18,31	26,79	22,14
MAIO	15,00	23,78	19,07
JUNHO	13,22	22,20	17,31
JULHO	12,52	21,52	16,66
AGOSTO	13,62	22,30	17,59
SETEMBRO	15,32	22,80	18,74
OUTUBRO	17,35	24,30	20,47
NOVEMBRO	18,54	26,20	22,04
DEZEMBRO	20,19	28,05	23,70

Legenda: 1-Média das Temperaturas Mínimas; 2- Média das Temperaturas Máximas; 3- Temperaturas Médias

Conforme a Figura 1, no mês de janeiro, a maior anomalia ocorreu em 2013 na temperatura máxima, em que houve até 6,8 graus abaixo da média climatológica para a temperatura máxima. Em fevereiro, a maior anomalia ocorreu em 2010, com 3,8 graus acima da normal climatológica também na temperatura máxima. Em março a temperatura máxima foi 4,33 acima da média, no ano de 2007.

No segundo trimestre (Figura 2), o mês de abril apresentou variação em relação à média climatológica, acima e abaixo em quase todos os anos, mas pode-se destacar que nos últimos três anos (2021, 2022 e 2023) houve redução de aproximadamente 1 grau, nas temperaturas mínima, máxima e média. Em maio de 2019, ocorreu as maiores variações positivas, inclusive na temperatura mínima, que ficou 3,42 graus acima da média climatológica. O mês de junho apresentou uma importante redução das temperaturas no ano de 2016, ficando abaixo de 4 graus da normal.

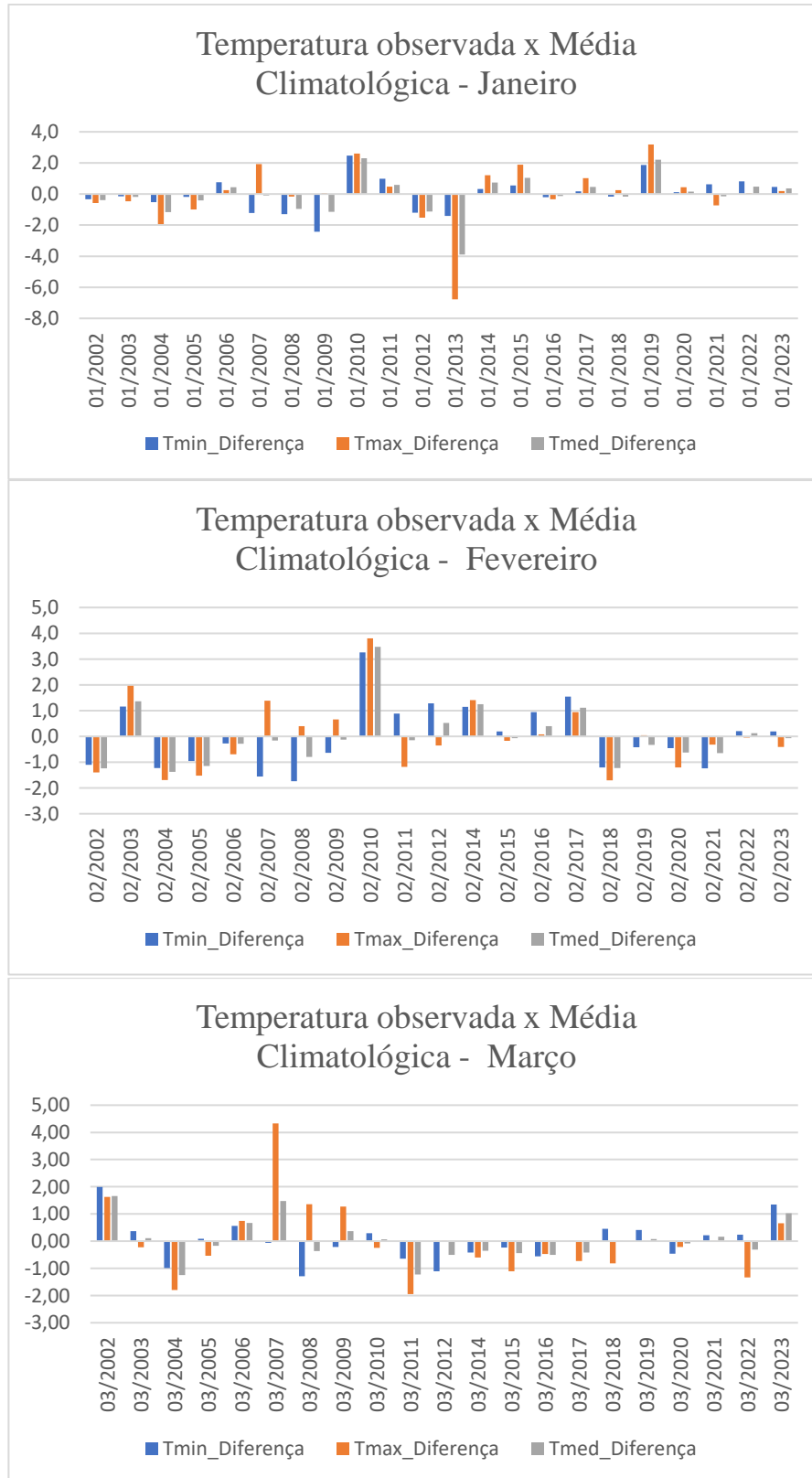
A Figura 3 mostra as temperaturas do terceiro trimestre, o mês de julho apresentou valores de temperatura acima da média climatológica nos últimos dois anos, corroborando com as informações acerca da redução do frio no inverno nestes períodos. Agosto apresentou variação em todos os anos, porém destaca-se o ano de 2015, que apresentou valores entre 2 e 3 graus acima da normal. Setembro apresentou valores acima da média climatológica em quase todos os últimos 7 anos, ficando acima em 2017, 2018, 2020, 2021 e 2023.

Os meses de outubro, novembro e dezembro são mostrados na Figura 4. Outubro apresentou a maior anomalia em 2012, ficando com quase 4 graus acima da normal. Novembro de 2019 apresentou uma grande variação positiva na temperatura,

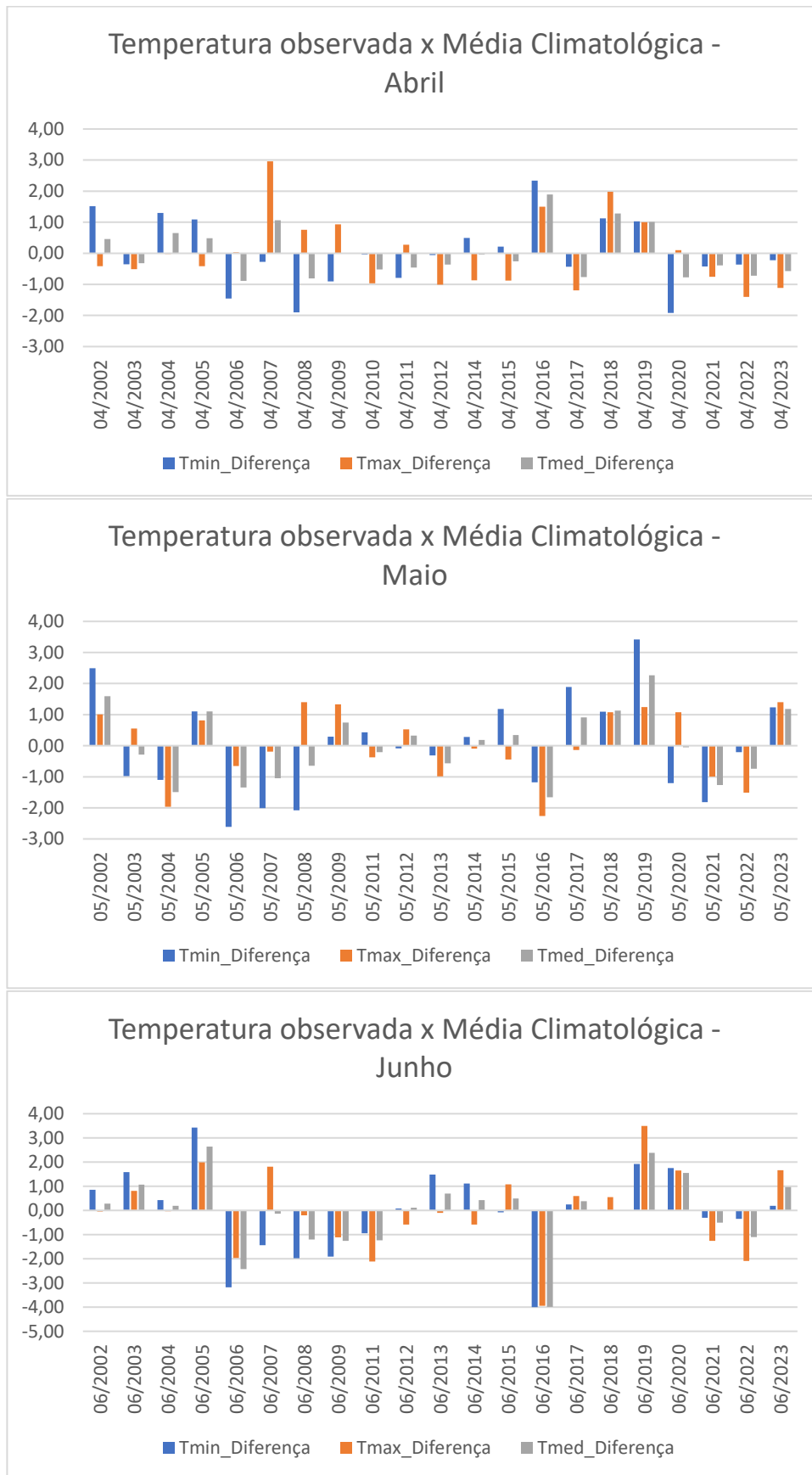


apresentando 4,81 graus acima da normal na temperatura mínima, 5,28 na temperatura máxima e 4,87 na temperatura média. Em dezembro, verifica-se altas temperaturas em 2006 (temperatura máxima com 3,6 graus acima da média).

A avaliação geral mostra também que o ano de 2023 foi atípico, já que apresentou uma tendência de aumento da temperatura em diferentes trimestres do ano, sendo que os meses com anomalias positivas foram os seguintes: março, maio, junho, julho, agosto, setembro, novembro e dezembro.

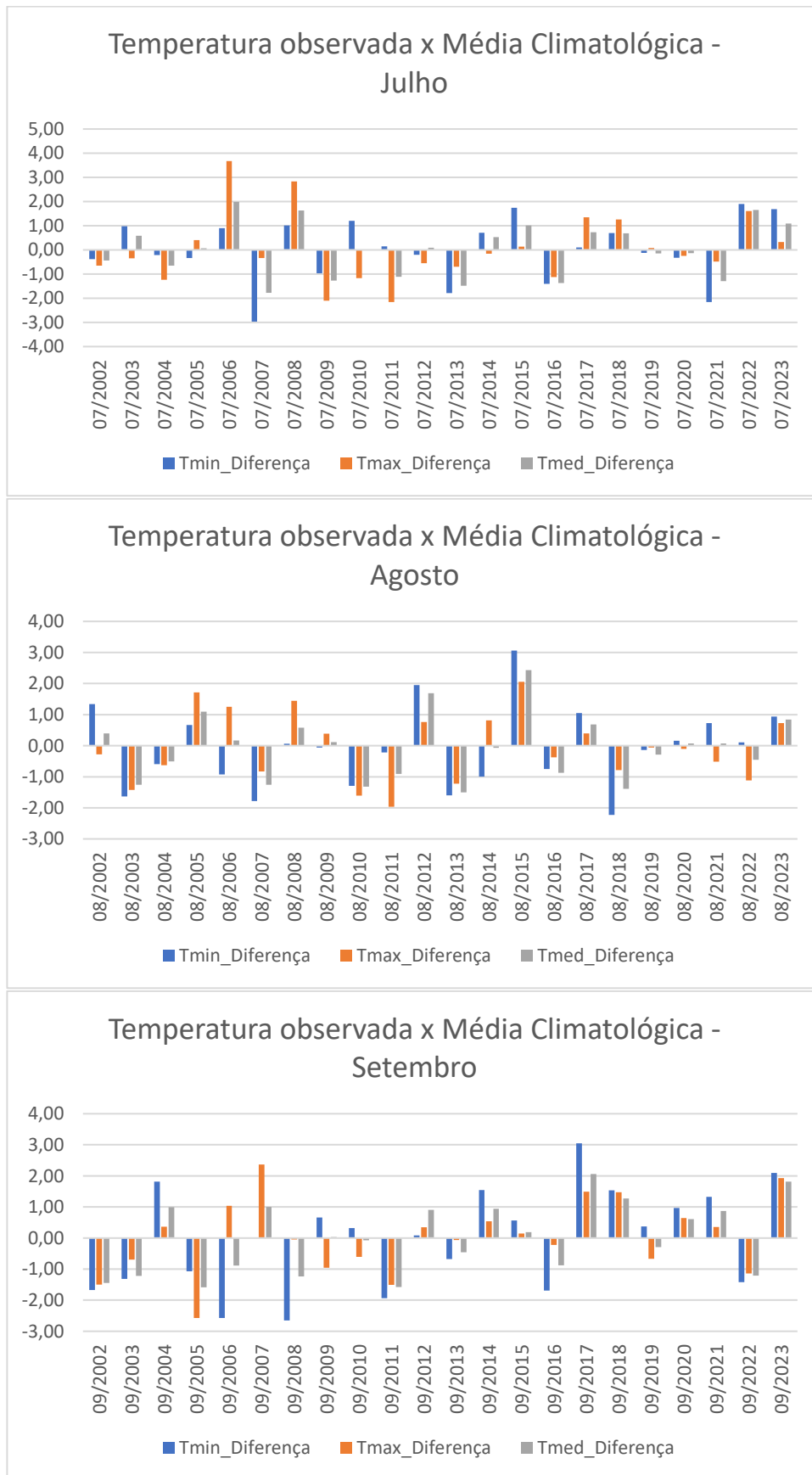


**Figura 1: Anomalias das temperaturas observadas em relação a normal climatológica – Florianópolis, SC - Primeiro Trimestre (Jan-Fev-Mar).**

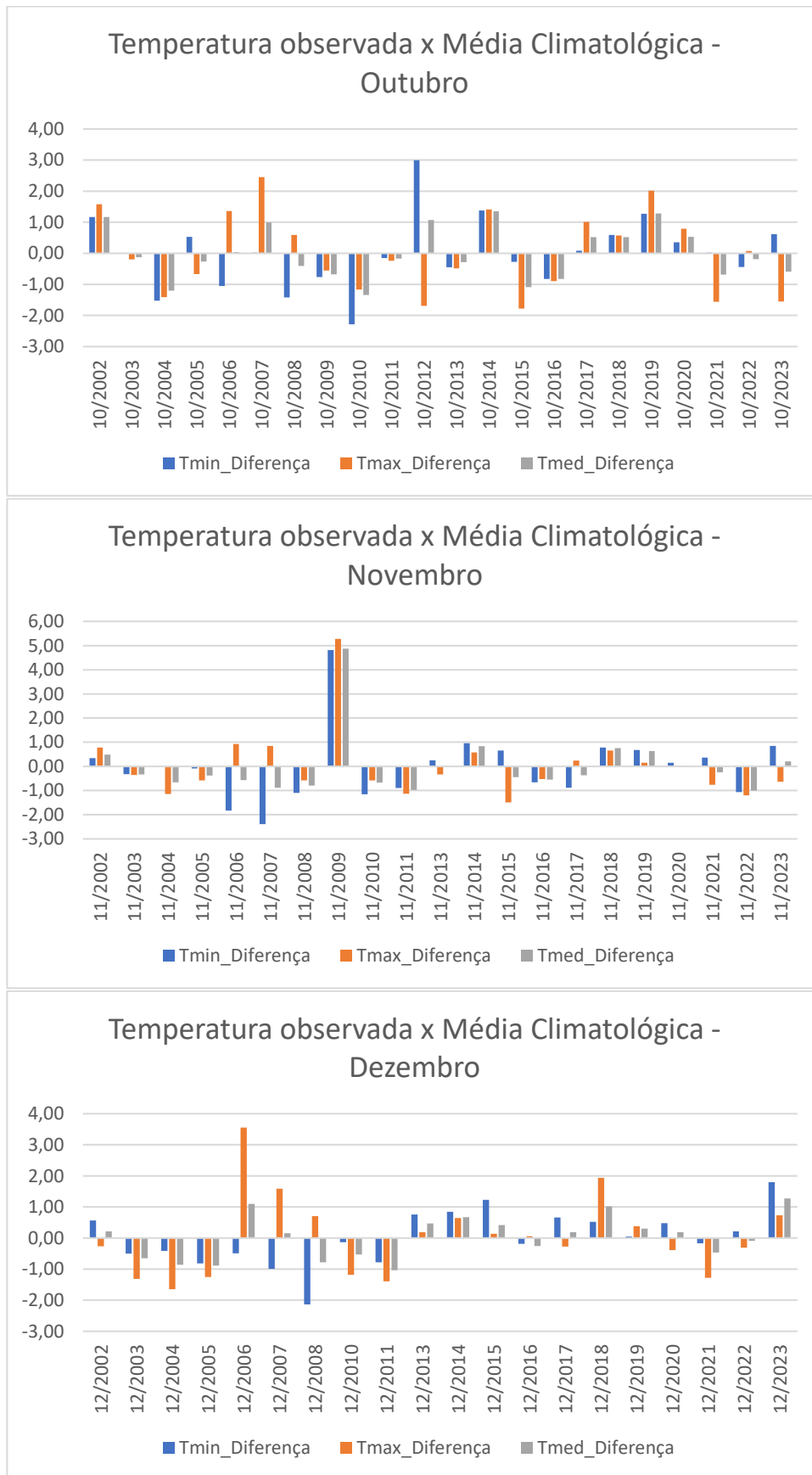


**Figura 2: Anomalias das temperaturas observadas em relação a normal climatológica – Florianópolis, SC - Segundo Trimestre (Abr-Mai-Jun).**





**Figura 3: Anomalias das temperaturas observadas em relação a normal climatológica – Florianópolis, SC - Terceiro Trimestre (Jul-Ago-Set).**



**Figura 4: Anomalias das temperaturas observadas em relação a normal climatológica – Florianópolis, SC - Terceiro Trimestre (Out-Nov-Dez).**



## Comentários finais

A partir dos dados apresentados, verifica-se, a importância dos estudos vinculados à temperatura, sobretudo às suas anomalias em relação ao padrão normal esperado.

Verifica-se uma grande variação do padrão nas temperaturas mínimas, máximas e médias, destacando o ano de 2023, que apresentou temperaturas acima da normal climatológica em diferentes meses, dentro de todos os trimestres do ano.

Considera-se validada a metodologia aplicada para fins de comparação do comportamento da temperatura na estação da Epagri em Florianópolis, a qual poderá ser aplicada em todas as estações meteorológicas do estado de Santa Catarina.

## Referências Bibliográficas

ALVES, M.P.A.; VANZ, A.; CRUZ, G.S.; MARTARELLO, K.C.B.K.; MONTEIRO, A.N.; MISZINSKI, J. Caracterização da forte onda de calor de 2014 em Santa Catarina. *Ciência e Natura*, v.38, n.1, p. 309 – 325., 2016.

HERRMANN, M. L. P.; CARDOZO, F. S.; BAUZYS, F.; PEREIRA, G. Frequência dos desastres naturais no estado de Santa Catarina no período de 1980 a 2007. In: *Encuentro de geógrafos de America Latina*, 12. Montevideo, Uruguay. *Anais...*, 2009. p. 1- 1-12. DVD. Disponível em: <http://plutao.sid.inpe.br/ibi/J8LNKAN8RW/36KNHCP> Acesso em: 09 mai. 2024.

MENDONÇA, Magaly. A dinâmica têmporo-espacial do clima subtropical na região conurbada de Florianópolis/SC. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.. Acesso em: 09 mai. 2024.

NIMER, E. *Climatologia do brasil*, vol. 4. SUPREN/IBGE, 1979. 73

Oliveira, Caio Guerra de. *Regionalização do clima em Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) –Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de SantaCatarina.2023.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. da; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. *Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

WMO, N. 100 (2018) *Guide to climatological practices*. [S.l.]: WMO, Geneva, Switzerland, 2018. 18.





# ANÁLISE DA RESILIÊNCIA AOS EXTREMOS CLIMÁTICOS DE CHUVA EM SANTARÉM - PARÁ: ESTUDO PRELIMINAR NA OCUPAÇÃO VISTA ALEGRE DO JUÁ

**1Yasmin Coutinho Lemos, 2Larissa Batista Balbino, 3Leidiane Leão de Oliveira**

*1 Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), e-mail: yasmincth@gmail.com ; 2 Universidade Federal do Oeste do Pará(UFOPA), e-mail: larissabalbino8754@gmail.com ; 3 Universidade Federal do Oeste do Pará(UFOPA), e-mail: leidianeoli@gmail.com*

**Palavras-chave:** Resiliência; ocupação; vulnerabilidade.

## Resumo

Eventos climáticos extremos afetam principalmente populações mais vulneráveis socioeconomicamente, que possuem maior exposição e menor capacidade de resiliência. Para avaliar a resiliência dos moradores das áreas mais impactadas por eventos extremos de chuva na ocupação Vista Alegre do Juá, em Santarém, Pará, foi elaborado um formulário baseado em padrões comportamentais e aplicado em uma amostra da população local. Os resultados revelam a fragilidade socioeconômica e demográfica dos moradores, evidenciada pelo elevado adensamento populacional, baixa renda familiar e deficiências no saneamento básico. Os padrões de chuva na cidade de Santarém mostram a crescente ocorrência de eventos extremos. A análise das entrevistas aponta para uma resiliência média entre os moradores, indicando uma capacidade razoável de enfrentar crises e adversidades, com algum nível de estresse e sucesso moderado, sendo que o padrão religioso contribui significativamente para um maior grau de resiliência.

## Introdução

Importantes consequências das mudanças climáticas são as ocorrências de secas ou do aumento na intensidade das chuvas em várias regiões do globo terrestre, que pode reduzir ou aumentar a disponibilidade de água no sistema e afeta diretamente o homem (Marengo et al., 2012; Gloor; Barichivich; Ziv, 2015; Trenberth; Fasullo; Shepherd, 2015). Estes eventos são definidos como extremos climáticos que são caracterizados pela ocorrência de um valor de uma variável climática ou meteorológica acima (ou abaixo) de um valor limite próximo às extremidades superior (ou inferior) do intervalo de valores observados da variável (IPCC, 2012).

Extremos climáticos, agravado ou não pela atividade humana, podem resultar em desastres naturais. Suas consequências são alterações severas no funcionamento normal de uma comunidade ou sociedade devido a eventos físicos perigosos interagindo com condições sociais vulneráveis, levando a efeitos humanos, materiais, econômicos ou ambientais (IPCC, 2012). Nas últimas décadas, uma nova categoria de extremos se tornou cada vez mais aparente, com várias cidades ao redor do mundo experimentando sucessões de extremos de inundações, secas e ondas de calor, com consequentes danos significativos nas dimensões social e ambiental (Zhou; Yu; Zhang, 2023)

Extremos climáticos no Brasil tornaram-se mais frequentes nas últimas décadas (Almeida, 2012), regiões como a Amazônia e o Nordeste e Sul do Brasil vem sofrendo grandes impactos. Chuvas intensas ou longos períodos de secas, expondo a população em situações de risco e vulnerabilidade. Para a Amazônia, estudos anteriores relatam casos de secas recordes e enchentes severas (Zeng et al., 2008; Marengo et al., 2011; Marengo et al., 2012; Correa et al., 2017; Espinoza et al., 2022). No Nordeste do Brasil são registradas secas de longa duração que provocam impactos socioambientais (Marengo et al., 2017; Costa; Da Silva, 2017; Vieira et al., 2020; Da Silva Júnior, Chaves 2021). Nos primeiros meses de 2024, as chuvas causaram a maior cheia e tragédia da história do estado do Rio Grande do Sul e uma das maiores do Brasil (Rizoto; Costa; Lobato, 2024). Desastres naturais se tornaram mais frequentes, expondo a população em situações de risco e vulnerabilidade.

Os extremos climáticos na Amazônia amplificaram sua frequência e intensidade (Vogel et al., 2020; De Souza et al., 2024), mas as populações e ambientes em risco também aumentaram. Estudos de extremos climáticos são numerosos no Nordeste e Sudeste do Brasil e escassos na Amazônia. Para a Amazônia, a maioria dos estudos anteriores relatou composições ou estudos de caso de secas (Marengo et al., 2011; Correa et al., 2017) e enchentes (Espinoza et al., 2022), que provocaram impactos sérios durante as últimas décadas.

Temos um grande desafio científico em investigar como a população da Amazônia vem vivendo as mudanças do clima, o novo normal ou anormal (Trenberth; Fasullo; Shepherd, 2015; Barbosa, Costa e Alves; 2024), dado as mudanças do clima, mudanças ambientais interagindo com a dimensão social espacialmente diversa e com o agravo das condições sociais vulneráveis.

Desastres naturais, como consequência de episódios extremos de precipitação, são definidos como fenômenos da natureza que transformam a paisagem e o espaço geográfico. Caso estes se intensifiquem no meio social podem gerar situações de perigo, ocasionando óbitos e danos materiais com prejuízos de difícil reparo (Caldana et al. 2021). De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2012), o processo de urbanização, ou o aumento da proporção da população que vive nas cidades, seguiu um padrão semelhante ao crescimento da população mundial. Na América Latina e Caribe, a urbanização foi muito rápida entre 1950 e 1990, e a população urbana aumentou de 40% para 70% durante esse período.



Desde então, a população urbana tem crescido mais lentamente, mas mesmo que este abrandamento continue, em 2050 estima-se que a população urbana representará 90 por cento da população da América Latina. No Brasil, a expansão urbana é agravada pela falta de planejamento. Fato que compromete a qualidade ambiental em nossas cidades, algo evidenciado em cidades na Amazônia.

A ocupação do Juá, situada em Santarém, no Pará, é um exemplo emblemático de como comunidades socialmente vulneráveis enfrentam desafios severos devido à sua exposição a eventos extremos, como chuvas intensas. Localizada em uma região com infraestrutura precária, a ocupação do Juá apresenta características que acentuam os riscos de desastres naturais (Pinho, 2023), como alagamentos e enxurradas. Nessas áreas, a resiliência e a adaptabilidade tornam-se essenciais para a sobrevivência e bem-estar das populações locais. Resiliência, nesse contexto, refere-se à capacidade das comunidades de resistir, absorver e se recuperar dos impactos adversos das chuvas extremas, ao mesmo tempo em que adaptam suas práticas e infraestruturas para mitigar futuros riscos (Fernandez e Valverde, 2017).

Em regiões como o Juá, onde a vulnerabilidade social é alta, essas capacidades são frequentemente limitadas por recursos escassos, falta de planejamento urbano adequado e ausência de políticas públicas eficazes (Pinho, 2023). No entanto, a resiliência comunitária pode ser fortalecida por meio de ações coletivas, educação ambiental, e investimentos em infraestrutura sustentável que levem em consideração as especificidades locais e os conhecimentos tradicionais dos moradores. Resiliência, portanto, não são apenas respostas reativas a eventos extremos, mas estratégias proativas e integradas que buscam transformar realidades adversas em oportunidades de desenvolvimento sustentável e equitativo. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar a resiliência de parte vulnerável da população do município de Santarém, a ocupação Vista Alegre do Juá, a impactos de eventos extremos de chuvas (deslizamentos, inundações, enxurradas e alagamentos).

## Materiais e Métodos

O município de Santarém está localizado na região oeste do Estado do Pará e possui uma extensão geográfica de 17.898 quilômetros quadrados, e uma população estimada de aproximadamente 306.480 mil habitantes, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Aplicada (IBGE, 2020). É o município mais populoso do Baixo Amazonas e o terceiro município mais populoso do Pará, ficando apenas abaixo de Belém e Ananindeua, ambos integrantes da Região Metropolitana de Belém. Tal crescimento demográfico e busca por moradia culminou no surgimento da ocupação Vista Alegre do Juá, localizada na área urbana do município, entre as coordenadas geográficas de -2° 26' 19,01" Latitude sul e -54° 45' 44,6" de Longitude Oeste. O seu processo de ocupação iniciou-se a partir de janeiro de 2013 em acelerada expansão. Atualmente, possui uma extensão territorial de aproximadamente 235,41 hectares e cerca de 20.000 pessoas residem no local (Melo, 2021).

Para a análise de chuvas, foram utilizados os dados de série histórica de precipitação da estação pluviométrica localizada nos municípios de Santarém-PA (ANA, HIDROWEB), localizado no Oeste do estado, a cerca de 697 km de distância da capital paraense, nas coordenadas, banhado pelos rios Tapajós e Amazonas e no município de Belterra-PA (INMET), localizado cerca de 45 Km de distância de Santarém e 1.296 Km de Belém (capital do estado), com clima do tipo Am segundo a classificação de Köppen. As informações de chuvas serão processadas em planilhas do software Excel, para análise do padrão climatológico, das tendências e dos eventos máximos de chuva.

Na análise de indicadores sociais, demográficos, sanitários e econômicos foram utilizadas as informações da literatura, bem como dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Das informações disponibilizadas, foram utilizados como indicadores: Demográfico-urbano (densidade demográfica); socioeconômico (taxa anual de crescimento do rendimento domiciliar médio, riqueza, pobreza, escolaridade e longevidade) e saneamento (serviço sanitário e abastecimento de água) da ocupação Vista Alegre do Juá.

Enquanto isso, a avaliação de resiliência procura entender o retorno de uma amostra da população aos impactos de chuvas extremas (deslizamentos, alagamentos e inundações) (Fernandez e Valverde, 2017). Ações relacionadas à resiliência envolvem a participação de diversos atores, instituições e variam de acordo com sistemas sociais e ambientais. Além disso, medidas de adaptação necessitam de intenso planejamento e conhecimento sobre temas que a ciência ainda apresenta grandes incertezas e abordagens disciplinares muitas vezes conflitantes, como o caso da psicologia (Martins, 2010). Essa teia complexa de processos multifacetados que envolvem tanto as medidas de adaptação, a vulnerabilidade física e socioeconômica, bem como as capacidades adaptativas presentes nos meios naturais e humanos, além de infraestruturas urbanas, serviços e políticas públicas, variam de região para região (Oliveira et al., 2005).

Desse modo, para esse estudo, foi elaborado um formulário adaptado (tabela 1) baseado na metodologia de Fernandez e Valverde (2017), constituído por 32 perguntas, que foram construídas seguindo os 4 padrões de resiliência: Padrão controle; Padrão relacional; Padrão situação; Padrão filosófico ou religioso adaptado para as condições locais de cidades da Amazônia. Cada padrão tem o intuito de avaliar atitudes e comportamentos que relacionam a adaptabilidade à vulnerabilidade. Controle: confiança, domínio próprio, disciplina, autoestima, independência, capacidade de aprendizagem. Relacional: cooperação, comunicação, criação de vínculos afetivos, flexibilidade. Situação: acreditar na sorte ao gerar alternativas, aplicar o discernimento, habilidade para enfrentar o inesperado e estabelecer objetivos futuros, mente fértil com variedade de interesses e criatividade. Filosófico ou religioso: acreditar em um propósito existencial, manter a fé no futuro, possuir convicções.



**Tabela 1- Avaliação de padrões de resiliência**

PADRÕES	PERGUNTAS	SIM	NÃO	EM DÚVIDA
CONTROLE	Tem interesse em saber sobre a origem das inundações ou deslizamentos?			
	Procura saber a previsão do tempo na região?			
	Consegue se adaptar a enchentes, deslizamentos, inundações e/ou enxurradas?			
	Pode controlar as emoções quando desastres ocorrem?			
	Informa a Defesa Civil quando ocorrem desastres ocasionados pelas chuvas intensas?			
	Deslizamentos/enchentes são comuns onde você mora?			
	Gosta de liderar em situações de caos?			
	Lida bem com mudanças?			
RELACIONAL	Sua comunidade ajuda em casos de desastres por chuvas intensas?			
	Você confia na população caso precise de ajuda?			
	Está disposto a ajudar o próximo em situações imprevistas?			
	Se emociona com a ocorrência desses desastres a outras pessoas?			
	Gosta de fazer amizades?			
	Consegue dialogar com as pessoas da comunidade?			
	Os meios de comunicação são eficazes para alcançar todos durante uma crise?			
	Você costuma acolher opiniões divergentes durante situações de emergência?			
SITUAÇÃO	Acredito que moro em área de risco devido a eventos extremos de chuvas?			
	Ajuda na limpeza da rua? (resíduos que podem prejudicar o escoamento superficial)			
	Procura uma alternativa mesmo sem saber se vai ser eficiente?			
	Já realizou alguma iniciativa para barrar o impacto das fortes chuvas? (construir barreiras, calçada)			
	Já me recuperei de algum desastre ocasionado pelas fortes chuvas?			
	(Acredita que) os problemas podem ser solucionados por outras pessoas além do prefeito?			
	Planeja mudar para outro lugar?			





	Já houve interrupções significativas de serviços ou estradas devido às chuvas intensas?			
FILOSÓFICA OU RELIGIOSA	Se preocupa com a avaliação negativa de meus atos e/dos outros?			
	Acredita que merece morar em um lugar melhor?			
	Acredito que posso receber forças divinas para enfrentar esses impactos?			
	Sou otimista com as mudanças?			
	Acredito que os desastres acontecem por culpa do homem e não por um castigo Divino?			
	Acredita que fé ajuda a atingir os objetivos?			
	Se considera uma pessoa religiosa?			
	Acredita que vença qualquer problema?			

Para cada tipo de resposta (sim, não e em dúvida), as informações obtidas serão tratadas estatisticamente e os resultados mostrados por meio de gráficos tipo Box-plot. Em seguida, será analisada a resiliência por meio dos valores encontrados.

### Resultados e discussões

Os resultados da análise de chuvas apresentados indicam que, ao longo do período histórico analisado, não houve uma tendência clara no volume total anual de chuvas, conforme mostrado na Figura 1. Isso significa que, ao longo dos anos, a quantidade total de chuva que caiu anualmente permaneceu relativamente constante, sem um aumento ou diminuição significativa. No entanto, quando analisamos a frequência de eventos extremos de chuva, os dados mostram uma tendência diferente. A linha de tendência indica um aumento na ocorrência desses eventos ao longo das últimas décadas. Especificamente, na década de 1970, foram registrados 11 eventos em que a precipitação ultrapassou 100 mm. Já na última década, esse número subiu para 17 eventos, conforme ilustrado na Figura 2.

Esse aumento na frequência de eventos extremos é preocupante, pois eventos de chuva intensa em curtos períodos podem levar a enchentes, deslizamentos de terra e outros desastres naturais. Esse padrão sugere que, mesmo sem mudanças significativas no volume total de chuva ao longo do ano, as condições climáticas estão se tornando mais voláteis e propensas a extremos. Isso pode estar relacionado a mudanças climáticas, que estão alterando os padrões de precipitação, resultando em eventos mais intensos e concentrados (IPCC, 2022).

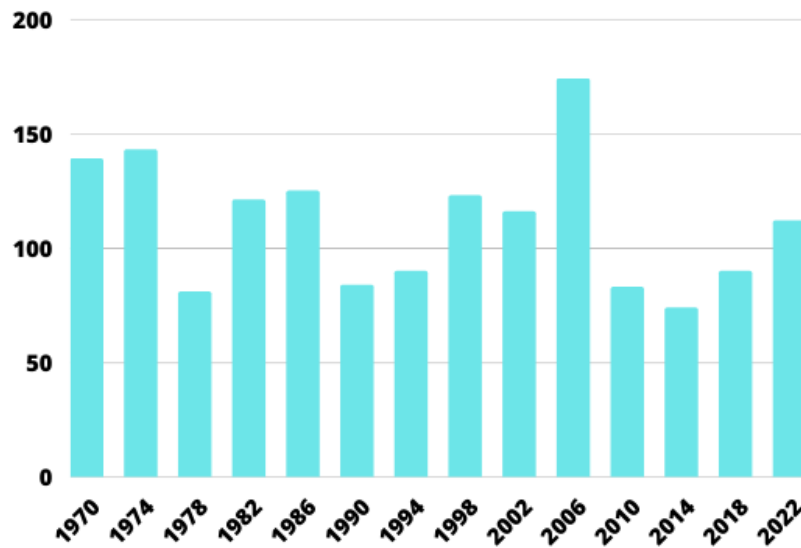


Figura 1. Precipitação máxima anual (mm)

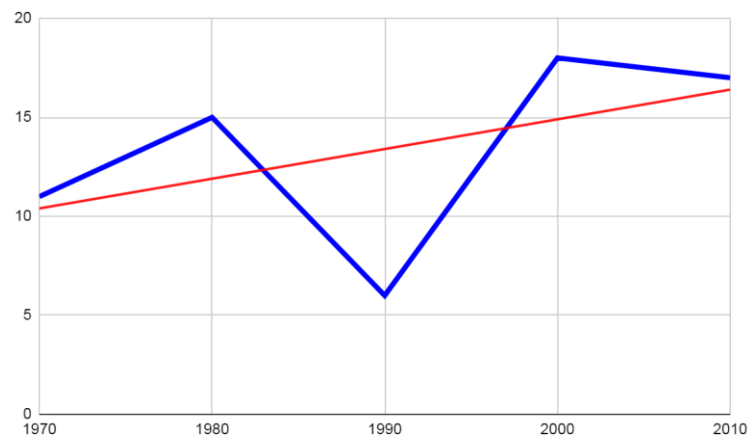
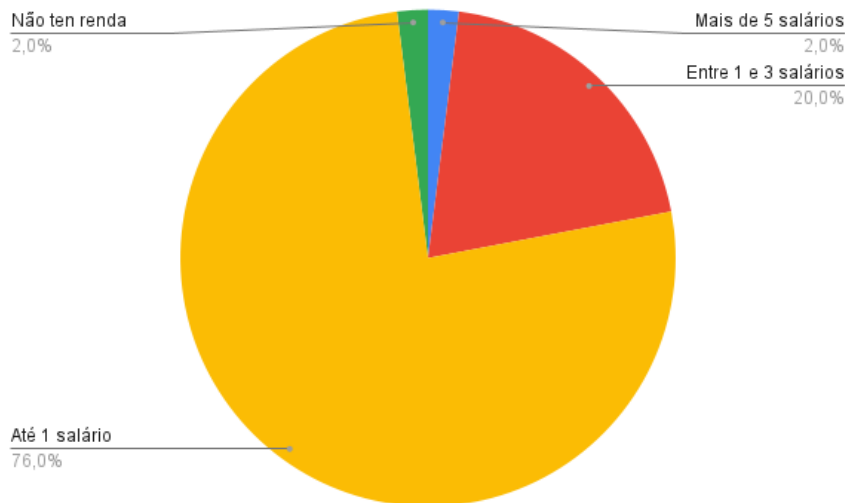


Figura 2: Quantidade de Eventos Extremos de Chuva por década.

A análise dos alertas de danos causados pela chuva e dos registros de ocorrências do CEMADEN destacou que as regiões com maior quantidade de alertas são aquelas onde a ocupação do território ocorre de forma irregular ou informal, como é o caso da ocupação Vista Alegre do Juá. Esses territórios são especialmente vulneráveis aos eventos extremos de chuva, como enchentes e deslizamentos, porque a infraestrutura nessas áreas tende a ser inadequada ou inexistente, exacerbando os impactos das chuvas intensas. A relevância de compreender a ocorrência de eventos extremos de chuva reside na necessidade de antecipar e mitigar os efeitos dos desastres naturais. Esse conhecimento é essencial para o planejamento de ações preventivas, como o fortalecimento da infraestrutura, a criação de sistemas de alerta precoce, e a implementação de políticas públicas voltadas à regularização fundiária e ao desenvolvimento urbano sustentável (Lima, 2021).

Além disso, o resultado enfatiza a importância de padronizar o sistema de análise de eventos extremos. Um sistema padronizado permitiria uma avaliação mais consistente e comparável dos dados, apoiando estudos que investiguem a relação entre precipitações e desastres naturais em Santarém, PA. Isso, por sua vez, facilitaria a formulação de estratégias mais eficazes de prevenção e resposta, contribuindo para a resiliência das comunidades vulneráveis.

Na análise de indicadores sociais, demográficos, sanitários e econômicos fornecidos por representantes da Pastoral do Menor, que atuam com projetos sociais com crianças e adolescentes em diversos bairros de Santarém, inclusive na ocupação Vista Alegre do Juá, os mesmos apontaram uma estimativa de cerca de 8.000 famílias – mais de 20.000 pessoas – residindo na ocupação atualmente. Isso porque, segundo os mesmos, alguns lotes são divididos entre duas ou mais famílias. Além de que existem na ocupação muitas casas e pontos comerciais construídos de alvenaria, com poços artesianos e instalação de energia elétrica (Pinho, 2023), quando comparado com os outros bairros, apresenta alta concentração populacional e uma baixa taxa de rendimento domiciliar médio (Figura 3).



**Figura 3 - Renda média mensal das famílias da Ocupação Vista Alegre do Juá (Pinho, 2023).**

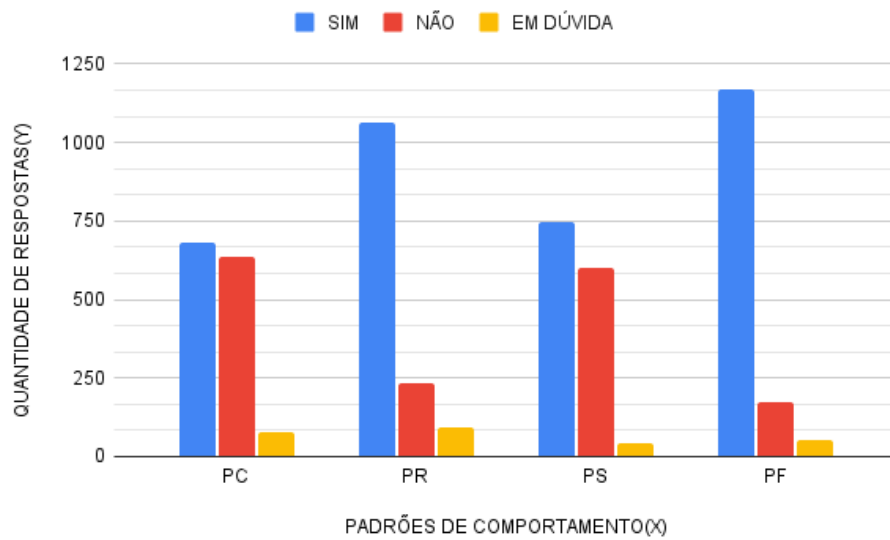
A porcentagem dos moradores com renda familiar per capita maior a 1 salário mínimo se mostrou baixa para a região do Júa, caracterizando a baixa remuneração dos moradores dessa região. Maior vulnerabilidade econômica, muitas vezes, implica, também, em um fator de risco que ameaça o bem-estar das pessoas, limitando suas oportunidades de desenvolvimento. A ocupação Vista Alegre do Juá, embora esteja localizada ao lado do Shopping Rio Tapajós e Condomínio Tapajós Royal Ville está longe de ter acesso às mesmas estruturas que estes dispõem: saneamento básico, áreas de lazer, serviços de coleta de lixo e mesmo escola e saúde. Com isso, constitui-se enquanto expressão da segregação socioespacial da cidade (Mello, 2021).

Ao responderem o questionário os moradores relataram que a coleta seletiva de lixo ocorre somente em uma única rua, gerando um grande deslocamento dos moradores para terem acesso a coleta. Sendo assim, essa área e sua população se diferencia, de uma forma geral, dos outros bairros no município de Santarém por não estar presente no Plano Diretor da cidade, pela sua fragilidade social e econômica exacerbada, caracterizando-se como um dos mais vulneráveis social e economicamente, o que contribui também para deixá-lo mais exposto ao impacto de chuvas extremas e outros extremos climáticos.

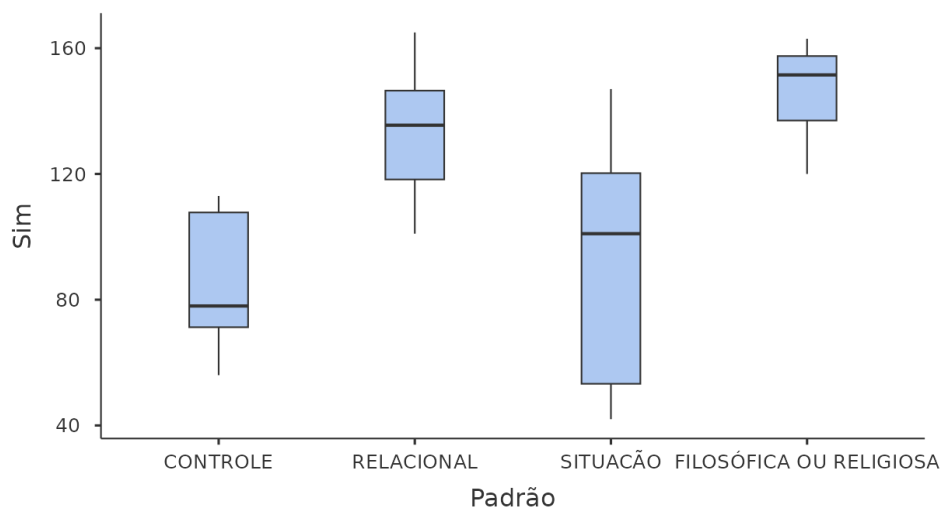
As entrevistas conduzidas para avaliação da resiliência nas áreas vulneráveis aos impactos das chuvas extremas, na ocupação Vista Alegre do Juá nas proximidades de regiões vulneráveis, como as áreas ao redor do Lago do Júa e em vias com problemas de erosão, tem o objetivo de entender melhor a resiliência dos moradores dessas áreas em face dos desafios impostos pelos eventos climáticos extremos e pelas condições de ocupação. Foram entrevistadas 174 pessoas, e os questionários aplicados buscaram captar como diferentes padrões de comportamento e pensamento influenciam a capacidade de resistência e adaptação dessa população.

Os quatro padrões identificados—PC (Padrão Controle), PR (Padrão Relacional), PS (Padrão Situacional) e PF (Padrão Filosófico ou Religioso)—oferecem uma visão abrangente dos fatores que afetam a resiliência dos moradores. Os resultados das entrevistas, como mostrado nos gráficos abaixo, revelam como esses quatro padrões se manifestam entre os moradores entrevistados e como eles influenciam a resiliência das pessoas no bairro do Juá. A compreensão dessas influências é crucial para o desenvolvimento de estratégias de intervenção que sejam culturalmente sensíveis e que fortaleçam a capacidade da comunidade de resistir e se recuperar dos desafios impostos por eventos extremos e pela situação precária da ocupação do território.

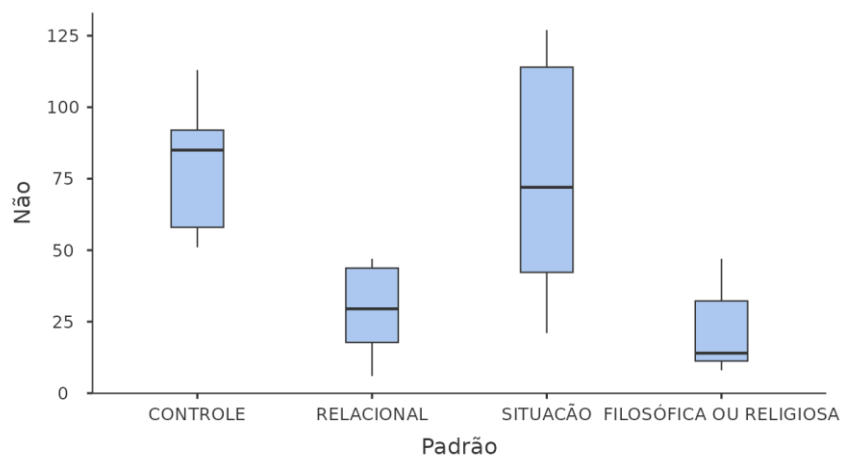




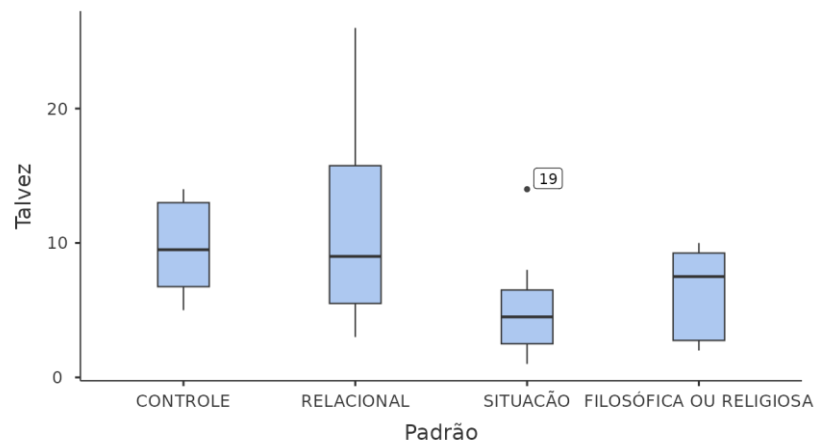
**Figura 4 - Quantidade de respostas por padrão de comportamento.**



**Figura 5 - Respostas “sim” por padrão de comportamento.**



**Figura 6-Respostas “não” por padrão de comportamento .**



**Figura 7- Respostas “talvez” por padrão de comportamento.**

O padrão controle apresentou valores de que indicam entrevistados com alta resiliência para esse padrão, e um *outlier* que também indica um entrevistado com baixa resiliência para esse padrão, como pode ser observado no limite do mínimo valor extremo. O padrão situação também apresentou uma maior variabilidade, com o primeiro quartil abaixo dos demais padrões como relacional e filosófico, podendo influenciar para um menor valor de resiliência. Esse padrão avalia a criatividade e a capacidade de improvisar, no caso do presente estudo, diante da ocorrência de um deslizamento pelas fortes chuvas.

De acordo com as respostas, o primeiro quartil do padrão situação foi baixo devido ao fato de as pessoas entrevistadas responderem que não se envolvem em novos projetos relacionados com prevenção de desastres e não acharem que suas moradias estão localizadas em uma área de risco geológico. O filósofo e religioso se destacou pela influência no aumento da resiliência dos entrevistados. Esse padrão examina a fé e as crenças das pessoas, revelando que a maioria dos entrevistados possui uma crença muito forte em Deus. Eles demonstram uma confiança significativa na ajuda "Divina", mesmo diante das adversidades e perdas materiais causadas por desastres. A fé e a participação em missas e outros grupos religiosos podem contribuir para o bem-estar emocional, aliviando tensões e fornecendo energia para enfrentar problemas. Nas áreas mais vulneráveis a eventos relacionados à chuva, onde a pobreza é comum, a presença de denominações evangélicas e do catolicismo praticante desempenha um papel importante. A religião atua como mediadora das carências familiares e coletivas, tanto materiais quanto espirituais, contribuindo para a superação emocional e preenchendo as lacunas assistenciais não supridas pelo Estado (Fernandez e Valverde, 2017).

Quando associado ao aumento da frequência de eventos extremos, os resultados dos indicadores demográficos e sanitários é evidente a ocupação Vista Alegre do Juá, no município de Santarém como um dos mais suscetíveis socioeconomicamente, de impactos como inundações e deslizamentos, devido ao adensamento populacional, à baixa renda familiar e às deficiências de serviços de saneamento básico deixando-a mais vulnerável aos impactos dos eventos extremos climáticos. O estudo da resiliência na amostra, por meio das respostas obtidas nos questionários, mostrou que a população do Juá tem os padrões filosófico ou religioso (PF) e relacional (PR) em destaque, contribuindo para um maior grau de resiliência. O PF evidenciou uma forte fé na amostra, podendo contribuir para suprir carências familiares e coletivas bem como para fornecer maior energia para lidar com adversidades, tornando-os mais resilientes. Já o PR, avaliou a dinâmica de comunidade da ocupação, evidenciando que em uma possível emergência os entrevistados ajudariam os demais moradores.

### Considerações Finais

Este trabalho destaca a importância de considerar as relações sociais da população para compreender melhor os grupos menos resilientes. Contribuições psicológicas e comportamentais são essenciais para aumentar a resiliência e, conseqüentemente, reduzir a vulnerabilidade de determinados grupos. Espera-se que este estudo sirva como fundamento para futuras pesquisas sobre a resiliência de populações impactadas por eventos extremos, buscando estratégias para fortalecê-la. Estudos futuros devem aprofundar esses resultados preliminares por meio de uma análise com uma amostra maior e mais diversificada, proporcionando uma base estatística mais robusta para os resultados obtidos.

### Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao projeto Rede clima Amazônia (Edital Universal/CNPq n. 409415/2021-9) pelo financiamento para a execução da pesquisa, ao Laboratório Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas e Inovação na Amazônia (LICTA), por disponibilizar o espaço e equipamentos para que esse trabalho pudesse ser realizado e Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa) pela bolsa fornecida.

### Referências Bibliográficas

Almeida, L.Q. de. 2012. Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações. São Paulo, SP: Cultura Acadêmica. 215p.



- Anguelovski, I., Chu, E., Carmin, J. 2014. Variations in approaches to urban climate adaptation: experiences and experimentation from the global south. *Glob. Environ. Chang.*, n. 27, p.156–167. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.05.010>.
- Ayers, J., Forsyth, T. 2009. Community-based adaptation to climate change: strengthening resilience through development. *Environ. Sci. Policy Sustain*, n. 51, p. 22–31. <https://doi.org/10.3200/ENV.51.4.22-31>.
- Barbosa, M.C.B.; Costa, P.A.; Alves, R.C. 2024. Mudanças climáticas e o novo anormal, Academia Brasileira de Ciências: Notícia, Texto originalmente publicado no portal Sul 21. Visto em: <https://www.abc.org.br/2024/05/03/mudancas-climaticas-e-o-novo-anormal/> Acesso em: 24/9/24.
- Correa, S.H.; Paiva, R.C.D.; Espinoza, J.C.; Collischonn, W. 2017. Multi-decadal Hydrological Retrospective: Case study of Amazon floods and droughts. *J. Hydrol.* 549, 667–684.
- Costa, J.A.; Da Silva, D. F. 2017. Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o Estado do Ceará (Distribution space-temporal of rain anomaly index for the Ceará State). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 4, p. 1002-1013.
- Da Silva Júnior, F.P.; Chaves, S.V.V. 2021. Desastres naturais no Brasil: um estudo acerca dos extremos climáticos nas cidades brasileiras. *Revista da Academia de Ciências do Piauí*, V.2, N.2, p.47-62.
- Da Silva Caldana, Nathan Felipe et al.2018. Ocorrências de alagamentos, enxurradas e inundações e a variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Iguaçu. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 23.
- Da Silva Lima, Gabriel. 2021. Desastres hidrometeorológicos: uma análise sobre como a mídia divulga os eventos de enchentes, inundações, enxurradas e alagamentos—o exemplo de Belo Horizonte (MG) e São Paulo (SP). Tese de Doutorado. [sn].
- De Souza, E.B.; Silva, B.C.S.; Serra, E.M.F.; Ruiz, M.J.B.; Cunha, A.C.; Souza, P.J.P.O.; Pezzi, L.P.; da Rocha, E.J.P.; Sousa, A.M.L.; Silva, J.D.A., Jr.; et al.2024. Small Municipalities in the Amazon under the Risk of Future Climate Change. *Climate* 2024, 12, 95. <https://doi.org/10.3390/cli12070095>
- Espinoza, J.C.; Marengo, J.; Schongart, J.; Jimenez, J.C. 2022. The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: Atmospheric features in the context of the intensification of floods. *Weather. Clim. Extrem.* 2022, 35, 100406. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100406>
- Fernandes, R.A.; Valverde, M.C. 2017. Análise da resiliência aos extremos climáticos de chuva: estudo preliminar na região de Mauá no ABC Paulista–São Paulo. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, n. 44, p. 1-17.
- Gloor, M.; Barichivich, J.; Ziv, G. 2015. Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 29, p. 1384-1399.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2024. Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores 2022. Pará: IBGE, 2023. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101892.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2024.
- IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S.K., et al. 2012. Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA; p. 582.
- Job, F.2003. Resiliência na organização: estudo de caso da medição e avaliação da resiliência de indivíduos em uma organização industrial. *Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba, Sorocaba*, v. 5, n. 1.
- Licco, Eduardo Antonio; Mac Dowell, Silvia Ferreira.2015. Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. *Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística*, v. 5, n. 3, p. 159-174.
- Marengo, J.A.; Tomasella, J.; Alves, L.M.; Soares, W.R.; Rodriguez, D.A. 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophys. Res. Lett.*, 38, 2011.
- Marengo, J.A.; Tomasella, J.; Soares, W.R.; Alves, L.M.E.; Nobre, C.A. 2012. Extreme climatic events in the Amazon basin. *Theoretical Applied Climatology*, v. 107, n. 1-2, p. 73-85.





- Marengo, J.A.; Torres, R.R.; Alves, L.M. 2017. Drought in Northeast Brazil—Past, present, and future. *Theor. Appl. Climatol.*, 129, 1189–1200.
- Minervino, Aline Costa; Duarte, Elisabeth Carmen. 2016. Danos materiais causados à Saúde Pública e à sociedade decorrentes de inundações e enxurradas no Brasil, 2010-2014: dados originados dos sistemas de informação global e nacional. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 21, p. 685-694.
- Petry, Julia Caroline, et al. 2023. Desastres Naturais no Rio Grande do Sul: Enxurradas e Alagamentos Mais Recentes. *Salão do Conhecimento*, v. 9, n. 9.
- Pinho, Erick Rodrigo Porto et al. 2023. A Ocupação Vista Alegre do Juá no contexto da produção do espaço urbano em Santarém (PA).
- Rizoto, M.L.F.; Costa, A.M.; Lobato, L.V.C. 2024. Crise climática e os novos desafios para os sistemas de saúde: o caso das enchentes no Rio Grande do Sul/Brasil. *Saúde em debate* v. 48, n.141.
- Santos, Leonardo BL et al. 2012. Sobre risco, ameaça e vulnerabilidade à Leptospirose em situações pós-alagamentos, inundações e enxurradas: reconstruindo o episódio do Vale do Itajaí (2008-2009). In: *Anais do Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais*. p. 1-10.
- Trenberth, K.E.; Fasullo, J.T.; Shepherd, T.G. 2015. Attribution of climate extreme events. *Nature Climate Change*, v.5, n.8, p. 725-730.
- Vieira, R.M.d.S.P.; Sestini, M.F.; Tomasella, J.; Marchezini, V.; Pereira, G.R.; Barbosa, A.A.; Santos, F.C.; Rodriguez, D.A.; Nascimento, F.R.D.; Santana, M.O.; et al. 2020. Characterizing spatio-temporal patterns of social vulnerability to droughts, degradation and desertification in the Brazilian northeast. *Environ. Sustain. Indic.* 2020, 5, 100016.
- Vogel, M.; Hauser, M.; Seneviratne, S. 2020. Projected changes in hot, dry and wet extreme events' clusters in CMIP6 multi-model ensemble. *Environ. Res. Lett.* 2020, 15, 094021.
- Zeng, N.; Yoon, J.-H.; Marengo, J.A.; Subramaniam, A.; Nobre, C.A.; Mariotti, A.; Neelin, J.D. 2008. Causes and impacts of the 2005 amazon drought. *Environ. Res. Lett.* 2008, 3, 014002.
- Zhou, S.; Yu, B.; Zhang, Y. 2023. Global concurrent climate extremes exacerbated by anthropogenic climate change. *Sci. Adv.* 2023, 9, eabo1638.

ÁREA TEMÁTICA 9

POLÍTICAS PÚBLICAS,  
LEGISLAÇÃO E  
MEIO AMBIENTE



3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE  
**ENGENHARIA  
AMBIENTAL**



# DETERMINAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A INSTALAÇÃO DE UM CONSÓRCIO DE ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO NORDESTE DO PARANÁ

1Johvanny Lourenço Mendonça, 2Alessandra Furtado da Silva, 3Mauricio Moreira dos Santos, 4Giovanna Tocchini Felippotti Alves do Nascimento, 5Ronaldo Adriano Alves;

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: johvannyilm@gmail.com; 2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: alessandrasilva@utfpr.edu.br; 3 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: mmsantos@utfpr.edu.br; 4 Universidade Estadual do Centro-Oeste, e-mail: gtfanascimento@unicentro.br; 5 Universidade Estadual de Londrina, e-mail: Ronaldo.adriano@uel.br

**Palavras-chave:** Análise multicritério; Saneamento Básico; Resíduos Sólidos.

## Resumo

A problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil gera desafios para prefeituras de pequenos e grandes municípios. Em 2020, 76 milhões de toneladas de RSU foram geradas, sendo 10,8% na região sul. Muitos municípios paranaenses têm lixões devido aos altos custos de aterros sanitários. O projeto visa identificar áreas apropriadas para a implantação de um consórcio de aterro sanitário atendendo cinco municípios do norte do Paraná usando SIG e Análise Multicritério. A população foi calculada de 2010 a 2022, projetada até 2045. O volume de resíduos foi determinado, subdividido em 7 células para otimização do dimensionamento. A área foi calculada considerando 20% adicional para instalações. Critérios geográficos foram usados na seleção de áreas, incluindo proximidade a centros urbanos, acessibilidade e conformidade com regulamentações. A análise booleana no *software* QGIS identificou áreas adequadas considerando critérios como proximidade a centros urbanos, corpos hídricos, malha rodoviária, declividade e distância a sítios arqueológicos. Áreas em maior proximidade aos centros urbanos de Santo Antônio da Platina e Jacarezinho foram priorizadas, representando cerca de 71,5% da população atendida pelo consórcio. As melhores opções determinadas são o Local 2 e/ou o Local 3.

## Introdução

A humanidade sempre produziu resíduos, desde o período Paleolítico até a Revolução Industrial, quando a produção aumentou drasticamente devido à introdução de máquinas. Isso levou à necessidade de controlar a disposição final dos resíduos para evitar riscos ambientais e para a saúde pública. (Amaro, 2009).

Nesse contexto, os lixões surgem como uma solução inicial para a disposição de resíduos, mas logo se tornam problemas socioambientais, atraindo catadores irregulares e poluindo corpos hídricos e solos. Isso impulsiona a necessidade de tecnologias como os Aterros Sanitários, que requerem estruturas de engenharia específicas para garantir a segurança ambiental (Conde, 2014; Jucá, 2003). A operação desses aterros, no entanto, é complexa e dispendiosa, envolvendo desafios como aquisição de equipamentos adequados e considerações sobre o tipo de solo, lençol freático e proximidade de rodovias, representando riscos ambientais e sociais para os municípios (Brasil, 1997; Brasil, 2008).

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) atingiram cerca de 76 milhões de toneladas em 2020 no Brasil, provenientes principalmente de residências em áreas urbanas e rurais. Na região Sul, foram coletadas 8,2 milhões de toneladas, representando 10,8% do total nacional (ABRELPE, 2021). Esses resíduos podem ser classificados em três grupos: recicláveis, orgânicos e rejeitos. Os recicláveis têm valor econômico e incluem papéis, plásticos, alumínio e vidros. Os orgânicos são biodegradáveis, como cascas de frutas, restos de alimentos e folhas, podendo ser compostados. Já os rejeitos não têm valor econômico e incluem resíduos sanitários, como papel higiênico, que devem ser dispostos conforme a Lei nº 12305 de 2010 (Brasil, 2010; Piaia, 2017). Apesar disso, apenas 74,4% dos municípios brasileiros possuem algum tipo de Coleta Seletiva Municipal, resultando no descarte inadequado de mais de 30 milhões de toneladas de resíduos, muitos dos quais poderiam ser reciclados ou compostados (ABRELPE, 2021).

Devido ao grande volume de RSU produzido diariamente e à pressão por políticas de encerramento de lixões e melhoria dos métodos de disposição final, os municípios brasileiros buscam soluções para regularizar a gestão de resíduos. No Paraná, após as operações Percola I e Percola II, realizadas em parceria entre o Instituto de Água e Terra (IAT), Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e Turismo (SEDEST) e Grupo de Atuação Especializada em Meio Ambiente, Habitação e Urbanismo (GAEMA), muitos municípios se adequaram às legislações (MPPR, 2021). No entanto, alguns municípios enfrentam dificuldades para manter a operação adequada de aterros sanitários devido aos altos custos envolvidos. Uma solução emergente são os Consórcios Intermunicipais, que permitem o compartilhamento de custos entre municípios na gestão de aterros sanitários, garantindo conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essas iniciativas no estado do Paraná visam atender às necessidades locais e garantir uma destinação final adequada para os resíduos, destacando a importância da seleção de áreas apropriadas para a implantação de aterros sanitários.

Segundo Mota (2009), o aterro sanitário é um local onde são aplicados procedimentos técnicos e operacionais para a disposição de rejeitos, incluindo sistemas de impermeabilização e tratamento de gases e lixiviados. A PNRS, de 2010, determina



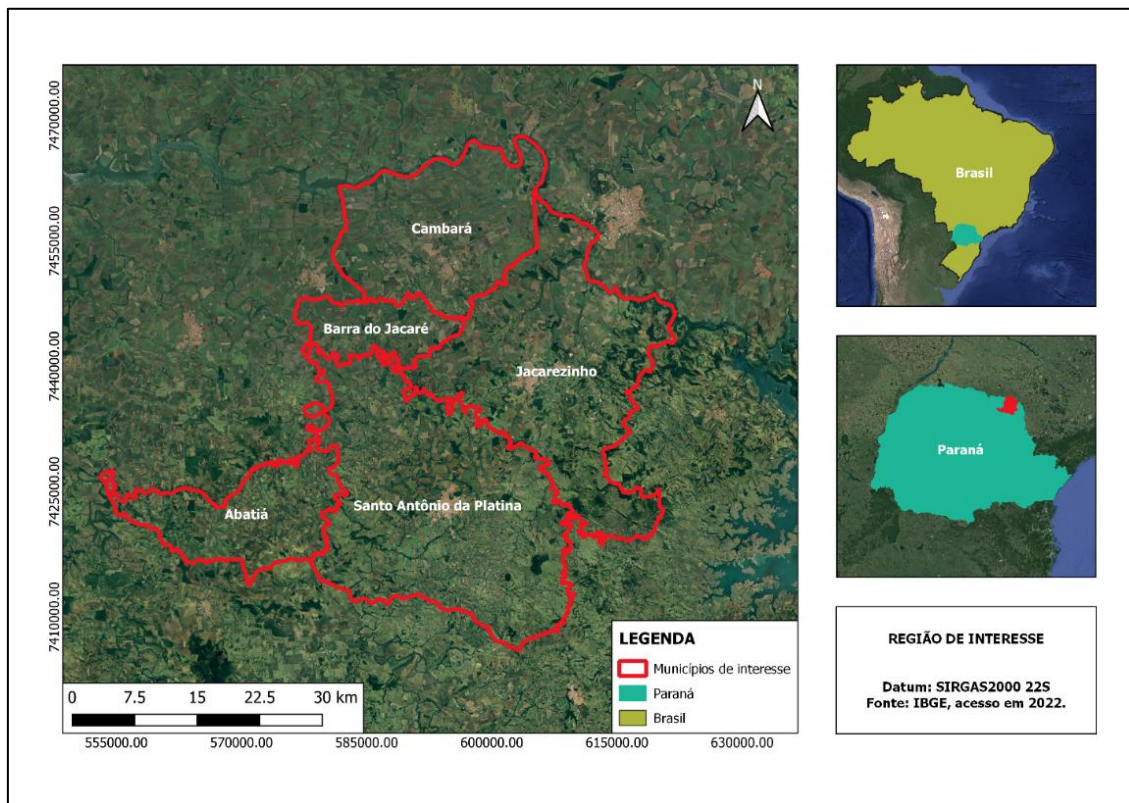


que a disposição final em aterros sanitários é ambientalmente adequada, priorizando apenas rejeitos sanitários. No entanto, a seleção da área para implantação depende de diversos fatores socioambientais. A NBR 13896 de 1997 estabelece critérios mínimos para projeto, implantação e operação de aterros. Entre esses critérios estão a topografia do terreno, tipo de solo, distância mínima de recursos hídricos, presença de vegetação nativa, distância mínima de núcleos populacionais e condições de acesso viário (ABNT, 1997).

Em vista da complexidade na determinação de áreas para implantação de Aterros Sanitários, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) desempenham um papel crucial. Essas ferramentas integram uma variedade de dados ambientais, como solo, hidrografia, vegetação, entre outros, permitindo uma análise abrangente. Essa integração possibilita uma análise de decisão multicritério, considerando parâmetros econômicos, sociais e ambientais (Donha et al., 2005). Por meio do SIG, é possível processar esses dados e determinar a área mais adequada com viabilidade comprovada, garantindo uma destinação de resíduos sólidos urbanos de maneira ambientalmente correta e viavelmente econômica.

### Material e Métodos

A fim de determinar uma área adequada para a implantação do Aterro Sanitário por meio de um Consórcio intermunicipal, cabe prioritariamente determinar o número de habitantes a ser atendido por este consórcio. Este projeto visa atender 5 municípios da região Nordeste do Paraná, sendo eles: Andirá, Barra do Jacaré, Cambará, Jacarezinho e Santo Antônio da Platina (Figura 1). Os dados demográficos referentes a população da região de interesse estão dispostos na Tabela 1, estes dados são provenientes dos levantamentos censitários realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nos anos 2010 e 2022.



**Figura 1: Região de interesse, localizada no nordeste paranaense.**

**Tabela 1: População amostrada pelo Censo Demográfico de 2010 e 2022**

Municípios	Habitantes censo	
	2010	2022
Abatiá	7764	7321
Barra do Jacaré	2727	3022
Cambará	23886	23956
Jacarezinho	39121	40356
Santo Antônio da Platina	42707	45261
<b>Total</b>	<b>116205</b>	<b>119916</b>

**Fonte: IBGE, 2010 e 2022**



A fim de atender a NBR 13896, que sugere um tempo de vida mínimo de 10 anos para um aterro sanitário, realizou-se um estudo de progressão populacional por dois métodos: Método Geométrico e Método Aritmético. O método Geométrico considera para períodos iguais a mesma taxa de crescimento populacional, considerando o logaritmo neperiano conforme detalhado nas equações abaixo. Onde: Kg é a Taxa de crescimento populacional, P1 é a população no tempo 1, P2 é a população no tempo 2, t1 e t2 são tempo 1 e tempo 2, e por fim, P é a população final.

$$Kg = \frac{(\ln P2 - \ln P1)}{(t2 - t1)}$$

$$P = P1 \cdot 2^{Kg(t2-t1)}$$

Já o método aritmético para o crescimento populacional é uma abordagem simples e direta que calcula as mudanças na população com base em uma taxa constante ao longo do tempo. A fórmula geral para o crescimento aritmético da população consta abaixo. Onde: Pt é a população final, P0 é a população inicial no tempo 1, P1 é a população no tempo 2, r é a taxa de crescimento populacional e o t o intervalo de tempo analisado.

$$r = \frac{P0 - P1}{t}$$

$$Pt = P0 + r * t$$

A partir da determinação da população e considerando a média per capita de produção de resíduos de 0,65 Kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> (Dos Santos *et al.*, 2018), um percentual de 5,4 % de rejeito na composição gravimétrica (Galdino; Maertins, 2015) e um peso específico de 53,7 Kg.m<sup>3</sup> (Salsa *et al.*, 2018) é possível determinar o volume total de cada célula por ano de acordo com a equação abaixo.

$$\text{Volume de rejeito gerado em um ano} = \frac{\text{Geração Percapta} * \text{população}}{\text{Peso específico}} * 0,054 * 360$$

A análise de locais apropriados para a instalação do consórcio de aterro sanitário envolveu o recálculo do crescimento populacional e do acúmulo de volume ao longo dos anos. Considerou-se também o tamanho de cada célula do Aterro Sanitário e mais 20% do volume anual para a cobertura com solo. Foram utilizados dados vetoriais e matriciais de bancos de dados geofísicos abertos, como MAPBIOMAS BRASIL, IBGE, INDE – Exército, INPE, Portal Brasileiro de Dados Abertos e dados do U.S. Geological Survey Earth Explorer. Imagens de satélite, incluindo CBERS 4A e LANDSAT 8 OLI, foram empregadas na análise. O software QGIS, um sistema de informação geográfica de código aberto licenciado pela Licença Pública Geral GNU e oficialmente mantido pela Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), foi utilizado para a compatibilização dos dados.

Para o cruzamento de informações referentes ao tipo de solo, uso e ocupação do solo, hidrografia, malha rodoviária, declividade e proximidade a centros urbanos, foi utilizada a análise booleana no contexto de decisões de multicritério, empregando dados matriciais e vetoriais no QGIS. Essa técnica envolve a combinação de múltiplos conjuntos de dados, representados matricialmente, por meio de operações booleanas como a interseção e a união. A manipulação dessas informações permite identificar áreas que atendem simultaneamente a diversos critérios, possibilitando uma tomada de decisão mais robusta. A distância entre feições hidrográficas, características topográficas e outros elementos é crucial para avaliar a adequação de locais em contextos como planejamento territorial e gestão ambiental, contribuindo para decisões sustentáveis. O resultado da análise é um novo raster classificando áreas favoráveis para a implantação de um consórcio de aterro sanitário, conforme uma escala pré-definida.

### Resultados e Discussão

Nesta seção estão delineadas as conclusões derivadas de uma análise abrangente, começando pela estimativa da população atendida. Utilizando dados demográficos recentes e projeções para os próximos 20 anos, determinamos que a população total a ser atendida no último ano é aproximadamente 127.736,00 habitantes, fornecendo uma base crucial para as análises subsequentes. Esta estimativa de 20 anos supera o mínimo estipulado pela Resolução CEMA 94 de 2014 do Conselho Estadual do Meio Ambiente do estado do Paraná.

A população a ser atendida foi calculada considerando os censos de 2010 e 2022 podendo assim determinar um coeficiente de crescimento kg (Tabela 2), para o intervalo entre os anos 2025 e 2045. A projeção escolhida foi a geométrica que melhor se encaixou de acordo com o crescimento observado nos cinco municípios escolhidos.

Considerando a população total anual dentro do intervalo estabelecido, uma média per capita de produção de resíduos de 0,65 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, uma composição gravimétrica com 5,4% de rejeitos e um peso específico de 53,7 kg.m<sup>3</sup>, foi possível determinar o volume total de resíduos que o aterro sanitário deve comportar. Destaca-se a decisão de subdividir o volume total em 7 células, correspondendo a um período de aproximadamente 3 anos cada. Para otimização do dimensionamento, optou-se por atribuir a cada célula o volume correspondente ao maior valor determinado dentro dos intervalos de 3 anos, conforme evidenciado na Tabela 3.



**Tabela 2: Coeficiente de crescimento e população estimada calculada para os próximos 21 anos**

Municípios	kg	População estimada 2025	População estimada 2030	População estimada 2035	População estimada 2040	População estimada 2045
Abatiá	- 0,0048	7214	7039	6869	6703	6541
Barra do Jacaré	0,0086	3100	3236	3377	3525	3679
Cambará	0,0002	23973	24002	24032	24061	24090
Jacarezinho	0,0026	40670	41200	41737	42281	42833
Santo Antônio da Platina	0,0048	45923	47047	48200	49381	50590
Total	-	120882	122527	124217	125953	127735

**Tabela 3: Volumes estimados para cada célula do Aterro Sanitário**

Anos referência	Volume de resíduos calculado (m <sup>3</sup> )
2025 – 2027	102676,34
2028 – 2030	103512,66
2031 – 2033	104362,53
2034 – 2036	105226,14
2037 – 2039	106103,64
2040 – 2042	106995,21
2043 - 2045	107901,03*

**\*Volume selecionado para padronização das células do Aterro Sanitário**

Posteriormente, foi realizada uma estimativa da área necessária para o gerenciamento de resíduos, utilizando o volume de resíduos gerados ao longo do período determinado. Fórmulas específicas relacionadas à área de superfície de trapézoides foram aplicadas para calcular essa área. As dimensões individuais de cada célula no Aterro Sanitário foram determinadas com base nesse cálculo, considerando uma altura máxima de 3 metros para garantir a segurança operacional. Todas as variáveis relevantes para essa análise estão graficamente representadas. Com isso, foi possível estabelecer as dimensões necessárias para a propriedade destinada à construção do Aterro Sanitário, incluindo um acréscimo de 20% para instalações administrativas e outras atividades essenciais. Essa abordagem visa garantir não apenas a adequação da infraestrutura para a disposição de resíduos, mas também a inclusão de todas as instalações necessárias para seu funcionamento eficiente e ambientalmente responsável.

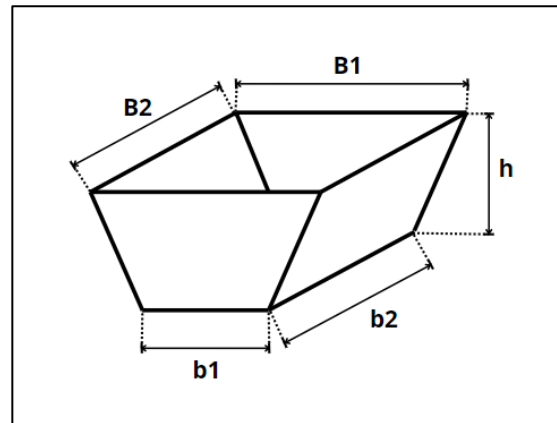
**Tabela 4: Variáveis e dimensões das células do Aterro Sanitário**

Variáveis	Medidas
H (m)	3
B1 (m)	350
B2 (m)	250
b1 (m)	80
b2 (m)	60
Área da Base maior (m <sup>2</sup> )	87.500
Área da Base menor (m <sup>2</sup> )	4.800
V (volume de cada célula m <sup>3</sup> )	107.901,03
Volume total necessário para o aterro (m <sup>3</sup> )	755.307,20



**Quadro 1: Área necessária para a instalação do Aterro Sanitário**

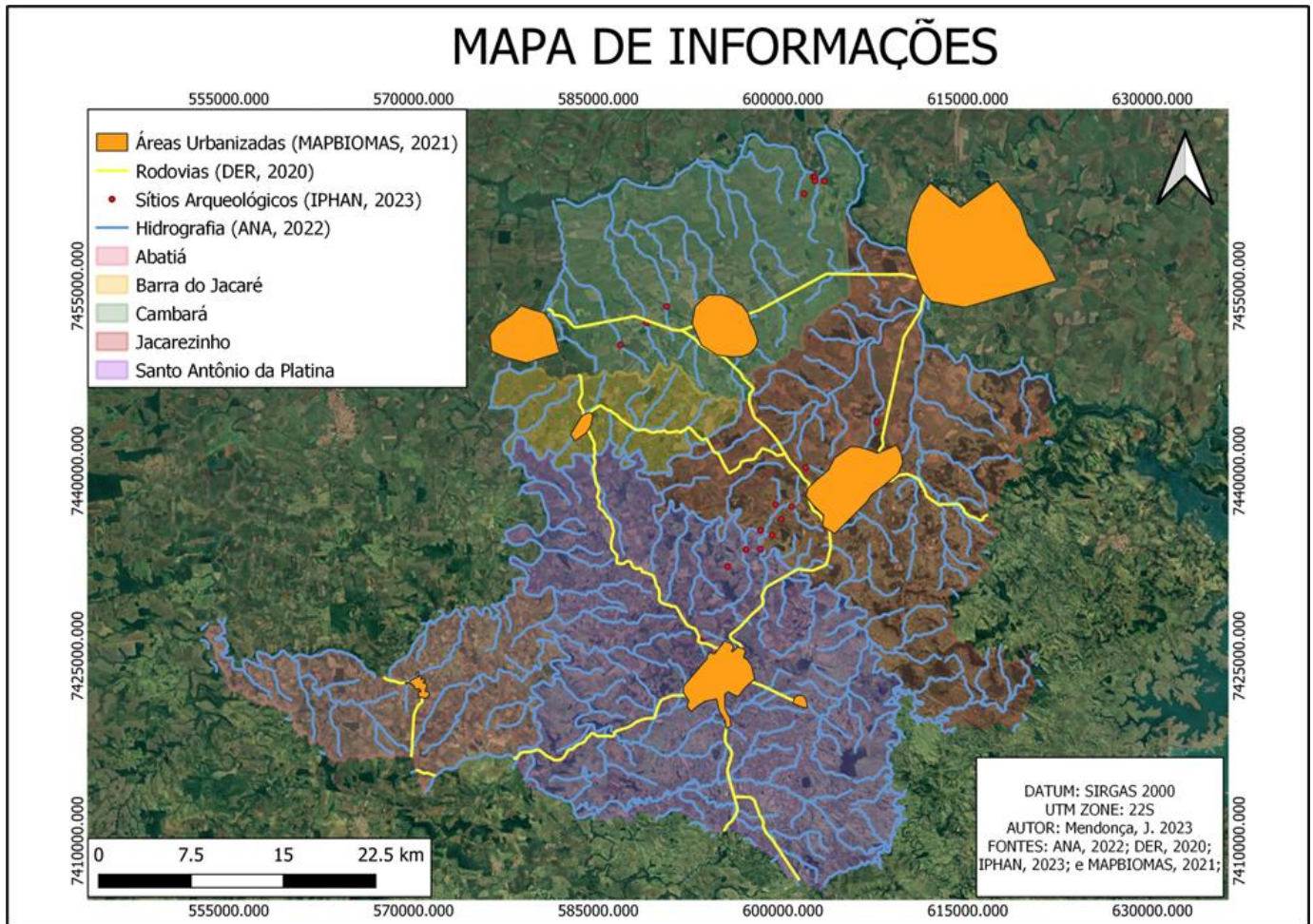
Área Demandada (m <sup>2</sup> )	612.500
Área Demandada com folga (+20% destinados a instalações de operação) (m <sup>2</sup> )	735.000
Área Demandada Total (HA)	73,5



**Figura 2: variáveis consideradas no dimensionamento das valas.**

Simultaneamente, foram incorporadas informações geográficas para a identificação de áreas propícias à implementação de locais de gerenciamento de resíduos. Nesse processo, foram considerados critérios como proximidade a centros urbanos, acessibilidade, topografia e conformidade com regulamentações ambientais. Na Figura 3, podem ser observados detalhes como a malha da hidrografia da região selecionada, a malha viária de rodovias, os sítios arqueológicos de interesse do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), assim como as áreas urbanizadas identificadas pelo MAPBIOMAS em 2021.

Para atender aos requisitos de declividade exigidos por legislações, foi utilizada uma imagem de satélite da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), que mapeou a topografia terrestre em 2000. Os dados topográficos coletados foram usados para criar Modelos Digitais de Elevação (MDE). A função Slope no QGIS foi aplicada a esses MDEs para determinar a porcentagem de declividade da região. Os resultados foram categorizados em "Adequado" (declividades entre 1% e 30%) e "Inadequado" (declividades fora dessa faixa), conforme exigido pelas regulamentações. Uma análise booleana no QGIS foi realizada para identificar áreas apropriadas para a instalação de aterros sanitários, considerando múltiplos critérios, como proximidade a centros urbanos, corpos hídricos, malha rodoviária, declividade adequada e distância a sítios arqueológicos. Cada critério foi modelado como uma camada raster binária e combinado para gerar um mapa identificando áreas que atendem a todos os critérios estabelecidos, facilitando a seleção de locais adequados para a implementação de aterros sanitários.



**Figura 3: Mapa de informações geográficas básicas.**

**Quadro 2: Detalhamentos dos critérios utilizados na análise booleana**

<b>Critérios</b>	<b>Detalhamento</b>
Distância da Área Urbana/Núcleos populacionais.	Conforme Resolução CEMA 94/2014 pelo menos 1500 m.
Distância de Corpos Hídricos.	Conforme Resolução CEMA 94/2014 pelo menos 500 m.
Distância de Rodovias.	Até 200 m a fim de facilitar o transporte dos resíduos até o Aterro Sanitário.
Declividade.	Considerando a declividade adequada no intervalo de 1% a 30% conforme Resolução CEMA 94/2014.
Distância de sítios arqueológicos reconhecidos pelo IPHAN.	Considerar áreas distantes dos sítios conhecidos e catalogados.



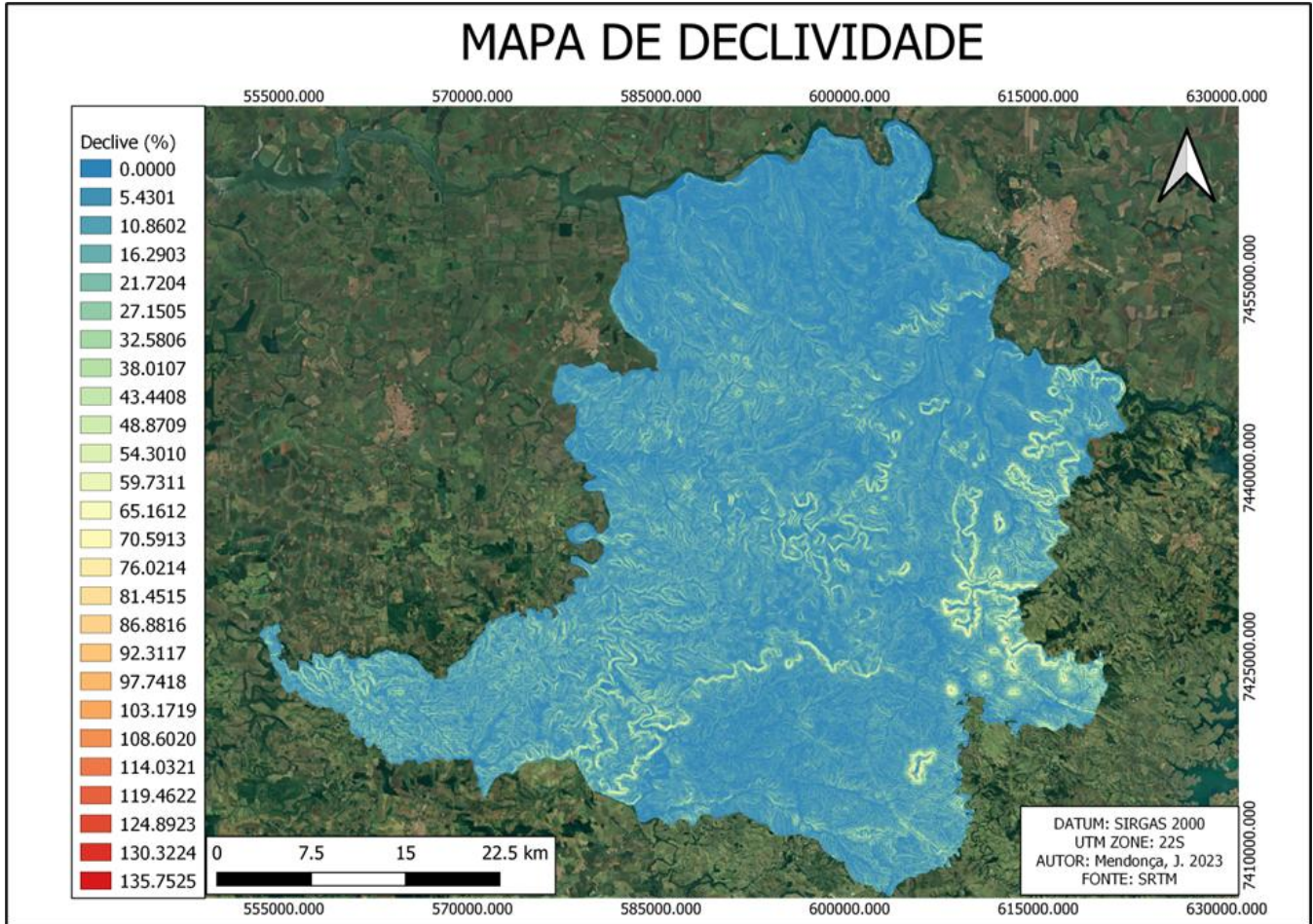
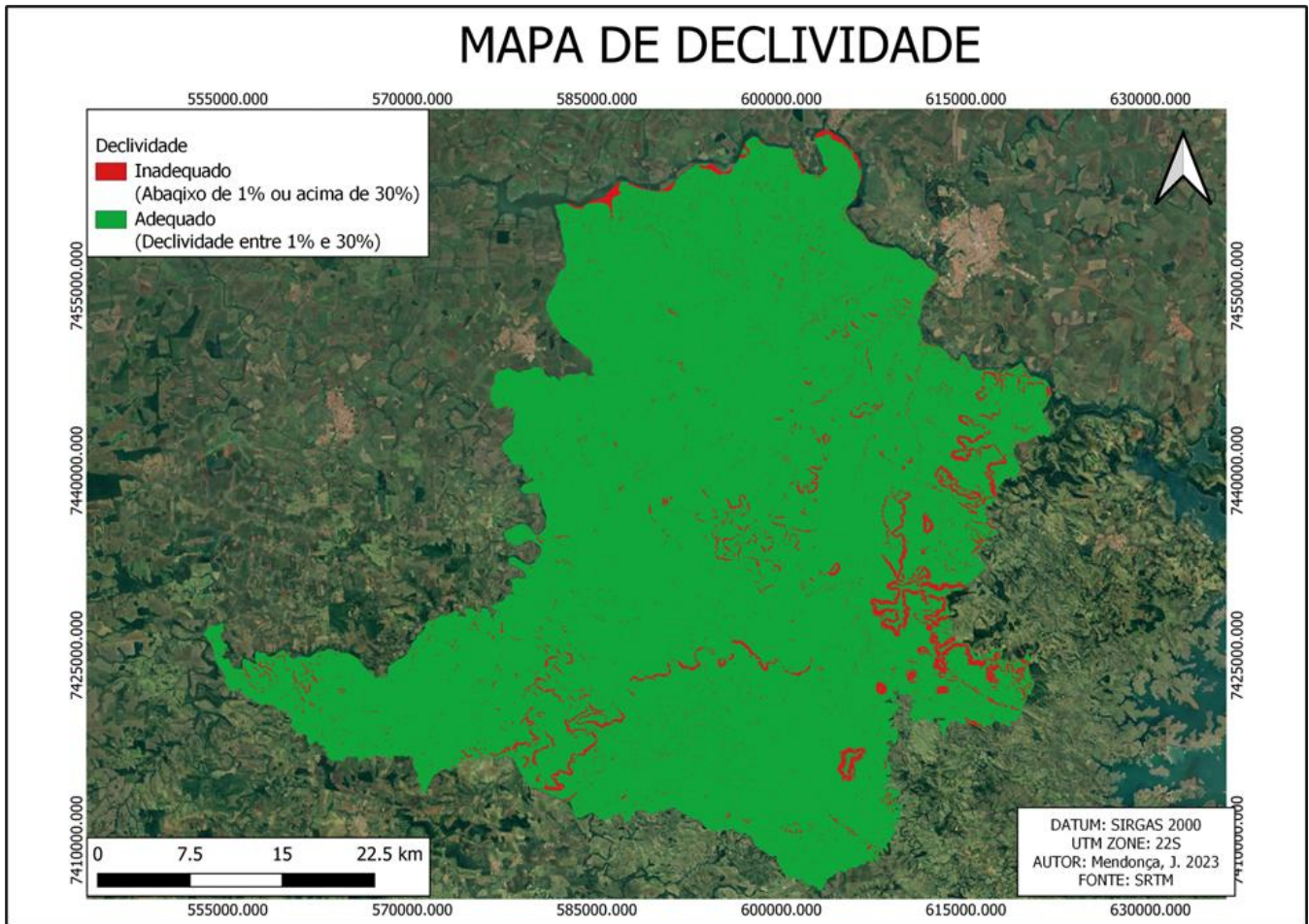


Figura 4: Mapa percentual de declividade.





**Figura 5: Mapa percentual de declividade.**

Cada critério foi modelado como uma camada *raster* binária, onde os valores binários representam a presença ou ausência do critério em questão. A combinação booleana dessas camadas gerou um mapa (Figura 6) identificando áreas que atendem simultaneamente a todos os critérios estabelecidos, oferecendo uma abordagem integrada e precisa na seleção de locais adequados para a implementação de aterros sanitários.

A partir destas considerações foram determinadas algumas áreas em potencial para a implantação do Aterro sanitário sempre considerando um coeficiente de segurança caso necessário uma área superior para composição de Reserva Legal como preconiza a Lei 12.651/2012 (Figura 7).

Com base nos dados calculados e na análise booleana, priorizou-se áreas em maior proximidade aos centros urbanos dos municípios de Santo Antônio da Platina e Jacarezinho. Essa decisão foi fundamentada no fato de que aproximadamente 71,5% da população atendida pelo consórcio proposto está localizada nessa região. Sendo assim, as melhores opções seriam o Local 2 ou o Local 3.

Na Tabela 5, estão dispostos os dados relativos aos seis locais anteriormente identificados como áreas prioritárias para a potencial implementação de um Aterro Sanitário em regime de consórcio entre os municípios de Abatiá, Barra do Jacaré, Cambará, Jacarezinho e Santo Antônio da Platina.

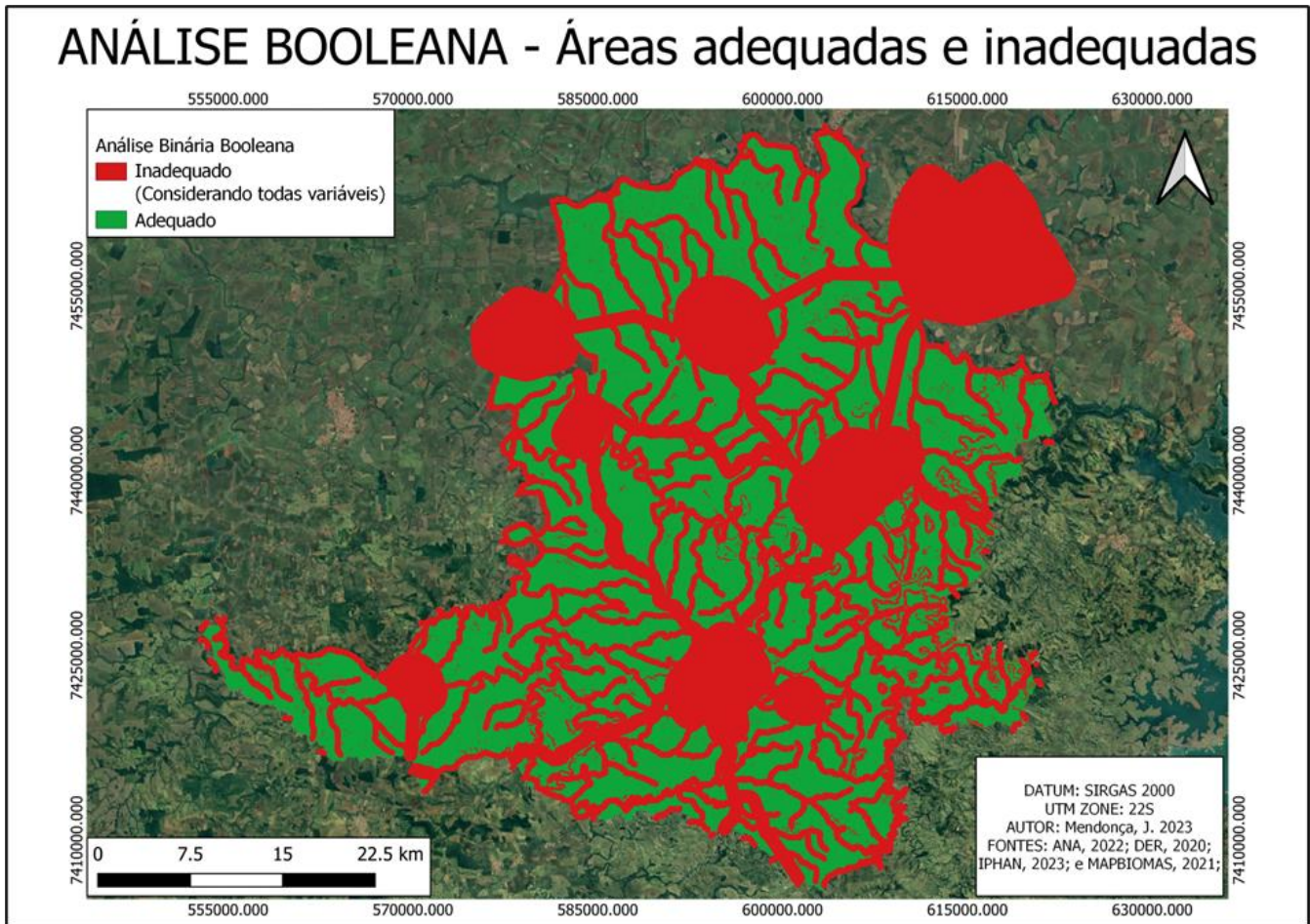


Figura 6: Mapa resultante da análise.



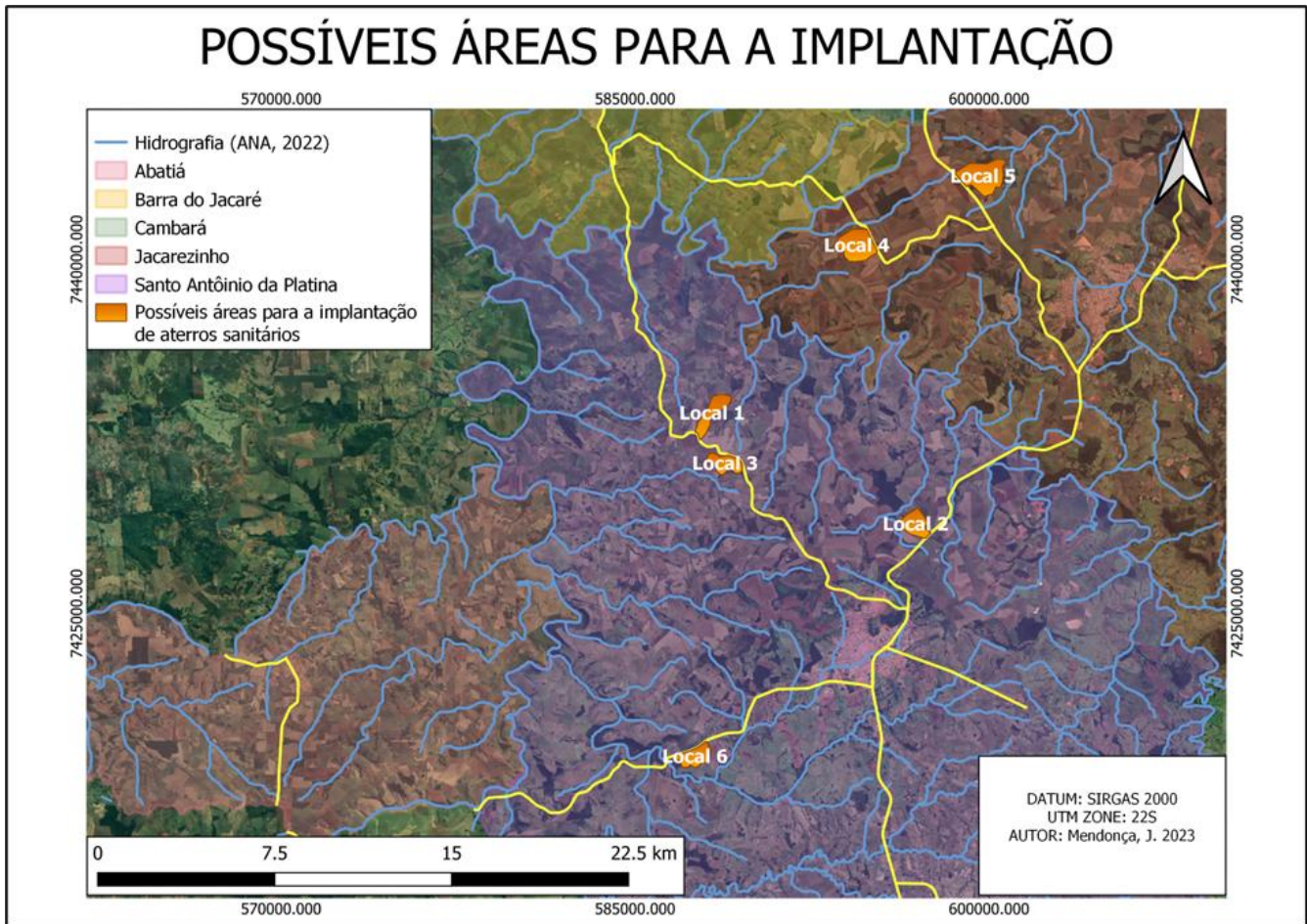


Figura 7: Possíveis áreas para a implantação do aterro sanitário.

Tabela 5: Dados referentes as áreas selecionadas pela análise booleana

Descrição	Município	Área (Ha)	Coordenada Leste*	Coordenada Norte*
Local 1	Santo Antônio da Platina	106,55	587681,317	7432572,905
Local 2	Santo Antônio da Platina	98,31	597410,410	7428293,946
Local 3	Santo Antônio da Platina	87,78	589477,039	7431468,239
Local 4	Jacarezinho	173,44	595029,100	7440869,907
Local 5	Jacarezinho	208,10	598783,471	7443375,181
Local 6	Santo Antônio da Platina	93,28	587403,084	7419207,897

### Considerações Finais

Utilizando uma metodologia criteriosa, foram identificadas áreas prioritárias e adequadas para a instalação de um consórcio abrangendo cinco municípios, o que contribui diretamente para alcançar diversos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU. A análise considerou critérios como proximidade a centros urbanos, características geográficas, legislações ambientais e aspectos demográficos, alinhando-se aos ODS relacionados à saúde de qualidade, cidades e comunidades sustentáveis, ação contra as mudanças climáticas e parcerias para a implementação dos objetivos.

Utilizando ferramentas avançadas como análise booleana e cálculo da declividade no QGIS, obtiveram-se resultados detalhados e precisos sobre as áreas propícias para a instalação do Aterro Sanitário. A utilização de informações geográficas e análise espacial, aliada à interpretação de dados provenientes de satélites e modelos digitais de elevação, coaduna com os ODS relacionados à vida terrestre, água potável e saneamento.

A priorização de áreas nos municípios de Santo Antônio da Platina e Jacarezinho foi fundamentada estrategicamente pela proximidade aos centros urbanos e pela distribuição demográfica da população atendida pelo consórcio, alinhando-se aos ODS de cidades e comunidades sustentáveis. Essa abordagem não apenas atende aos requisitos legais, mas também otimiza a eficácia do serviço, concentrando-se nas regiões com maior demanda populacional e promovendo uma gestão mais eficiente dos





resíduos.

Os resultados da análise e mapeamento destacam as áreas recomendadas, evidenciando a importância de considerar aspectos espaciais na tomada de decisões relacionadas à gestão de resíduos. A integração de dados espaciais proporciona uma visão abrangente, possibilitando uma alocação estratégica de recursos e uma gestão eficiente do espaço, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento socioeconômico da região.

Este estudo não apenas identificou áreas viáveis para a instalação de aterros sanitários consorciados, mas também ressalta a relevância da abordagem geoespacial na tomada de decisões relacionadas à gestão de resíduos, demonstrando a importância de considerar diversos fatores em uma perspectiva integrada e sustentável.

### Referências Bibliográficas

ABNT. (1997). Aterros de resíduos não perigosos -Critérios para projeto, implantação e operação. In *ABNT* (pp. 1–12).

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. São Paulo: Abrelpe, 2021. 54 p. Disponível em: [https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/view/9181](https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9181). Acesso em: 01 jan. 2024.

AMARO, Aurélio Bandeira. DO HOMO AO HOMEM: os resíduos sólidos gerados pelos homens pré-históricos até a revolução neolítica. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XVII CIC., 2009, Pelotas. **I Mostra Científica**. Pelotas: Ufpel, 2009. Disponível em: [https://www2.ufpel.edu.br/cic/2009/cd/pdf/CH/CH\\_01353.pdf](https://www2.ufpel.edu.br/cic/2009/cd/pdf/CH/CH_01353.pdf). Acesso em: 01 dez. 2023.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Catálogo de Metadados da ANA**. 2022. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>. Acesso em: 26 dez. 23.

BRASIL. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF,

BRASIL. Norma Técnica nº NBR 8419, de abril de 1992. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**.

BRASIL. Norma Técnica nº NBR 13896, de junho de 1997. **Aterros de Resíduos Não Perigosos - Critérios Para Projeto, Implantação e Operação**.

CONDE, Thassiane Telles. STACHIW, Rosalvo. FERREIRA, Elvino. ATERRO SANITÁRIO COMO ALTERNATIVA PARA A PRESERVAÇÃO AMBIENTAL. Porto Velho: **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 3, n. 1, 2014.

DONHA, Annelissa G. *et al.* Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, p. 175-181, 01 out. 2005

DOS SANTOS, N. R. et al. **Estudo Da Geração Per Capita De Resíduos Sólidos Urbanos Na Zona Sul Do Estado Do Rio Grande Do Sul**. n. 2007, p. 8, 2018.

GALDINO, S. D. J.; MARTINS, C. H. Composição Gravimétrica Dos Resíduos Sólidos Urbanos Da Coleta Convencional De Um Município De Pequeno Porte. **Tecno-Lógica**, v. 20, n. 1, p. 01, 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **O Portal Brasileiro de Dados Geoespaciais: SIG Brasil**. 2022. Disponível em: <https://inde.gov.br/>. Acesso em: 12 dez. 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (org.). **Sinopse do Censo Demográfico de 2010**. 2011. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=41&dados=6>. Acesso em: 18 dez. 2023.

IPHAN, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Bancos de Dados - Patrimônio Arqueológico**. 2023. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1701/>. Acesso em: 26 dez. 2023.

JUCÁ, José Fernando Thomé. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 5., 2003, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Regeo, 2004. p. 1-32.

Mota, J. C., Almeida, M. M. de, Alencar, V. C. de, & Curi, W. F. (2009). CARACTERÍSTICAS E IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA VISÃO CONCEITUAL. *Águas Subterrâneas*, 1. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21942>

MPPR, Ministério Público do Paraná. **Municípios fiscalizados na Operação Percola II terão 30 dias para apresentarem planos de ação para correção de irregularidades**. 2022. Disponível em: <https://mppr.mp.br/2022/08/24819,11/Municipios-fiscalizados-na-Operacao-Percola-II-terao-30-dias-para-apresentarem-planos-de-acao-para-correcao-de-irregularidades.html>. Acesso em: 10 dez. 2023.



PARANÁ (Estado). **Resolução CEMA nº 94**, de 04 de novembro de 2014. Curitiba, Disponível em: <https://www.rcambiental.com.br/Atos/ver/RESL-CEMA-PR-94-2014/>. Acesso em: 28 dez. 2023.

PIAIA, Eduarda. **Diagnóstico da presença de rejeitos nos resíduos enviados à coleta seletiva em Florianópolis**. 2017. 117 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

SALSA, N. S. et al. Caracterização física de resíduos sólidos domiciliares em diferentes formas de habitação. **Revista DAE**, v. 66, n. 212, p. 105–117, 2018.



# SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E OS DIFERENTES SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO APLICADOS ÀS MUDANÇAS DE USO DA TERRA

**1Micléia Nascimento Vieira, 2Igor Emiliano Gomes Pinheiro, 3Elfany Reis do Nascimento Lopes**

*1 Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Centro de Formação em Ciências Ambientais (CFCAm). Laboratório de Geoprocessamento e Gestão Costeira (LabGGGeC), e-mail: micleia.vieira@gfe.ufsb.edu.br; 2 Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Centro de Formação em Ciências Ambientais (CFCAm). Laboratório de Geoprocessamento e Gestão Costeira (LabGGGeC), e-mail: igoregp@ufsb.edu.br . 3 Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Centro de Formação em Ciências Ambientais (CFCAm). Laboratório de Geoprocessamento e Gestão Costeira (LabGGGeC), e-mail: elfany@csc.ufsb.edu.br .*

**Palavras-chave:** Conservação; Ecossistema; Paisagem.

## Resumo

O estudo objetivou analisar a relação entre os diversos sistemas de classificação de serviços ecossistêmicos e as mudanças de uso da terra no contexto brasileiro, a fim de observar como estão organizados os sistemas de classificação que categorizam e quantificam os serviços fornecidos pelos ecossistemas, e como podem contribuir para as avaliações pelas transformações na paisagem. Procedeu-se ao levantamento de relatórios/livros/artigos científicos das instituições e organizações que tratam de serviços ecossistêmicos e dos sistemas de classificação mundiais. Foram acessadas bases de dados, sítios institucionais e sistemas abertos online que disponibilizam os relatórios e as sínteses dos sistemas. Os relatórios foram fichados, triados e caracterizados quanto ao ano de criação, conceitos de serviços ecossistêmicos, categorização e similaridades com os demais sistemas. Foram obtidos os dados síntese do Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra no Brasil no sítio eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, visando a obtenção dos quantitativos de uso e cobertura da terra entre os anos de 2000 e 2020 para análise da temporalidade de acréscimos e decréscimos entre as categorias. Entre os sistemas seis sistemas de classificação de serviços ecossistêmicos, há pontos de convergência e divergência na classificação, todos atrelados a compreensão e formas de categorização dos serviços ecossistêmicos providos pelos recursos naturais. Estes são ferramentas-chave para serem empregadas com análises das mudanças de uso e cobertura da terra no Brasil. Estão organizados em plataformas online, de fácil acesso, com disposição de relatórios/livros/artigos científicos acessíveis para consulta com definição e categorização dos SE. A escolha do melhor sistema para classificação de serviços ecossistêmicos deve se basear no contexto, objetivo e demanda de estratificação e detalhamento dos serviços ecossistêmicos analisados. Esses sistemas são essenciais para identificar e quantificar os serviços fornecidos pelos ecossistemas afetados pelas mudanças de uso da terra, avaliar os impactos nos serviços ecossistêmicos e servem como auxílio para formulação de estratégias de manejo sustentável e eficazes.

## Introdução

Na década de 80, pensadores exploravam categorias de classificação que hoje conhecemos como Serviços Ecossistêmicos (SE). Em 1997, estes foram consolidados em uma lista definitiva com quatro grupos: regulação, habitat, produção e informação (de Groot, 1987; Costanza et al., 1997; Daily et al., 1997; De Groot et al., 2002; Finisdore et al., 2020). Posteriormente, a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA), reuniu esforços de cientistas de diversos países, conceituou SE como os benefícios que o homem obtém dos ecossistemas, abrangendo os serviços de provisão (alimentos, água, madeira e fibras); regulação (que afetam climas, inundações, doenças, resíduos e a qualidade da água); suporte (formação do solo, fotossíntese e ciclo de nutrientes) e culturais (benefícios recreacionais, estéticos e espirituais) (MEA, 2005). O MEA foi pioneiro em fornecer um modelo de avaliação dos impactos humanos no ambiente. O relatório Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade (TEEB), publicado posteriormente, definiu SE como as contribuições diretas e indiretas dos ecossistemas para o bem-estar humano e classificou-os como serviços de provisão, regulação, cultural e serviços de habitat (TEEB, 2010; Finisdore et al., 2020). A partir destas classificações foi possível categorizar e descrever os SE, ponto de partida para medir, mapear e valorar os benefícios gerados pela natureza. Desde então, pesquisas vêm examinando as associações e influências entre os diferentes tipos de SE e aspectos relacionados com a sociedade e a economia (Torres; Tiwari; Atkinson, 2022). Estas avaliações evoluíram para se tornar uma ferramenta reconhecida, orientando ações de conservação e manejo de ecossistemas, bem como a tomada de decisões transparentes atreladas às questões ecológicas e sociais (Czúcz et al., 2018, Cheng et al., 2019, Finisdore et al., 2020).

Para além da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005) e do Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade (TEEB, 2010), diversas instituições e classificações tem se debruçado para fornecer um método operacional para implementar o conceito de SE nas mais diversas interações entre processos ecológicos e avaliações sociais, diferentes estruturas de classificação padronizadas foram propostas e desenvolvidas para a avaliação abrangente de SE (Basak et al., 2022). Essas diferentes tipologias de classificação dos SE foram surgindo nas últimas décadas e atualmente estão disponíveis a Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES), a Política Científica sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES), o Sistema Nacional de Classificação de Ecossistemas (NESCS Plus) e o Sistema de Contabilidade Econômica Ambiental (SEEA). Todos esses Sistemas de Classificação (SC) são importantes abordagens hierárquicas para organizar a informação de forma que os dados possam ser facilmente comparados (Finisdore et al., 2020). Porém, todas estas classificações buscam ser universais e aplicáveis em diferentes locais e ecossistemas distintos, mas são originadas de um contexto específico e objetivos particulares (Czúcz et al., 2018).





A primeira estrutura hierárquica para classificar SE lançada foi o sistema de classificação CICES, no qual mantém os grupos de abastecimento, regulação e culturais definidos pela classificação MEA, mas entende os serviços de suporte como estruturas e processos subjacentes que, em última análise, dão origem aos SE (Finisdore et al., 2020; Grima et al., 2023; CICES, 2024). Depois, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) publicou seu Sistema Final de Classificação de Serviços Ecosistêmicos (FECS-CS) adicionando beneficiários às hierarquias. Em seguida a USEPA também lançou o Sistema Nacional de Classificação de Serviços Ecosistêmicos (NESCS) que separava usos de usuários, no qual atualmente estão sendo integrados no “NESCS Plus”, um sistema de classificação de Serviços Ecosistêmicos Finais (FES), especificamente definidos como os serviços da natureza que são diretamente desfrutados, consumidos ou usados para produzir o bem-estar humano (EPA, 2024; Finisdore et al., 2020). No ano de 2018, a Plataforma IPBES desenvolveu uma lista reconhecendo as múltiplas contribuições que a natureza faz às pessoas, definindo 18 categorias de Contribuições da Natureza para as Pessoas (NCP). Já o SEEA é um quadro que integra dados econômicos e ambientais para fornecer uma visão mais abrangente e multifuncional das interrelações entre a economia e o ambiente (Finisdore et al., 2020; IPBES, 2024; SEEA, 2024).

A variedade de SC disponíveis se faz compreensível devido à complexidade em analisar a oferta e demanda de SE em função dos contextos socioecológicos e políticos que precisam ser abordados, cada um com sua particularidade e intencionalidade (Czúcz et al., 2018). Essa multiplicidade de classificações ora se faz importante, pois reflete as opções disponíveis que facilitam soluções para requisitos específicos (Fisher et al., 2009), mas, por outro lado, dificulta a escolha de um sistema universal para análise, além de promover sobreposições e vieses nos limiares entre a categorização dos SE.

Diante da diversidade de SC é evidente a necessidade de compreender a origem e realizar uma análise comparativa destes sistemas. É essencial observar as abordagens apresentadas por eles, visto que os SC buscam abranger as diversas características dos ecossistemas, respeitando as individualidades locais, ou ainda, garantir a capacidade de universalização e adaptação a qualquer parte do mundo. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é investigar e analisar a relação entre os diversos sistemas de classificação de serviços ecosistêmicos e as mudanças de uso da terra no contexto brasileiro. Este estudo compreenderá como estão organizados esses SC, que categorizam e quantificam os serviços fornecidos pelos ecossistemas, e como podem contribuir para as avaliações pelas transformações na paisagem.

## Material e Métodos

Procedeu-se o levantamento dos relatórios/livros/artigos científicos das instituições e organizações que tratam da temática serviços ecosistêmicos e dos sistemas de classificação de serviços ecosistêmicos a nível mundial. Foram acessados base de dados, sítios institucionais e sistemas abertos online que disponibilizam os relatórios e as sínteses dos sistemas. Os relatórios foram fichados, triados e caracterizados quanto ao ano de criação, conceitos de serviços ecosistêmicos, categorização e similaridades com os demais sistemas. Trabalhou-se com seis sistemas de classificações e 21 relatórios/livros/artigos científicos, sendo eles: MEA (4), NESCS Plus (2), CICES (2), SEEA (2), TEEB (5) e IPBES (6). As plataformas dos sistemas, quando existentes foram consultadas para conhecimento da organização, disponibilidade de dados e informações aos usuários a respeito da proposta de casa sistema quanto a categorização e quantificação dos serviços fornecidos pelos ecossistemas. Adicionalmente, foram obtidos os dados síntese do Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra no Brasil no sítio eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de forma online e gratuita na biblioteca geral do IBGE, visando a obtenção dos quantitativos de uso e cobertura da terra do Brasil entre os anos de 2000 e 2020 para análise da temporalidade de acréscimos e decréscimos na categorias e suas implicações em redução de serviços ecosistêmicos na perspectiva da dimensão territorial do país.

## Resultados e Discussão

### *Avaliação dos sistemas de classificação de serviços ecosistêmicos*

A Tabela 1 apresenta os sistemas de classificação para serviços ecosistêmicos por ordem de surgimento. O sistema de classificação MEA, que é amplamente citado em trabalhos sobre a temática, foi iniciado em 2001 após exigências tanto de cientistas como de decisores políticos, objetivando avaliar as consequências das mudanças nos ecossistemas para o bem-estar humano e a base científica para a ação, mas suas conclusões foram divulgadas a partir de 2005, no formato de produtos e relatórios. Os relatórios sintetizam informações da literatura científica e de conjuntos de dados e modelos relevantes revisados por pares, no qual incorporou conhecimentos do setor privado, profissionais, comunidades locais e povos indígenas. O sistema proposto pelo MEA não visava gerar novos conhecimentos, mas acrescentar valor às informações existentes (MEA, 2005) e norteou os sistemas seguintes, demonstrando a importância do MEA para o entendimento, ampliação e aplicação do conceito de serviços ecosistêmicos.

O Sistema de Contabilidade Econômica Ambiental (SEEA) é um padrão internacional estabelecido para a contabilidade econômico-ambiental. A primeira Avaliação Global de Estatísticas Ambientais e Contabilidade Econômica Ambiental ocorreu em 2006, mas foi a partir de 2014 que mais países adotaram o SEEA. Oferece um quadro para organizar estatísticas sobre os ecossistemas e sua relação com a economia, alinhado com o Sistema de Contas Nacionais (SCN), facilitando o desenvolvimento de indicadores e análises no âmbito da economia-ambiente. O SEEA possui duas partes: o quadro central, analisando ativos ambientais, sua utilização na economia e retorno ao ambiente; e a contabilidade de ecossistemas SEEA, que considera como os ativos ambientais interagem como parte dos processos naturais em uma área específica e foca em uma categorização para a contabilidade ambiental, organizando os serviços em fornecimento, regulação e culturais.



**Tabela 1: Sistemas de Classificação de Serviços Ecossistêmicos**

Sistema de classificação	Definição	Categorias	Ano
Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA)	São os benefícios que o homem obtém dos ecossistemas.	Serviços de provisão, regulação, cultural e suporte.	2001
Sistema de Contabilidade Econômica Ambiental (SEEA)	Contribuições diretas e indiretas dos ecossistemas para o bem-estar humano.	Serviços de fornecimento, regulação e culturais	2006
Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade (TEEB)	Contribuições dos ecossistemas para os benefícios que são utilizados na atividade econômica e outras atividades humanas.	Provisão, regulação, cultural hábitat ou suporte	2007
Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES)	As contribuições que os ecossistemas (ou seja, os vivos sistemas) promovem para o bem-estar humano.	Provisão, regulação e manutenção, e cultural	2013
Política Científica sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES)	Serviços ecossistêmicos "intermediários" podem ser considerados como relações de entrada-saída enquanto os "serviços ecossistêmicos finais" são resultados da natureza que fluem diretamente e são diretamente utilizados ou apreciados pelos seres humanos de diversas maneiras.	Material CNP (Contribuição da Natureza para as Pessoas), não-material CNP (Contribuição da Natureza para as Pessoas) e regulação CNP (Contribuição da Natureza para as Pessoas).	2013
Sistema Nacional de Classificação de Ecossistemas (NESCS Plus)	Benefícios da natureza para as pessoas.	Serviços finais e intermediários.	2015

**Fonte: Elaboração dos autores (2024)**

Por outro lado, o sistema de classificação TEEB foi concebido em 2007 para avaliar globalmente a importância econômica da biodiversidade. Os relatórios, lançados em 2010, abordam conceitos e metodologias-chave para a valoração econômica da biodiversidade, orientações sobre como integrar a biodiversidade nas decisões políticas e como empresas podem identificar e gerir sua biodiversidade. O TEEB incorpora conclusões e recomendações políticas para integrar a economia da natureza na tomada de decisões, destacando os custos da perda de biodiversidade e a necessidade de ações eficazes de conservação (TEEB, 2010), por onde aprimorou em parte as categorias do MEA (provisão, regulação, cultural e suporte), separando os serviços dos benefícios (Finisdore et al., 2020) e acrescentou a palavra hábitat para serviços de suporte, que fornece base para todos os outros serviços (TEEB, 2010). O sistema CICES, lançado em 2016 (4.3) e atualizado em 2018 (5.1), já apresenta uma versão preliminar de 2023 (5.2) acessível. Desenvolvido a partir do trabalho de contabilidade ambiental da Agência Europeia do Ambiente (AEA), o CICES busca padronizar a nomeação, descrição e classificação de serviços ecossistêmicos. Derivado de revisões de literatura, pesquisas, workshops e experiências de projetos europeus, o sistema possui uma estrutura hierárquica de cinco níveis (seção, divisão, grupo, classe e tipo de classe), proporcionando uma classificação detalhada e hierárquica (Grima et al., 2023) que exclui o serviço de suporte, pois defende que são as estruturas e processos subjacentes que, em última análise, dão origem aos serviços ecossistêmicos, não sendo, portanto, um serviço final (CICES, 2013), justificada pela redução de sobreposições na categorização dos serviços (CICES, 2013).

Em 2013, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) direcionou seus secretariados para a construção da Plataforma Científica e Política para Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES). Essa iniciativa global visou fortalecer a interface entre ciência e política, promovendo o conhecimento sobre biodiversidade e serviços ecossistêmicos para a conservação, bem-estar humano a longo prazo e desenvolvimento sustentável. O IPBES é um esforço conjunto envolvendo governos, academia e sociedade civil para avaliar e promover o entendimento dos ecossistemas terrestres e sua contribuição para as sociedades humanas (IPBES, 2024; Díaz et al., 2018). Este sistema categoriza os serviços em Material CNP (Contribuição da Natureza para as Pessoas), não-material CNP (Contribuição da Natureza para as Pessoas) e regulação CNP (Contribuição da Natureza para as Pessoas).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) estabeleceu o Sistema Nacional de Classificação de Serviços Ecossistêmicos (NESCS Plus) em 1990, uma ferramenta abrangente para mapear as relações entre ecossistemas naturais e bem-estar humano. O NESCS Plus, destaca-se por sua flexibilidade em diferentes escalas espaciais e temporais e a categorização entre serviços "finais" e "intermediários". Essa abordagem permite aos usuários especificar a escala espacial e temporal de componentes do Serviço Ecossistêmico Final (SEF) conforme suas necessidades, pois os serviços "intermediários" representam relações de entrada-saída, enquanto os "finais" são resultados naturais utilizados diretamente pelo elemento humano. Essa distinção é crucial por cinco razões: reconhecer as ligações entre ecossistemas e bem-estar humano, comunicar como os ecossistemas contribuem para o bem-estar, identificar métricas importantes, adotar uma abordagem sistêmica para identificar todos os serviços e evitar contagem dupla na contabilidade ambiental (EPA, 2024). O NESCS Plus também critica as sobreposições entre as categorias da CICES (provisão, regulação e manutenção, e cultural), devido à falta de divisão explícita entre serviços finais e intermediários. Segundo a EPA (2024), essa suposta sobreposição pode limitar a utilidade do sistema CICES para a contabilidade e análise de benefícios.

Entre os sistemas, há pontos de convergência e divergência na classificação, todos atrelados a compreensão e formas de categorização dos serviços ecossistêmicos providos pelos recursos naturais. A evolução destes sistemas está baseada na tentativa de melhoria e universalização dos processos, o que denota críticas entre os sistemas e projeção do potencial em adotar cada sistema. A maior similaridade entre eles está na busca universal para a conservação da biodiversidade e a demonstração explícita do valor da biodiversidade. As vantagens e limitações no uso de cada sistema será inerente à tomada de decisão que se



deseja chegar e ensinará na aplicação conforme o objeto e o contexto analisado.

### *Os sistemas de classificação e as mudanças de uso da terra no Brasil*

Há muitos benefícios associados ao uso dos sistemas de classificação, sobretudo no contexto do uso da terra no Brasil, pois sua dimensão continental e a ampla diversidade de ecossistemas nos biomas assim como a rápida conversão das áreas naturais para antrópicas tornam difíceis a indicação da oferta e demanda dos serviços, considerando que a classe, intensidade e a disposição espacial do uso afetam o tipo e a quantidade de serviço ecossistêmico (Bryan, 2013). Finisdore et al. (2020) realizaram um estudo buscando determinar os benefícios esperados do uso dos sistemas de classificação e evidenciou 18 benefícios, destacando a gestão do conhecimento, pois o conjunto comum de conhecimento que estes geram reduz a necessidade das organizações investirem nos seus próprios sistemas. Além disso, os autores reforçam a importância das classificações de serviços ecossistêmicos na tomada de decisões e na compreensão da relação entre ecologia e economia para avaliar os impactos das mudanças de uso da terra nos serviços ecossistêmicos e, por consequência, no bem-estar humano.

Ao utilizar sistemas de classificação de serviços ecossistêmicos, é possível identificar e quantificar os serviços fornecidos pelos ecossistemas afetados pelas mudanças de uso da terra, auxiliando na avaliação dos impactos e na formulação de estratégias de manejo sustentáveis e eficazes. Essas múltiplas possibilidades também permitem que os serviços sejam definidos com mais facilidade e precisão, facilitando a transferência de conhecimento entre estudos e evitando a necessidade de recriar sistemas de identificação de serviços ecossistêmicos. No entanto, para Finisdore et al. (2020), o CICES e o NESCS Plus destacam-se como os únicos sistemas de classificação que seguem as regras da ciência da classificação.

No Brasil, o uso dessas classificações requer o desafio de um país multifacetado, com diferenças ecossistêmicas (terrestres e marinhas), além de uma complexa conversão de áreas naturais em antrópicas que reduzem a capacidade dos ecossistemas em prover serviços ecossistêmicos para a manutenção das demandas diárias da sociedade. Para Santos et al. (2023), a variável uso da terra junto a estrutura da paisagem é a principal e mais importante variável para análise dos serviços ecossistêmicos. A paisagem como indicador reflete como o espaço territorial é utilizado e permite a avaliação da oferta e demanda de serviços ecossistêmicos, à medida que quanto mais os ecossistemas naturais são convertidos e degradados, tende-se a redução de serviços de provisão e suporte (ou correlatos àqueles com outras denominações), aumentando-se a demanda e reduzindo a oferta. Ao mesmo tempo, é possível que uma série de serviços culturais aumentem em detrimento da própria redução dos recursos. No Brasil, entre 2000 e 2020 a evolução da área ocupada tem apresentado tendência de crescimento de áreas antrópicas, com perda de 320.648 km<sup>2</sup> de florestas e 303 km<sup>2</sup> de áreas úmidas enquanto as áreas artificiais aumentaram 2.799 km<sup>2</sup>, entre elas 36.067 km<sup>2</sup> de aumento da silvicultura e 229.925 km<sup>2</sup> de aumento de áreas agrícolas (Tabela 2).

A conversão de áreas e aumento da produção agrícola, representa um dos maiores crescimentos absolutos no período analisado, sinaliza um aumento na produção de alimentos, mas também levanta preocupações sobre a perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos associados aos ecossistemas naturais, como regulação do clima, polinização e proteção do solo.

Nos últimos dois anos (2018-2020) o cenário do uso da terra no Brasil revelou mudanças de aproximadamente 70 mil km<sup>2</sup> e ratificou o contínuo avanço das áreas antropizadas, especialmente as destinadas à agricultura, silvicultura e pastagem com manejo sobre ecossistemas naturais, evidenciando uma dinâmica complexa de transições espaciais e de análise de serviços (IBGE, 2022). Essas conversões têm implicações significativas nos serviços ecossistêmicos prestados pelos diferentes tipos de paisagem e, conseqüentemente, refletem dinâmicas econômicas e sociais que impactam os ecossistemas e os benefícios que eles proporcionam à sociedade.

**Tabela 2. Quantitativos de uso e cobertura da terra no Brasil**

Classe	Área ocupada (km <sup>2</sup> )						
	2000	2010	2012	2014	2016	2018	2020
Área Artificial	34.567	36.217	36.730	37.461	37.773	38.294	37.366
Área Agrícola	458.975	556.232	583.768	624.632	643.769	664.784	688.900
Pastagem com Manejo	885.186	1.099.031	1.126.106	1.123.824	1.118.893	1.125.194	1.132.213
Mosaico de ocupações em Área Florestal	844.506	826.977	826.680	824.024	839.894	829.071	820.941
Silvicultura	50.543	69.844	76.071	82.136	83.646	85.951	86.610
Vegetação Florestal	4.039.569	3.823.520	3.787.264	3.764.779	3.740.024	3.732.236	3.718.891
Área Úmida	33.888	33.877	33.799	33.773	33.873	33.868	33.585
Vegetação Campestre	1.818.102	1.711.000	1.679.527	1.656.591	1.646.883	1.635.447	1.625.591
Mosaico de ocupações em Área Campestre	232.340	240.963	247.715	250.437	252.857	252.609	253.204
Corpo d'Água Continental	128.749	128.749	128.749	128.749	128.749	128.902	127.128
Corpo d'Água Costeiro	222.461	222.461	222.461	222.461	222.461	222.461	224.395
Área Descoberta	3.680	3.695	3.696	3.699	3.744	3.749	3.742

Fonte: IBGE (2022)





A distribuição espacial dessas mudanças também revela intensidades diferenciadas do leste para nordeste do estado do Pará, divisas dos estados de Rondônia, Acre e Amazonas, centro-norte do estado de Mato Grosso, em Roraima, áreas do MATOPIBA, sul do Rio Grande do Sul, oeste Paulista, leste do estado de Mato Grosso do Sul, Goiás e no Triângulo Mineiro (IBGE, 2022). Os maiores crescimentos absolutos em pastagem com manejo ocorreram nos Estados do Pará, Rondônia, Amazonas, Maranhão e Tocantins. A expansão nessas regiões, especialmente sobre mosaicos de ocupações em área florestal, reflete a dinâmica complexa de substituição de pastagens por áreas agrícolas e silvicultura, observada principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste. O incremento da silvicultura em estados como Mato Grosso do Sul, Maranhão, Bahia, São Paulo e Pará refletiu principalmente sobre áreas de pastagem e floresta (IBGE, 2022). O crescimento efetivo da silvicultura, indica uma intensificação do manejo florestal para a produção de madeira. Embora a silvicultura possa ser uma atividade economicamente relevante, é essencial avaliar os impactos nos serviços ecossistêmicos, como regulação hídrica, manutenção da biodiversidade e sequestro de carbono.

Esses resultados evidenciam a complexidade das mudanças no uso da terra no Brasil, revelando a interconexão entre diferentes tipos de cobertura e uso da terra e suas implicações para o ambiente e a sociedade, resultando na perda de habitats críticos para a biodiversidade, além de contribuir para a emissão de gases de efeito estufa e a redução da capacidade dos ecossistemas em fornecer serviços de regulação climática, além da redução da oferta de serviços essenciais à sobrevivência das espécies (Petroni et al., 2022). Além disso, diversas regiões do Brasil podem enfrentar impactos significativos nos serviços ecossistêmicos locais, exigindo estratégias de manejo específicas para mitigar perdas e promover a sustentabilidade (Hasan et al., 2020).

A compreensão da relação entre os sistemas de classificação do uso da terra e as mudanças efetivas na paisagem brasileira é crucial para avaliar os impactos nos serviços ecossistêmicos. Esse entendimento é fundamental para orientar políticas públicas e práticas de manejo sustentável, visando a conservação da biodiversidade, a mitigação das mudanças climáticas e a compatibilização entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental. Assim, os sistemas de classificação devem propiciar formas diferenciadas de análise das conversões dos recursos naturais e do impacto do aumento das áreas antropogênicas nas diversas regiões do Brasil, desempenhando papel crucial quando se trata de serviços ecossistêmicos, conservação da natureza, desenvolvimento sustentável e bem-estar humano.

### Considerações Finais

Os sistemas de classificação de serviços ecossistêmicos são ferramentas-chave para serem empregadas com análises das mudanças de uso e cobertura da terra no Brasil, uma vez que denotam forte relação. Estão organizados em plataformas online, de fácil acesso, com disposição de relatórios/livros/artigos científicos acessíveis para consulta com definição e categorização dos SE. Esses sistemas auxiliam na identificação e quantificação dos serviços fornecidos pelos ecossistemas afetados pelas mudanças de uso da terra, avaliam os impactos nos serviços ecossistêmicos e servem como auxílio para formulação de estratégias de manejo sustentável e eficazes. A escolha do melhor sistema deve se basear no contexto, objetivo e demanda de estratificação e detalhamento dos serviços ecossistêmicos analisados. No caso do Brasil, ao propiciar diferentes formas de análise dos impactos das conversões dos recursos naturais e do processo de aumento das áreas antropogênicas nas diversas regiões do Brasil, os sistemas que detalham em níveis hierárquicos e permitem maior compreensão dos serviços ofertados ou demandados, com maior ênfase para o CICES, possuem o potencial de projetar caminhos para a conservação da natureza, desenvolvimento sustentável e melhoria do bem-estar humano. Entretanto, todos eles permitem que os serviços ecossistêmicos sejam definidos com facilidade e precisão, mas exige base técnica e científica sobre a temática, evitando análises superficiais.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), à Pró - Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG), ao Programa de Iniciação à Pesquisa, Criação e Inovação (IPCI) e a Pró - Reitoria de Ações Afirmativas (PROAF) pelo financiamento da pesquisa.

### Referências Bibliográficas

- Başak, Esra et al. Ecosystem services studies in Turkey: A national-scale review. **Science of the Total Environment**, v. 844, p. 157068, 2022.
- Bryan, Brett A. Incentives, land use, and ecosystem services: Synthesizing complex linkages. **Environmental science & policy**, v. 27, p. 124-134, 2013.
- Cheng, Xin et al. Evaluation of cultural ecosystem services: A review of methods. **Ecosystem services**, v. 37, p. 100925, 2019.
- CICES. **Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos**. Disponível em: <https://cices.eu/supporting-functions/>. Acesso em: 18 de fev. de 2024.
- Czucz, Bálint et al. Where concepts meet the real world: A systematic review of ecosystem service indicators and their classification using CICES. **Ecosystem Services**, v. 29, p. 145-157, 2018.



- Costanza, Robert et al. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go?. **Ecosystem services**, v. 28, p. 1-16, 2017.
- Costanza, Robert et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Ecological economics**, v. 25, n. 1, p. 3-15, 1997.
- Daily, Gretchen C. et al. Introduction: what are ecosystem services. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems.
- De Groot, Rudolf S.; WILSON, Matthew A.; BOUMANS, Roelof M.J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological economics**, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002.
- De Groot, Rudolf S. Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics. **Environmentalist**, v. 7, p. 105-109, 1987.
- Díaz, Sandra et al. Assessing nature's contributions to people. **Science**, v. 359, n. 6373, p. 270-272, 2018.
- EPA. **Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos**. Disponível em: < <https://www.epa.gov/eco-research/national-ecosystem-services-classification-system-nescs-plus>>. Acesso em 27 de fevereiro de 2024.
- Finisidores, John et al. The 18 benefits of using ecosystem services classification systems. **Ecosystem Services**, v. 45, p. 101160, 2020.
- Fisher, Brendan; TURNER, R. Kerry; MORLING, Paul. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological economics**, v. 68, n. 3, p. 643-653, 2009.
- Grima, Nelson et al. Systematic review for a set of indicators supporting the Common International Classification of Ecosystem Services. **Ecological Indicators**, v. 147, p. 109978, 2023.
- Hasan, Shaikh Shamim et al. Impact of land use change on ecosystem services: A review. **Environmental Development**, v. 34, p. 100527, 2020.
- IPBES. **Política Científica sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. Disponível em: <https://www.ipbes.net/history-establishment>. Acesso em 18 de fev. de 2024.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil: 2018-2020**. DF: Brasília. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento\\_cobertura\\_uso\\_terra/v1/#/home/](https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/#/home/). Acesso em: 03 de março de 2024.
- MEA. **Millennium Ecosystem Assessment**. **Millennium Ecosystem Assessment**. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/en/Index-2.html>. Acesso em: 16 fev. 2024.
- Petroni, Maria Luiza et al. Understanding land use change impacts on ecosystem services within urban protected areas. **Landscape and Urban Planning**, v. 223, p. 104404, 2022.
- SEEA. **Sistema de Contabilidade Econômica Ambiental**. Disponível em: <https://sea.un.org/>. Acesso em: 16 fev. 2024.
- Torres, Angelica Valencia; TIWARI, Chetan; ATKINSON, Samuel F. Progress in ecosystem services research: A guide for scholars and practitioners. **Ecosystem Services**, v. 49, p. 101267, 2021.
- TEEB. **Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade**. Disponível em: < <https://teebweb.org/publications/teeb/>>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2024.



# AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO SEGUNDO O CENSO 2022

1Rafaela Naegele, 2Pablo Vimercati, 3Augusto Ahn Ka, 4Dalton Domingues, 5Carlos Canejo e 6Ricardo Soares

1 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: rafaela.naegele@outlook.com;  
2 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: pablovimercati@gmail.com;  
3 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: augustoka@live.com;  
4 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: daltondomingues63@gmail.com; 5 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: carlos.pinheiro@uva.br.; 6 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: ricardo.soares@uva.br

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos Urbanos; Geração de Resíduos; Censo 2022.

## Resumo

A promulgação da Lei 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), marca um avanço significativo na abordagem dos desafios relacionados à gestão de resíduos no Brasil. Esta política estabelece a responsabilidade compartilhada entre os setores público, privado e consumidores, visando abranger todas as etapas da gestão de resíduos, desde sua geração até a disposição final adequada. No entanto, apesar dos esforços empreendidos, as metas estabelecidas pela PNRS ainda não foram plenamente alcançadas, especialmente diante do aumento contínuo na produção de resíduos, associado ao crescimento populacional e econômico. O objetivo desta pesquisa é realizar o diagnóstico de geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Estado do Rio de Janeiro comparando os dados obtidos através dos Censos de 2010 e 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), contribuindo assim para uma maior divulgação e transparência de dados estratégicos para o setor de resíduos. Adicionalmente, a análise dos dados do Censo 2022 revelou um incremento de 2,14% na geração diária de RSU no Estado do Rio de Janeiro. Esse aumento equivale a um acréscimo de 362,55 toneladas de resíduos gerados diariamente em comparação com períodos anteriores. Tal crescimento está intimamente relacionado às condições socioeconômicas e ao aumento da população, sendo também influenciado pelos padrões de consumo, especialmente durante o período da pandemia de COVID-19. A análise dos dados do Censo 2022 também destacou que a Região Metropolitana é responsável por uma parcela significativa (81,20%) da geração total de RSU no estado, embora tenha ocorrido uma ligeira diminuição em relação à período anterior. A atualização constante dos dados e a integração dessas informações nas políticas de gestão de resíduos são fundamentais para orientar tomadas de decisões eficazes e para cumprir com os preceitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

## Introdução

A promulgação da Lei Federal 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), representa uma medida de extrema importância para enfrentar os desafios decorrentes da gestão de resíduos no contexto brasileiro. Esta legislação determina que os planos de gestão de resíduos devem abranger todas as etapas, desde a sua geração até a disposição final ambientalmente adequada, estipulando a responsabilidade compartilhada entre os setores público, privado e os consumidores. A necessidade de colaboração entre os diversos segmentos da sociedade é fundamental para alcançar êxito nesse processo, sendo esse esforço impulsionado por políticas públicas eficazes e iniciativas de conscientização. Além disso, é imperativo que o poder público disponibilize recursos para a execução de programas e campanhas destinados à gestão apropriada dos resíduos. Um exemplo notável é o Programa Estadual de Gestão de Resíduos Integrada e Desenvolvimento Sustentável (PROGRIDE), o qual visa fomentar práticas como a redução, reutilização, reciclagem e tratamento adequado dos resíduos, contribuindo assim para a promoção da sustentabilidade ambiental e socioeconômica (Brasil, 2010; Engconsult, 2023).

Apesar dos esforços tanto do setor público quanto do privado, as metas estabelecidas pela PNRS para reduzir a geração de resíduos ainda não foram alcançadas. Essa realidade se destaca em um contexto global de crescimento populacional acelerado, que tem levado a um aumento considerável na produção de resíduos. Durante os anos de pandemia, o Brasil enfrentou um aumento significativo na geração e na disposição inadequada de Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs), com um crescimento médio superior a 10% (Naegele *et al.*, 2022). Esse aumento notável reflete um padrão crescente de consumo de produtos industrializados, impulsionado pela sua praticidade, resultando em um aumento substancial na quantidade total de resíduos gerados em todo o país. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023, em 2022, a produção de RSUs alcançou 77,1 milhões de toneladas, equivalente a uma média diária de cerca de 211.000 toneladas, resultando em aproximadamente 1,04 kg de resíduos por habitante brasileiro por dia (ABREMA, 2023).

O crescimento da população urbana e os padrões de consumo semelhantes aos dos países desenvolvidos contribuem para esse cenário desafiador. Cinco países em desenvolvimento, incluindo China, Índia, Brasil, Indonésia e México, estão entre os maiores geradores de RSU (Batista *et al.*, 2021; Spoti *et al.*, 2023). Apesar dos esforços até agora, a magnitude da





geração de resíduos no Brasil permanece um desafio crítico que requer uma resposta coordenada e urgente das autoridades e da sociedade em geral. Esse crescimento populacional, combinado com o desenvolvimento econômico e a urbanização, aumentou a pressão sobre os recursos naturais e causou degradação ambiental. Diante disso, a atual economia linear, baseada na extração, produção, comercialização e descarte, tem contribuído para uma sobrecarga ecológica sem precedentes, marcando o início de uma nova era geológica, o Antropoceno (Weetman, 2019; Vimercati *et al.*, 2023). No Brasil, a falta de infraestrutura adequada para lidar com esse aumento de resíduos é evidente (Chaves *et al.*, 2014; Galavote *et al.*, 2023). Portanto, é vital adotar medidas urgentes para enfrentar esse desafio, implementando estratégias eficazes de gestão de resíduos para mitigar os impactos ambientais e socioeconômicos resultantes desse processo.

No contexto estadual, a geração massiva no conjunto de resíduos no Estado do Rio de Janeiro (ERJ) se destaca como um desafio multifacetado e urgente. Com uma produção diária expressiva de 45.839 toneladas, distribuídas entre seus 92 municípios, a sociedade fluminense enfrenta uma demanda desafiadora em lidar com a quantidade excessiva de materiais descartados diariamente. Essa geração de resíduos é influenciada por diversos fatores, incluindo o crescimento populacional acelerado, os padrões de consumo intensificados, a atividade industrial, comercial e de serviços em constante expansão, bem como os hábitos de descarte arraigados na cultura local. Essa diversidade de resíduos inclui os RSUs, representando uma parcela significativa do total, com 18.694 toneladas diárias, os Resíduos da Construção Civil (RCC), cuja contribuição expressiva de 23.782 toneladas diárias reflete a pujança desse setor e a necessidade de uma gestão apropriada desses materiais. Paralelamente, os Resíduos Comerciais e de Prestadores de Serviços (RCS), totalizando 2.987 toneladas diárias, evidenciam o impacto direto da atividade econômica do estado na geração de resíduos. Além disso, os Resíduos de Serviço de Saúde (RSS), apesar de representarem uma fração menor, com 373 toneladas diárias, requerem uma abordagem especializada devido aos potenciais riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Assim, é imperativo compreender a natureza e a dinâmica dessa geração de resíduos para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão, que promovam a sustentabilidade ambiental, a proteção da saúde pública e o desenvolvimento socioeconômico sustentável do Estado do Rio de Janeiro (Vimercati *et al.*, 2023).

A redução da geração de resíduos sólidos apresenta um novo paradigma para gestores públicos, privados e para a sociedade em geral. Não se trata apenas de limitar a produção de resíduos, mas sim de repensar os processos produtivos e os hábitos de consumo, visando uma abordagem mais sustentável e responsável em relação aos recursos naturais. A promoção de práticas como a reutilização, reciclagem e compostagem se torna fundamental para mitigar o impacto ambiental e social causado pelo descarte descontrolado de resíduos. No entanto, embora essas medidas representem avanços significativos na direção de uma economia circular, é preciso estar ciente de que a transição para um modelo de produção e consumo mais sustentável também traz consigo desafios e implicações. A mudança de paradigma pode exigir investimentos significativos em infraestrutura e tecnologia, bem como a conscientização e a mudança de comportamento por parte da população. Além disso, é importante garantir que as medidas adotadas para reduzir a geração de resíduos não resultem em impactos negativos para determinados setores da economia ou para grupos sociais vulneráveis. Em suma, embora a diminuição da geração de resíduos sólidos seja um objetivo louvável e necessário, é fundamental abordá-la de forma holística, considerando seus diversos aspectos e potenciais repercussões.

O Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é uma pesquisa fundamental para compreender a estrutura da população, sua distribuição geográfica, características socioeconômicas além de uma infinidade de outros dados que são essenciais para o planejamento governamental, políticas públicas e até mesmo para empresas privadas. O Censo é usualmente realizado a cada 10 anos, mas o último realizado levou 12 anos para ficar pronto, uma das causas foi a Pandemia de Covid-19 que assolou o país em 2020. O recenseamento inicialmente estava previsto para 2020, mas na época foi inviabilizado devido às restrições que ocorreram durante o auge da pandemia, rompendo a sua execução no início de cada década, adiando a sua realização para o ano de 2021. Já em 2021, ocorreu um novo adiamento, desta vez em razão do corte orçamentário realizado pelo Governo Federal. O Censo somente teve início dois anos após a previsão inicial em agosto de 2022, quando os recenseadores do IBGE foram às ruas e realizaram a coleta dos dados de milhões de brasileiros. O levantamento dos dados deveria ter sido encerrado em outubro do mesmo ano, porém só chegou ao fim em fevereiro de 2023. O atraso da conclusão do Censo provocou efeitos também nas políticas públicas, pois o censo demográfico é um instrumento capaz de fornecer diagnósticos em nível municipal que é utilizado na formulação de políticas públicas.

Esses dados entre os diversos municípios do ERJ reforçam a importância significativa da atualização das políticas de gestão de resíduos sólidos, a fim de orientar tomadas de decisões eficazes na gestão de resíduos dos entes públicos e privados. A necessidade de incorporar os dados recentes no Plano Estadual de Resíduos Sólidos, enfatizando sua relevância para a formulação de políticas públicas ambientais voltadas para a gestão de resíduos em atendimento ao preconizado pela PNRS. Desta forma, entende-se que o acompanhamento do cenário de geração de RSU figura como uma importante ferramenta de planejamento e de gestão pública para os municípios e estados brasileiros, propiciando a identificação de áreas e atividades críticas, bem como tendências de tratamento, destinação e disposição final. Face ao exposto, o objetivo desta pesquisa é realizar o diagnóstico de geração de RSU no ERJ comparando os dados obtidos através dos Censos demográficos de 2010 e 2022 do IBGE, contribuindo assim para uma maior divulgação e transparência de dados estratégicos para o setor de resíduos.



## Material e Métodos

No que concerne à metodologia adotada, o presente estudo foi conduzido seguindo uma abordagem quantitativa, com o intuito de investigar a variação da geração per capita de resíduos sólidos nos 92 municípios do Estado do Rio de Janeiro ao longo de um período de 12 anos, compreendido entre 2010 e 2022. Para a coleta de dados, foram utilizadas as informações provenientes do Censo demográfico de 2022 do IBGE, específicas para o Estado do Rio de Janeiro. Esses dados foram criteriosamente cotejados com os registros oficiais do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, divulgado em 2013, o qual se fundamentou nos dados do Censo de 2010 (Rio de Janeiro, 2013). Através da aplicação do Índice de Geração *Per Capita* (IGPC), expresso em quilogramas por habitante por dia (kg/hab./dia), foi possível calcular o Quantitativo Estimado (QE), representado em toneladas por dia (t/d), para os anos de referência, 2010 e 2022. Essa métrica proporcionou uma análise minuciosa da variação da geração per capita de resíduos sólidos ao longo do período investigado. Na etapa subsequente, procedeu-se à internalização das informações obtidas, à compilação das referências consultadas e à análise crítica dos dados coletados. Em seguida, realizou-se a comparação da variação populacional dos 92 municípios no Estado, considerando os dois últimos censos.

Posteriormente, utilizando o *software* Excel, elaborou-se uma planilha detalhada da geração de resíduos sólidos por município no ERJ. Com o propósito de proporcionar uma visualização mais clara da situação, foi desenvolvido um mapa utilizando o *software* QGIS. Essa representação espacial permitiu uma compreensão abrangente da variação de geração de resíduos na região em estudo. No entanto, é imprescindível ressaltar que, em decorrência da pandemia de COVID-19, houve um atraso de 2 anos na divulgação dos dados do Censo de 2022 pelo IBGE, afetando significativamente a obtenção de informações atualizadas. Essa circunstância impacta diretamente a precisão das estimativas populacionais e, conseqüentemente, pode interferir nos resultados relativos à taxa de geração de RSU, uma vez que a estrutura de uma estimativa se baseia em dados anteriores e no acompanhamento do crescimento populacional ao longo do tempo.

## Resultados e Discussão

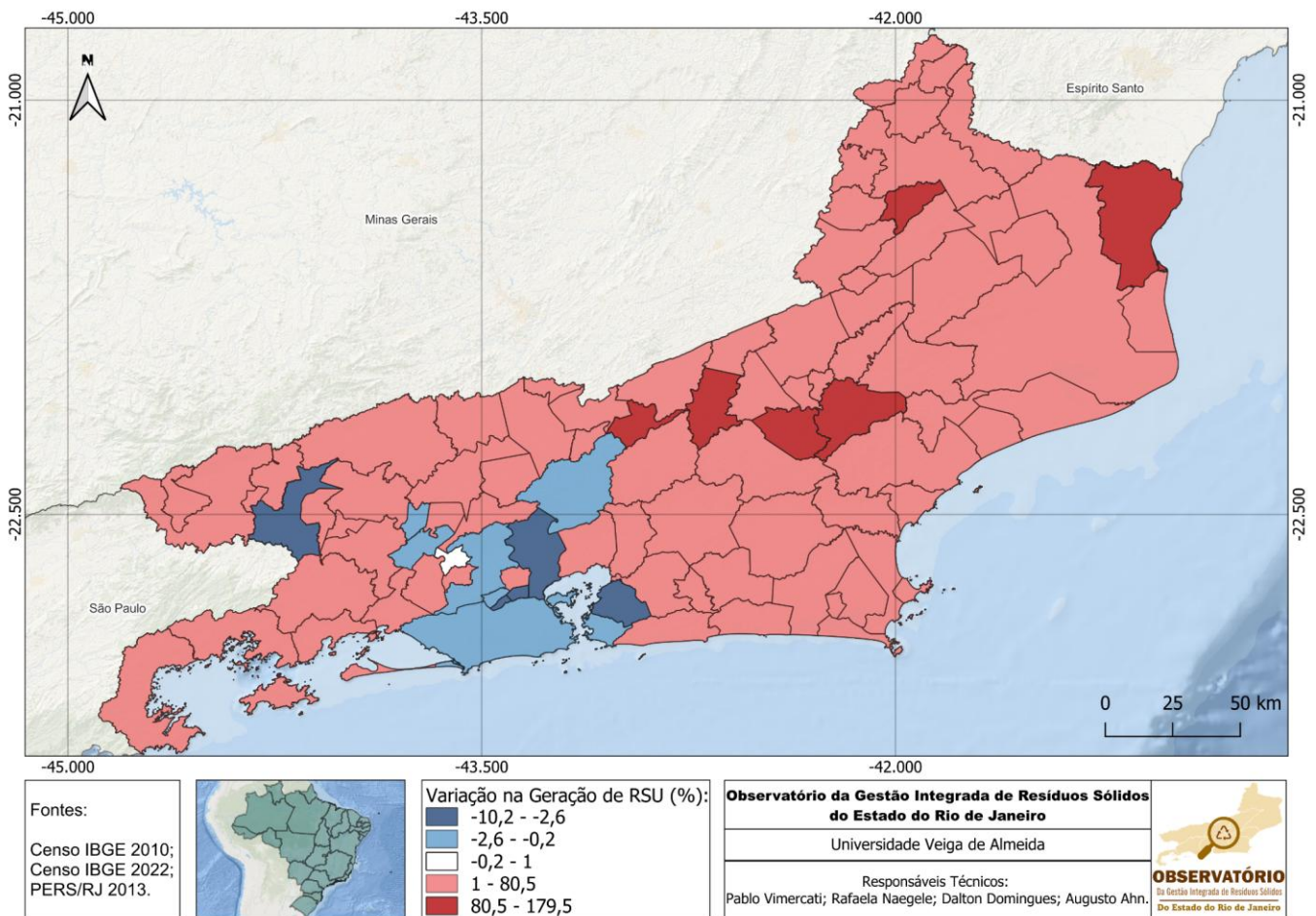
Foi possível observar através dos dados do Censo demográfico 2022, que ocorreu um aumento de 2,14% na geração diária de RSUs no ERJ. Esse incremento corresponde a um acréscimo absoluto de 362,55 toneladas de resíduos produzidos diariamente, em comparação com os dados oficiais do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, lançado em 2013 e baseado nos dados do Censo 2010 (Rio de Janeiro, 2013). Ao comparar esses dados com as informações fornecidas pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro (PERS/RJ) de 2013 e estudos conduzidos por Cunha e colaboradores em 2020, observa-se uma disparidade marcante. Enquanto o PERS/RJ indicava uma geração diária de 16.970,00 toneladas de RSUs para o ano de 2013, e Cunha e colaboradores apontavam 16.429,23 toneladas no mesmo período, os dados mais recentes demonstram um cenário de crescimento constante e preocupante. Atualmente, o ERJ está gerando uma média de 17.333,33 toneladas de resíduos por dia, um valor substancialmente superior aos registros anteriores. Esse aumento na geração de resíduos não apenas evidencia a necessidade de revisão e reforço das políticas de gestão de resíduos, mas também levanta questões sobre o consumo, a produção e o descarte de materiais na região (Rio de Janeiro, 2013; Cunha *et al.*, 2020).

Os dados obtidos revelam que a Região Metropolitana atualmente é responsável por 81,20% de todos os RSUs gerados no estado, demonstrando uma leve redução em comparação com a década anterior, quando representava 84,14%. Esta variação resultou em uma redução de 203,94 toneladas na geração diária de resíduos. Além disso, os números revelam uma média de geração de RSU em torno de 0,88 kg/dia por habitante na região metropolitana. No entanto, é importante destacar que essa média contrasta significativamente com os dados registrados no PERS/RJ, que apontavam uma média de 1,19 kg/dia por habitante, representando uma redução de 26,04%. Adicionalmente, em comparação com a taxa de geração estabelecida no Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMetGIRS), fixada em 1,17 kg/dia por habitante, verifica-se uma diferença de 24,79%. Apesar dessa redução, é importante ressaltar que a região metropolitana ainda enfrenta desafios consideráveis, com diversos municípios que carecem de infraestrutura adequada para lidar com a gestão eficaz de resíduos (Rio de Janeiro, 2013; EngConsult, 2023).

A variação significativa na quantidade de resíduos gerados por habitante entre os municípios metropolitanos revela a existência de diversas dinâmicas locais que exercem influência direta sobre a produção de resíduos. Por exemplo, o Rio de Janeiro lidera com uma média de 1,33 kg/dia por habitante, enquanto Tanguá registra apenas 0,63 kg/dia por habitante. Esta disparidade sugere que fatores como hábitos de consumo, infraestrutura de gestão de resíduos e políticas públicas podem desempenhar papéis significativos na determinação da quantidade de resíduos produzidos em cada localidade. Adicionalmente, mesmo entre municípios com características populacionais semelhantes, como Belford Roxo (1,12 kg/dia) e Niterói (0,98 kg/dia), são observadas disparidades na geração de resíduos por habitante, destacando a complexidade dos fatores que influenciam esse aspecto. Tais discrepâncias podem ser atribuídas a uma série de fatores, incluindo diferenças no desenvolvimento socioeconômico, na infraestrutura de coleta e na conscientização ambiental. Nesse sentido, a compreensão dessas nuances locais é essencial para o desenvolvimento de políticas de gestão de resíduos mais eficientes e adaptadas às realidades específicas de cada município (Engconsult, 2023).

É importante notar que houve mudanças significativas dentro da própria Região Metropolitana: cidades como Duque de Caxias, Nilópolis, Niterói, São Gonçalo, São João de Meriti e Rio de Janeiro experimentaram uma redução populacional superior a 1%, resultando em uma diminuição na geração diária de resíduos (Figura 1). Também pode-se destacar que somando-se os cinco municípios mais populosos do ERJ (Rio de Janeiro, São Gonçalo, Duque de Caxias, Nova Iguaçu e Niterói) foi demonstrada uma queda de 18,5% na geração de RSU em comparação com os valores encontrados há 12 anos.





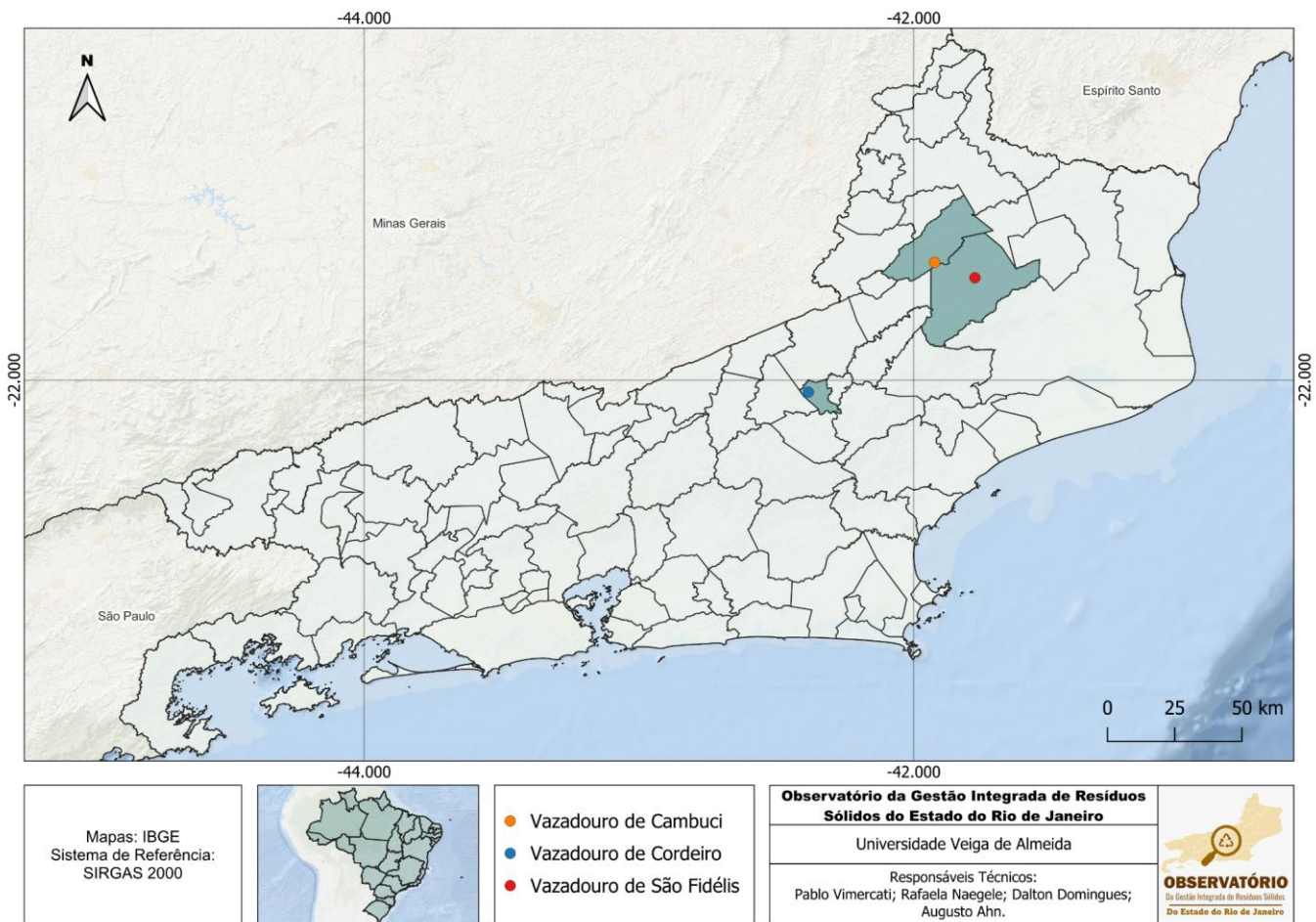
**Figura 1: Variação Percentual na Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado do Rio de Janeiro.**

Por outro lado, cidades com taxas de crescimento populacional acima de 1%, como Belford Roxo, Cachoeiras de Macacu, Guapimirim, Itaboraí, Itaguaí, Magé, Maricá, Queimados e Rio Bonito, apresentaram tendências opostas. Maricá, com o maior aumento populacional do estado (54,79%), viu um aumento significativo na geração diária de resíduos, saltando de 106,67 para 167,71 toneladas. Enquanto isso, a capital registrou uma queda de 145 toneladas na geração diária de RSU. Também foi possível verificar que aproximadamente 80% dos municípios do ERJ apresentaram uma variação entre 1% e 80,5% de aumento na geração de RSU (Figura 1), e conjuntamente pode-se verificar na figura 1 que 5,43% dos municípios do ERJ (São Gonçalo, Nilópolis, Duque de Caxias, São João de Meriti e Barra Mansa) apresentaram uma variação entre -10,2% e -2,6%.

Cabe destacar, também, a correlação direta entre o aumento da população urbana e o conseqüente aumento na quantidade de resíduos gerados. Por exemplo, municípios como Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto e São Francisco de Itabapoana testemunharam aumentos significativos tanto na população urbana quanto na quantidade estimada de resíduos. Em Sumidouro, por exemplo, onde a população urbana cresceu aproximadamente 179%, a quantidade estimada de resíduos aumentou na mesma proporção, 179,5%. O mesmo padrão é observado em São José do Vale do Rio Preto, com um aumento de cerca de 145% na população urbana e um aumento de 145,1% na quantidade de resíduos. Em Trajano de Moraes e São Francisco de Itabapoana, o crescimento populacional de aproximadamente 115% e 113% acompanhou um aumento notável de 115,7% e 113,6% na geração de resíduos, respectivamente. Esses dados sugerem que o crescimento populacional está diretamente ligado ao aumento na produção de resíduos, o que representa um desafio significativo para a gestão ambiental e a sustentabilidade das comunidades urbanas. Como as cidades continuam a se expandir e a atrair mais residentes, é crucial implementar políticas públicas eficazes de gestão de resíduos que possam lidar com esse crescimento e promover práticas sustentáveis de descarte e reciclagem.

Além disso, cabe salientar que diversas cidades do estado ainda enfrentam o desafio persistente da disposição inadequada de resíduos, mantendo lixões em atividade. Municípios como Cambuci, situados no Noroeste Fluminense, assim como Cordeiro e São Fidélis, têm experimentado um crescimento populacional notável ao longo dos anos, resultando em um aumento proporcional na geração e na disposição irregular de RSU. Esta situação contrasta diretamente com as metas estabelecidas no PERS/RJ, que visavam à erradicação dos lixões até o ano de 2014 (Rio de Janeiro, 2013). Os dados revelam um aumento significativo na produção de resíduos, com variações que chegam a 4,64% e 31,20% para cidades como Cordeiro e São Fidélis, respectivamente. Diante desse cenário, torna-se imperativo implementar intervenções eficazes em termos de gestão de resíduos nessas localidades, a fim de atenuar os impactos ambientais e de saúde pública decorrentes da disposição inadequada de resíduos.





**Figura 2: Localização Georreferenciada dos lixões ativos no Estado do Rio de Janeiro.**

Diante do panorama apresentado, torna-se evidente a necessidade de estratégias e políticas públicas abrangentes para lidar com o aumento contínuo na geração de RSU no estado do Rio de Janeiro. O incremento na população urbana de diversos municípios, como São José do Vale do Rio Preto e São Francisco de Itabapoana, acompanhou um aumento significativo na quantidade estimada de resíduos produzidos diariamente, refletindo um aumento proporcional na demanda por serviços de coleta e disposição adequada de resíduos. É fundamental que os governos municipais e estaduais trabalhem em conjunto para implementar medidas que não apenas abordem a gestão dos resíduos já gerados, mas também promovam a conscientização e a mudança de comportamento em relação ao consumo e ao descarte. Observa-se, além disso, uma disparidade entre o crescimento populacional e a capacidade de gestão de resíduos em algumas localidades, como Cambuci, Cordeiro e São Fidélis, onde o aumento populacional não foi acompanhado por um desenvolvimento equivalente em infraestrutura de gestão de resíduos. Isso resultou em uma elevação na geração e na disposição irregular de RSU, evidenciando a urgência de intervenções eficazes nessas áreas para mitigar os impactos ambientais e de saúde pública associados à disposição inadequada de resíduos. Por fim, a criação e aprimoramento de infraestrutura para a coleta seletiva, tratamento e disposição final adequada dos resíduos devem ser prioridades na agenda política e de desenvolvimento urbano.

### Comentários finais

A redução de 145 toneladas diárias na capital do estado não apenas possui um impacto positivo imediato na gestão de resíduos, ao beneficiar a eficiência da coleta e estender significativamente a vida útil do Aterro de Seropédica, único local apropriado para a disposição dos resíduos sólidos da região, mas também ressalta a necessidade urgente de medidas similares em outras áreas urbanas. Contudo, em cidades menores como Maricá, os desafios se apresentam em uma escala ainda maior, devido à escassez de aterros sanitários locais. Tal escassez resulta em custos substanciais de transporte e destinação dos resíduos para aterros privados ou consorciados, muitas vezes situados a longas distâncias, o que não apenas aumenta os custos financeiros, mas também contribui para a poluição e o impacto ambiental decorrente do transporte de resíduos em longas distâncias. Além disso, é importante destacar o cenário de alguns municípios do estado que ainda utilizam lixões ativos, como Cambuci, Cordeiro e São Fidélis. Nessas áreas, o aumento populacional tem contribuído para um crescimento significativo na geração diária de RSUs. Os dados indicam um incremento que varia de 4,64% a 31,20% na geração de resíduos para as cidades de Cordeiro e São Fidélis, respectivamente, exacerbando ainda mais os desafios já existentes em termos de gestão de resíduos e destacando a urgência de intervenções eficazes e sustentáveis.



O censo demográfico de 2022 também revela um aumento de 2,14% na geração de resíduos sólidos no estado do Rio de Janeiro ao longo de 12 anos, refletindo uma tendência preocupante e reforçando a necessidade de políticas e práticas de gestão de resíduos mais eficientes e sustentáveis. Esse crescimento na produção de resíduos sólidos representa um desafio significativo para as autoridades locais e a sociedade em geral, demandando investimentos substanciais em infraestrutura, educação ambiental e programas de reciclagem para lidar adequadamente com o aumento e mitigar seus impactos negativos no meio ambiente e na qualidade de vida das pessoas. Ademais, é de extrema necessidade integrar os dados mais recentes no PERS/RJ, pois este instrumento, diretamente ligado à PNRS, Lei Federal 12.305/2010, permite aos órgãos técnicos do Estado, empreendedores e cidadãos, o conhecimento do panorama atual e inclusive realizar o planejamento de ações visando atender às metas imediatas, de curto, médio e longo prazo para a gestão adequada dos resíduos gerados. A integração dos dados obtidos ao PERS/RJ ressalta sua importância na contribuição durante a elaboração de políticas públicas ambientais direcionadas para a gestão de resíduos, em conformidade com o que é preconizado pela PNRS.

### Referências Bibliográficas

ABREMA – Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2023.

BATISTA, M.; CAIADO, R.G.G.; QUELHAS, O.L.G.; LIMA, G.B.A.; LEAL Filho, W.; YPARRAGUIRRE, I.T.R. A framework for sustainable and integrated municipal solid waste management: Barriers and critical factors to developing countries. *Journal of Cleaner Production*, v. 312, n. 20, p. 1-14, 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos, altera a lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

CUNHA, C. E. S. C. P. DA.; RITTER, E.; FERREIRA, J. A. O uso de indicadores de desempenho na avaliação da qualidade operacional dos aterros sanitários do estado do Rio de Janeiro no triênio 2013-2015. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 25, n. 2, p. 345–360, mar. 2020.

ENGECONSULT Consultores Técnicos Ltda. Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMetGIRS): Diagnóstico Geral. Rio de Janeiro, 2023.

ENGECONSULT Consultores Técnicos Ltda. Plano Metropolitano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMetGIRS): Prognóstico Geral. Rio de Janeiro, 2023.

GALAVOTE, T. SENA, L. G, CALIXTO, L. M., DUTRA, R. M. de S, COIMBRA, T. C. CHAVES, G. de L. D. & SIMAN, R. R. (2023). Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 15, e20220108. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.015.020220108>.

NAEGELE, R; SOARES, R; CUNHA, C; SIMAS, P. V; MAESTÁ, B; SOUZA, F; PEREIRA, J; STANKEVICIUS, L; ALMEIDA, M; ROUÇAS, M; BRAGÉ, K. (2022). Efectos del lockdown de COVID-19 en el tratamiento de lixiviados de vertedero en el Estado de Río de Janeiro. 10.13140/RG.2.2.24120.01286/1.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado do Ambiente. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro. Relatório Síntese. 2013a.

SPOTI, T, B.; AMARAL, C. S. T. Os desafios da gestão de resíduos sólidos urbanos domésticos no Brasil. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 8712-8724. 2023.

VIMERCATI, P; NAEGELE, R; ROUÇAS, M; CUNHA, C; SOARES, R; KA, A; NETO, D. Avaliação da Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos Gerados no Estado de Rio de Janeiro em 2022. ISBN 978-90-833476-2-2.





# ELABORAÇÃO DE INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA NA PRODUÇÃO DE VINHOS TINTOS E BRANCOS EM UMA VINÍCOLA DA SERRA GAÚCHA

1Tiago Panizzon, 2Andressa Brandalise, 3Gregório Bircke Salton, 4Vania Elisabete Schneider, 5Matheus Poletto

1 Universidade de Caxias do Sul, e-mail: tpanizzo@ucs.br; 2 Universidade de Caxias do Sul, e-mail: abranda1@ucs.br; 3 Vinícola Salton, e-mail: gregorio.salton@salton.com.br; 4 Universidade Federal de Sergipe, Universidade Católica de Trujillo, e-mail: veschnei@ucs.br; 5 Universidade de Caxias do Sul, e-mail: mpoletto1@ucs.br

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida (ACV); Inventário do Ciclo de Vida (ICV); Vinicultura.

## Resumo

A agricultura, a silvicultura e outros usos da terra (ASOLT) foram responsáveis pela emissão de aproximadamente 12,5 toneladas de CO<sub>2</sub> eq/ano entre 2010 e 2019. Somente em 2019 o Brasil produziu 2,2 milhões de hectolitros de vinho, sendo o 18º maior produtor mundial. O estado do Rio Grande do Sul, por sua vez é o principal produtor nacional de vinhos, respondendo por mais de 90% da produção e 85% dos espumantes. Neste contexto, o presente estudo objetivou identificar os principais impactos ambientais decorrentes da vinificação, avaliando-se a etapa de Inventário do Ciclo de Vida, levando-se em conta duas categorias de produtos: vinho tinto e vinho branco. O estudo consiste em um ACV do tipo porta a porta (*gate-to-gate*), tendo como limites do sistema a chegada da uva na empresa até o final do processo de engarrafamento, utilizando como Unidade Funcional uma garrafa de vinho de 750 ml. Os critérios de alocação adotados foram baseados nos volumes totais de matérias-primas, água e energia, e estimada a participação destes em cada etapa do processo produtivo. O cenário escolhido para este estudo foi o Hierarquista do ReCiPe 2016. O vinho tinto possui como principais insumos, em massa, o CO<sub>2</sub>, o açúcar, o nitrogênio gasoso seguido pelas embalagens de papelão e de rolha. No caso do vinho branco, as principais adições em massa são o CO<sub>2</sub>, o nitrogênio gasoso e, em menor grau, o clarificante, seguidos igualmente pelas embalagens, com a rolha e especialmente as caixas de papelão. Em ambos os casos o consumo de energia elétrica obtido foi superior no vinho tinto, sendo que em ambos, em torno de 85% deste decorre do processo produtivo, com a menor parcela sendo referente à iluminação dos pavilhões. Os resultados do inventário mostram que os principais fluxos elementares das emissões para o ar são água, ar e compostos relativos ao carbono (CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>). As emissões para o solo estão representadas pelo dióxido de carbono incorporado ao solo e biomassa, além de micronutrientes como o cálcio, o silício e o ferro. As emissões para a água são compostas principalmente pelo sulfato, o cloreto, a demanda química de oxigênio e o sódio. O uso de recursos é influenciado pelo consumo de energia elétrica, que envolve água para turbina, energia potencial, volume de reservatório, cascalho, carvão e biomassa. De forma geral, os resultados deste estudo indicam que o vinho branco apresenta, neste caso específico, em sua maioria, características similares com os do vinho tinto, pelo menos no que diz respeito ao balanço de massa e ICV. Tal aspecto se deve ao fato de o processo produtivo de ambos os vinhos ser em sua maioria idêntico, com as maiores distinções relacionadas à prensagem e clarificação do vinho branco. Os resultados obtidos para o ICV foram comparados com Letamendi et al, o qual avaliou uma vinícola chilena, observando-se similaridades em duas das categorias (emissões no solo e na água), e em menor grau nas emissões no ar. As maiores diferenças foram observadas na categoria uso de recursos, com muitas das variações podendo ser atribuídas distinções nas matrizes energéticas, sendo complementada com outras particularidades, como o açúcar. Desta forma, os resultados deste estudo denotam que o vinho brasileiro e o vinho chileno possuem importantes similaridades, mas com distinções igualmente significativas, indicando a necessidade de cautela ao se avaliar estudos destes países concomitantemente. Em contrapartida, os resultados similares entre o vinho tinto e o vinho branco indicam uma potencial simplificação na análise de impactos destas duas categorias de produtos, os quais, num primeiro momento, podem ser tratados em conjunto para fins de avaliação de impactos ambientais.

## Introdução

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), a agricultura, a silvicultura e outros usos da terra (ASOLT) foram responsáveis por 14% das emissões de CO<sub>2</sub>, 41% das emissões de CH<sub>4</sub> e 69% das emissões de N<sub>2</sub>O originadas de atividades humanas, entre 2010 e 2019, somando cerca de 12,5 toneladas de CO<sub>2</sub> eq/ano. Esse valor corresponde a 21% de todas as emissões antropogênicas nesse período, demonstrando a importância dessa indústria na aceleração das mudanças climáticas (IPCC, 2022).

Nesse cenário, foi assinado o acordo de Paris, que tem como objetivo limitar o aquecimento médio global a no máximo 2°C, e idealmente até 1,5°C, em relação aos níveis antes da industrialização. O Brasil é um dos 164 países, entre os 191 que assinaram o Acordo de Paris, que se comprometeu a enfrentar as mudanças climáticas, tendo apresentado à Convenção do Clima da ONU sua Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC). Entre as iNDCs apresentadas, 87% delas abrangiam o setor agrícola, um aumento em comparação às iNDCs originalmente apresentadas em 2016, nas quais 75% mencionavam este setor (UNFCCC, 2021a).

O Brasil estabeleceu a meta de diminuir suas emissões em 37% até 2025 e em 43% até 2030, em comparação com 2005 (UNFCCC, 2021b). A política nacional para lidar com as mudanças climáticas iniciou com a Lei 12.187/09, que determinou





uma redução entre 36,1% e 38,9% nas emissões estimadas para 2020 (Brasil, 2009). Essa meta foi regulamentada pelo Decreto nº 9.578/18, que definiu as emissões para 2020 como sendo de 3.239 milhões de tonCO<sub>2eq</sub>, sendo 730 milhões de tonCO<sub>2eq</sub> (22,5%) provenientes da agropecuária e 234 milhões de tonCO<sub>2eq</sub> (7,2%) dos processos industriais e tratamento de resíduos (Brasil, 2018). O setor vitivinícola é um ator relevante da indústria alimentícia, com um mercado global previsto de US\$ 379,2 bilhões em 2022 (Reportlinker, 2023) e uma produção de 259 mhl de vinho para o mesmo ano (OIV 2023). Em 2019, o Brasil foi o 18º maior produtor de vinho do mundo, com 2,2 mhl produzidos (OIV, 2022). Nessa produção, o Rio Grande do Sul se destaca como o principal estado produtor, com mais de 90% dos vinhos e 85% dos espumantes nacionais, tendo a microrregião Caxias do Sul (MR Caxias do Sul) como a principal área de cultivo de uvas, com 79,7% das propriedades e 63% da área plantada em 2016 (Mello e Machado, 2017).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é uma das principais técnicas de avaliação de impacto ambiental, sendo considerada pela Comissão das Comunidades Europeias como sendo a ferramenta mais adequada para avaliação do potencial impacto ambiental de produtos (Comissão das Comunidades Europeias, 2013). Atualmente, a temática de ACV é regida essencialmente por duas normas ISO traduzidas para o português como ABNT NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009a) e ABNT NBR ISO 14.044 (ANBT, 2009b).

Na elaboração deste estudo, foram identificados 40 trabalhos no mundo relacionados à ACV na indústria vitivinícola publicados a partir de 2010, sendo a maior parte deles desenvolvidos na Itália (13), seguido pela Espanha (6), Estados Unidos (5) e Portugal (4). No entanto, não foram identificados trabalhos de desenvolvimento de Avaliação de Ciclo de Vida para processos de vitificação e/ou vinificação no Brasil, justificando a necessidade de estudos voltados ao tema. Neste sentido, Ruviano et al. (2012) alertam que estudos de ACV agrícolas precisam considerar as peculiaridades do país no qual está sendo aplicado.

Visando contribuir para preencher esta lacuna, desenvolveu-se uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para uma indústria produtora de vinho da Serra Gaúcha, avaliando os impactos decorrentes da produção do Vinho Tinto e do Vinho Branco sendo que neste trabalho explorou-se apenas a etapa de Inventário do Ciclo de Vida, sendo discutidos os valores de entrada e saída obtidos, bem como os resultados do Inventário por categoria de impacto.

### Material e Métodos

O grupo da vinícola analisada neste estudo conta com quatro unidades, sendo a matriz (foco deste estudo) situada no município de Bento Gonçalves/RS. No ano base 2020, referência deste estudo, a empresa comercializou 35,16 milhões de litros de produtos à base de uva, entre vinhos, espumantes e sucos. Neste trabalho, foram avaliadas duas categorias de produtos produzidos na unidade matriz: Vinho Tinto e Vinho Branco. Ressalta-se que os dados utilizados neste estudo foram fornecidos pela empresa alvo do mesmo.

No ano de 2020, foram utilizadas 13 variedades de uva para produção do vinho tinto, sendo a uva mais utilizada pela empresa a Cabernet Sauvignon (29,5%) seguida pela uva Merlot (25,6 %) e pela Tannat (15,7 %). No que diz respeito ao vinho tinto, 79,1% consistem em vinho tinto comum, 11% são compostos de vinho Tannat e 9,5 % por Vinho Merlot. Para a fabricação do vinho branco as duas principais uvas utilizadas foram a Chardonnay (33,1%) e a Moscato Giallo (30,2%), seguidas pela variedade Malbec (18%) e Malvasia (14,7%). Salienta-se, pois, que o vinho tinto e o vinho branco, alvos do estudo, não representam marcas específicas de vinho dentro da empresa, mas sim um produto virtual que possui características proporcionais aos insumos (tipos de uvas) que o compõem. Torna-se importante registrar ainda que não há diferenças significativas em termos de processos de produção entre os diferentes produtos vendidos dentro dos grupos alvo (vinho tinto e vinho branco), havendo apenas variações nas quantidades de matérias-primas utilizadas. As etapas do processo consideradas para os vinhos tinto e branco são listadas abaixo:

- Vinho tinto: Pesagem do veículo, descarregamento, desengace, tanque, fermentação, trasfega, estabilização, filtração, engarrafamento, embalagem e expedição.
- Vinho branco: Pesagem do veículo, descarregamento, desengace, prensagem, flotação, fermentação, trasfega, clarificação, 1ª filtração, estabilização, centrifugação, 2ª filtração, engarrafamento, embalagem e expedição.

Para este estudo, a Unidade Funcional foi adotada como sendo uma garrafa de vinho de 750 ml, valor usualmente adotado em ACVs relativos a esse tipo de produto. O estudo em questão consiste em um ACV do tipo porta a porta (*gate-to-gate*), tendo como limites do sistema o processo de vinificação, considerado a partir da chegada da uva na empresa até o final do processo de engarrafamento, incluindo EPIs e resíduos relacionados à manutenção. Não estão incluídos os processos relacionados à vitificação e o transporte das uvas até à empresa, assim como o transporte até o consumidor e os impactos relacionados ao seu uso e descarte.

Devido ao grande impacto ambiental causado na produção de garrafas de vidro (Ponstein, Meyer-Aurich e Prochnow, 2019), normalmente, esta é avaliada de forma separada nos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (Ferrara e Feo, 2018). Sendo assim, os resultados aqui apresentados não consideram o impacto gerado pela produção da garrafa de vidro, focando-se nos impactos gerados pelo processo produtivo.

Segundo Cherubini et al. (2022), o relatório de AICV deve indicar os critérios de alocação usados tanto para processos *foreground* quanto para processos *background*. Como a empresa deste estudo não possui sistema de monitoramento individualizado por processos ou por produtos, fez-se necessário realizar algumas suposições sobre os valores usados na modelagem. De modo geral, foram adotados os volumes totais de matérias-primas, água e energia, e estimada a participação destes em cada etapa do processo.



O consumo de eletricidade dos equipamentos elétricos foi calculado a partir de uma pesquisa com os funcionários que os operam, os quais estimaram o número médio de horas de uso de cada equipamento para cada etapa do processo e produtos. A potência dos equipamentos foi obtida dos dados dos equipamentos ou do manual do fabricante. Da mesma forma, o consumo de energia para iluminação foi calculado com a ajuda dos funcionários responsáveis através do número de lâmpadas em cada área (descarga, pavilhão industrial e expedição) e sua potência.

A proporção do consumo de eletricidade entre as linhas de produtos foi utilizada como critério de ponderação nos itens relacionados aos equipamentos, como o consumo de combustível diesel pelos geradores, o consumo de óleo lubrificante (novo e usado), sucata metálica (resultante da manutenção), resíduos perigosos e outros resíduos não perigosos.

A quantidade de água usada foi baseada no consumo total da empresa, distribuída proporcionalmente de acordo com a linha de produto. Essa quantidade incluiu o efluente líquido gerado (medido pela empresa), a água evaporada pelas torres de resfriamento (estimada pela capacidade dos equipamentos) e a água contida no lodo. O restante foi contabilizado como água perdida no processo. Para o lodo, 70% foi considerado como sendo parte líquida, valor este oriundo de análise laboratorial realizada pela empresa.

Como as emissões mudam muito dependendo do tipo de equipamento, características do combustível usado e operação do sistema, e nem todos os combustíveis possuíam dados equivalentes de combustão nas bases de ACV disponíveis, as emissões do gerador a diesel e da queima de gás natural em empilhadeiras foram normalizadas usando fatores de emissão de gases de efeito estufa do PBGHG PROTOCOL (2022).

O software OpenLCA versão 1.11 foi utilizado para gerar o Inventário do Ciclo de Vida (ICV). A principal fonte de *datasets* foi a base Ecoinvent 3.8, com dados adicionais da *Product Environmental Footprints* V2.0 e da *Agribalyse* 3.0.1. Desta forma, o uso de LCIs de outros países é uma limitação deste estudo. Hoje em dia, o único banco de dados de LCI nacional disponível é o SICV Brasil, que ainda está em desenvolvimento e possui somente 218 dados de inventário, um número muito inferior ao da Ecoinvent, que contava em sua versão mais recente com 18.000 dados de inventário (Ecoinvent, 2023).

Por fim, este estudo utilizou o método ReCiPe 2016, sendo optado pelo cenário Hierarquista, que é o mais usado para definir os fatores de caracterização no método, pois se baseia na probabilidade e no consenso científico dos fenômenos que ocorrem.

## Resultados e Discussão

Tendo como base os levantamentos e alocações discutidas nos Materiais e Métodos, na Tabela 1 estão apresentados os resultados do inventário do ciclo de vida, referente às entradas e saídas para o Vinho Tinto e Vinho Branco.

O vinho tinto recebe como principais insumos em massa o CO<sub>2</sub> (gás carbônico) (44,7 g/UF), o açúcar (32 g/UF) e o nitrogênio gasoso (30,1g/UF) seguidos das embalagens de papelão (27,8 g/UF) e da rolha (5,2 g/UF). Observou-se também a utilização de 0,028 un. de paletes de madeira por UF. O consumo de energia elétrica obtido foi de 3,04 MJ (0,844 kWh/UF), sendo que 84% derivados do processo produtivo e 16% da iluminação. Por fim, o consumo de água foi estimado em 5,9 L/UF.

Destaca-se que a maior parte do uso e do consumo (incorporação) de água na produção do vinho acontece em etapas anteriores ao processo produtivo, principalmente relacionadas à irrigação das uvas (Bonamente et al, 2016), as quais não estão incluídas no escopo deste estudo.

Quanto aos produtos, o bagaço (147 g/UF) consiste na quantidade mais expressiva, seguido pelos resíduos não perigosos (110 g/UF). Em menor quantidade, observa-se a liberação de CO<sub>2</sub> biogênico (65 g/UF), e nitrogênio gasoso (30 g/UF). Destaca-se também a formação de 59,71 g/UF de lodo de ETE, sendo 17,9 g/UF de lodo seco e 41,8 g/UF de água no lodo.

Em relação ao volume de água, 2,7 L/UF são convertidos em efluentes, 1,9 L/UF são perdidos no decorrer do sistema e 1,1 l/UF transformam-se em vapor, havendo ainda 42 g/UF as quais fazem parte do lodo da ETE, citados anteriormente.



**Tabela 1: Inventário do Ciclo de vida: entradas e saídas adotadas para o Vinho Tinto**

Fluxo Entrada	Quant.	Unid.	Fluxo Saída	Quant.	Unid.
Ácido tartárico	2,38E-03	kg	<b>Bagaço</b>	1,47E-01	kg
Açúcar	3,20E-02	kg	<b>Engaço</b>	7,57E-03	kg
Amônia	3,30E-06	kg	<b>Gás: Amônia</b>	1,40E-06	kg
Anidrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> )	4,04E-03	kg	<b>Gás: CH<sub>4</sub></b>	2,94E-06	kg
Bactéria láctica	2,21E-05	kg	<b>Gás: CO<sub>2</sub> (Biogênico)</b>	6,45E-02	kg
Bentonita	3,20E-04	kg	<b>Gás: CO<sub>2</sub> (Fóssil)</b>	1,89E-03	kg
Cápsula metálica	1,00E-03	kg	<b>Gás: N<sub>2</sub></b>	3,01E-02	kg
Clarificante	9,00E-04	kg	<b>Gás: N<sub>2</sub>O</b>	1,03E-08	kg
Carboximetilcelulose	3,76E-05	kg	<b>Lodo Umidade</b>	4,18E-02	kg
CO <sub>2</sub> (gás)	4,47E-02	kg	<b>Óleo Lubrificante Usado</b>	1,00E-04	kg
<b>Diesel</b>	1,29E-07	kg	<b>Resíduo de Madeira</b>	2,77E-03	kg
<b>Enzimas</b>	2,10E-04	kg	<b>Resíduo Perigoso</b>	1,49E-03	kg
<b>GLP</b>	1,01E-03	kg	<b>Resíduo Vidro</b>	2,24E-03	kg
<b>Goma arábica</b>	6,40E-04	kg	<b>Resíduos Metálicos</b>	4,50E-04	kg
<b>Leveduras</b>	1,80E-04	kg	<b>Resíduos, outros não perigosos</b>	1,10E-01	kg
<b>Materiais Metálicos</b>	4,51E-04	kg	<b>Terra Diatomácea Usada</b>	5,70E-04	kg
<b>N<sub>2</sub> (gás)</b>	3,01E-02	kg	<b>Lodo ETE</b>	1,79E-02	kg
<b>Natural Cork (rolha)</b>	5,15E-03	kg	<b>Resíduos Papel/Papelão</b>	2,15E-03	kg
<b>Nutrientes</b>	1,62E-03	kg	<b>Resíduos Plásticos</b>	1,59E-03	kg
<b>Óleo Lubrificante</b>	1,00E-04	kg	<b>Água (perdas)</b>	1,87E-03	m <sup>3</sup>
<b>Papel (Rótulos)</b>	1,46E-03	kg	<b>Água (vapor)</b>	1,06E-03	m <sup>3</sup>
<b>Papelão (Caixa)</b>	2,78E-02	kg	<b>Efluente</b>	2,70E-03	m <sup>3</sup>
<b>Sorbato de potássio</b>	2,48E-05	kg	<b>Óleo Lubrificante Embalagem</b>	1,67E-03	unid.
<b>Tanino</b>	9,43E-06	kg	-	-	-
<b>Terra Diatomácea</b>	5,70E-04	kg	-	-	-
<b>Água</b>	5,85E-03	m <sup>3</sup>	-	-	-
<b>Energia Elétrica: Equipamentos</b>	2,63E+00	MJ	-	-	-
<b>Energia Elétrica: Iluminação</b>	4,03E-01	MJ	-	-	-
<b>Paletes</b>	2,77E-03	un.	-	-	-

Fonte: Elaborado pelos Autores

Na Tabela 2 estão apresentados os parâmetros e valores adotados como entradas e saídas para a Avaliação do Ciclo de Vida do Vinho Branco.





**Tabela 2: Inventário do Ciclo de Vida: entradas e saídas adotadas para o Vinho Branco**

Fluxo Entrada	Quant.	Unid.	Fluxo Saída	Quant.	Unid.
Açúcar	2,74E-02	kg	Bagaço	1,77E-02	kg
Amônia	3,44E-06	kg	Engaço	5,89E-03	kg
Bentonita	2,77E-03	kg	Gás: Amônia	3,44E-06	kg
Cápsula metálica	9,20E-04	kg	Gás: CH <sub>4</sub>	3,80E-06	kg
Clarificante	7,85E-03	kg	Gás: CO <sub>2</sub> (Biogênico)	2,75E-01	kg
CO <sub>2</sub> (gás)	6,27E-02	kg	Gás: CO <sub>2</sub> (Fóssil)	6,27E-02	kg
Diesel	2,95E-08	kg	Gás: N <sub>2</sub>	1,88E-03	m <sup>3</sup>
Enzimas	6,00E-04	kg	Gás: N <sub>2</sub> O	1,03E-08	kg
GLP	1,02E-03	kg	Lodo Umidade	4,57E-02	kg
Leveduras	2,60E-04	kg	Óleo Lubrificante	8,32E-07	kg
Materiais metálicos	3,06E-04	kg	Embalagem		
			Óleo Lubrificante Usado	6,83E-05	kg
N <sub>2</sub> (gás)	4,22E-02	kg	Resíduo de Madeira	2,77E-03	kg
Natural Cork (Rolha)	5,03E-03	kg	Resíduo Perigoso	8,40E-04	kg
Nutrientes	2,27E-03	kg	Resíduo Vidro	2,24E-03	kg
Óleo Lubrificante	6,89E-05	kg	Resíduos Metálicos	3,10E-04	kg
Papel (Rótulos)	9,40E-04	kg	Resíduos, outros não perigosos	1,28E-01	kg
Papelão (Caixa)	2,58E-02	kg	Terra Diatomácea Usada	2,76E-03	kg
Tanino	3,55E-06	kg	Lodo ETE	1,96E-02	kg
Terra Diatomácea	1,05E-03	kg	Resíduos Papel/Papelão	2,15E-03	kg
Água	6,73E-03	m <sup>3</sup>	Resíduos Plásticos	1,59E-03	kg
Energia Elétrica: Equipamentos	1,79E+00	MJ	Água (perdas)	2,41E-03	m <sup>3</sup>
Energia Elétrica: Iluminação	2,74E-01	MJ	Água (vapor)	9,90E-04	m <sup>3</sup>
Paletes	2,77E-03	un.	Efluente	3,17E-03	m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pelos Autores

O vinho branco apresentou, em geral, resultados parecidos com os do vinho tinto no balanço de massa. As principais adições em massa são o CO<sub>2</sub> (63 g/UF), o nitrogênio gasoso (42 g/UF) e, em menor grau, o clarificante (8 g/UF). As embalagens também possuem um peso importante nas entradas do vinho branco, especialmente a caixa de papelão (26 g/UF), seguido pela rolha (8 g/UF) e os rótulos (1 g/UF). Assim como no vinho tinto, verificou-se que são necessários 0,028 un. de paletes de madeira por UF. O consumo de água por UF produzida foi de 6,7 L, sendo superior ao do vinho tinto. O gasto de energia elétrica foi de 2,066 MJ/UF (0,57 kWh/UF), sendo que 87% foram usados no processo produtivo e 13% na iluminação.

Quanto às saídas, destacam-se o CO<sub>2</sub> biogênico e fóssil liberados (275 g<sup>Biogênico</sup>/UF e 63 g<sup>Fóssil</sup>/UF), além dos resíduos não perigosos (128 g/UF). Também se nota uma quantidade significativa de bagaço (18 g/UF) e engaço (6 g/UF). Sobre as emissões de efluentes líquidos, 19,6 g /UF consistem em Lodo Seco da ETE, 46 g/UF são a umidade do lodo, 3 L/UF são efluentes, 2 L/UF são perdas e 0,99 L/UF são vapor de água.

Os resultados do inventário, obtidos pelo método Recipe 2016 para as emissões para o ar, solo, água e uso de recursos, são apresentados na Tabela 3. Esses resultados foram comparados com os de Letamendi et al. (2022), que desenvolveram um estudo para a maior produtora de vinhos do Chile usando o mesmo método (Recipe 2016, Hierárquico) e unidade funcional (750 ml), para a etapa de vinificação. Assim, foi possível, com algumas ressalvas, fazer uma comparação entre os estudos. A Tabela 3 apresenta os 10 principais fluxos elementares das emissões para o ar.



**Tabela 3: Inventário do Ciclo de Vida: Emissões para o ar**

Vinho Tinto			Vinho Branco			Letamendi et al. (2022)		
Fluxo elementar	Valor	Un	Fluxo elementar	Valor	Un	Fluxo elementar	Valor	Un
Vapor de água	1,32E+00	kg	Vapor de água	1,02E+00	kg	Dióxido de carbono, fóssil	1,23E-01	kg
Ar, utilizado	1,19E+00	kg	Ar, utilizado	9,16E-01	kg	Dióxido de carbono, biogênico	1,56E-03	kg
Dióxido de carbono (biogênico)	1,20E+00	kg	Dióxido de carbono (biogênico)	1,15E+00	kg	Partículas, <2,5 um	1,42E-03	kg
Água evapotranspiração	5,88E-01	kg	Água evapotranspiração	4,63E-01	kg	Óxidos de nitrogênio	5,70E-04	kg
Dióxido de carbono (fóssil)	1,92E-01	kg	Dióxido de carbono (fóssil)	2,05E-01	kg	Dióxido de enxofre	4,65E-04	kg
Água	4,37E-02	kg	Água	4,81E-02	kg	Partículas, > 10 um	2,02E-04	kg
Dióxido de carbono (transformação do solo)	3,15E-02	kg	Nitrogênio	4,23E-02	kg	Metano, fóssil	1,25E-04	kg
Nitrogênio	3,01E-02	kg	Dióxido de carbono (transformação do solo)	2,39E-02	kg	Monóxido de carbono, fóssil	7,36E-05	kg
Monóxido de carbono (biogênico)	4,61E-03	kg	Monóxido de carbono (biogênico)	3,96E-03	kg	Dióxido de carbono, transformação da terra	5,69E-05	kg
Metano (fóssil)	2,07E-03	kg	Metano (fóssil)	1,58E-03	kg	Amônia	9,65E-06	kg

**Fonte: Elaborado pelos Autores**

Observou-se que o vinho branco e o vinho tinto obtiveram resultados semelhantes, aspecto observado em todas as quatro classes de inventário analisadas. Em relação às emissões para o ar, as maiores quantidades de massa estão relacionadas ao vapor de água, ar (utilizado na compostagem), dióxido de carbono biogênico e água de evapotranspiração. Importante destacar que emissões relativas à carbono aparecem cinco vezes (CO<sub>2</sub> biogênico, CO<sub>2</sub> fóssil, CO<sub>2</sub> transf. solo, CO Biogênico e CH<sub>4</sub>), denotando a relevância desse grupo.

Estes valores diferem parcialmente dos encontrados por Letamendi et al. (2022), nos quais predominam emissões relativas à queima de combustíveis fósseis, como CO<sub>2</sub>, material particulado e compostos à base de nitrogênio e enxofre. Tal situação pode ser atribuída, principalmente, às diferenças nos sistemas elétricos entre os dois países (Brasil e Chile), sendo que a fração elevada de vapor de água neste estudo pode ser explicada em sua maioria pela água evaporada nas torres de resfriamento. No entanto, é importante destacar que a principal emissão de Letamendi et al., dióxido de carbono fóssil, apresentou uma quantidade semelhante a estimada neste estudo, apesar de se encontrar em uma posição diferente.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados do inventário obtidos para as emissões para o solo.



**Tabela 4: Inventário do Ciclo de Vida: Emissões para o solo**

Vinho Tinto			Vinho Branco			Letamendi et al. (2022)		
Fluxo elementar	Valor	Un	Fluxo elementar	Valor	Un	Fluxo elementar	Valor	Unid.
Dióxido de carbono (para solo ou biomassa)	1,02E-02	kg	Dióxido de carbono (para solo ou biomassa)	0,0075622	kg	Óleos, não especificados	2,73E-05	kg
Silício	5,06E-05	kg	Silício	4,911E-05	kg	Dióxido de carbono	4,32E-06	kg
Cálcio	4,51E-05	kg	Ferro	3,93E-05	kg	Carbono	3,07E-06	kg
Ferro	3,57E-05	kg	Cálcio	3,916E-05	kg	Cálcio	2,03E-06	kg
Óleos, não especificados	2,97E-05	kg	Óleos, não especificados	2,837E-05	kg	Ferro	1,98E-06	kg
Óleo mineral	1,48E-05	kg	Óleo mineral	1,268E-05	kg	Cloreto	1,43E-06	kg
Fipronil	1,12E-05	kg	Alumínio	1,071E-05	kg	Silício	1,06E-06	kg
Alumínio	1,07E-05	kg	Fipronil	9,576E-06	kg	Alumínio	6,80E-07	kg
Sódio	7,93E-06	kg	Sódio	7,6E-06	kg	Sódio	6,49E-07	kg
Carbono	6,11E-05	kg	Carbono	6,627E-05	kg	Calor, desperdício	2,08E-05	MJ

Fonte: Elaborado pelos Autores

Novamente, verifica-se similaridade nas emissões para o solo dos vinhos tinto e branco. Nesse aspecto, o valor mais alto observado foi para o dióxido de carbono para o solo/biomassa, o qual vem da produção de açúcar e de eletricidade. Outros elementos importantes identificados são as emissões de cálcio, silício e ferro. Em quantidade similar, foram observadas a emissão de óleos (mineral e não especificados), Fipronil (da produção do açúcar), alumínio e sódio.

O inventário de emissões para o solo mostrou uma maior similaridade com os resultados de Letamendi et al. (2022), que também apontaram a relevância de substâncias como óleo, carbono, cálcio, ferro e silício, mas com uma variação na ordem e nos valores, em relação ao observado neste estudo. Na Tabela 5 estão apresentados os resultados das emissões para a água.

**Tabela 5: Inventário do Ciclo de Vida - Emissões para a água**

Vinho Tinto			Vinho Branco			Letamendi et al. (2022)		
Fluxo elementar	Valor	Un	Fluxo elementar	Valor	Un	Fluxo elementar	Valor	Un
Sulfato	4,61E-03	kg	Sulfato	4,66E-03	kg	Sulfato	5,67E+00	g
Cloreto	4,58E-03	kg	Cloreto	4,16E-03	kg	Silício	1,55E+00	g
Sódio, íon	2,40E-03	kg	Sódio, íon	2,21E-03	kg	Cálcio	1,33E+00	g
DQO	1,83E-03	kg	DQO	1,85E-03	kg	Sódio	9,53E-01	g
Cálcio, íon	1,58E-03	kg	Cálcio, íon	1,59E-03	kg	Cloreto	9,10E-01	g
COD (carbono orgânico dissolvido)	1,54E-03	kg	COD (carbono orgânico dissolvido)	1,55E-03	kg	Sólidos suspensos, não especificados	3,07E-01	g
COT (carbono orgânico total)	1,53E-03	kg	COT (carbono orgânico total)	1,54E-03	kg	Ferro	2,99E-01	g
Silício	1,41E-03	kg	Silício	1,40E-03	kg	DQO, Demanda Química de Oxigênio	1,22E-01	g
Nitrato	1,39E-03	kg	Nitrato	1,27E-03	kg	DBO5, Demanda Biológica de Oxigênio	7,05E-02	g

Fonte: Elaborado pelos Autores

Igualmente, neste aspecto, os vinhos tinto e branco apresentam resultados semelhantes. No que diz respeito às emissões para a água, os maiores valores observados em termos de massa consistem em sulfato, cloreto, sódio e a DQO, que têm como principais fontes a eletricidade, além do cálcio, carbono (dissolvido e total), silício, nitrato e sulfato.

Assim como para as emissões ao solo, os resultados obtidos por Letamendi et al. (2022) mostraram-se similaridades ao





deste estudo, apesar de variarem em ordem/magnitude. Os autores também identificaram elementos como sulfato, sódio, cloreto e DQO, mas parâmetros como DBO, nitrato e ferro, que estavam entre os 10 primeiros no estudo de Letamendi et. al (2022), neste estudo ocupam posições mais baixas, por isso não aparecem na Tabela 5. Na Tabela 6 estão apresentados os resultados relativos ao Uso de Recursos.

**Tabela 6: Inventário do Ciclo de Vida – Uso de recursos**

Vinho Tinto			Vinho Branco			Letamendi et al. (2022)		
Fluxo elementar	Valor	Un	Fluxo elementar	Valor	Un	Fluxo elementar	Valor	Un
Energia, potencial (em reservatório de hidrelétrica)	2,78E+00	MJ	Energia, valor calorífico bruto, em biomassa	1,99E+00	MJ	Água, uso de turbina, origem natural não especificada, CL	2,77E+00	m <sup>3</sup>
Energia, valor calorífico bruto, em biomassa	2,44E+00	MJ	Energia, potencial (em reservatório de hidrelétrica)	1,92E+00	MJ	Energia, potencial (em reservatório hidrelétrico), convertida	2,41E-01	MJ
Água, uso de turbina, origem natural não especificada	7,68E+00	m <sup>3</sup>	Água, uso de turbina, origem natural não especificada	5,47E+00	m <sup>3</sup>	Ocupação, áreas urbanas, verdes	1,55E-01	m <sup>2</sup> a
Gás, natural	2,00E-02	m <sup>3</sup>	Gás, natural	1,93E-02	m <sup>3</sup>	Carvão, duro	5,01E-02	kg
Ar	9,71E-01	kg	Ar	7,51E-01	kg	Energia, poder calorífico bruto, em biomassa	4,73E-02	MJ
dióxido de carbono	2,41E-01	kg	dióxido de carbono	1,94E-01	kg	Energia, solar, convertida	4,08E-02	MJ
Ocupação, cultivo permanente, videira	3,20E-02	m <sup>2</sup> .a	Brita	3,60E-02	kg	Energia cinética (no vento), convertida	2,66E-02	MJ
Ocupação, floresta, intensiva, normal	2,18E-02	m <sup>2</sup> .a	Ocupação, cultivo permanente, vinha	2,37E-02	m <sup>2</sup> .a	Água, uso de turbinas, origem natural não especificada, RoW	2,46E-02	m <sup>3</sup>
Ocupação, arável, não irrigado, intensivo	2,16E-02	m <sup>2</sup> .a	Ocupação, floresta, intensiva, normal	2,05E-02	m <sup>2</sup> .a	Água, uso de turbina, origem natural não especificada, CN	2,13E-02	m <sup>3</sup>
Ocupação, cultivo permanente, fruta	1,48E-02	m <sup>2</sup> .a	Ocupação, arável, não irrigado, intensivo	1,88E-02	m <sup>2</sup> .a	Cascalho	1,35E-02	kg

Fonte: Elaborado pelos Autores

No que diz respeito ao uso de recursos, ressalta-se que neste item estão apresentados resultados em termos de energia, volume, massa e área ocupada. Em relação à energia, as duas mais significativas dizem respeito à hidroeletricidade e biomassa, sendo ambas relacionadas à matriz elétrica brasileira, porém, no caso da biomassa, explicada também pela produção do açúcar. A matriz elétrica também explica os resultados volumétricos (água em turbina e gás natural). Em termos mássicos, os dois mais significativos foram ar (devido à compostagem) e dióxido de carbono (açúcar e eletricidade). Por fim, o uso de recursos em termos de área teve como destaque as ocupações relativas a florestas, de plantio intensivo e de frutas/vinhas.

Dentre as quatro classes avaliadas, o uso de recursos apresentou a maior diferença em relação ao observado por Letamendi et al. (2022) no Chile. Em especial, destaca-se a presença de ocupação de áreas urbanas e o uso de energia solar e carvão. Considerando os impactos para os quatro eixos analisados, os resultados do inventário encontrados mostraram em sua maioria similares com os observados por Letamendi et al. (2022) no Chile, apontando para uma semelhança nos tipos de impactos mais importantes na produção de vinho tanto no Brasil quanto no Chile, porém, sinalizando particularidades da produção cada país.

### Considerações finais

De forma geral, os resultados deste estudo indicam que o vinho branco apresentou, em sua maioria, características similares com os do vinho tinto, pelo menos no que diz respeito ao balanço de massa. Tal aspecto se deve ao fato de o processo produtivo de ambos os vinhos ser em sua maioria idêntico, com as maiores distinções relacionadas à prensagem e clarificação do vinho branco.

Verificou-se que o vinho tinto possui como principais insumos em massa o gás carbônico, o açúcar, o nitrogênio gasoso seguido pelas embalagens de papelão e de rolha. No caso do vinho branco, as principais adições em massa são o CO<sub>2</sub> o nitrogênio gasoso e, em menor grau, o clarificante, as embalagens, especialmente a caixa de papelão e depois a rolha. Ressalta-se que neste estudo



não foi avaliado o impacto da garrafa de vidro. O consumo de energia elétrica obtido foi superior no vinho tinto, sendo que em ambos, em torno de 85% do consumo decorre do processo produtivo, com a menor parcela sendo referente à iluminação dos pavilhões.

No que diz respeito ao inventário do ciclo de vida, não só se observaram resultados similares entre o vinho tinto e o vinho branco para as quatro categorias avaliadas (emissões para o ar, solo e água, e uso de recursos), mas também se verificou uma semelhança elevada com os resultados obtidos por Letamendi et al. (2022) no Chile, em especial para solo e água, indicando similaridades nos impactos ambientais do vinho brasileiro com o vinho chileno, porém, com particularidades individuais.

Sendo assim, os resultados obtidos neste estudo indicam a possibilidade de tratamento similar no vinho tinto e no vinho branco em termos de ACV, bem como a possibilidade de consideração de outros estudos desenvolvidos na América Latina, em especial no Chile, para fins de avaliação de impactos ambientais do processo de viticultura brasileiro. Porém, torna-se importante ressaltar que os resultados deste estudo dizem respeito somente à etapa de ICV, e estando restritos a uma vinícola brasileira, devendo os resultados aqui obtidos serem tratados dentro destas limitações.

Sendo assim, os resultados observados representam um importante ponto de partida para a organização desse setor em relação às questões ambientais, especialmente ao se considerar que, muito embora o Brasil seja o 15º maior produtor mundial, há uma grande carência de estudos e certificações ambientais relacionadas ao vinho brasileiro.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Vinícola Salton e ao ISAM/UCS pelas contribuições para este trabalho.

### Referências Bibliográficas

ABNT. ABNT NBR ISO 14.040. Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. 2ª Ed. 2009a.

\_\_\_\_\_. ABNT NBR ISO 14.044. Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. 1ª Ed. 2009b.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília. 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm). Acesso em: 26 abr. 2022.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. Communication from the commission to the council and the european parliament. Integrated Product Policy - Building on Environmental Life-Cycle Thinking. Bruxelas. 2013.

ECOINVENT. Ecoinvent 3.8. 2022. Disponível em: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-8/#1610466712069-fcebe4bb-f8021632217981603>. Acesso em: 26 abr. 2022.

FERRARA, C.; DE FEO, G. Life Cycle Assessment Application to the Wine Sector: A Critical Review. Sustainability, 10. 2018. DOI: 10.3390/su10020395

GHG PROTOCOLO BRASIL. Ferramenta GHG Protocolo. 2021. Disponível em: <http://ferramenta.ghgprotocolbrasil.com.br/index.php?r=site/ferramenta>. Acesso em: 26 abr. 2022.

IPCC. Climate Change and Land - An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems - Summary for Policymakers. 2020. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM\\_Updated-Jan20.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM_Updated-Jan20.pdf). Acesso em: 26 abr. 2022.

LETAMENDI, J.; SEVIGNE-ITOIZ, E.; MWABONJE, O. Environmental impact analysis of a Chilean organic wine through a life cycle assessment. Journal of Cleaner Production, Volume 371, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133368>.

MELLO, L. M.; MACHADO, C. A. Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul - 2013 a 2015. Embrapa. 2017. Disponível em: <http://www.cnpqv.embrapa.br/cadastro-viticola/rs-2013-2015/dados/obraCompleta.html>. Acesso em: 26 abr. 2022.

OIV. Statistics. 2023a. Disponível em: <https://www.oiv.int/what-we-do/statistics>. Acesso em: 04 nov. 2023a.

OIV. World Wine Production Outlook - OIV First Estimates – 31/10/2022. 2022. Disponível em: [https://oiv.int/sites/default/files/documents/EN\\_OIV\\_2022\\_World\\_Wine\\_Production\\_Outlook.pdf](https://oiv.int/sites/default/files/documents/EN_OIV_2022_World_Wine_Production_Outlook.pdf). Acesso em: 04 nov. 2022.

REPORTLINKER. Global Wine Industry. 2023. Disponível em: <https://www.reportlinker.com/p05010580/Global-Wine-Industry.html>. Acesso em: 04 nov. 2023.

RUVIARO, C. F.; GIANEZINI, M.; BRANDÃO, F. S.; WINCK, C. A.; DEWES, H. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. Journal of Cleaner Production, 28, 9–24. 2012. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.10.015

UNFCCC. Brazil's Nationally Determined Contribution (NDC). 2021b. Disponível em:



[https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20\(Updated%20submission\).pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20(Updated%20submission).pdf). Acesso em: 26 abr. 2022.

UNFCCC. Nationally determined contributions under the Paris Agreement - Synthesis report by the secretariat. 2021a. Disponível em: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021\\_08\\_adv\\_1.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_08_adv_1.pdf). Acesso em: 26 abr. 2022





## DIREITOS HUMANOS À ÁGUA E AO ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM UNIDADES BÁSICAS DE SAÚDE EM FRANCISCO BELTRÃO-PR

1Karla Cassiani Antunes Varela, 2Carin Andressa Paloschi, 3Kathlen Neres da Cunha, 4Aline Beloque Lopes, 5Rafael Alves Fernandez, 6Izabelle Cunha Braga Soares, 7Priscila Soraia da Conceição.

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: cassianivarella@gmail.com; 2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: carinpaloschi19@gmail.com; 3 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: kathlenneres@alunos.utfpr.edu.br; 4 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: alinebeloque@alunos.utfpr.edu.br; 5 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: fernandez@alunos.utfpr.edu.br; 6 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: izabellesoares@alunos.utfpr.edu.br; 7 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: priscilas@utfpr.edu.br

**Palavras-chave:** ODS 6; Acesso à água em locais além do domicílio; Banheiros públicos.

### Resumo

O acesso à água e ao esgotamento sanitário é um direito humano essencial, reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU). Os direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário (DHAES) possuem critérios normativos para o seu cumprimento, sendo eles “disponibilidade, acessibilidade física, acessibilidade financeira, qualidade e segurança, e dignidade, aceitabilidade e privacidade” (UN, 2011). O Brasil, como membro da ONU, se comprometeu a garantir esse direito a todos, sem discriminação, alinhando-se ao ODS 6 e a legislação nacional. A disponibilidade adequada de água e esgotamento também deve ser garantida em locais fora do domicílio, uma possível solução para isso é através da disponibilidade de bebedouros e banheiros públicos. Em meio aos locais além do domicílio que precisam dar acesso a esses direitos estão as unidades básicas de saúde (UBS), instalações de atenção básica à saúde, estas têm entre seus usuários pessoas doentes, idosas, com deficiência e gestantes, logo a garantia ao acesso aos direitos expostos é fundamental. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a questão dos direitos humanos à água e a disponibilidades de banheiros em unidades básicas de saúde de Francisco Beltrão, com base nos conteúdos normativos da Portaria nº 2.488, de 2011, do Ministério da Saúde. Para cumprir com o objetivo proposto, foi realizada uma pesquisa do tipo quantitativa e exploratória, executada em quatro UBS - Alvorada, Industrial, Seminário e Vila Nova - do perímetro urbano de Francisco Beltrão, em outubro de 2023. Foi desenvolvido um *checklist*, com vinte e uma questões, dividido em dois tópicos principais, sendo eles: água e banheiro. Para a construção das perguntas, presentes no *checklist*, considerou-se os critérios normativos dos DHAES e a NBR 9050, de 2020 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Para o enquadramento dos resultados obtidos, desenvolveu-se um sistema de classes dividido em: excelente, bom, razoável e ruim. A pesquisa obteve como resultado geral, para cada unidade de saúde, os seguintes percentuais: Alvorada com 84,6%, Industrial com 94,2%, Seminário e Vila Nova com 93,2%. Referente à disponibilidade de água e banheiro, todas as UBS atenderam este princípio, conflitando com os resultados obtidos em outros países subdesenvolvidos, conforme aponta a pesquisa da Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2015). A acessibilidade física nos banheiros das unidades, foi o critério onde encontrou-se mais incoerências, apenas uma unidade de saúde apresentou banheiro exclusivo para pessoa com deficiência (PcD), sendo que as outras três unidades de saúde estudadas não seguem as recomendações do Manual de Estrutura Física das Unidades Básicas de Saúde (Ministério da Saúde, 2008). Nenhuma das unidades de saúde seguem todas as medidas estabelecidas pela NBR 9050/2020. O Decreto nº 3.298 garante direitos básicos a pessoas com deficiência, incluindo saúde e acesso a edificações públicas, porém, inadequações podem dificultar o uso por essas pessoas, violando o Decreto e o princípio de “Acessibilidade Física”. Notou-se na unidade Alvorada, em ambos os banheiros (feminino e masculino) que as fechaduras das portas não estavam funcionando, afetando além da “Qualidade e Segurança”, a “Dignidade, aceitabilidade e privacidade”, o problema encontrado gera insegurança aos usuários ao utilizarem os banheiros. Embora as quatro unidades de saúde se enquadrem em “excelente”, ainda há espaços para melhorias. Para que o Brasil cumpra com a Agenda 30 e o ODS 6, é necessário que os princípios dos direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário sejam integralmente empreendidos. As inadequações relacionadas à acessibilidade física, em locais fora do domicílio como em instalações de serviços de saúde, podem ocasionar a exclusão destas pessoas. Em relação ao princípio de “Disponibilidade”, todas as quatro unidades obtiveram uma boa classificação. No entanto, o cumprimento efetivo dos princípios e normas é fundamental para garantir que a saúde dos usuários não seja afetada.

### Introdução

Um dos eventos mais relevantes na esfera dos direitos humanos à água foi o seu reconhecimento, em 2002, pelo Comitê das Nações Unidas para os Direitos Econômicos, Sociais e Culturais, quando assumiu-se, pelo Comentário Geral nº 15 que “o direito humano à água é indispensável para levar uma vida com dignidade”. Entretanto, somente em julho de 2010 a Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), por meio da Resolução A/RES/64/292, admitiu, de forma legal, a água potável e o esgotamento sanitário como direito humano. Tal decisão tem grande significância, pois a água tratada para consumo humano e o esgotamento sanitário não podem ser considerados um bem ou serviço, diminuindo desigualdades sociais e aumentando a promoção de saúde. Em um cenário onde estes direitos não são atendidos, a população mais vulnerável financeiramente não possui ou possui poucas condições de adquirir água potável e serviços de coleta de esgoto (UN, 2011).



Os direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário (DHAES) declaram que “o direito à água potável e ao saneamento é um direito humano essencial para o pleno gozo da vida e de todos os direitos humanos” (Resolução A/RES/64/292). Juntamente ao reconhecimento do direito humano à água presente no Comentário Geral nº 15, foram expostos os critérios normativos para o cumprimento desse objetivo, sendo eles “disponibilidade, acessibilidade física, acessibilidade financeira, qualidade e segurança, e dignidade, aceitabilidade e privacidade”, os quais se adequam, também, ao esgotamento sanitário (UN, 2011). Os países membros da Organização das Nações Unidas, incluindo o Brasil, se responsabilizaram em assegurar esse direito a todos, sem discriminação.

O Brasil compromete-se com os objetivos estabelecidos na Agenda 30 e, com relação ao tema água, o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 6 especifica metas para até 2030, assegurando - para todos - a disponibilidade e condução da água potável, esgotamento sanitário com alcance do fim da defecação a céu aberto, com a cautela especial para as necessidades das mulheres, meninas e pessoas em circunstâncias de vulnerabilidade (ONU, 2015). Além do Brasil ser um país signatário destas metas, o mesmo regulamenta o direito à água potável e aos serviços de esgotamento sanitário pela Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Esta lei define o saneamento básico, que é o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007).

De acordo com Moreira (2021), a acessibilidade adequada à água e ao esgotamento sanitário também deve ser proporcionada em locais além do domicílio. Uma forma de garantir este direito é a disponibilidade de bebedouros e banheiros públicos, componentes importantes das cidades e que devem ser previstos pelas políticas públicas, visando a importância da higiene e da saúde pública.

Dentre os locais além do domicílio que devem disponibilizar esses recursos, têm-se as unidades básicas de saúde (UBS), que são infraestruturas de funcionamento de atenção básica à saúde. No Brasil, estes locais devem ser construídos conforme as normas sanitárias e cumprir o manual de infraestrutura do Departamento de Atenção Básica/SAS/MS (BRASIL, 2011). Estes locais ganham atenção, uma vez que possuem alto fluxo de pessoas diariamente e seus usuários incluem pessoas doentes, idosas, com deficiência e gestantes; portanto, é importante que ocorra, primeiramente, a disponibilidade de pontos de dessedentação e banheiros para o público em geral.

A Portaria 2.488, de 21 de outubro de 2011, do Ministério da Saúde, aprova a Política Nacional de Atenção Básica e estabelece os princípios e diretrizes gerais, os quais são os grupos de ações de saúde, individuais e coletivas, que envolvem “a promoção e a proteção da saúde, a prevenção de agravos, o diagnóstico, o tratamento, a reabilitação, redução de danos e a manutenção da saúde”. Tais ações devem ser realizadas com comprometimento sanitário, com práticas de cuidado e gestão, direcionadas a pessoas de locais determinados, as particularidades do território devem ser consideradas para atender as necessidades da população.

Considerando o bom atendimento das UBS, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu a Norma Brasileira nº 9050, que detém critérios técnicos para que as construções de edificações, espaços e equipamentos urbanos sejam acessíveis a todos (ABNT, 2020). Tal normativa também versa sobre o cumprimento dos direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário, uma vez que estabelece condições mínimas de acesso aos locais e instalações para utilização de pessoas com deficiência (PcD).

Diante de todo exposto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o atendimento dos direitos humanos à água potável e a disponibilidades de banheiros em quatro unidades básicas de saúde (UBS) em Francisco Beltrão.

## Material e Métodos

A pesquisa, de caráter quantitativo e exploratório, foi realizada na cidade de Francisco Beltrão, localizada no Estado do Paraná. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022), em 2022, o município contava com uma população de 96.666 habitantes, sendo assim a maior cidade populacional do Sudoeste do Paraná. A pesquisa foi realizada no mês de outubro de 2023, em quatro UBS da área urbana do município, sendo elas, Alvorada, Seminário, Industrial e Vila Nova.

Para a avaliação das UBS foi desenvolvido um *checklist*, contendo vinte e uma questões (Quadro 1) elaboradas a partir dos critérios normativos dos DHAES e da Normativa da ABNT 9050/2020.



**Quadro 1: Questionário abordado nas UBS**

CrITÉrios Normativos	Água	Banheiro
<b>Disponibilidade</b>	Tem ponto de acesso de água para dessedentação?	A UBS possui sanitários feminino e masculino?
<b>Acessibilidade física</b>	O bebedouro situa-se entre 0,80 m e 1,20 m de altura?	Possui um sanitário exclusivo para PcD?
		O sanitário dispõe de corrimãos?
		Caso seja necessário, há a presença de rampas de acesso que auxiliam na locomoção até ao banheiro da unidade de saúde?
		O banheiro possui ladrilho em alto relevo?
		O sanitário possui movimentação livre superior ou igual a 1,50 m?
		A altura do sanitário com assento é de no máximo 0,46 m e sem assento fica entre 0,43 m e 0,45 m?
		A altura do lavatório é entre 0,78 m e 0,80 m?
<b>Qualidade e segurança</b>	Alguma parte do bebedouro está quebrada?	A porta está quebrada?
		A tranca da porta está funcionando?
	O bebedouro tem opções para água gelada?	O vaso sanitário está fixado no chão?
	O bebedouro está aparentemente limpo?	A descarga está funcionando?
	O bebedouro apresenta insetos?	O sanitário apresenta iluminação elétrica?
	É possível observar fungos no bebedouro?	O sanitário possui janela(s)?

Fonte: Autoria própria, 2023

Nenhuma pergunta foi desenvolvida considerando o critério “Acessibilidade financeira”, pelo fato das instituições vistoriadas serem locais públicos.

A pontuação total de cada UBS foi calculada somando os pesos atribuídos a cada questão do *checklist*. Com base na pontuação, a caracterização da UBS foi definida como excelente (acima de 75%), bom (acima de 50%), razoável (acima de 25%) e ruim (abaixo de 25%).

### Resultados e Discussão

As UBS, de modo geral, apresentaram uma estrutura semelhante (Figuras 1 e 2), diferenciando apenas quanto à presença ou ausência de corrimãos e acento próprio para pessoas com deficiência.



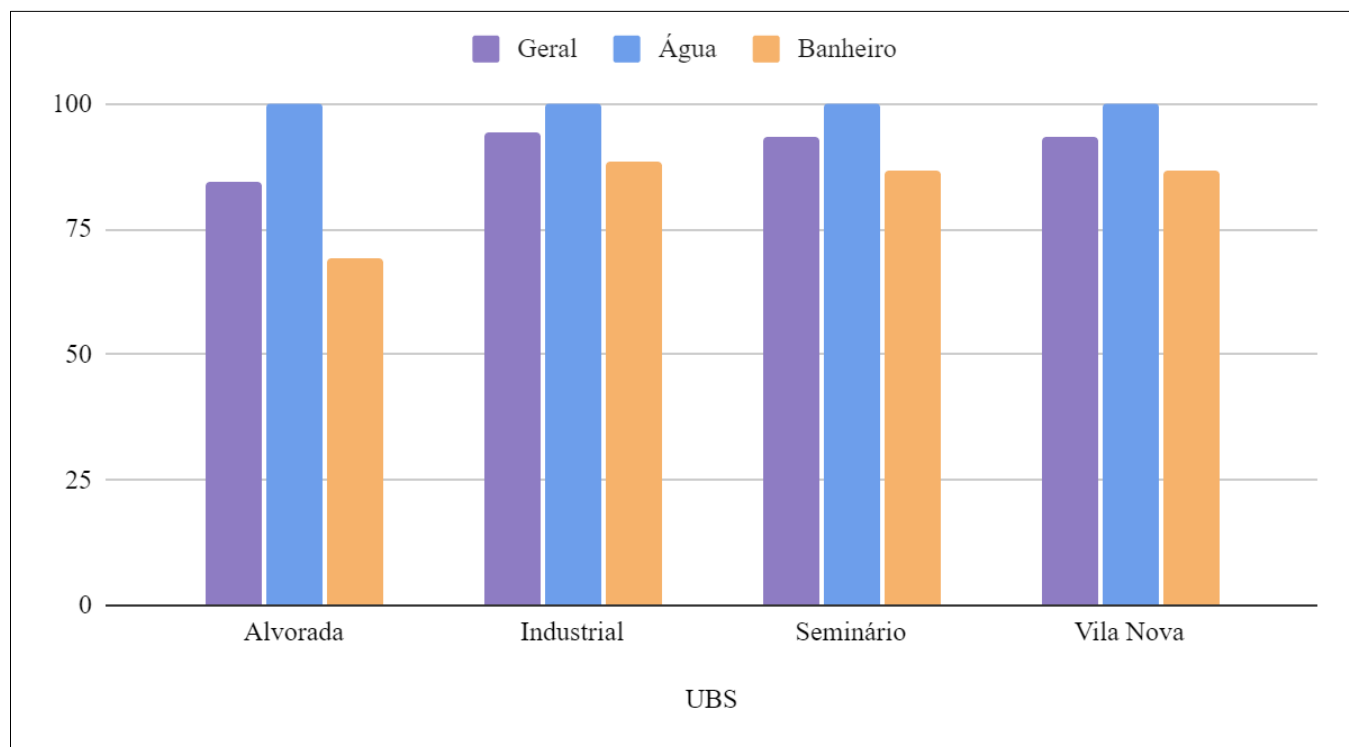


**Figura 1: Lavatório da unidade do Bairro Industrial.**  
**Fonte: Autoria própria, 2023**



**Figura 2: Sanitário da UBS do Bairro Industrial.**  
**Fonte: Autoria própria, 2023**

Quanto à análise quantitativa realizada, para a classificação geral, todas as quatro Unidades enquadraram-se em “excelente”, Alvorada com 84,6%, Industrial com 94,2%, Seminário e Vila Nova com 93,2% (Gráfico 1).



**Gráfico 1: Percentuais específicos de água, banheiro e geral das UBS.**  
**Fonte: Autoria própria, 2024**

Quanto à “Disponibilidade”, o critério foi atendido em todas as unidades, as quatro UBS disponibilizam pontos para dessedentação na recepção e banheiros para o público em geral. Esse resultado aponta para boa condição apresentada no município de Francisco Beltrão, o que difere dos resultados obtidos em outros países subdesenvolvidos, conforme aponta a pesquisa da Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2015).

Tal pesquisa foi realizada com o objetivo de averiguar o abastecimento de água, serviços de esgotamento sanitário e higiene em unidades de saúde em países subdesenvolvidos. Os resultados apontaram que 38%, de 66.101 instituições de saúde não possuíam acesso à água e somente 19% dispunham de banheiros, com dados de 54 países. Os dados deste relatório da OMS



analisaram os censos “Avaliação de Disponibilidade e Prontidão de Serviços (SARA)”, “Indicadores de Prestação de Serviços (SDI)” e “Avaliação de Prestação de Serviços (SPA)”, dados como os referente à qualidade, quantidade e funcionalidade não foram descritos por falta de informações (WHO, 2015).

Nas localidades avaliadas em Francisco Beltrão, a maior ocorrência de problemas foi quanto à “Acessibilidade física” nos banheiros. Nenhuma das unidades cumpriu todas as medidas estabelecidas pela NBR 9050 e apenas a UBS “Vila Nova” detinha sanitário exclusivo para pessoas com deficiência, o qual é exigido pelo Manual de Estrutura Física das Unidades Básicas de Saúde (Ministério da Saúde, 2008).

A unidade básica “Alvorada” não possuía banheiro exclusivo para deficientes, corrimãos, movimentação livre adequada, e a altura do lavatório não era a correta. A UBS Industrial não detinha banheiro exclusivo para PcD e ladrilho em alto relevo. A unidade Seminário não dispunha de sanitário exclusivo para PcD, ladrilhos em alto relevo, e a movimentação livre era inferior a 1,5 m no banheiro feminino. Por fim, a Unidade presente no bairro Vila Nova era ausente de corrimões nos banheiros, as alturas dos assentos sanitários e do lavatório não estarem condizentes com a NBR.

Em um estudo realizado por Siqueira et. al. (2009), que objetivou verificar as inadequações arquitetônicas que dificultam a mobilidade de idosos e portadores de deficiência física, feito em 240 UBS de sete estados brasileiros, também demonstrou resultados insatisfatórios. A movimentação livre, em 75,8% dos banheiros vistoriados, estava imprópria para fazer manobras com cadeiras de rodas, e em 77,4% dos banheiros das unidades não havia portas que assegurassem o acesso de cadeirantes. Também neste estudo, considerou-se como nula a presença de calçadas para locomoção de deficientes visuais, idosos e outras pessoas com necessidades especiais, em 66,7% das unidades de saúde.

De acordo com o Decreto nº 3.298, de 20 de dezembro de 1999, o Poder Público deve assegurar ao portador de deficiências o pleno exercício de seus direitos básicos, incluindo o direito à saúde e ao acesso a edificações públicas. As medidas inadequadas de movimentação livre e alturas do sanitário, lavatório e bebedouro, podem restringir ou dificultar a utilização das pessoas com deficiência física, esta situação além de violar o Decreto citado, descumprir um dos princípios dos DHAES.

O critério normativo “Qualidade e segurança” para água, não obteve nenhuma resposta negativa, todos os bebedouros estavam limpos, possuíam opção para água gelada e as estruturas estavam em condições coerentes. Porém, para o tópico “banheiro”, observou-se na unidade Alvorada, em ambos os banheiros (feminino e masculino) que as trancas das portas não estavam funcionando, afetando além da “Qualidade e Segurança”, a “Dignidade, aceitabilidade e privacidade”, ou seja, a falha encontrada promove incertezas quanto à saúde dos usuários, durante sua permanência nos sanitários.

Considerando as condições expostas, o percentual das UBS para água foi 100% para todas as unidades e para banheiro, a UBS Industrial obteve o melhor resultado com 88,4%, Seminário e Vila Nova admitiram o mesmo percentual de 86,5%, e a unidade Alvorada o mais baixo com 69,2%.

### Considerações Finais

O estudo concluiu que, no quesito “Disponibilidade” que se refere ao acesso à água e banheiro, as UBS analisadas estavam assegurando a integridade de seus usuários, o que demonstra que as unidades de saúde do Brasil são significativamente melhores se for comparadas com outras instituições de saúde em países subdesenvolvidos, conforme indicam estudos realizados pela OMS. No entanto, a questão sobre “Acessibilidade Física” é notavelmente um problema em todas as unidades, nenhuma das UBS segue rigorosamente as medidas que são estabelecidas pela NBR 9050, sendo o mais discrepante que apenas uma unidade de saúde pesquisada apresenta banheiro exclusivo para PcD. Os resultados encontrados demonstram que a falta de acessibilidade em ambientes públicos, como unidades de saúde, pode restringir ou dificultar a participação das pessoas com deficiência física. Essa situação configura uma violação do Decreto nº 3.298, de 20 de dezembro de 1999, bem como de um dos princípios fundamentais da DHAES, que é a “Acessibilidade física”.

Embora as quatro unidades de saúde se enquadrem em “excelente”, ainda há espaços para melhorias. É fundamental que os princípios dos direitos humanos a água e o esgotamento sanitário sejam integralmente cumpridos, sem violar os direitos de nenhuma pessoa, a fim de que o Brasil alcance os objetivos estabelecidos pela Agenda 2030.

### Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2020. NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro.

BRASIL. Decreto nº 3.298, de 20 de dezembro de 1999. Regulamenta a Lei no 7.853, de 24 de outubro de 1989, dispõe sobre a Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, consolida as normas de proteção, e dá outras providências. 1999. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d3298.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3298.htm). Acesso em: 24 de fev. de 2024.

BRASIL. Lei nº 11445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. 2011. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm). Acesso em 12 de jan. de 2024.

BRASIL. Portaria nº 2.488, de 21 de outubro de 2011. Aprova a Política Nacional de Atenção Básica, estabelecendo a revisão de diretrizes e normas para a organização da Atenção Básica, para a Estratégia Saúde da Família (ESF) e o Programa de Agentes



Comunitários de Saúde (PACS). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n.204, p.55. Disponível em [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2488\\_21\\_10\\_2011.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2488_21_10_2011.html). Acesso em: 29 de fev. de 2024.

Ministério da Saúde. 2008. Manual de Estrutura Física das Unidades Básicas de Saúde. Brasília - DF. 2ª ed. Disponível em [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_estrutura\\_fisica\\_ubs.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_estrutura_fisica_ubs.pdf)

Moreira, F. D.; 2021. Por uma política pública a partir do público da política: um estudo sobre banheiros na Orla da Lagoa da Pampulha sob a perspectiva dos direitos humanos. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos da Universidade Federal de Minas Gerais.

ONU. 2015. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. In: 6 - Água potável e saneamento. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6> . Acesso em: 12 de jan. de 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico. 2022.

Resolução A/RES/64/292. 2010. Assembleia Geral das Nações Unidas, julho de 2010. Disponível em [https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA64/A64\\_R24-en.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA64/A64_R24-en.pdf). Acesso em 10 de jan. de 2024.

Siqueira, F. C. V.; Facchini, L. A.; Silveira, D. S.; Piccini, R. X.; Thumé, E.; Tomasi, E.; 2009. Barreiras arquitetônicas a idosos e portadores de deficiência física: um estudo epidemiológico da estrutura física das unidades básicas de saúde em sete estados do Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.14(1), p.39-44.

UN. United Nations. 2011. International Decade for Action "Water for life" 2005 - 2015. In: The human right to water and sanitation. Disponível em: [https://www.un.org/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml#:~:text=The%20human%20right%20to%20water%20and%20sanitation&text=On%2028%20July%202010%2C%20through,realisation%20of%20all%20human%20rights](https://www.un.org/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml#:~:text=The%20human%20right%20to%20water%20and%20sanitation&text=On%2028%20July%202010%2C%20through,realisation%20of%20all%20human%20rights). Acesso em 12 de jan. de 2024.

WHO/UNICEF. 2015. Water, sanitation and hygiene in health care facilities: status in low and middle-income countries and the way forward. p. 35. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241508476>. Acesso em: 29 de fev. de 2024.





## APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SWOT PARA ANÁLISE PERFILÁTICA DAS RPPN BIOMA MATA ATLÂNTICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

**1Cristiano Menezes Martins, 2Maria Inês Paes Ferreira, 3Robson Santos Dias**

*1 Instituto Federal Fluminense, e-mail: cristmen@gmail.com; 2 Instituto Federal Fluminense, e-mail: ines\_paes@yahoo.com.br, 3 Instituto Federal Fluminense, e-mail: robsondias.iff@gmail.com*

**Palavras-chave:** Gestão de Áreas Protegidas; Bioeconomia; Unidades de Conservação.

### Resumo

Neste trabalho propõe-se o emprego da metodologia SWOT para traçar um perfil das Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) na Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, enfatizando a importância da transição para práticas de bioeconomia e ecoeconomia em prol da sustentabilidade. Destaca-se a contribuição vital dessas áreas protegidas para a conservação ambiental e o impulso econômico que fornecem, apesar dos obstáculos financeiros existentes. As RPPN, categorizadas como Unidades de Conservação de Proteção Integral, enfrentam o desafio de equilibrar a conservação do meio ambiente com a viabilidade econômica, diante de limitações orçamentárias e a ausência de diretrizes complementares.

No país, a urgência em estabelecer legislações claras que impulsionem o desenvolvimento da bioeconomia é crítica, visando o uso sustentável dos recursos naturais brasileiros e o estímulo à inovação empresarial. As abordagens da bioeconomia, voltadas para a exploração de recursos biológicos renováveis, e da ecoeconomia, que enfatizam práticas econômicas alinhadas com limites ecológicos, são complementares na promoção de uma gestão ambiental sustentável. O estudo sugere que a implementação dessas abordagens nas RPPN poderia superar desafios ambientais, incentivando o desenvolvimento social e econômico local por meio de estratégias de negócios sustentáveis que consideram avaliações monetárias, físicas e sociais das contribuições naturais.

A pesquisa sublinha a importância estratégica das RPPN na conservação da biodiversidade e na oferta de serviços ecossistêmicos, ressaltando a necessidade de se criar soluções econômicas que assegurem sua sustentabilidade a longo prazo. O texto conclui reforçando a necessidade de abordagens inovadoras na administração das RPPN, que respeitem os limites do planeta e fomentem a proteção ambiental juntamente com o avanço socioeconômico.

A reforma das normativas nacionais se faz necessária para expandir direitos e garantias das RPPN na Mata Atlântica, enfocando a formação de redes de suporte e a instauração de uma governança pública eficaz que apoie os responsáveis por estas reservas. Os desafios enfrentados para a conservação dessas áreas são amplos, passando pela revisão do modelo de gestão governamental atual, a falta de incentivos financeiros estatais e a busca por soluções financeiras estáveis que permitam seu desenvolvimento.

Um desafio central é a escassez de financiamento, particularmente para as RPPN menores, que limita a realização de investimentos cruciais em infraestrutura, monitoramento e educação ambiental. As lacunas promovidas pela falta de suporte institucional e de políticas públicas direcionadas enfraquece a motivação para a criação de novas unidades e afeta negativamente a eficácia na conservação da biodiversidade. A debilidade nos mecanismos de fiscalização e segurança, somada à reduzida atenção pública em áreas de risco, expõe as RPPN a ameaças à sua integridade e à segurança de seus gestores.

A comunicação ineficiente com as comunidades locais pode acarretar conflitos de interesse, enquanto a pressão humana decorrente do avanço urbano e da expansão agroindustrial ameaça seriamente a biodiversidade nessas reservas. A legislação vigente, inadequada aos desafios atuais, precisa ser modernizada para promover a sustentabilidade financeira das RPPN e minimizar riscos, em consonância com práticas de sucesso global.

Assim, recomenda-se com este trabalho o reforço na gestão das RPPN, em especial aquelas de Proteção Integral, por meio da criação de um fundo estadual no ERJ, alimentado por compensações ambientais, doações e outros meios. Esse fundo é essencial para prover recursos financeiros estáveis, destinados a melhorias em infraestrutura, monitoramento ambiental, pesquisa e educação ambiental, além do desenvolvimento de programas de capacitação para gestores. A formação contínua é crucial para aprimorar a administração das RPPN, fortalecendo a interação com as comunidades locais e integrando essas unidades à governança pública de maneira efetiva. Tal abordagem contribuiria significativamente para que o Brasil atenda, desenvolva e aprimore continuamente as normativas de conservação, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade global.

Adicionalmente, enfatiza-se a importância de uma colaboração intersetorial, envolvendo governos, setor privado, comunidade científica e sociedade civil, para inovar nas práticas de conservação e sustentabilidade. A integração de conhecimentos tradicionais e científicos pode oferecer soluções adaptativas e resilientes às mudanças climáticas e aos desafios ambientais. Incentivos fiscais e subsídios para projetos de conservação baseados na comunidade podem ser cruciais para o engajamento e a sustentabilidade das RPPN. Além disso, a promoção do turismo ecológico e de programas educacionais nas RPPN pode aumentar a conscientização pública sobre a importância da conservação da biodiversidade, gerando renda e apoiando a conservação a longo prazo. A adoção de tecnologias inovadoras e a gestão de recursos também é fundamental para o sucesso dessas iniciativas, que promovem proteção efetiva da biodiversidade e dos ecossistemas vitais para o bem-estar humano e a saúde do planeta.



## Introdução

Objetiva-se com este artigo apresentar uma abordagem para análise SWOT na definição de perfis das Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) localizadas no bioma Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro (ERJ). A transição para modelos econômicos sustentáveis é um imperativo global frente às crescentes pressões ambientais e à busca por um desenvolvimento equitativo e inclusivo. Neste contexto, emergem a bioeconomia e a ecoeconomia como conceitos, propondo uma harmonização entre a exploração dos recursos naturais e a proteção dos ecossistemas (Gawel; Pannicke; Hagemann, 2019).

Os parques, reservas e outras áreas protegidas representam ativos inestimáveis para o planeta, contribuindo para a purificação do ar e da água, proteção dos solos agrícolas, mitigação das mudanças climáticas através do armazenamento de carbono e fornecimento de uma gama de benefícios à saúde. Estas áreas sustentam uma indústria turística bilionária, além de empregos e meios de vida para milhões de pessoas globalmente, e abrigam uma biodiversidade rica, incluindo espécies em risco de extinção. Apesar de seu imenso valor econômico, ambiental e social, as mais de 200.000 áreas protegidas enfrentam desafios financeiros devido ao aumento dos custos operacionais e à redução de fundos públicos. Este contexto evidencia a necessidade premente de estratégias eficazes de financiamento e gestão para garantir sua proteção diante dos desafios contemporâneos. (IUCN, 2022).

A bioeconomia, centrada na utilização de recursos biológicos renováveis, e a ecoeconomia, focada em práticas econômicas que respeitam os limites ecológicos, são perspectivas complementares que podem guiar a gestão sustentável de territórios de relevante valor ambiental (Ferreira; Monsore, 2023). A relevância da bioeconomia vem sendo discutida ao longo da última década, pois é tida como um dos fundamentos para solução dos grandes desafios nesse tema. (Bugge; Hansen; Klitkou, 2016). As RPPN do estado do Rio de Janeiro (ERJ) são categorizadas como Unidades de Conservação (UC) de Proteção Integral e enfrentam o desafio de conciliar a sustentabilidade econômico-financeira com a conservação ambiental, uma tarefa complexa em um contexto de restrições orçamentárias, falta de normativas auxiliares e necessidades de financiamento contínuo.

No Brasil, apesar dos progressos realizados para criar um cenário favorável à bioeconomia, há uma necessidade imperativa de estabelecer marcos regulatórios claros que promovam o avanço científico e tecnológico. Esses marcos são fundamentais não apenas para potencializar o uso sustentável da vasta riqueza de recursos naturais do país, mas também para estimular a criação de novos negócios e inovações neste setor. A falta de regulamentações específicas representa um obstáculo para o pleno desenvolvimento da bioeconomia brasileira, limitando as oportunidades de crescimento econômico e sustentabilidade ambiental que estas áreas promissoras oferecem (Lopes, 2022).

O termo bioeconomia, proposto por George-Roegen, nos anos 70, foi idealizado sob a ótica de tentar compreender a insustentabilidade da economia no modelo societário baseado no “business as usual”, porém convergindo para a utilização de tecnologias inovadoras na produção (Sanz-Hernández; Esteban; GARRIDO, 2019). A crítica de Horlins e Marsen (2011) acerca do conceito de bioeconomia está associada ao entendimento de que esse permite a neoliberalização da natureza e o uso comercial ilimitado da vida; tais autores formularam o conceito da ecoeconomia, que se contrapõe à bioeconomia, fundamentado no fato de que, apesar de ambos estarem ligados à sustentabilidade, possuem discursos e práticas diferenciadas, sendo a primeira impulsionada pela perspectiva da globalização e a segunda pelas questões de localidade.

À luz dos conceitos de bioeconomia e ecoeconomia aplicados às RPPN, no presente estudo é proposta uma análise considerando as limitações das normativas conservacionistas brasileiras, notadamente a nível estadual. Para além do objetivo de conservação da biodiversidade, pretende-se refletir sobre a possibilidade da criação de modelos de negócios sustentáveis que assegurem a sua viabilidade econômico-financeira a longo prazo, abarcando a valoração monetária, mas também valorações físicas e sociais das contribuições da natureza, medidos em seus próprios sistemas de contabilidade (Andrade, 2008). Pretende-se ainda responder à pergunta: “Quais desafios e soluções são identificados para o futuro das RPPN no estado do Rio de Janeiro?”

Conclui-se que a integração de modelos econômicos nas estratégias de gestão das RPPN na Mata Atlântica pode oferecer caminhos inovadores para superar esses desafios, promovendo a conservação ambiental, ao mesmo tempo em que se alavanca o bem-estar social e econômico das comunidades locais. Ilustra-se, assim, a viabilidade de um desenvolvimento que respeita os limites do nosso planeta, destacando a importância de encontrar soluções econômicas viáveis para a sustentabilidade das RPPN e o papel fundamental que estas UC desempenham na manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos essenciais.

## Material e Métodos

Com ênfase em desafios e potencialidades, esta revisão consiste numa análise da literatura e normativas, considerando a abordagem de artigo científico premiado no Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e sugerir a associação dessas abordagens com itens tipificados na metodologia SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats* - Forças, Fraquezas, Oportunidades, Ameaças), a fim de identificar pontos relevantes para a efetiva implementação da sustentabilidade econômico-financeira das RPPN.

O método referencial permitirá uma avaliação estruturada contrapositiva de como as condições internas e externas que impactam a sustentabilidade financeira dessas unidades de conservação, considerando em especial, as particularidades na literatura e normativas, trazidas pelo livro “Conservação em Ciclo Contínuo” (Ojidos; Padua; Pellin, 2018) e a Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (Brasil, 2000), bem como seus decretos relacionados.

Na análise comparativa serão consideradas especificidades contidas de alguns itens da matriz: Forças (*Strength*), Oportunidades (*Opportunities*), Fraquezas (*Weaknesses*) e Ameaças (*Threats*). Aqui tem-se que forças: são atributos internos de uma organização que a permite atingir os seus objetivos, fraquezas: são atributos internos que são prejudiciais no atingimento dos objetivos, oportunidades: são condições externas que podem auxiliar no cumprimento dos objetivos e, por fim, ameaças são condições externas existentes que são prejudiciais para atingir o objetivo desejado (Hay; Castilla, 2006).



Podemos destacar os seguintes itens: Forças: Localização estratégica da propriedade; Experiência dos proprietários em pesquisa, extensão e Educação Ambiental; Boa rede de contatos; Propriedade parcialmente transformada em Unidade de Conservação de Proteção Integral (UC-PI) ou Unidade de Conservação de Uso Sustentável (UC-US). Oportunidades: Existência de linhas de financiamento para projetos sustentáveis; Sazonalidade de atividades turísticas; Educação Ambiental incipiente a nível local; Formação técnica e universitária disponível a nível regional; Inexistência de projetos e iniciativas de sistemas agroflorestais biodiversos com alta capacidade para melhorar o meio ambiente (SAFs) na região. Fraquezas: Falta de experiência dos proprietários/gestores com mecanismos de mercado e produção rural; Pequena disponibilidade de recursos financeiros para contratação de mão-de-obra e implantação de infraestrutura; Propriedade parcialmente transformada em UC-PI. Ameaças: Escassez de mão de obra rural qualificada; Inexistência de Associações de Produtores, Moradores, ONGs de atuação local; Implementação incipiente dos instrumentos de gestão de APA no âmbito local; Fragmentação florestal e desmatamento no bioma; Índices de insegurança e violência na região da RPPN.

### Resultados e Discussão

No ERJ as RPPN são de Proteção Integral (UC-PI), trazendo assim os desafios impostos pela lei 9.985/2000 – Lei do SNUC, a serem superados por esse grupo de UC, a saber: a proibição de ocupação humana, proibição de exploração econômica direta, restrição de acesso ao uso público, necessidade de elaboração de plano de manejo, controle rigoroso de pesquisa científica. Em outras regiões do Brasil existem RPPN de uso sustentável (UC-US) que pressupõe algumas características mais atinentes à realização de práticas bio e ecoeconômicas, em consonância com a mesma lei, destacando-se os seguintes aspectos: uso sustentável de recursos naturais, elaboração de plano de manejo, regulamentação específica (obedecendo sua região e particularidades), restrição ao desmatamento e à conversão do uso do solo, limitações a caça e a pesca, controle e monitoramento, e estímulo à participação social.

Verifica-se assim que as UC-PI no Brasil são designadas com o propósito primordial de conservar a natureza, submetidas a restrições severas como a proibição de exploração econômica, ocupação humana e limitando o acesso público a finalidades educacionais e de pesquisa para proteger a integridade ecológica, em contraste, com as UC-US, que buscam equilibrar a conservação ambiental com o uso sustentável dos recursos, permitindo alguma ocupação humana, exploração econômica e um acesso público mais amplo, desde que alinhado a um plano de manejo que fomente a conservação dos ecossistemas. Enquanto as UC-PI focam na conservação estrita dos ecossistemas, limitando interações humanas, as UC-US incentivam uma gestão que integra uso sustentável dos recursos, refletindo diferentes graus de restrição e flexibilidade no manejo das áreas protegidas e conservadas.

Somam-se a isso, segundo Ojidos, fortes críticas e resistência de gestores públicos em relação ao deslocamento de recursos públicos para propriedades privadas, pois não se considera neste caso, que a área em si e atuação do proprietário/gestor em particular é de relevante interesse público. O contraponto deste argumento é que, no parágrafo 4º, Capítulo V do decreto 4.340 de 2002 são instituídas as Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) na forma de participação social para gestão dessas áreas (Brasil, 2002), que trazem a necessidade de participação social para tomada de decisões nessas UC, vinculando sua atividade ao interesse público.

Ojidos salienta também a exemplificação de 22 formas de oportunidades de se angariarem recursos nas RPPN, que foram subdivididas em dois blocos: 1 – Existentes em funcionamento e 2 – Potenciais com espaço para melhorias. Destaca-se que 20 das 22 são apontadas como possibilidades de recursos financeiros para as RPPN. A aplicação do fomento via *endowment*, que é a captação de recursos financeiros mediante doações contínuas feitas por instituições, organizações ou indivíduos, como abordado pelo citado autor, tipifica a adoção ao modelo estadunidense, que preconiza a garantia de recursos de longo prazo para finalidades diversas, financiados pelas partes interessadas, e no caso, com um foco na sustentabilidade. Considerando a atual normativa no Brasil, infere-se que, para os casos abordados os modelos de geração de recursos sugeridos são unicamente orientados para RPPN que desde o momento de sua concepção são ou possuem parcerias com pessoas jurídicas ou então para aquelas que são designados como UC de uso sustentável, já possuem previsão legal para utilização dos recursos naturais para atividade econômica, devendo obedecer aos critérios na legislação.

De modo a avaliar essas distorções, a metodologia SWOT quando aplicada aos perfis das RPPN traz uma análise dos pontos fortes e oportunidades que se contrapõem com as fraquezas e ameaças encontradas nas RPPN de Proteção Integral. As forças são os elementos e as características do ambiente interno que representam vantagens relacionadas à sustentabilidade econômico-financeira das RPPN. As fraquezas são elementos e características do ambiente interno que desfavorecem a UC. Cenários externos favoráveis à RPPN representam oportunidades e os elementos externos sobre os quais o gestor da RPPN não possui controle e que que criam situações desfavoráveis à sustentabilidade econômico-financeira da UC são considerados como ameaças.

Existem problemas comuns que são caracterizados pela falta de legislação específica e fonte de custeio para a operacionalização dessas UC. A exemplo do plano de manejo, item comum tanto as UC do grupo de Proteção Integral, quanto ao grupo de Uso Sustentável. Ainda que com a viabilização às UC do primeiro grupo, da dispensa de necessidade de pagamento referente às custas de criação e execução técnica aos órgãos reguladores, que fornecem esse serviço, na prática os ganhos obtidos pelas UC de Uso Sustentável, no longo prazo, são mais sustentáveis e oferecem menos resistência e aceitação social, já que conta com apoio da sociedade na participação de sua atividade, além da viabilidade, ainda que controlada, da exploração da terra e águas, conforme regulamentações específicas de cada caso.

Inicia-se a discussão pelas fraquezas e ameaças, que são mais preponderantes e inerentes ao modelo atual de políticas públicas aplicadas as UC de Proteção Integral, já que apesar de amplas, estão desatualizadas e carecem de fato da aplicação prática. Como critério inicial da discussão, a legislação ambiental cria um rol de atribuições ao proprietário do imóvel, que





naturalmente, se contrapõe as condições normais de convivência social. Para exemplificar, cita-se que o proprietário deverá comunicar aos terceiros que estejam nas dentro da área da RPPN quanto a proibição de: desmatamentos, queimadas, caças, pesca, apanha, captura de animais e quaisquer atos que afetem ou possam afetar a integridade da unidade de conservação.

Entende-se assim que, o poder público transfere ao proprietário pessoa física o poder de fiscalização da sua área, sem fornecer amparo para execução dessa norma. Uma unidade de conservação que conta com recursos financeiros amplos, poderia ampliar a segurança para inibir esse tipo de comportamento de terceiros, porém proprietários de UC menores, como é a maioria das UC no ERJ, não dispõe de recursos para a contratação desse tipo de funcionários. Identifica-se que o impacto dessa norma em uma UC de Proteção Integral inferior a 50 ha é ainda maior, pois as iniciativas e o interesse de investimentos para UC maiores são evidentes (INEA, 2023).

Nesse quesito, associa-se à fraqueza disposta na matriz SWOT: “Insuficiência de recursos para implantação de infraestrutura”, que por sua vez traz em consequência sua vinculação à ameaça: “Insegurança e violência na região da RPPN”, sendo então necessário que o impacto ocasionado dessa atividade exigida por lei, seja igualmente garantida por lei, por exemplo, com a ampliação de políticas públicas de segurança dessas propriedades, obedecendo os princípios da proporcionalidade e da dignidade aos proprietários/gestores, como forma de garantir o disposto na no incisos I, III, IV e IX, artigo 2º da Lei 6.938 de 1981, que tratam respectivamente: da ação governamental na manutenção de equilíbrio ecológico, planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais, proteja dos ecossistemas, com a conservação das áreas representativas e da proteção de áreas ameaçadas de degradação.

O papel das RPPN pode ser visto na prática, conforme o mais recente boletim do Sistema de Alertas de Desmatamento (SAD) Mata Atlântica, com dados de setembro e outubro de 2023, revela uma contínua diminuição no desmatamento do bioma. A queda foi de 42%, com a derrubada de floresta reduzindo para 1.513 hectares, em comparação aos 2.616 hectares no mesmo período do ano passado. Isso implica que, no decorrer de dois meses, deixou de ser desmatada uma área equivalente a mais de mil campos de futebol. Esta redução segue a tendência de queda do desmatamento iniciada no começo de 2022, que viu uma diminuição de 59% de janeiro a agosto. (SOS MA 2024).

O apontamento dado pela análise SWOT nas RPPN do ERJ (UC-PI) indica que a normativa das UC deveria acompanhar a evolução social sob a ótica multifatorial, devendo ser revistas e parametrizadas de acordo com as características de cada unidade de conservação, obedecendo seu nicho, ou seja, quer seja ela de proteção integral ou de uso sustentável, apoiando alternativas de geração de renda associadas à bioeconomia ou à ecoeconomia (Ferreira; Monsore, 2023). Além disso, devem ser viabilizadas formas de fomento ainda maior para as UC de Proteção Integral, devendo o Estado auxiliar os proprietários/gestores, o auxílio integral a esses, para perfeita execução das atividades por se tratar de bem de relevante interesse público.

Tais iniciativas e formas de apoio devem ter prover a colaboração desses *stakeholders* em diversos focos e conhecimentos organizacionais (Rozyłowicz 2017), nos quais cita-se de forma exemplificativa: a intensificação do apoio a segurança pública dessas Unidades de Conservação, o incentivo da criação e vínculo de redes de apoio entre comunidades locais, fomento e alavancagem do turismo local e regional, com base em dados e relatórios de instituições de pesquisa, parcerias com instituições de ensino público e privadas para gerar identificação de seus membros para incrementar a participação social e promover sustentabilidade da educação ambiental, e principalmente, a criação urgente de políticas públicas para permitir que proprietários/gestores de RPPN de proteção integral, sejam público-alvo de subsídios governamentais e que possuam critérios econômicos bem definidos para que se tornem mais atrativas para criação de parcerias público-privadas e que tenham formas claras e factíveis de financiamento em instituições financeiras, independentemente, da caracterização de personalização jurídica para este fim, bem como a modernização das atuais normativas.

Uma síntese da matriz SWOT geral para as RPPN da Mata Atlântica é apresentada no Quadro 1.

**Quadro 1: Quadro Geral de Matriz SWOT para RPPN na Mata Atlântica**

<b>Matriz SWOT geral para RPPN da Mata Atlântica</b>	
<b>Forças</b>	<b>Fraquezas</b>
Localização da propriedade	Linhas de financiamento voltadas para projetos sustentáveis
Experiência dos proprietários em gestão e educação ambiental	Pequena disponibilidade de recursos financeiros para contratação de pessoal
Disponibilidade para organizar redes de apoio	Pequena disponibilidade de recursos financeiros para aplicação em melhoria da infraestrutura
Propriedade particular parcialmente UC-PI no ERJ	Propriedade particular parcialmente UC-PI no ERJ
<b>Oportunidades</b>	<b>Ameaças</b>
Linhas de financiamento voltadas para projetos sustentáveis	Pequena disponibilidade de mão-de-obra rural qualificada
Potencial para ecoturismo, bioeconomia e ecoeconomia	Fragilidade de Associações de Produtores e de ONGs de atuação local
Formação técnica e universitária a nível regional	Fragmentação florestal e desmatamento no bioma
	Insegurança e violência a nível regional



## Considerações Finais

Inferese-se que seja necessária a alteração, ampliação de direitos e aplicação de garantias nas normativas brasileiras, como a criação de redes (Ferreira; Monsore, 2023), assim como a implementação efetiva e monitoramento contínuo de uma nova governança pública que identifique, reconheça e auxilie o papel dos proprietários/gestores pessoas-físicas de RPPN de proteção integral no bioma Mata Atlântica.

Os desafios e soluções para o futuro das Reservas Particulares do Patrimônio Natural, no bioma Mata Atlântica, em geral, e no ERJ, em particular, são grandes e diversos, pois estas assumem um papel crucial na conservação da biodiversidade, atuando como guardiãs de ecossistemas e pilares do desenvolvimento sustentável. No entanto, a efetividade e o futuro promissor dessas áreas protegidas dependem ainda do enfrentamento de desafios multifacetados que exigem soluções inovadoras e engajamento de diversos setores da sociedade.

Entende-se como desafios aqueles que exigem superação da fragilidade do modelo atual de gestão governamental e da falta de previsão de fomento público (formal ou material) da estabilidade financeira dessas UC de Proteção Integral estando elas vinculadas ao seu nobre papel de sustentabilidade, porém impossibilitadas de ampliar suas realizações, devido seus entraves legais limitadores de seus avanços econômicos. Desafio também da inclusão de seu papel na governança pública, de forma clara e bem definida para suprir as necessidades desse público. A escassez de recursos financeiros, pois a maioria das RPPN no ERJ se caracteriza por seu porte reduzido, motivo que não atrai o interesse do investimento privado, para formas de ganhos ambientais, e principalmente, pela dependência dos recursos próprios dos proprietários/gestores para sua gestão. Essa realidade limita significativamente o investimento em infraestrutura, monitoramento ambiental, pesquisa científica e educação ambiental, aspectos fundamentais para a proteção eficaz da biodiversidade, cujos princípios estão expressos na normativa do tema. A insuficiência de recursos financeiros torna-se um obstáculo à implementação de ações de manejo adequadas, comprometendo a efetividade das RPPN como instrumentos de conservação, já que não há previsibilidade legal para diferenciação dos cuidados realizados em uma UC de área superior a 50 há, cujo proprietário é uma pessoa-jurídica que dispõe de recursos financeiros, daquelas pequenas RPPN, cujo dono é pessoa-física e está sujeito a condições de crédito, sem proteções legais definidas para tal.

Há ainda a carência de apoio institucional, pois esse o apoio às RPPN ainda é incipiente, caracterizado pela falta de mecanismos de incentivo e carência de políticas públicas específicas. Essa fragilidade institucional dificulta o trabalho dos proprietários e gestores, desmotivando a criação de novas unidades e limitando o potencial das RPPN na proteção ambiental. A ausência de um marco legal robusto e de mecanismos de financiamento adequados impede o desenvolvimento pleno das RPPN, comprometendo seu papel na conservação da biodiversidade. Adicionalmente, desafios relacionados as dificuldades na fiscalização e segurança na proteção das RPPN são desafiadas pela falta de recursos e pessoal especializado para fiscalização e segurança, assim como a falta do interesse público, especialmente em áreas com altos índices de violência e atividades ilegais. A insegurança jurídica e a fragilidade da fiscalização colocam em risco a integridade das RPPN e a segurança dos proprietários e gestores, tornando a proteção da biodiversidade uma tarefa árdua e complexa.

Ainda nesse ínterim, os desafios se complexificam quando na esfera socioambiental, a falta de comunicação das RPPN com as comunidades locais pode gerar conflitos entre esses atores, decorrentes da falta de integração entre as RPPN e as comunidades locais. A falta de diálogo pode ensejar conflitos de interesse que dificultam a gestão das unidades. A ausência de mecanismos de participação social pode gerar ressentimento e resistência por parte das comunidades, comprometendo o apoio local à proteção ambiental.

Pode-se dizer também que no cerne da questão circunstancial, a análise realizada pressupõe que existe uma pressão antrópica, pois o crescimento urbano desenfreado e a facilitação econômica para expansão da agroindústria representam grandes ameaças à biodiversidade protegida pelas RPPN. A intensificação das atividades antrópicas coloca em risco a integridade dos ecossistemas e a efetividade das RPPN na conservação da biodiversidade. Corroboram para estas ocorrências, as limitações legais, onde a legislação que rege as RPPN no Brasil precisaria ser adequada de contemplar as necessidades e os desafios contemporâneos e prover garantias tão robustas quanto aquelas que são aplicadas à agroindústria. Postula-se que a legislação brasileira não acompanhou a evolução das questões socioambientais e necessita de modernização para garantir a efetividade das RPPN na proteção da biodiversidade, obedecendo critérios positivos quanto ao estabelecimento de estratégias para sua sustentabilidade econômico-financeira, mitigando os riscos e replicando atividades internacionalmente reconhecidas, obedecendo as particularidades regionais.

Por fim, relativamente à aplicação prática das atuais normativas, observou-se falta de clareza e segurança jurídica relativamente aos direitos e obrigações dos proprietários/gestores de RPPN, que culminam no sentimento de insegurança e desmotivação. Tanto a insegurança jurídica, como a falta de entendimento jurídico formal e material do tema, impede o investimento público e privado na criação e na gestão de RPPN, limitando o potencial de expansão dessas áreas protegidas.

Desse modo, sugere-se com a presente análise que sejam fortalecidos os mecanismos de gestão das RPPN, principalmente aquelas classificadas como UC-PI. Considerando o atendimento nas normativas, dada a limitação de recursos econômicos, seria importante a criação de um Fundo Estadual para RPPN no ERJ, financiado por diversas fontes como: compensações ambientais e doações. Tal fundo é visto aqui como crucial para o fornecimento imediato de recursos financeiros estáveis e direcionados à gestão eficaz dessas unidades e poderia ser empregado para dar suporte as redes de bioeconomia e de ecoeconomia inovadoras no ERJ.

Para a criação do Fundo Estadual, em todo seu arcabouço deve ser prevista a fiscalização posterior pelos órgãos estaduais de controle, visando permitir a vinculação desses investimentos em áreas de infraestrutura das RPPN, no monitoramento ambiental, na pesquisa científica, na educação ambiental e em outras atividades essenciais para a proteção da



biodiversidade, bem como para o desenvolvimento de programas de capacitação, vinculados a instituições de ensino, com a capacitação dos proprietários e gestores de RPPN em gestão ambiental, planejamento estratégico, captação de recursos, monitoramento ambiental e outras áreas relevantes que são fundamentais para fortalecer a gestão dessas unidades. A capacitação contínua dos gestores é essencial para aprimorar suas habilidades e conhecimentos, permitindo uma gestão mais eficiente e eficaz das RPPN, maior interação com as comunidades de entorno e conseqüentemente, sua integração efetiva na Governança Pública, auxiliando o Brasil no atendimento, na formulação e na melhoria contínua dos critérios de conservação e no atingimento de objetivos internacionais de sustentabilidade.

### Agradecimentos

A elaboração deste trabalho somente foi possível com o apoio de nossas famílias, amigos e gestores que entenderam e internalizaram o sentido das muitas horas de pesquisa para que os efeitos das palavras aqui contidas possam ser efetivamente aplicados em prol de um mundo melhor, mais consciente e protetivo em relação a natureza que nos cerca. Os autores gostariam de agradecer também à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à presente pesquisa.

### Referências Bibliográficas

Andrade, D. C. 2008. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. *Leituras de Economia Política*. p.p.1-31

Brasil. 1981. Lei 6.938. Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938compilada.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm)>. Acesso: 31 mar. 2024

Brasil. 2000. Lei 9.985. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm)>. Acesso: 31 mar. 2024

Brasil. 2002. Decreto 4.340. Regulamento de artigos da Lei 9.985/2000. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/D4340.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4340.htm)>. Acesso: 31 mar. 2024

Ferreira, M.I.P.; Monsore, J.L.J. 2023. A bioeconomia rumo à ecoeconomia: proposta de uma estrutura inovadora de governança em rede para apoio às iniciativas de conservação das Reservas Particulares do Patrimônio Natural do estado do Rio de Janeiro. Trabalho premiado em 1º Lugar no III Prêmio INEA Meio Ambiente (no prelo).

Gawel, E.; Pannicke, N.; Hagemann, N. 2019. A Path Transition Towards a Bioeconomy—The Crucial Role of Sustainability. *Sustainability*, 11, 3005. <https://doi.org/10.3390/su11113005>

Hay, G. J.; Castilla, Guillermo. 2006. Object-based image analysis: strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT). In: Proc. 1st Int. Conf. OBIA. p.2

Horlings, I.; Marsden, T. 2011. Rumo ao desenvolvimento espacial sustentável? Explorando as implicações da nova bioeconomia no setor agroalimentar e na inovação regional. *Sociologias*, Porto Alegre, ano 13, n, 27, mai./ago. p. 142-178.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. O que é RPPN. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/o-que-e-rppn>>. Acesso: 05 abr. 2024.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. Geoportal/Áreas Protegidas e Metadados/RPPN estaduais limites. Disponível em: <<https://geoportal.inea.rj.gov.br/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=d40de9b2dd2243ccb777971cef2eb14e>>. Acesso: 05 abr. 2024.

IUCN. 2022. Becoming a conservation entrepreneur. How to unlock alternative funding for nature. Gland, Switzerland: IUCN. Disponível em: <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2022-006-En.pdf>>. Acesso: 05 abr. 2024

Lopes, M. A. 2022. Descarbonização e Circularidade: Respostas dos Sistemas Alimentar e Agroindustrial aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia.

Ojidos, F; Padua, C.V.; Pellin, A. 2018. Conservação em Ciclo Contínuo: como gerar recursos com a natureza e garantir a sustentabilidade financeira de RPPN. 1. ed. São Paulo: Essencial Idea. p.p.67-75

Rozyłowicz, L.; Nita, A.; Manolache, S.; Ciocanea, C. M.; Popescu, V. D. Recipe for success: A network perspective of partnership in nature conservation. *Journal for Nature Conservation*, v. 38, p. 21-29, July 2017.





Sanz-Hernandez, A.; Esteban, E., Garrido, P. Transition to a bioeconomy: Perspectives from social sciences. *Journal of Cleaner Production*, v. 224, p. 107-119, July 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.168>

SOS Mata Atlântica. 2024. Desmatamento em queda na Mata Atlântica. Disponível em <https://www.sosma.org.br/noticias/desmatamento-em-queda-na-mata-atlantica#:~:text=%E2%80%9CCom%20a%20Lei%20da%20Mata,da%20Funda%C3%A7%C3%A3o%20SOS%20Mata%20Atl%C3%A2ntica.>>. Acesso: 07 abr 2024.



## ANÁLISE DA EFETIVIDADE DA POLÍTICA PÚBLICA DE QUALIDADE DO AR NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

1Diego Sebastian Carvalho de Souza, 2Thiago Sebastian Carvalho de Souza,  
3Ricardo José Pereira Costa

1 Campos Salles, e-mail: dscs.gp@gmail.com; 2 Universidade Federal Fluminense, e-mail: tsebastian@id.uff.br;  
3 Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, e-mail: rezzock@gmail.com

**Palavras-chave:** Gestão pública; Poluição do ar; Avaliação de resultados.

### Resumo

O presente artigo analisou a efetividade do arcabouço da gestão de qualidade ar no Estado do Rio de Janeiro, tendo como diretriz principal o Decreto nº 48.668/2023 e seus instrumentos, como os planos e programas que visavam ações de prevenção a poluição atmosférica do Estado do Rio de Janeiro. Quando da análise desta política pública, optou-se por uma metodologia que avaliasse seus resultados e impactos.

Esse trabalho se justificou pelo impacto à saúde causado pela poluição atmosférica e seu efeito cumulativo na gestão pública, saúde humana e no meio ambiente. As mortes provocadas, as despesas com essa saúde pública, o impacto nos processos produtivos e aumento do efeito estufa são alguns dos atenuantes que perfazem a necessidade de uma política pública efetiva.

O INEA implementou ações para mitigar o impacto da poluição atmosférica, dividindo as fontes de emissão desses poluentes em difusas e fixas. Para as fontes fixas, foram estabelecidos o Programa de Monitoramento de Emissões de Fonte Fixa, que realiza amostragens regulares de chaminés e tubulações e o Programa de Relato de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), que ainda exige que empresas relatem suas emissões como parte do licenciamento ambiental. Para combater a poluição difusa, foram criados o Programa ARLA 32, para prevenir adulteração de combustíveis e reduzir óxidos de nitrogênio e o Programa de Controle de Emissão de Fumaça Preta, que inspeciona veículos pesados regularmente.

O Programa de Controle da Emissão de Fumaça Preta, ainda possui uma singularidade, pois a manutenção da regulagem dos veículos automotores é de responsabilidade do condutor, pontualmente ou por um período de tempo, quando se mantém a diminuição do lançamento do poluente, contudo, existem grandes variações em seus resultados.

Neste contexto, o principal dado de entrada para análise da efetividade desta política pública, é a relação de poluentes espelhadas na Organização Mundial da Saúde (OMS) e no CONAMA nº 491/2018. A gestão do Estado do Rio de Janeiro foi promulgada pelo Decreto nº 48.668/2023 que, dentre outras orientações, destacou a necessidade de avaliação da bacia aérea, na qual a emissão estava sendo dispersa, apontando assim a norma acima, o padrão para a qualidade do ar pelo INEA.

De forma geral a análise da bacia aérea e a lista de poluentes, estão vinculadas diretamente ao processo de monitoramento da qualidade do ar, daí surge a importância desse processo quanto à verificação da efetividade da política pública, por isso, no presente estudo denota-se sua preponderância em relação aos exames comparativos da legislação vigente.

Neste estudo dividiu-se os poluentes listados no Decreto nº 48.668/2023 em duas premissas distintas: a primeira com poluentes mais particulados como: MP2,5, MP10, TPS e o Chumbo. A segunda com poluentes mais gasosos: Ozônio (O<sub>3</sub>), Dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e o Monóxido de carbono (CO), objetivando facilitar a visualização e o entendimento dos dados analisados, não tendo sido escopo, a observação dos subprodutos da mistura destes poluentes, pois o ponto focal foi a verificação da política pública aplicada, onde já há parâmetros a serem geridos como dados de entrada.

Como consequência particular da análise realizada, verificou-se também o IQAR (Índice de Qualidade do Ar), entretanto, se o processo de monitoramento não é realizado da forma que foi previsto nas políticas públicas, seu resultado também passa a não ser efetivo para todo Estado. Segundo a pesquisa realizada com dados de monitoramento do INEA, dos anos 2021, 2022 e 2023, das 59 estações em funcionamento, apenas 11,86%, ou seja, 7 (sete) em todo o estado possuem todos os seis parâmetros exigidos pelo diploma legal.

Já nos dados de monitoramento por poluentes foi mais perceptível a deficiência da política pública, pois CO (37,90%); MP10 (57,20%); MP2,5 (15,48%); NO<sub>2</sub> (45,54%); O<sub>3</sub> (52,25%) e SO<sub>2</sub> (39,17%), possuindo índices/percentuais insatisfatórios de verificação, muito aquém das necessidades apresentadas pela sociedade, assim também das previstas pelo legislador.

O INEA se utiliza do licenciamento ambiental, também como instrumento de política pública por meio do Decreto nº 46.890/2019, que estabelece o Sistema Estadual de Licenciamento e outros Procedimentos de Controle Ambiental (SELCA) como um dos instrumentos para reduzir o impacto ambiental dos poluentes em fontes fixas. Ao longo dos anos esse processo obteve êxito, pois tratou-se de monitoramento contínuo realizado pela própria empresa, mas sem estudo de bacia aérea, logo esse procedimento não coibiu a implantação de atividades poluidoras em bacias já saturadas, tendo gerado ineficiência do processo, contribuído para sua nulidade e possibilitado uma condição não satisfatória da poluição atmosférica em determinados locais.

Assim sendo, o resultado principal desta análise verificou a não efetividade da política pública, pois a incapacidade de monitoramento pela rede do INEA denota a dificuldade na gestão de recursos, que deveriam ser empenhados e com a devida reserva financeira, vez que não existe uma obrigatoriedade de implantação destes por etapas. O que compromete duas fases distintas de uma política pública, a do planejamento e a do controle, medição e medição de seus resultados.



### Introdução

Este estudo tem como objetivo discutir a efetividade do arcabouço técnico legal do Estado do Rio de Janeiro para o controle da poluição atmosférica. Justifica-se esta análise pela necessidade de avaliação das políticas públicas que, não necessariamente estão atreladas a uma única legislação, mas a um conjunto de normas e procedimentos que ditaram e ditarão parâmetros a serem seguidos pela sociedade.

O Banco Mundial (2023) considera a poluição do ar como um dos grandes fatores que contribui para a degradação da saúde humana e um dos principais componentes de risco ambiental, o que afeta negativamente a sobrevivência dos seres do planeta, com diversos problemas causados, tendo sido estimado, por conta disso em cerca de 44 mil, as mortes de pessoas em 2016.

Para Santana (2019) a finalidade da atmosfera é a proteção da superfície planetária. Esta camada é composta por gases e partículas em suspensão, possuindo sua dinâmica associada a forças físicas, fontes de emissão que variam naturalmente ou quando induzidas por ação antrópica. Os processos naturais do planeta são controlados por ciclos próprios, sendo por vezes inócua a intervenção humana voltada a evitar tais fenômenos.

Para a gestão do risco ambiental é necessário regular as atividades geradoras de duas formas, gestão tecnológica/técnica aplicada nas fontes e políticas públicas. O equilíbrio das ações propostas torna o ambiente favorável ao crescimento da economia e à qualidade de vida da população.

Com vistas a uma gestão técnica/tecnológica classificam-se as fontes em difusa ou pontual, estudando-se a natureza do poluente, sua dispersão e o método de tratamento, o que possibilitou a criação de parâmetros que permitem o controle do particulado. Segundo Gonçalves (2023), esses poluentes podem ser classificados como artificiais, pois são introduzidos na atmosfera por conta da atividade humana, daí a ideia de implantação de padrões de qualidade do ar, que se referem a concentração de poluentes específicos, em um determinado intervalo de tempo.

Quanto às gestões realizadas pelas políticas públicas, primeiramente se deve analisar a estratégia do ente envolvido, seus objetivos, o arcabouço legislativo e a efetividade das ações propostas. Segundo Andrade (2017) conceituam-se as políticas públicas, como o resultado da ação do estado no ordenamento da sociedade. Essas ações ocorrem por meio de normas jurídicas, edição de leis e atos normativos, que conferem direitos e estabelecem deveres aos integrantes dessas mesmas sociedades.

Segundo o Relatório de rede de monitoramento, da extinta FEEMA e hoje Instituto Estadual do Ambiente - INEA (1978), o primeiro programa de qualidade do ar surgiu em 1977, com a instalação das primeiras estações de medição. Como resultado uma série de ações foram desenvolvidas e implementadas no sentido de minimizar a emissão de poluentes, como a eliminação dos incineradores domésticos, substituição dos combustíveis empregados em padarias e nas indústrias, por exemplo.

Atualmente no Brasil, a regulação em âmbito federal se dá pelo Ministério do Meio Ambiente, por meio das Resoluções CONAMA, que possuem aspecto técnico e jurídico. Os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018. Esta resolução determina que tais padrões devem considerar os planos de controle de emissão nos Estados e no Distrito Federal em seus relatórios de qualidade do ar. Os Estados possuem liberdade para estabelecer os próprios critérios, desde que sejam mais restritivos que a legislação do Governo Federal.

O governo do Estado do Rio de Janeiro, objeto deste estudo por meio do Decreto nº 44.072/2013, define o INEA como a autarquia responsável pela administração da qualidade do ar em seu território. Para a realização dessa gestão, o órgão estadual possui um arcabouço legal de diretrizes, portarias, métodos e procedimentos responsáveis pelo gerenciamento da qualidade do ar no estado.

Para facilitar a gestão de controle do monitoramento do ar, o INEA subdividiu o estado nas seguintes Regiões: Metropolitana, Médio Paraíba e Região Norte Fluminense. A Região Metropolitana congrega 17 municípios que ocupam 11% da área total do Estado e uma extensão territorial de cerca de 5.500km<sup>2</sup>. A Região do Médio Paraíba com uma área de aproximadamente 10.000km<sup>2</sup>, equivale a 21% da área total do Estado. Já a Região Norte Fluminense estende-se desde o litoral até os limites dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e possui uma área de cerca de 9.730km<sup>2</sup>.

O INEA se utiliza do licenciamento ambiental como um dos instrumentos para a diminuição do impacto ambiental esse licenciamento está previsto na legislação CONAMA 01/1986, que é aplicada atualmente no estado por meio do Decreto nº 46.890/2019, o qual dispõe sobre o Sistema Estadual de Licenciamento e demais Procedimentos de Controle Ambiental – SELCA.

A avaliação de uma política pública está relacionada diretamente ao seu impacto na sociedade, sua eficiência e efetividade. O que pode ser mensurado por meio de instrumentos que possibilitem a geração de dados para análise no caso da qualidade do ar, o estudo das bacias aéreas, o cruzamento da legislação versus a capacidade de destinar recursos, o atendimento a especificidades, são alguns dos elementos analisados neste trabalho, em especial o monitoramento da qualidade do ar no Estado do Rio de Janeiro, respeitando as características fisiográficas, como também o caráter mandatório da legislação. Por se tratar de um estudo complexo, não seria possível citar todos os manuais pesquisados, mas, a abrangência destes foi seguida, quando apresentados os programas e ações do governo do Estado.

Como principais resultados no âmbito geral temos, no entanto, uma melhoria irrisória da qualidade do ar no período entre os anos de 2021 e 2023. Mas até esses indicadores podem ser questionados, pois existe baixa eficiência no processo de medição, bem como uma série de parâmetros que não são mensurados em determinadas estações meteorológicas.

O processo de avaliação da efetividade depende dos dados de entrada para sua análise, se o processo não é eficiente tem sua efetividade comprometida. No caso do arcabouço legislativo do Estado do Rio de Janeiro, o monitoramento e a efetividade, são pequenos se comparados as expectativas determinadas nos principais diplomas legais e sua interpeleção frente à Constituição.



### Material e Métodos

Para análise da efetividade da política pública aplicada à qualidade do ar no Estado do Rio de Janeiro, foram levados em conta e comparados os dados do IQAr (Índice de Qualidade do Ar), os inventários de emissões, o arcabouço da legislação vigente e as normas técnicas editadas pelo poder público, bem como bibliografia e artigos de natureza técnica sobre a temática. Com isso, foi empregado o método de avaliação de resultados, que permite a gradação da efetividade da política pública. Portanto a avaliação da efetividade está relacionada ao fator ambiental, com seus resultados aferidos antes e depois da aplicação da política pública.

Segundo o TCU (2020) o processo de avaliação consiste na etapa final de uma política pública. Uma das análises propostas é relativa à efetividade, na qual se propôs avaliar a relação da política pública entre seus resultados de forma direta e indireta atribuíveis a uma intervenção pública, correspondendo, portanto, a uma alteração da realidade anterior a implementação desta.

Para a Fundação João Pinheiro (2021) o processo de avaliação pode ser realizado de acordo com a Figura 1

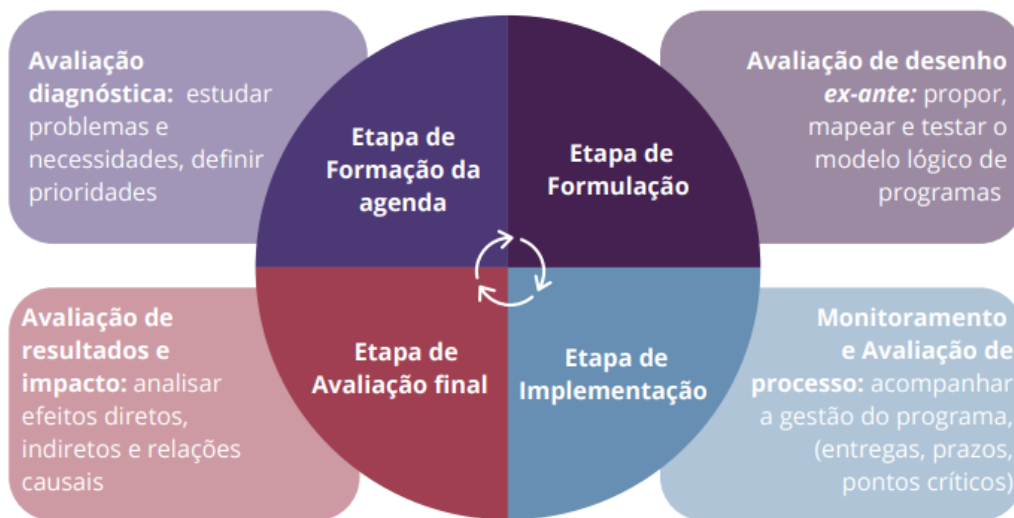


Figura 1- Fundação João Pinheiro (2021). Tipos de processo de avaliação.

Para o TCU (2020), a avaliação de políticas públicas é a avaliação do impacto global de uma política de curto e longo prazo (o qual geralmente requer considerar outras políticas que têm efeito no mesmo campo) e a avaliação da sua utilidade.



**Legenda:**

- Específico para avaliação de políticas públicas
- Usado em auditorias operacionais e, também, em avaliações de políticas públicas

Figura 2: TCU. Avaliação Global das políticas públicas.2020.



Segundo o GUID 9020 (2019), os objetivos da avaliação mais comumente reconhecidos foram o planejamento/ eficiência e a eficácia como apresentados na Figura 2, o processo de avaliação pode ser analisado por meio dos dados de entrada quanto à identificação das necessidades, assim também o processo em si com seus requisitos e efetividades, quanto à geração de impactos.

No Brasil o documento de referência para análise de políticas públicas é a Guia de a Avaliação de Políticas Públicas, apresentado em 2018 pelo governo federal. Este recomenda a adoção de um checklist para avaliação do cenário antes e depois da política pública. Uma vez a política pública já ter sido implantada e implementada, será realizada uma avaliação por meio do seguinte questionário simplificado, apresentado na Quadro abaixo:

### Quadro 1 - Critérios de Avaliação

1- Ocorreu melhoria nos itens de parâmetros de Qualidade do Ar?
2- Houve aumento do sistema de monitoramento - Está satisfatório?
3- As normas criadas atendem a todos os aspectos de controle da poluição do ar?
4- O IQAr supre as necessidades dos sistemas de avaliação?

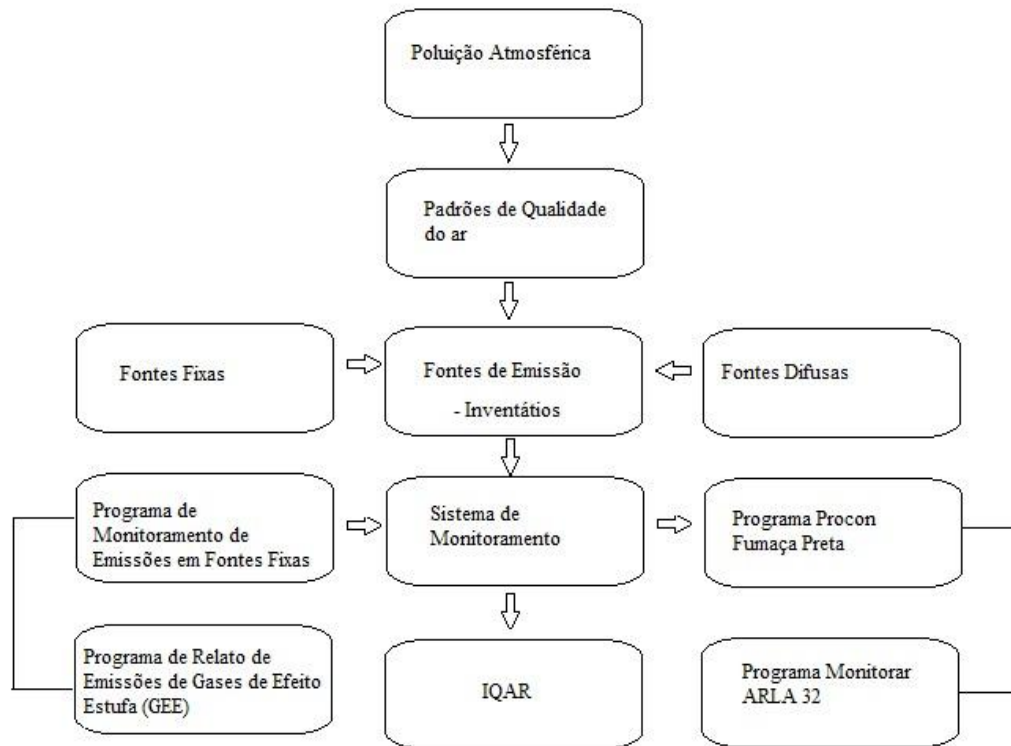
A avaliação da efetividade e impacto da política pública de qualidade do ar tem como resultado esperado a melhoria dos índices de qualidade deste último por meio de um arcabouço teórico que permita a gestão. Ao analisá-lo pretende-se contribuir com sua melhoria, fornecendo subsídios para a contínua evolução do sistema de gestão implantado e implementado pelo Governo do Estado.

### Instrumento de Gestão do Estado do Rio de Janeiro

Segundo o IEMA (2022) para assegurar uma gestão adequada da qualidade do ar é necessário instrumentos de aplicação da política pública, tais como programas, inventários de fontes emissoras, relatórios, padrões de qualidade do ar e principalmente o monitoramento que culmina no cálculo do IQAR. Assim, os principais instrumentos utilizados no Estado do Rio de Janeiro estão apresentados na Figura 3.

O INEA (2024) possui em seu escopo dois programas voltados para a fonte difusa: o Programa de Monitoramento do ARLA 32 e o Programa de Controle da Emissão de Fumaça Preta. O ARLA 32 atua indiretamente na melhoria da qualidade do ar, visto que sua principal meta é evitar a adulteração dos combustíveis através do agente redutor líquido automotivo, contribuindo para a redução da poluição decorrente da emissão de óxidos de nitrogênio (NOx) e atuando em conjunto com o Programa de Controle da Emissão de Fumaça Preta. Este último consiste em um instrumento específico para o controle de emissões de veículos pesados, como ônibus, caminhões e tratores, dentre outros, por meio de inspeções quadrimestrais que visam manter os motores em bom funcionamento, reduzindo ao máximo as emissões de poluentes na atmosfera.

Em relação aos poluentes atmosféricos gerados por fonte fixa, o INEA possui dois programas: O Programa de Monitoramento de Emissões de Fonte Fixa, propriamente dito, que consiste em amostragens periódicas e contínuas de chaminés e tubulações, assim também o monitoramento de partículas com potenciais de poluentes atmosféricos ativos no estado do Rio de Janeiro; e o Programa de Relato de Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) que obriga a quantificação ou inventário/reporte para o processo de licenciamento ambiental a empresas com emissões significativas de gases com efeito estufa.



**Figura 3: Instrumentos da gestão de qualidade do ar no Rio de Janeiro.**

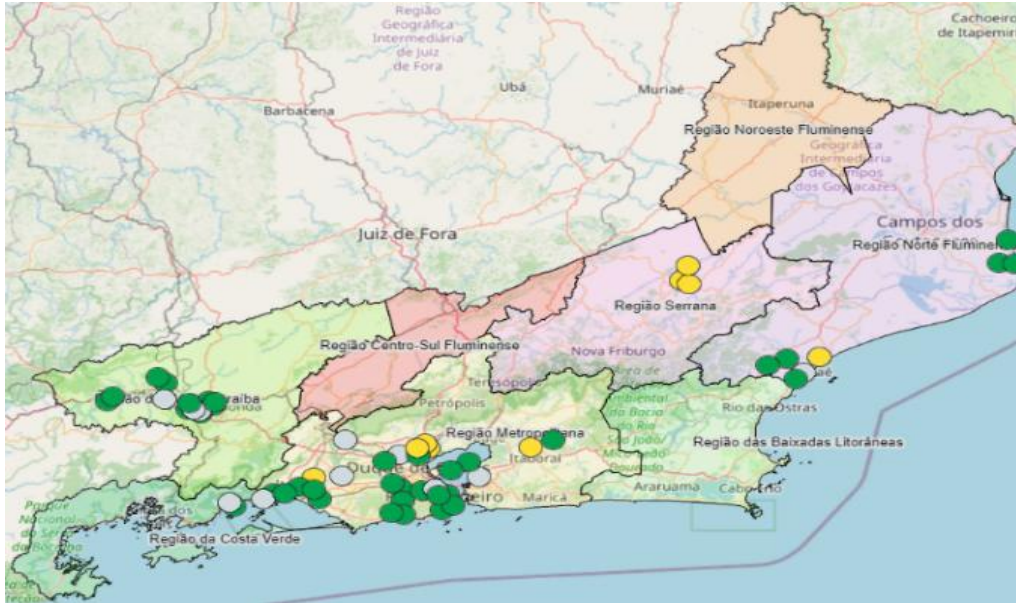
Segundo o IPEA (2024) os programas são os principais instrumentos utilizados pelos governos para promover a concretização das políticas públicas e otimizar seus recursos, sejam eles financeiros, humanos, logísticos ou materiais, onde se vê a importância desses instrumentos quando bem estruturados.

Pelo aspecto técnico os programas são fontes de dados de entrada para a gestão da qualidade do ar no Estado do Rio de Janeiro, pois deles são extraídos dados que subsidiam os inventários de gestão de qualidade ar. Tais informações técnicas juntamente com o processo de monitoramento podem determinar as políticas públicas e os ajustes na gestão a ser realizados.

O monitoramento da qualidade do ar é de grande relevância, haja vista conseguir mensurar as concentrações dos poluentes atmosféricos, gerando dados sobre suas condições atuais, constrói um histórico de dados e habilita os tomadores de decisão a planejar ações e políticas públicas no sentido de assegurar sua boa qualidade. Segundo INEA (2024) são 59 Estações meteorológicas em funcionamento, como apresentado na Tabela 1, ainda assim, estas não realizam o monitoramento de todos os parâmetros.

Para se verificar a eficiência e a eficácia destes programas e das ações desencadeadas pelos instrumentos legais, o Estado do Rio de Janeiro realiza monitoramento do ar desde 1961. Em 1986 este monitoramento passou a ser realizado por estações automáticas, permitindo a verificação de uma maior quantidade de agentes poluentes, com mais dados e precisão. Atualmente Estações meteorológicas automáticas e semiautomáticas estão dispostas em diversas regiões do Estado, como apresentado na Figura 4, a seguir:





**Figura 4: Distribuição das Estações no Estado do Rio de Janeiro.**

Fonte: INEA (2024)

Ao acessar o sistema de monitoramento da qualidade do ar do INEA, verificou-se que, apenas 59 estações encontram-se em funcionamento, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1: Quantidade de Estações de Monitoramento em funcionamento**

Região	Quantidade de Estações
RCV - Costa Verde	3
RMP - Médio Paraíba	14
RMRJ - Metropolitana RJ	31
RNF - Norte Fluminense	8
RS - Serrana	3
<b>Total Geral</b>	<b>59</b>

Compilada de: INEA (2024)

Segundo Brasil (2020) o IQRA é um índice que foi desenvolvido para divulgar à população de forma fácil e célere a qualidade do ar. Os padrões empregados neste caso são do Estado do Rio de Janeiro, por meio do Decreto nº 48.668/2023 e na escala federal pela Resolução CONAMA 491/2018. Como concepção, a cada poluente medido é calculado um índice adimensional, de acordo com os valores encontrados e calculados pela Equação 1 (onde:  $I_{ini}$  = valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa;  $I_{fin}$  = valor do índice que corresponde à concentração final da faixa;  $C_{ini}$  = concentração inicial da faixa em que se localiza a concentração medida;  $C_{fin}$  = concentração final da faixa em que se localiza a concentração medida;  $C$  = concentração medida do poluente)

$$IQAr == I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \times (C - C_{ini}) \quad (1)$$

Tem-se assim que, após a análise de cálculo ocorre a classificação por meio de uma matriz a qual possui estratificação quanto ao estado da qualidade do ar, como apresentado na Figura 5, abaixo.



Qualidade do ar e efeitos à saúde		
Boa	0 - 40	-
Moderada	41 - 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Ruim	81 - 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Muito Ruim	121 - 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

**Figura 5: Parâmetros de avaliação IQAr.**

**Fonte: INEA (2024)**

Os programas e o monitoramento são essenciais a gestão de qualidade do ar, todas as suas interfaces devem estar funcionando satisfatoriamente. Uma gestão estadual, por si só, não consiste em tarefa fácil, cada região, bacia e meio urbano, possuem suas peculiaridades. Os programas devem ser estruturados de acordo com o orçamento, bem como possuir metas claras. O que significa entender que, dependendo das circunstâncias sua implantação deverá ser gradual.

### Padrões de Qualidade do Ar

No Brasil a legislação que definiu os parâmetros de qualidade do ar foi a Resolução CONAMA 491/2018, essa qualidade pode ser alterada pela inserção de poluentes. A normativa conceitua poluentes como matéria em quantidade, tempo ou concentração, que tornem o ar impróprio para os seres vivos.

Segundo Sant'Anna et. al (2021) a qualidade do ar consiste na avaliação do nível em que a população sofreu exposição de poluentes atmosféricos. Por isso, as políticas públicas são concebidas no intuito de evitar-se a exposição da população a um nível inaceitável de concentração de um poluente. Assim, parâmetros são traçados para que as organizações criem regras, normas e programas capazes de controlar a poluição.

No Estado do Rio de Janeiro os padrões de qualidade do ar são regulamentados pelo Decreto nº 48.668/2023. Igualmente à Resolução CONAMA nº 491/2018, que prevê sua adoção de forma subsidiária, são padrões de qualidade do ar Intermediários e Final, respectivamente, PI-2, PI-3 e PF.

Como instrumento de gestão e definição de nível de padrões de qualidade do ar, a legislação apoia-se em Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, de acordo com estudos técnicos apresentados pelo INEA, bem como deliberação do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONEMA, neste último apresentam-se os padrões de qualidade do ar sugeridos pela OMS.

Para a CETESB (2019) os poluentes que compõem os parâmetros da qualidade do ar, ainda podem ser classificados de acordo com suas fontes, sendo considerados primários aqueles emitidos diretamente da fonte de emissão. Enquanto os secundários, para o MMA (2020) são resultados de reações químicas entre os poluentes primários ou pela reação dos poluentes primários com as substâncias presentes na atmosfera.

O Decreto nº 48.668/2023, apresenta dois fatores que devem ser levados em consideração no processo de análises destes poluentes, a bacia aérea, em que a emissão está sendo dispersa, a temperatura de 25°C e a pressão atmosférica de 760 milímetros de coluna de mercúrio (mmHg).

As substâncias consideradas como poluentes particulados, no Estado do Rio de Janeiro são passíveis de monitoramento



conforme apresentadas nos Quadros 2 e 3, de acordo com o Decreto acima apontado.

**Quadro 2: Padrões de Qualidade do Ar - Particulado**

Poluentes	Padrões de Qualidade do Ar - Particulado
MP2,5	Concentrações médias de 24 (vinte e quatro) horas consecutivas (99º percentil): 1. PI-1 - 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (sessenta microgramas por metro cúbico)
	Concentrações médias aritméticas anuais: 1. PI-1 - 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (vinte microgramas por metro cúbico)
MP10	Para concentrações médias de 24 (vinte e quatro) horas consecutivas (99º percentil): 1. PI-1 - 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cento e vinte microgramas por metro cúbico);
	Concentrações médias aritméticas anuais: 1. PI-1 - 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (quarenta microgramas por metro cúbico)
PTS	Concentrações médias de 24 (vinte e quatro) horas consecutivas (99º percentil): 1. PF - 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (duzentos e quarenta microgramas por metro cúbico);
	Concentrações médias geométricas anuais: 1. PF - 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (oitenta microgramas por metro cúbico);
Chumbo	O chumbo no PTS: 1. PF - Concentração média aritmética anual de 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cinco décimos de micrograma por metro cúbico), a ser monitorado apenas em áreas específicas, a critério do INEA

**Quadro 3: Padrões de Qualidade do Ar - Gasosos**

Poluentes	Padrões de Qualidade do Ar - Gasosos
Ozônio (O3)	A máxima média móvel de 8 (oito) horas consecutivas de concentração obtida no dia (99º percentil): 1. PI-1 - 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cento e quarenta microgramas por metro cúbico);
Dióxido de nitrogênio (NO2)	Para concentrações médias de 1 (uma) hora: 1. PI-1 - 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (duzentos e sessenta microgramas por metro cúbico);
	Para concentrações médias aritméticas anuais: 1. PI-1 - 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (sessenta microgramas por metro cúbico)
Dióxido de enxofre (SO2)	Para concentrações médias de 1 (uma) hora: 1. PI-1 - 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (duzentos e sessenta microgramas por metro cúbico)
	Para concentrações médias aritméticas anuais: 1. PI-1 - 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (sessenta microgramas por metro cúbico);
Monóxido de carbono (CO)	1. PF - máxima média móvel de 8 (oito) horas consecutivas de concentração obtida no dia (99º percentil) de 9 (nove) partes por milhão (ppm)

CETESB (2024) dos poluentes constantes no Quadro 2, o dióxido de enxofre pode reagir com outras substâncias presentes no ar formando partículas de sulfato que são responsáveis pela redução da visibilidade na atmosfera. Como agente poluente este é oriundo do processo de queima de combustíveis, que apresentam, dentre os efeitos nocivos à saúde humana e ao ecossistema do planeta, a formação da chuva ácida.

Já o ozônio que se dá, quando da mistura de poluentes secundários formados por reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de luz solar, tem como efeito deletério, o aumento de impacto do efeito estufa diminuindo a vida dos ecossistemas do planeta. O Monóxido de Carbono (CO) é encontrado em maiores concentrações nas cidades, emitido principalmente por veículos automotores, resultado da queima incompleta de combustíveis de origem orgânica.





O efeito negativo deste poluente é a aceleração das mudanças climáticas. Por fim, o Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), concebido por meio da combinação entre oxigênio e nitrogênio, é oriundo de ações antrópicas, como queima de combustíveis, geração de energia por termoeletricas e atividades industriais. Esse poluente lançado na atmosfera, provoca a diminuição da capacidade respiratória.

Os poluentes atmosféricos devem ser controlados com vistas à manutenção da saúde do planeta, medidas de saúde pública devem ser elaboradas haja vista o avanço dos processos industriais e tecnológicos, visando mudanças na realidade da emissão desses poluentes.

### Análise e resultados

O arcabouço legal formado pelas políticas públicas, normas, programas e seus planos obrigatórios, como apresentado na Figura 3, mostra-se deficiente no que tange a organização do controle de emissão versus capacidade de suporte da bacia aérea em questão. O processo de licenciamento, controla a quantidade de partículas emitidas, entretanto, não limita as fontes de emissão, isso significa que não apresenta um sistema de regulação de usos da bacia aérea determinada para cada região. Estas por sua vez têm suas características naturais, econômicas e populacionais capazes de definir qual o tipo de monitoramento adequado. A obrigatoriedade de espelhar a legislação federal nos parâmetros mínimos dificulta o cumprimento da política, podendo gerar aumento de custos.

Para a efetividade de uma política pública, de acordo com a Figura 1, que apresenta o seu processo de formulação na fase de diagnósticos dos parâmetros de custo e da estratégia de implantação, não se apresentam adequados à capacidade de investimento, uma vez diferenciado o processo de monitoramento e divulgação dos dados previstos na legislação estadual.

Os programas de qualidade do ar para veículos apresentam resultados pontuais, por característica deste tipo de máquina, podendo ocorrer a desregulação dependendo das condições a que foram submetidas. Quando se trata de frota com motores a diesel, a sistemática apresentada pelo INEA prevê a avaliação quadrimestral, mas não de todos os veículos, o que se dá por amostragem. Outros, os de fonte fixa, não são claros quanto ao critério de bacia aérea, favorecendo a saturação do ar local.

A efetividade da política pública e a eficiência dos processos devem ser fatores preponderantes, incluindo assim também a economicidade, como apresentados na Figura 2, a qual nos fornece o método de avaliação, por meio do impacto a ela associado. Daí a importância do sistema de monitoramento medir e valorar os poluentes apresentados por meio dos Quadros 3 e 4, conforme descritos nos Decreto Estadual nº 48.668/2023.

**Tabela 2: Eficiência anual do Monitoramento**

Ano	Eficiência Anual	Parâmetro	CO	MP10	MP2,5	NO2	O3	SO2	Média
2021	39,03%	RCV - Costa Verde	0,00%	83,47%	0,00%	20,46%	21,55%	20,55%	24,34%
		RMP - Médio Paraíba	40,43%	76,65%	19,33%	32,11%	39,86%	39,49%	41,31%
		RMRJ - Metropolitana RJ	36,07%	47,67%	9,42%	39,17%	47,72%	37,95%	36,33%
		RNF - Norte Fluminense	71,58%	40,07%	15,72%	64,52%	70,34%	36,61%	49,81%
		RS - Serrana	0,00%	71,87%	26,58%	64,93%	89,68%	0,00%	42,18%
2022	41,79%	RCV - Costa Verde	0,00%	75,80%	0,00%	33,15%	30,59%	23,65%	27,20%
		RMP - Médio Paraíba	39,14%	76,03%	20,88%	39,67%	40,18%	42,11%	43,00%
		RMRJ - Metropolitana RJ	36,00%	48,45%	11,06%	45,59%	47,60%	49,76%	39,74%
		RNF - Norte Fluminense	68,22%	41,37%	23,90%	65,38%	65,14%	35,55%	49,93%
		RS - Serrana	0,00%	80,82%	54,43%	81,37%	84,93%	0,00%	50,26%
2023	42,95%	RCV - Costa Verde	0,00%	81,74%	0,00%	29,13%	29,95%	4,20%	24,17%
		RMP - Médio Paraíba	39,82%	81,25%	21,39%	41,49%	38,34%	44,38%	44,45%
		RMRJ - Metropolitana RJ	35,39%	45,82%	11,03%	40,89%	63,97%	46,19%	40,55%
		RNF - Norte Fluminense	73,46%	45,24%	23,97%	78,80%	77,02%	37,05%	55,92%
		RS - Serrana	0,00%	85,21%	49,86%	74,06%	60,73%	0,00%	44,98%
<b>Eficiência Geral do Sistema</b>			37,90%	57,20%	15,48%	45,54%	52,25%	39,17%	41,26%

Compilada de: INEA (2024)

A quantidade de agentes monitorados no Estado do Rio de Janeiro, no ambiente INEA, compõem a malha de avaliação



da qualidade do ar no estado. Os dados analisados referem-se ao monitoramento dessa qualidade no período entre os anos de 2021 a 2023 e foram coletados diretamente do portal de informações do INEA. Com o auxílio de ferramentas de *business intelligence* (BI), estes dados foram analisados e equalizados em períodos regulares (diários) de modo que fosse possível a comparação direta entre as condições de monitoramento presentes em todo o Estado do Rio de Janeiro, conforme apresentado na Tabela 2.

A se destacar, o não cumprimento das diretrizes de monitoramento da qualidade do ar. Esse estudo mostra que 25,42% das estações de monitoramento estão inoperantes ou sem dados disponíveis à população, o que, para o TCU (2021), demonstrou fragilidade no planejamento e na execução da gestão pública, negligenciando etapas relevantes como a transparência na inclusão dos problemas, capacidade de solucioná-los, desempenho insatisfatório em eficiência e alcance dos objetivos e resultados.

É relevante que apenas 11,86%, como apresentado na Tabela 3, das estações possuam histórico de monitoramento de todos os parâmetros mínimos, o que ocorre somente nas estações de Manguinhos, Adalgisa Nery, Mato Escuro, Açú, Belmonte, Retiro e Santa Cecília, porém, apenas as quatro últimas possuem frequência diária de monitoramento igual ou superior a 90%. Como apresentadas na Tabela 4 a seguir.

**Tabela 3: Percentual do Monitoramento dos Parâmetros obrigatórios**

Parâmetros Monitorados	Frequência Absoluta (Fi)	Fi Acumulada	Frequência Absoluta (FA)	FA Acumulada
0	1	1,69%	1	1,69%
1	19	32,20%	20	33,90%
2	4	6,78%	24	40,68%
3	7	11,86%	31	52,54%
4	8	13,56%	39	66,10%
5	13	22,03%	52	88,14%
6	7	11,86%	59	100,00%
<b>Total Geral</b>	<b>59</b>	<b>100,00%</b>	<b>--</b>	<b>--</b>

Compilada de: INEA (2024)

**Tabela 4: Estações de monitoramento do ano 2023 – completa e em funcionamento**

Região	Município	Nome da Estação	CO	MP10	MP25	NO2	O3	SO2
RMRJ - Metropolitana RJ	Rio de Janeiro	Manguinhos	76%	42%	61%	97%	90%	97%
RMRJ - Metropolitana RJ	Rio de Janeiro	Adalgisa Nery	99%	67%	92%	99%	92%	100%
RNF - Norte Fluminense	São João da Barra	Mato Escuro	94%	97%	97%	84%	95%	98%
RNF - Norte Fluminense	São João da Barra	Açú	90%	94%	94%	94%	90%	94%
RMP - Médio Paraíba	Volta Redonda	Belmonte	100%	100%	100%	100%	100%	100%
RMP - Médio Paraíba	Volta Redonda	Retiro	100%	100%	100%	100%	100%	100%
RMP - Médio Paraíba	Volta Redonda	Santa Cecília	99%	91%	92%	99%	97%	99%

Compilada de: INEA (2024)

O mapa de localização das estações de monitoramento apresentados na Tabela 4, evidencia uma importante lacuna nos padrões de qualidade do ar observados no Estado do Rio de Janeiro por não incluir esse tipo de estações nas Regiões Geográficas do Centro-Sul Fluminense e Noroeste Fluminense, impactando diretamente ao princípio da universalidade das políticas públicas, em especial as voltadas ao direito à saúde.

Por meio da Tabela 2 que analisa os dados de todas as estações de 2021 a 2023, o monitoramento geral do sistema de poluentes possui baixa eficiência em seu acompanhamento pois o CO (37,90%); MP10 (57,20%); MP2,5 (15,48%); NO<sup>2</sup> (45,54%); O<sup>2</sup> (52,25%) e SO<sup>2</sup> (39,17%) possuem resultados irrisórios. Para uma política pública de cunho ambiental e vinculada a saúde dos seres vivos, a não fiscalização na medição desses particulados tem um peso negativo enorme para a sociedade, pois tais informações são a base de dados para outras políticas, como a de saúde pública.



### Conclusão

A análise detalhada realizada neste estudo revelou uma série de desafios e lacunas no arcabouço técnico-legal do Estado do Rio de Janeiro para o controle da poluição atmosférica. Embora existam programas e instrumentos estabelecidos, como o monitoramento da qualidade do ar pelo INEA e os padrões de qualidade definidos pelos decretos estaduais e pela legislação federal, há uma clara necessidade de aprimoramento em diversas áreas.

A efetividade das políticas públicas de controle da poluição atmosférica foi comprometida por questões como o funcionamento deficiente de estações de monitoramento, o não cumprimento adequado de suas diretrizes, a falta de abrangência geográfica em determinadas regiões e a ausência de fiscalização de certos poluentes. Essas deficiências minaram a capacidade do Estado em tomar decisões práticas e implementar medidas eficazes para proteger a saúde pública e o meio ambiente.

Para superar esses desafios, são necessários esforços coordenados em várias frentes. Isso inclui investimentos em infraestrutura para melhorar o funcionamento das estações de monitoramento, revisão e atualização das diretrizes deste último para garantir abrangência e qualidade dos dados coletados, bem como ações para fortalecer a fiscalização e o cumprimento das normas em face das fontes poluidoras.

Além disso, é crucial que haja uma abordagem integrada que leve em consideração não apenas os aspectos técnicos e legais, mas também as dimensões socioeconômicas e ambientais. Isso envolve a promoção de políticas de transporte sustentável, incentivos para a adoção de tecnologias limpas, educação ambiental e engajamento da sociedade civil.

A qualidade do ar no Estado do Rio de Janeiro requer um compromisso renovado com a implementação eficaz das políticas públicas, o fortalecimento das instituições responsáveis e a colaboração entre todos os atores envolvidos. Somente assim será possível garantir um ambiente saudável e sustentável para as gerações presentes e futuras.

### Referências Bibliográficas

ALVES. Ana Clara Matias, ROSA. Paula de Freitas, AGUIAR. Mônica Lopes. **Determinação da Concentração de Chumbo (Pb) Presente no Material Particulado Fino (MP2,5) e Grosso (MP10) da Região Central de Goiânia – GO.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, V.11 N.21; P.2556.2015

ANDRADE. Aparecida de Moura. SANTANA. Héctor Valverde. **Avaliação de políticas públicas versus avaliação de impacto legislativo: uma visão dicotômica de um fenômeno singular.** Revista Brasileira de Política Pública. UNICEUB. 2017.

Banco Internacional. **Relatório Sobre Clima e Desenvolvimento Para o País.** 2023

BRASIL. Casa Civil da Presidência da República. **Avaliação de políticas públicas: Guia Prático de Análise ex ante**, volume 1/ Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. – Brasília: Ipea, 2018

BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. <https://www.ipea.gov.br/portal/acoes-e-programas-menu>. Acesso: 03/2024

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar / Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Departamento de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos. – Brasília, DF: MMA, 2020

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Referencial de controle de políticas públicas.** Brasília: Secretaria de Controle Externo do Desenvolvimento Econômico. 2020.

CETESB. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2019.** São Paulo, 2020. <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2020/07/Relat%C3%B3rio-deQualidade-do-Ar-2019.pdf>

CETESB. Qualidade do ar. <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso: 03/2024

CHAMBERLAIN. Isabella Mendes de Matos. **Análise Acerca de Denúncias de Poluição do Ar nas Proximidades da Companhia Siderúrgica Nacional.** UFF. 2021

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 491.** Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Brasília, DOU, outubro de 2018

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 01.** Dispõe sobre Licenciamento ambiental. 1986

GONÇALVES. Bianca Regina de Souza. RODRIGUES. Núbia Beatriz Fonseca. RIBEIRO. Christian Ricardo. **Poluição Atmosférica e Saúde Humana no Estado de São Paulo: Uma Revisão Sistemática de Teses e Dissertações.** REVISTA HYGEIA. DOI: <https://doi.org/10.14393/Hygeia1964677.2022>





Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). **Recomendações Para a Expansão e a Continuidade das Redes de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil.**2022.

INTOSAI. **Evaluation of Public Policies-** GUID 9020. 2019

INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Boletim de Qualidade do Ar -18/03/2024.

INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Rede de Estações de Monitoramento na Região Metropolitana do Rio de Janeiro -1978

INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Sistema Integrado de Gestão de Qualidade do Ar. <https://portalsigqar.inea.rj.gov.br/servicos/indice-de-qualidade-do-ar>. Acesso 04/04/2024

Brasil. Ministério do Meio Ambiente – Poluentes Atmosféricos. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes ar/poluentesatmosf%C3%A9ricos](http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-ar/poluentesatmosf%C3%A9ricos) Acesso: 2024.

PINHEIRO. Fundação João. **Avaliação de Políticas Públicas: Por Onde Começar? Um Guia Prático da Metodologia do Marco Lógico.** Belo Horizonte: FJP, 2021.

Rio de Janeiro. Decreto nº 44.072. Regulamenta os padrões de qualidade do ar no estado do Rio de Janeiro.2013

Rio de Janeiro. Decreto nº 48.668/2023. Regulamenta os padrões de qualidade do ar no estado do Rio de Janeiro.2023

Rio de Janeiro. Decreto nº 46.890. Dispõe sobre o Sistema Estadual de Licenciamento e demais Procedimentos de Controle Ambiental.2019

SANT'ANNA. André. et al. **O Estado da Qualidade do Ar no Brasil.**WRI Brasil.2021.

SANTANA. Franciele Oliveira. **Contaminantes/Poluentes Atmosféricos Gasosos em Centros Urbanos Brasileiros.** Instituto de Química Programa de Pós-Graduação em Química. UFBA.2019.



## POLÍTICAS PÚBLICAS: MELHORIA DOS AMBIENTES CONSTRUÍDOS DOS IDOSOS NA VILA VICENTINA DE BAURU/SP - BRASIL

1Quintino Augusto C6 de Seabra, 2Rosane Aparecida Gomes Battistele, 3Jacqueline de almeida barbosa franco, 4Bruno Humberto da Silva

1 Universidade Estadual Paulista - Unesp - Bauru-FEB, e-mail: quintino.augusto@unesp.br; 2 Universidade Estadual Paulista - Unesp - Bauru-FEB, e-mail: rosane.battistele@unesp.br; 3 Universidade Estadual Paulista - Unesp - Bauru-FEB, e-mail: jacqueline.barbosa@unesp.br; 4 Universidade Estadual Paulista - Unesp - Bauru-FEB, e-mail: bruno.humberto@unesp.br

**Palavras-chave:** Políticas Públicas; Melhoria dos ambientes construídos dos idosos; Sustentabilidade ambiental e social.

### Resumo

Durante o período pandêmico, sob o ponto de vista socioeconômico e ambiental, a integridade das pessoas e a interação social se tornaram limitadas, com a necessidade de buscar novos estilos de vida, com uma qualidade de vida pessoal melhorada principalmente, dos mais vulneráveis, em destaque, os idosos. Este artigo analisou as instalações de um abrigo dos idosos, localizado no município de Bauru/SP – Brasil, propondo readequações e novas instalações. Após visitas técnicas (levantamento *in loco*) e *Survey* (aplicação do questionário ao público-alvo), buscou-se desenvolver os projetos de melhorias no local por meio de uma pesquisa-ação, além da inserção de novas áreas de convivências alinhadas a Agenda 2030, com a meta: Saúde e o Bem Estar Familiar (ODS da ONU). A primeira ação na Vila Vicentina de Bauru/SP foi à criação de uma horta comunitária inclusiva aos idosos residentes, além de melhorar as sinalizações para facilitar localizações dos edifícios internos, a pintura do mobiliário público, pintura da igreja, construção de uma praça central com quiosques, implantações de árvores frutíferas e a construção de lago artificial com a ponte (passarela) formando assim, um espaço aberto de lazer e também produtivo, de forma a estimular os idosos sedentários a se locomoverem e a interagirem em um espaço natural e alegre. Esta primeira iniciativa foi construída ao longo de 2022 e 2023 e tem contribuído efetivamente em um maior bem-estar físico e mental dos moradores, além de minimizar a precariedade das instalações existentes. A segunda fase (2024) está em andamento para o efeito da construção do jardim sensorial e quadra poliesportiva para proporcionar o envelhecimento ativo para os usuários (idosos residentes) da Vila Vicentina de Bauru/SP.

### Introdução

As instalações de melhoramentos e revitalizações que consistem na refuncionalização de espaços estratégicos que portam significado histórico, cultural e social (MOURA, *et al.*, 2006) para melhoria da qualidade urbanística e paisagística benéfica aos usuários locais, demandam recursos humanos qualificados, estudos preliminares, projetos e altos investimentos financeiros, que podem ser obtidos pela iniciativa privada ou financiamento público. No entanto, de acordo com Foglia *et al.* (2023), os processos necessários para o desenvolvimento dos ambientes sociais, convidativos e equitativos que podem ser um elemento de permanência mesmo em crises sanitárias com a pandemia COVID-19, devem apartar-se do apoio governamental, privado e de organizações não governamentais, assentindo com as políticas públicas e propostas projetuais.

Durante o período pandêmico, o mundo se isolou em suas casas, onde todo o trabalho e convivência social eram realizados de maneira online, comprometendo a qualidade de vida das pessoas, principalmente, da população idosa (ERIKSSON; HJELM, 2022).

O envelhecimento é um processo inevitável a todo ser vivo e a fase da velhice, denominada terceira idade, é determinada como um processo universal, onde compreende a diminuição das atividades físicas, capacidades motoras, imunológicas e a tendência de aumento de enfermidades (CAMACHO; COELHO, 2010).

Dos Santos *et al.* (2013) afirmam que “o crescimento da população idosa é um fenômeno mundial e trata-se de um processo caracterizado pelo aumento da longevidade populacional”. Com a criação do Plano de Ação Internacional sobre o Envelhecimento de Viena, Áustria (1982), foi publicado na 1ª Primeira Assembleia Mundial para o Envelhecimento, um documento que fornece 62 recomendações de ações que facilitam a formulação de políticas e programas que ainda no século XXI, serão capazes de responder às necessidades dos idosos. Dentre as recomendações se destacam: fortalecimento, capacitação das instituições de saúde, proteção civil, família, habitação, meio ambiente, renda, emprego, educação, pesquisa, cooperação, intercâmbio de experiências, etc. (VIENNA INTERNATIONAL PLAN OF ACTION ON AGEING, 1982).

A promulgação da Constituição Federal Brasileira em 1988 determinou que o Estado deva ter a responsabilidade de assegurar e amparar os idosos, garantir sua participação na comunidade, defendendo sua dignidade, bem-estar e garantindo-lhes o direito à vida (Art. 230). Consequentemente, o Brasil, em 1994, criou a Política Nacional de Idoso (PNI), que foi regulamentada pela lei nº 8.842, de 4 de janeiro de 1994 – que assegura e reforça os direitos sociais, saúde à pessoa idosa, bem como a promoção da autonomia, integração e participação efetiva na sociedade nos cuidados com os idosos.

O envelhecimento da população brasileira tem apresentado grandes desafios, tanto para as políticas de saúde pública, quanto para as políticas sociais que visam melhorar a qualidade de vida dos idosos (DOS SANTOS *et al.*, 2013).

Figueredo *et al.* (2023) expressam que os espaços livres têm sido como fatores determinantes na qualidade de vida dos



longevos, tanto no aspecto físico-biológico quanto psicossocial. No entanto, a falta de planejamento, infraestruturas verdes e lugares abertos, têm condicionado estímulos negativos na condição psicológica dos idosos (JACOBS, 2000). Tais espaços deveriam apresentar designs concretos e soluções amigáveis à população idosa, isto é, uma cidade inteligente e inclusiva com características e alternativas que atendam a crescente sociedade em envelhecimento, conforme as recomendações da guia (*Age-friendly Cities Global: A Guide*) lançada pela Organização Mundial de Saúde - OMS, em 2007.

A pesquisa realizada pela Comissão Europeia sobre “qualidade de vida nas cidades europeias”, em 2019, focadas em 83 cidades localizadas em 38 países, identificou quatro (4) principais áreas de intervenção política para melhorar a qualidade de vida dos idosos: a) *desenvolvimento de um ambiente amigável para idoso*; b) *consciência de estilo de vida ativo e saudável*; c) *serviços integrados e conectividade aprimorada*; e d) *empreendedorismo para terceira idade* (FOGLIA *et al.*, 2023).

De acordo com Barbabella *et al.* (2020), a União Européia (*European Union – EU*) e a Comissão Econômica Européia das Nações Unidas (*UNECE*) desenvolveram o Índice de Envelhecimento Ativo – IEA (*Active Ageing Index – AAI*), como instrumento político para monitorar e identificar as áreas de intervenções da política de Envelhecimento Ativo (*Active Ageing – AA*) de todos os países da União Europeia. A política de “AA” foi usada nos finais de 1990 e início de 2000, para se compreender e responder aos desafios socioeconômicos relacionados com as tendências de aumento demográfico. Atualmente, é aplicada na prática para alcançar os objetivos políticos de aumentar as taxas de emprego dos idosos, mitigar a aposentadoria precoce e aumentar assim, a idade mínima de aposentadoria, visando uma longa vida profissional e social.

Os principais fatores que influenciam o envelhecimento são determinados pelo gênero, classe social, cultura, padrões de saúde individuais e coletivos de uma sociedade. (SCHNEIDER; IRIGARAY, 2008).

As iniciativas e projetos para melhorar espaços impactantes, construir as cidades e principalmente, ambientes construídos amigáveis aos idosos, podem ser determinados a partir dos decisórios das políticas públicas juntamente, com os técnicos (arquiteto, urbanistas, engenheiros, cientistas e etc.) capacitados e com conhecimentos sobre as necessidades primordiais da população idosa (FIGUEREDO *et al.*, 2023).

Segundo Detweiler *et al.* (2012), o convívio com a natureza, plantas e jardins, fornecem relaxamento e benefícios restauradores, ajudam a reduzir os níveis de estresse, regula as emoções e promove bom humor, Scott *et al.* (2020), abordou como a terapia horticultural como prática, auxiliam atividades terapêuticas e reabilitativas que afetam positivamente à saúde, isto é, proporcionam bom humor, aumento da autoestima e a interação social. Como consequência desses esforços e pesquisas, a Agenda 2030, que se trata da agenda mais ambiciosa e abrangente em vigor (UN, 2015), contempla objetivos que resguardam o direito dos idosos e não serem deixados para trás, destacando o *ODS 3: Saúde e o Bem-estar*; *ODS 6 – Água Limpa e Saneamento*; *ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis* como sendo fatores fundamentais para qualquer Estado ou comunidade que deseja obter progresso humano saudável (UN, 2015).

O conforto térmico e o bem-estar da população idosa nas edificações são significativamente influenciados pelos desempenhos térmicos internos. No entanto, os idosos devem habitar nos ambientes internos confortáveis, isto é, ambientes não excessivamente quentes e frios, evitando assim, os riscos à saúde. Destaca-se que idosos tendem e preferem uma temperatura mais alta (2 °C acima) do que os adultos jovens em qualquer estação climática (ZHOU *et al.*, 2023).

Diante do crescimento da população idosa no mundo (1,4 bilhão de pessoas estimadas até 2030) (ONU, 2019), vários pesquisadores têm destacado a importância de explorar e melhorar a qualidade de vida socioambiental para os idosos.

Considerando o exposto, este artigo propõe a seguinte questão de pesquisa-ação: como a melhoria dos ambientes construídos e criações dos espaços desejados pelos idosos podem contribuir para o bem-estar dos idosos e no desenvolvimento socioambiental sustentável local? Este artigo tem como objetivo apresentar propostas projetuais, demonstrando assim, importância da revitalização de alguns ambientes construídos e a criação de novos espaços desejados aos idosos da Vila Vicentina – Bauru/SP que são capazes de proporcionar o desenvolvimento socioambiental local, delineando assim, com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas.

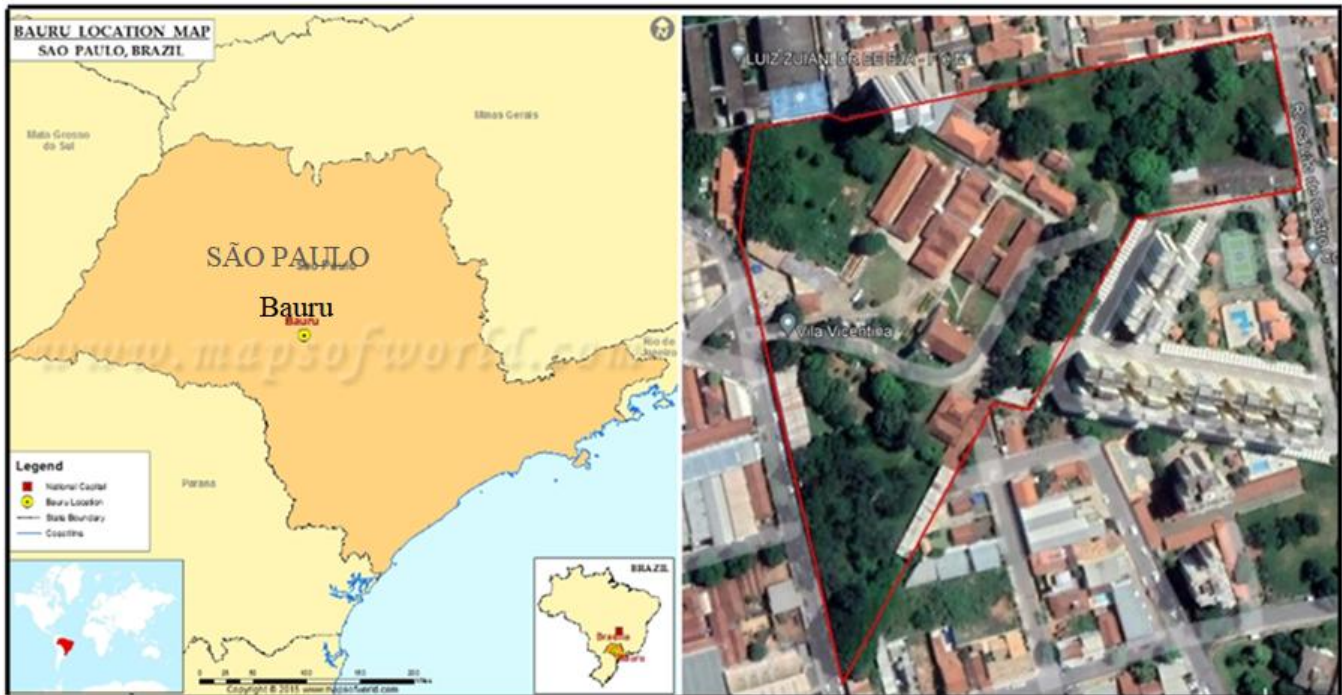
### Vila Vicentina de Bauru/SP

A instituição de longa permanência dos idosos (ILPI) denominada de Vila Vicentina de Bauru é um lar concebido especialmente para abrigar pessoas na terceira idade em condições de vulnerabilidade, e conta com alguns serviços básicos para contribuir na sua autossustentação. A Vila foi fundada em 01 de março de 1940, com o objetivo de atender os idosos gratuitamente sem distinção de cor, raça, sexo e credo religioso, proporcionando assim, dentro da comunidade, um ambiente acolhedor. A tutela da Vila é assegurada pela Sociedade de São Vicente de Paulo – SSVP. A Instituição SSVP foi fundada no Brasil em 1872 e mantém creches, escolas, projetos sociais e lar de idosos (VILA VICENTINA, BAURU, 2021).

Atualmente, a Vila Vicentina de Bauru atende 50 idosos acolhidos (residentes) e mais 30 idosos do projeto Centro dia (uma creche diária para os Idosos), sendo oferecidos atendimentos nas seguintes áreas: nutrição, enfermagem, fisioterapia, etc. O abrigo também mantém seus atendimentos graças à participação e colaboração da sociedade civil, visto que os recursos públicos recebidos são insuficientes para manter todos os serviços prestados.

No início de 2022, a administração da Vila em colaboração com a Universidade Estadual Paulista (UNESP/Bauru), desenvolveram algumas reformas e novas construções com objetivo de ampliar os serviços e melhorar a qualidade de vida dos idosos proporcionando, assim, um ambiente ideal para os usuários e funcionários. Atualmente, a Vila conta com as seguintes áreas de serviços e atividades: área administrativa; área residencial; área social; área para fisioterapia; enfermagem (que funciona atualmente em parceria com a Prefeitura de Bauru); área religiosa; área de entretenimento e de lazer; e área produtiva (VILA VICENTINA, BAURU, 2022).





**Figura 1: Localização da Vila Vicentina de Bauru / SP - Brasil.**

Fonte: <https://pt.mapsofworld.com/where-is/bauru.html> e Google Earth. Adaptada pelos autores (2022)

O abrigo (Figura 1) está distribuído em uma área de aproximadamente 39.300 m<sup>2</sup> em um perímetro de aproximadamente 975 m e oferecem serviços e atendimentos de qualidade e 79 funcionários qualificados para facilitar os desafios diários.

### Método de Pesquisa

Para efeito desse trabalho, foi realizada na Vila Vicentina de Bauru, uma Pesquisa-ação, sendo o método de pesquisa que permite que haja uma interação direta entre pesquisador e o objeto de pesquisa, de modo interventivo para melhorar ou solucionar os problemas evidentes (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; THIOLENT, 1974; TRIPP, 2005). A referida ação foi auxiliada e acompanhada com uma revisão básica da literatura, observação sistemática (levantamento *in loco*) *esurvey* (aplicação do questionário ao público-alvo). Entretanto, os dados adquiridos, tanto os questionários aplicados ao público-alvo, compreenderam as evidências das práticas, atitudes, situações, conhecimentos e comportamentos do abrigo. Efetivamente, o alvo pesquisado e as respostas, fornecem os dados confiáveis e reprodutíveis (STORY; TAIT, 2019).

Após a primeira fase da ação, foram delineadas várias propostas a serem atendidas (segunda fase a ser executada) de acordo com a disponibilidade dos recursos humanos. Durante a pesquisa-ação no asilo, que teve o início em 2022, foram realizadas múltiplas atividades (descritas no resultado) com o objetivo de melhorar os ambientes construídos no asilo (Vila Vicentina de Bauru) e também criar estratégias para aumentar recursos da manutenção dos idosos residentes.

Atualmente, dentre as atividades (ações) propostas para melhorar os ambientes construídos e, conseqüentemente, proporcionar a qualidade de vida dos idosos da Vila Vicentina, foi atingido 50% do total definido no projeto inicial. Porém, a execução das próximas etapas (propostas) será realizada em função da disponibilidade dos recursos geridos pela Administração da Vila. Salienta-se que uma Pesquisa-ação pode ser concluída em longo prazo por motivo de barreiras, e nem todas as ações são resolvidas de uma forma imediata (THIOLENT, 1947).

### Resultados

#### Praça com Lago Artificial, Quiosques e Sinalizações

Para atingir os objetivos traçados após reuniões, observações e respostas de *survey* (aplicados para os idosos, administradores e funcionários) da Vila Vicentina, foram projetados e apresentados os projetos solicitados e iniciou-se a fase de construção. A mão de obra para construções contou com auxílio dos técnicos voluntários e reeducandos da Penitenciária de Bauru.

Atualmente, Vila Vicentina conta com novas infraestruturas instaladas (Figura 2) na parte central do terreno, construídas com materiais alternativos, no qual, a grande parte destes, foi uma ampla quantia dos materiais reciclados e aproveitáveis provenientes dentro da Vila.



**Figura 2: Pracinha com lago artificial, quiosques e sinalizações. Fonte: Projeto e fotos editadas pelos autores, 2023.**

As sinalizações feitas de bambu (Figura 2) facilitaram e facilitam as localizações dos edifícios aos novos visitantes que procuram um determinado estabelecimento dentro do enorme espaço da Vila. A pracinha com o lago artificial, a ponte (passarela) e tanto como os dois quiosques têm atraídos atenções dos idosos residentes e usuários. Resumindo, todo o conjunto se transformou em um espaço paisagístico de passeio, diálogo ao ar livre e também, condicionou os idosos a aumentarem diariamente as suas mobilidades físicas e se interagirem com a comunidade nesse ambiente natural aconchegante.

### Reestruturação da Horta Comunitária, Minhocário, e Sistema de Irrigação

Após os tempos primórdios da Vila Vicentina de Bauru, existia uma horta improvisada de pequeno porte que produzia algumas hortaliças que complementava parte de dieta diária de certos idosos residentes.

Uma iniciativa desse conjunto de projetos que visa melhorar os ambientes construídos e a qualidade de vida dos idosos residentes do asilo (Vila Vicentina) foi também, aumentar a produtividade e implementação da hortoterapia inclusiva que são capazes de proporcionar o bem-estar físico e psíquico dos idosos. Assim, foram realizadas a reestruturação e ampliação de hortas com auxílio do recurso financiado pelo *FUNDEB* da UNESP–Bauru e foram executadas pelos voluntários e reeducandos da Penitenciária de Bauru. No entanto, o projeto gerou duas hortas, uma reestruturada com 10 canteiros elevados distribuídos harmonicamente dentro de uma área construída de 250 m<sup>2</sup> e vedada completamente de telas metálicas suportada com a estruturada de troncos de eucaliptos, e a outra, ampliada horizontalmente no solo com uma área aproximadamente 800 m<sup>2</sup>.

Para manutenções e principalmente sustentações de duas modalidades de horta de modo sustentável, foi construído um *minhocário* e um *sistema de irrigação semiautomática* com os materiais alternativos, conforme ilustra a Figura 3.



**Figura 3: Horta reestruturada, minhocário e sistema de irrigação adaptado. Fonte: Editada pelos autores, 2023**

O vasto território livre (área não construída) da Vila, conta ainda com uma terra que possibilita nova expansão agrícola que poderá produzir hortaliças e frutas excedentes para eventual comercialização. Dentre as atividades realizadas durante a reestruturação, se salientam as três atividades fundamentais: (a) *Criação de acessibilidade para facilitar o acesso e comodidade aos idosos e usuários (ODS 3 – Saúde e Bem-estar)*; (b) *Criação e execução de um sistema de irrigação semiautomática para economizar água*; e (c) *Construção do minhocário, alinhada ao ODS 6 – Água Limpa e Saneamento*.

O sistema de irrigação semiautomática foi pensado e instalado de duas formas de irrigações que pudessem captar água das seguintes fontes: poço cavado com bomba-motor e água da rede pública. O primeiro sistema foi implementado com o objetivo de reduzir os desperdícios das águas potáveis e também amenizar os gastos da Vila com as despesas de consumo da água da rede pública (Figura 4). O Banco Mundial afirma que, cerca de um bilhão de indivíduos não têm acesso a água potável, causando milhões de mortes a cada ano (ABD KODOUS, 2018). Por isso, o uso da água para qualquer atividade produtiva deve ser racional, evitando-se assim o desperdício da reserva hídrica do planeta (DIAS; DIAS, 2019). O uso racional de água por meio de sistema irrigação estruturada construídas com os materiais de baixo custo para abastecer as plantações minimiza o consumo e o custo da água com a finalidade de se basear e se alinhar com o *ODS 6 – Água Limpa e Saneamento* e a situação econômica





e financeira da Vila Vicentina, ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis.

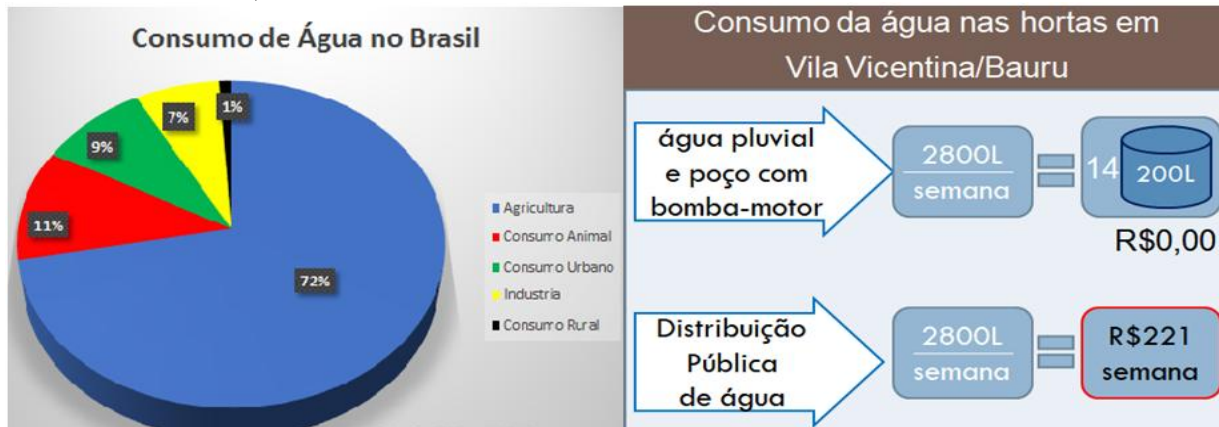


Figura 4: Consumo de água no Brasil e nas hortas da Vila. Fonte: EOS Consultants. Adaptada pelos autores 2022.

No sistema de irrigação instalado (Figura 3) na Vila Vicentina de Bauru, foram reaproveitados os reservatórios (cilindros de 200 litros) que foram descartados, reduzindo assim, descarte público ao meio ambiente e economizar as despesas da Vila.

O *minhocário* (Figura 3) foi construído próximo a horta reestruturada para garantir uma produção equilibrada orgânica dos alimentos (frutas, hortaliças) sem agrotóxicos, ao invés de se gastar parte de recurso financeiro local para compras de adubos e fertilizantes industriais. Vale ressaltar que um *minhocário* é um sistema de reciclagem do lixo orgânico caseiro com minhocas e uma pequena porção da terra úmida que transforma os restos dos alimentos descartados em adubo e fertilizantes orgânicos que poderão ser empregados em qualquer tipo de plantação, em especial, hortaliças (SCHIEDECK *et al.*, 2014).

O Fundo Mundial para a Natureza (*World Wide Found for Nature – WWF*) (2019) afirma que o Brasil é o quarto país no mundo que mais produz quantidade de lixo, produzindo diariamente centenas de toneladas de lixo. Porém, uma das alternativas que deverão ser difundidas e colocadas em prática é a política de reduzir-se parte dos descartes dos lixos domésticos, onde também podem ser implementadas ações de compostagem dos resíduos orgânicos e reciclagem.

O *minhocário* implementado na Vila Vicentina de Bauru, atualmente tem a capacidade produtiva diária de 0,5 litros de chorume. Essa quantidade será dobrada com o acréscimo das composteiras (caixas com minhocas e esterco) para ter uma produção confortável de chorume para abastecer o solo das hortas, melhorando assim as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

Atualmente, a horta reestruturada (horta elevada) se transformou em um espaço produtivo e atrativo para comunidade, e principalmente em um espaço de terapia e aumento da capacidade motora dos idosos e também para que os mesmos sentissem valorizados e inclusos.

É importante salientar que, em uma produção controlada e contínua, a horta elevada (Figura 3), semanalmente produz de três (3) a quatro (4) caixas de hortaliças diversificadas. Enquanto, a parte térrea (nova horta ampliada) produz a cada duas semanas, em média de três (3) caixas com volume de 0,124 m<sup>3</sup> para cada caixa vazada. Grande parte dessa colheita é usada para refeições dos idosos e o remanescente é conservado na cozinha da Vila.

### Revitalização da capela e o entorno da Vila Vicentina de Bauru

A Capela da Vila Vicentina de Bauru, além de ser um espaço religioso, é um espaço que condiciona os idosos a realizarem a mobilidade diária como parte do exercício físico, preservando a cultura religiosa de certos idosos residentes. A capela é um edifício antigo, com uma arquitetura que pode ser considerada “clássica”, um ícone fundamental da história da Vila. A mesma foi construída pela Sociedade de São Vicente de Paulo – SSVV nos anos de 1940, logo no começo da fundação da Vila, para manter e preservar os seus credos e ensinamentos religiosos (VILA VICENTINA DE BAURU, 2022). E tem uma área construída (projeção da cobertura) aproximada de 560 m<sup>2</sup>, composto pelos seguintes compartimentos: átrio, nave, presbitério (altar), sacrário, sacristia, mezanino, torre de sino, e banheiros (WCs masculino e feminino).

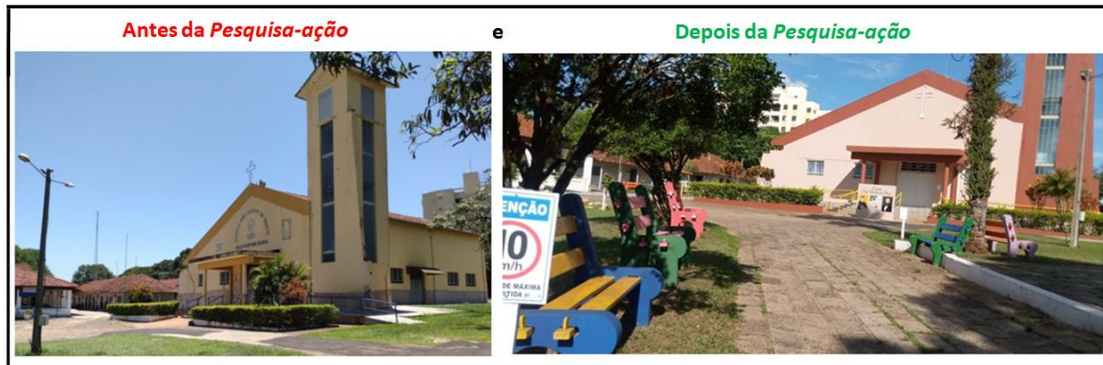
Em 2022, algumas partes da capela (Figura 5) foram revitalizadas, que são: o acesso principal (melhoria do átrio acoplado de escada e duas rampas com seus respectivos corrimãos pintados); parede externa (rebocos, aplicações de aditivos de proteção e pintura em geral a base d’água); e recapeamento do mezanino (execução de um novo piso cerâmico, 42 m<sup>2</sup>); e esquadrias (portas e janelas pintadas com tintas de óleo). Os serviços de reparação da capela foram realizados pelos pedreiros (funcionários da Vila), voluntários e reeducandos da Penitenciária de Bauru, porém a pintura da torre foi executada por um profissional contratado devido a sua considerada elevação. Os materiais, equipamentos e logística em geral, para o efeito desta revitalização, foram disponibilizados pela administração da Vila, equipe da UNESP/Bauru e demais doadores.

O entorno da Vila (área externa) contém 58 bancos de concreto e madeira, cada um tem a capacidade de acomodar 3 a 4 pessoas, distribuídos de forma combinada (Figura 5) para atender os usuários e principalmente os visitantes e participantes dos eventos religiosos e festas (churrascos vicentinos). Antes do início dessa Pesquisa-ação, os bancos não se apresentavam um bom aspecto visual devido à longa vida útil e fatores climáticos (chuvas e temperaturas elevadas). No entanto, em 2023, todos os





bancos foram pintados pelos envoltentes deste projeto e com auxílio de alguns alunos voluntários da UNESP - Bauru.



**Figura 5: Condição anterior e atual da capela e o entorno da Vila.**  
**Fonte: Figura editada pelos autores, 2023**

Os bancos foram pintados em várias cores expressivas (Figura 5) criando assim uma diversidade visual e um ambiente alegre para os usuários. Após as novas pinturas, houve mais interesse para se sentar nos bancos com uma nova aparência e superfícies limpas.

### Reformas: Lavanderia, Alojamento Masculino e Barras de Apoio

Dentre as reabilitações realizadas na Vila Vicentina de Bauru, desde o período de 2022 até recentemente, o edifício da lavanderia que se encontrava em uma situação precária, foi o edifício que teve uma reabilitação significativa, isto é, uma reforma mais integral, de grande peso financeiro disponibilizado e gerido pela administração da Vila, porém o resultado do investimento agradou o público idoso e os usuários em geral.

Atualmente, o edifício da lavanderia (Figura 6) possui uma área construída de 352 m<sup>2</sup> totalmente reabilitada, e pós a reforma, se aparenta o visual de um edifício novo com os ambientes confortáveis e acessíveis para todos os usuários, desprovido de máquinas, equipamentos e novas máquinas de serviço para facilitar as atividades diárias das funcionárias locais. Foram incrementadas também novas rampas, e barras de apoios (corrimãos e guardas corpos) para inclusão das pessoas com a mobilidade reduzida, calhas horizontais e verticais para eventual aproveitamento da água de chuva e conservação do próprio edifício.

No mesmo período, de forma concomitante, o edifício residencial masculino (Figura 6) de área construída de 420 m<sup>2</sup>, com a capacidade de abrigar 28 idosos e que já tinha usufruído várias reformas anteriormente, porém uma nova reforma procedeu-se na parte interna (melhoria e divisão dos cômodos), no qual, todos os dormitórios duplos (12 dormitórios) foram transformados em dormitórios individuais, razão pelo qual alguns idosos viviam em constantes conflitos, tais como, opção pelo uso de cigarro frequente, faixa desejável de conforto sonoro e dentre outras reclamações (VILA VICENTINA DE BAURU, 2022).



**Figura 6: Lavanderia, planta do alojamento masculino dividido e barras de apoios reformados.**  
**Fonte: autores, 2023**



Atualmente, após reforma interna geral, em destaque, divisão de 12 cômodos com placas “drywall” e as instalações de novos guarda-roupas suspensos (Figura 6), o nível de estresses, ou melhor, das reclamações entre os idosos residentes diminuíram significativamente devido aumento da liberdade de preferência para cada idoso no seu cômodo (dormitório individual).

De acordo com a recomendação da Norma Técnica Brasileira (NBR 5090), todas *barras de apoio* (Figura 6) que proporcionam segurança nos deslocamentos às pessoas com mobilidades reduzidas, foram construídas, reformadas, posicionadas adequadamente e pintadas com tinta a óleo de cor amarela para evidenciá-las pelos usuários da Vila.

### Proposta Projetual: Novo Alojamento Misto para os Idosos

Na Vila Vicentina de Bauru existem dois principais blocos residências (masculino e feminino) com tamanho de 420 m<sup>2</sup> e 428 m<sup>2</sup>, respectivamente. O bloco residencial feminino é composto de 12 suítes e tem a capacidade para atender 24 idosas, cada suíte (moradia de dois leitos) tem uma área útil construída (incluindo a varanda) 28,30 m<sup>2</sup>, composto pelos seguintes cômodos: *dormitório com banheiro, pequeno corredor de acesso, um corredor com o armário embutido compartilhado*.

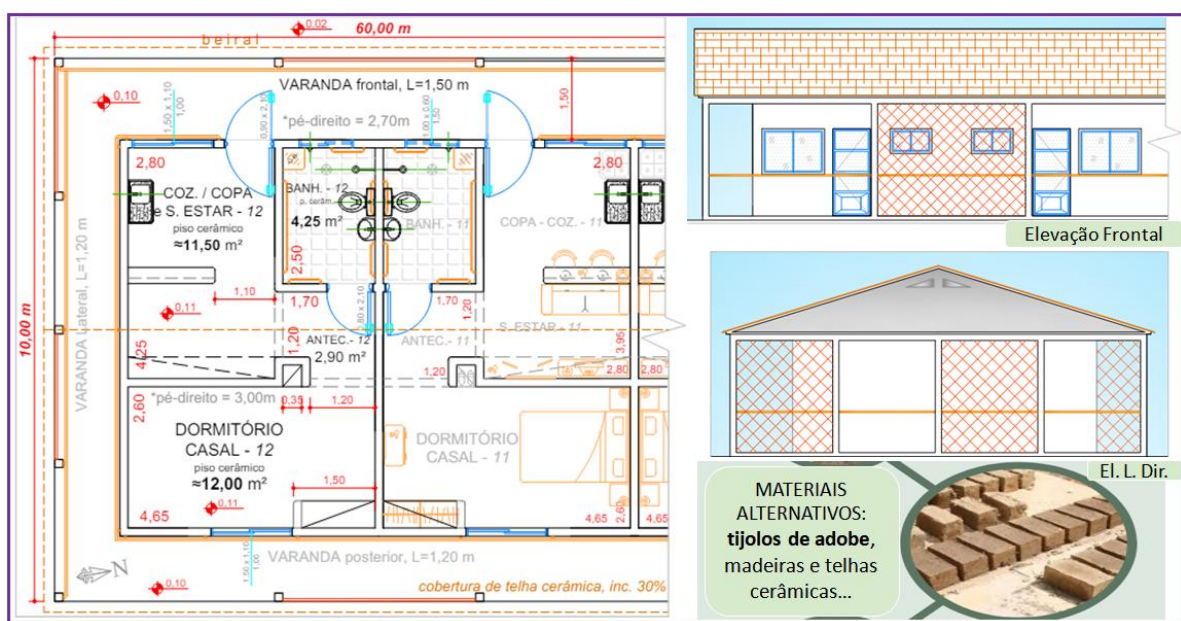
De acordo com as necessidades e presenças dos casais de idosos, a diretoria da Vila adaptou dois apartamentos na parte final do edifício administrativo para atender dois casais de idosos, denominando-os de alojamento misto e cada moradia mista tem uma área útil construída (incluindo as varandas) de 45 m<sup>2</sup> (dormitório de casal, sala de estar minúscula, antecâmara, banheiro).

Devido à crescente demanda para atender os casais de idosos, foi desenvolvido e apresentado a proposta de um novo alojamento misto (Figura 7) que buscaria reutilizar materiais alternativos e sistemas estruturais de menor custo e complexidade. Apesar da necessidade e da reforma dos edifícios antigos, o programa e a pesquisa *Survey* entre os usuários da Vila evidenciam a necessidade de ampliação dos espaços construídos. Compreendendo esta temática, o novo projeto do alojamento respeitou não apenas a linguagem dos edifícios já existentes, mas direcionou para uma arquitetura modular acessível que capaz de ser reproduzida dentro da Vila Vicentina de Bauru, quando necessário.

A condição apresentada permitiu observar que os materiais alternativos não apenas desenharam o conceito deste projeto, mas também são materiais que atenuam a degradação ambiental e direcionada ao uso de alguns sistemas construtivos e materiais sustentáveis baratos e de fácil acesso. Salienta-se que os referidos futuros edifícios residenciais (casal/mista de 600 m<sup>2</sup> e eventual bloco temporário de 400 m<sup>2</sup> de área construída) aqui citados poderão ser construídos pelos seguintes materiais e técnicas construtivas:

- *Fundação em sapata corrida de concreto armado*: sistema construtivo comum usado como base de vários edifícios, que compreende o uso de armadura de ferro e concreto (mistura de agregado graúdo, miúdo, cimento e água);
- *Alvenaria de tijolos de adobe*: tijolos fabricados de forma artesanal no local da construção com uso de solo, água, fibras, se for necessário, serão adicionados impermeabilizantes nas partes das bases inferiores das alvenarias, porém adobe é um material com baixa condutibilidade térmica.
- *Telhado com a estrutura de madeira resistente aproveitável e telhas cerâmicas*: os aproveitamentos dos materiais e mão de obras locais podem-se gerar renda local e se tornarem protagonistas em projetos de menores impactos ambientais.

Salienta-se que, o projeto arquitetônico final será submetido para apreciação e/ou aprovação nas entidades reguladoras do projeto de construção civil e funcionamento apropriado das ILPIs.



**Figura 7: Proposta inicial para construção de alojamento misto.**

Fonte: autores, 2023



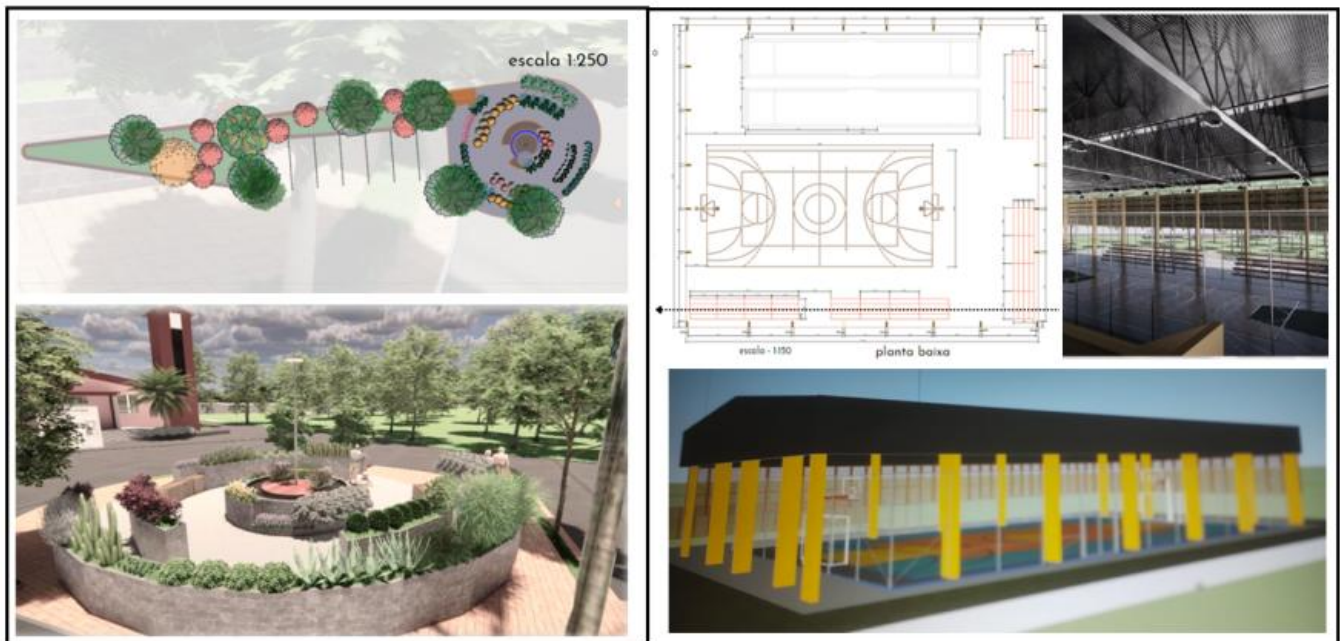


Este projeto residencial misto (Figura 7) é uma proposta projetual inicial apresentada para atender a demanda atual dos idosos vulneráveis, e poderá ter eventuais adaptações dependendo da disponibilidade dos recursos para execução.

### Propostas Projetuais: Novo Jardim Sensorial e Quadra Poliesportiva com Campo de Bocha

Os jardins sensoriais são estruturas verdes que são capazes de despertar condições que permeiam as mudanças fisiológicas dos humanos, aguçando os sentidos como olfato através dos cheiros de ervas e flores e o tato através das texturas das plantas. A audição por meio de elementos construídos como fontes, sinos dos ventos, barulho das árvores; a visão, pelas cores; e o paladar, pelos condimentos das plantas existentes. O Jardim desenvolvido nesse projeto de forma circular espiral (Figura 8), quando construído, permitirá o usuário a caminhar por todos os canteiros, vivenciando os sentidos e texturas de cada elemento.

A administração local da Vila e os idosos lúcidos solicitaram também, um projeto (a instalação de uma quadra poliesportiva), não apenas para os funcionários e idosos que queiram realizar atividades esportivas, mas tendo como objetivo principal utilizar o espaço para considerar suas atividades e eventos, como quermesses, churrascos e festas religiosas. A quadra poliesportiva terá a condição de oferecer espaços para os desenvolvimentos de diversas atividades físicas e esportivas, podendo oferecer a possibilidade da prática de diversos esportes: futebol, voleibol, basquetebol, handebol, queimada, e brincadeira como pega-pega, yoga e danças. Nesta perspectiva, as atividades de grupos de idosos podem apresentar um programa rotineiro dentro da quadra poliesportiva que ainda pode contar com dois campos de bochas e arquibancadas (Figura 8) para presença de público.



**Figura 8: Proposta do jardim sensorial e quadra poliesportiva com campo de bocha.**  
**Fonte: autores, 2023**

Atualmente dentro da Vila Vicentina de Bauru (Figura 9), na praçinha (resultado desse projeto, 2022-2023), os usuários e os idosos eventualmente realizam os desafios de jogos da primavera (dominó, dama/xadrez, bingo, etc.) nos dois quiosques para se interagirem com os idosos da comunidade, sendo assim, um espaço de diversão. Portanto, note que foi formado um conjunto (Figura 9) de necessidades básicas com atividades aprimoradas, serviços conectados, espaços acessíveis e atrativos aos usuários.





**Figura 9: Ambientes reformados e a serem construídos.**  
**Fonte: Google Earth (2022), editada pelos autores, 2023**

A Figura 9 ilustra a implantação geral da Vila Vicentina de Bauru, destacando assim, a localização das construções existentes, os edifícios e ambientes remodelados, e a serem construídos nas próximas etapas.

### Considerações Finais

O desenvolvimento de propostas projetuais que atendam as ODS-AGENDA 2030 da ONU (2015) busca direcionar metodologias para envolver toda a sociedade pela humanização de pessoas, indo além de premissas teóricas para compreender a necessidade humana como um todo ao mesmo tempo em que solidificam as estruturas pela preservação da natureza.

E neste processo, uma mais instigante foi à compreensão de que os ambientes existentes na Vila Vicentina de Bauru têm atendido as necessidades de grande parte dos usuários, porém, melhorias sempre são necessárias. As necessidades reais dos usuários, apontadas por meio das entrevistas e reuniões, permitiram a identificação das necessidades de ampliar-se e reorganizar o estacionamento, reabilitações de edifícios antigos, jardim sensorial e área verde de lazer com quiosques, lago artificial com sua respectiva travessia (ponte), construção de alojamento misto (casal) e quadra poliesportiva e etc.

As reformas dos prédios antigos e o entorno e suas refuncionalizações evidenciaram o aproveitamento melhor de múltiplas atividades que acontecem na Vila Vicentina, separando e organizando o espaço em núcleos. Porém, cada atividade, como o centro de cuidados paliativos em blocos, possui necessidades e atividades específicas.

Além de todos esses espaços, o presente projeto pretende assentar novas diretrizes para integrar cada vez mais a Vila Vicentina de Bauru como parte referencial sobre sustentabilidade socioambiental, como as existentes hortas interativas, sistemas de captação da água do poço e da chuva para irrigação, lago terapêutico, etc. Dessa forma, busca-se atingir uma simbólica relação entre idosos e a comunidade local, como partes integrantes conectadas.

O desenvolvimento do jardim sensorial refletiu na necessidade de realizar ações para melhorar a saúde física e especialmente mental dos idosos, que em idade senil, podem apresentar incapacidade de compreensão dos sentidos, agravados por condições da senilidade. Esta proposta permite que os idosos possam estabelecer contato com elementos naturais e funcionais como terapia, adicionando ainda que os jardins sensoriais, áreas verdes com quiosques e o lago artificial implantados na parte central do asilo permitam integrações entre a comunidade local e os asilados integrados a comunidade.

### Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradecemos a Universidade Estadual Paulista – UNESP/FEB, o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGEP, Fundo para Desenvolvimento de Bauru – FunDEB e Centro de Capacitação do Pessoal do Nível Superior – CAPES e sem esquecer dos idosos entrevistados, administradores, funcionários da Vila Vicentina de Bauru e os voluntários.



### Referências Bibliográficas

- Abd Elkodous, M. *et al.* 2018. C-dots dispersed macro-mesoporous TiO<sub>2</sub> photocatalyst for effective waste water treatment. **Characterization and Application of Nanomaterials**, v. 1, n. 2.
- Barbabella, Francesco *et al.* 2020. New multilevel partnerships and policy perspectives on active ageing in Italy: a national plan of action. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 24, p. 9585.
- Brasil. Constituição Federal, 1988. Lei 10.741/2003 (Estatuto do Idoso).
- Brasil. Lei Nº 8.842, De 4 de janeiro de 1994. Política Nacional do Idoso. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/18842.htm#:~:text=1%C2%BA%20A%20pol%C3%ADtica%20nacional%20do,%20sessenta%20anos%20de%20idade](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18842.htm#:~:text=1%C2%BA%20A%20pol%C3%ADtica%20nacional%20do,%20sessenta%20anos%20de%20idade)>. Acesso em: 06 abr. 2023.
- Detweiler, Mark B. *et al.* 2012. What is the evidence to support the use of therapeutic gardens for the elderly? **Psychiatry investigation**, v. 9, n. 2, p. 100.
- Dias, Deusira Nunes Di Lauro. Dias, Adailton Di Lauro. 2019. Rethinking the future of water on our planet. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. 04 year, Ed. 08, Vol. 06, pp. 19-32. ISSN: 2448-0959.
- Dos Santos, Nayane Formiga *et al.* 2013. As políticas públicas voltadas ao idoso: melhoria da qualidade de vida ou reprivatização da velhice. **Revista FSA** (Centro Universitário Santo Agostinho), v. 10, n. 2, p. 358-371.
- Dresch, Aline; Lacerda, Daniel Pacheco; Miguel, Paulo Augusto Cauchick. 2015. A distinctive analysis of case study, action research and design science research. **Revista brasileira de gestão de negócios**, v. 17, p. 1116-1133.
- Eriksson, Elisabet; Hjelm, Katarina. 2022. Residents' experiences of encounters with staff and communication in nursing homes during the Covid-19 pandemic: a qualitative interview study. **BMC geriatrics**, v. 22, n. 1, p. 1-10.
- Figueredo, M. *et al.* 2023. Older people perceptions on the built environment: A scoping review. **Applied Ergonomic**, v. 108, 103951. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103951>>. Acesso em ago. 2023.
- Foglia, C; Parisi, M. L; Pontarollo, N. 2023. Building (back) better cities for aged people in Europe. **Cities**, v. 141, 104479. 2023. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104479>>. Acesso em ago. 2023.
- Fundo Mundial para a Natureza (WWF). 2023. Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico, 2019. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: 06 abr. 2023.
- Jacobs, J. 2000. Morte e Vida de Grandes Cidades. 1ª edição. São Paulo: Martins Fontes. 516 p. (Coleção "a").
- Moura, Dulce *et al.* 2010. A revitalização urbana cidades – contributos para a definição de um conceito operativo. **Comunidades e Territórios**, n. 12/13, p. 15-34, dez. 2006.
- CAMACHO, A. C. L. F; COELHO, M. J. Políticas públicas para a saúde do idoso: revisão sistemática. **Rev Bras Enferm**, Brasília, 2010 mar-abr; 63 (2) 279-84.
- ONU. 2023. ONU diz que número de pessoas com mais de 60 anos deve subir 46% até 2030. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/10/1689152>. Acesso em: 14 mar. 2023.
- Plano de Ação Internacional sobre o Envelhecimento (2002): Organização das Nações Unidas; tradução de Arlene Santos. — Brasília: Secretaria Especial dos Direitos Humanos, 2003. — 49 p.: 21 cm. — (Série Institucional em Direitos Humanos; v. 1). Disponível em: <[http://www.observatorionacionaldoidoso.fiocruz.br/biblioteca/\\_manual/5.pdf](http://www.observatorionacionaldoidoso.fiocruz.br/biblioteca/_manual/5.pdf)>. Acesso em: nov. 2022
- Scott, Theresa L *et al.* 2020. Positive aging benefits of home and community gardening activities: Older adults report enhanced self-esteem, productive endeavours, social engagement and exercise. **SAGE Open Medicine**, v. 8, p. 2050312120901732.
- Schiedeck, G. *et al.* 2014. Minhocultura: produção de húmus. 2. Ed. rev. e ampl. — Brasília, DF: Embrapa, 2014. 56 p.: il. - (ABC da Agricultura Familiar, 38), ISBN 978-85-7383-408-2.
- Schneider, R. H; Irigaray, T. Q. 2008. The process of aging in today's world: chronological, biological, psychological and social aspects. **Estudos de Psicologia**, Campinas, v. 25(4) I 585-593. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-166X2008000400013>>. Acesso em: ago. 2022.





Thiollent, M. 1947. **Metodologia da pesquisa-ação**. Michel Thiollent. São Paulo: Ed. Cortez: Autores Associados, 1986. (Coleção temas básicos de pesquisa-ação). Disponível em: <<https://marcosfabionuva.files.wordpress.com/2018/08/7-metodologia-da-pesquisa-ac3a7c3a3o.pdf>> . Acesso em: ago. 2022.

Tripp, D. 2005. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ep/a/3DkbXnqBQyq5bV4TCL9NSH/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: ago. 2022

UN. Sustainable Development Goals. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>>. Acesso em: 17 abr. 2022.

UN. Vienna International Plan of Action on Ageing, 1982, First World Assembly on Ageing, 26 July-6 August 1982, Vienna. Disponível em: <<https://www.un.org/en/conferences/ageing/vienna1982#:~:text=The%20World%20Assembly%20on%20Ageing,to%20contribute%20to%20national%20development>>. Acesso em: abr. 2023.

Vila Vicentiina de Bauru, Lar para idosos. Conheça a Vila Vicentina. Disponível em: <https://vilavicentinabauru.com.br>. Acesso em 20 abr. 2022.

World Health Organization – WHO. 2023. Active ageing: a policy framework, 2002. World Health Organization. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/67215>>. Acesso em: abr. 2023.

Zhout, S. *et al.* 2023. Opportunities and challenges of using thermal comfort models for building design and operation for the elderly: A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 183, 113504.





# A GESTÃO COMPARTILHADA DE ESPAÇOS PÚBLICOS ATRAVÉS DA ADOÇÃO: PROPOSTAS PARA A CIDADE DO RIO DE JANEIRO

**1Dilene Mosqueira Bastos, 2Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos Bezerra**

*1 Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Puc Rio, e-mail:dilene.leal@yahoo.com.br; 2 Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Puc Rio, e-mail:mmb@puc-rio.br*

**Palavras-chave:** Adoção de espaços públicos; políticas públicas; responsabilidade social.

## Resumo

As áreas verdes públicas são importantes para o bem-estar da população, como local para diversas atividades e convívio social, contribuindo para a qualidade de vida ambiental e social de seus usuários. Mas a realidade das limitações orçamentárias nos dias atuais e as inúmeras demandas do poder público acabam impactando na manutenção e conservação desses lugares comprometendo a qualidade dos ambientes, e também alterando o perfil do usuário. Em meio a pandemia de Covid-19, foi percebido em todo o mundo a importância de ambientes abertos bem cuidados e tratados, ressaltando a necessidade de uma cidade com mais integração da sociedade no zelo e conservação desses lugares. O presente estudo teve como objetivo a pesquisa sobre a gestão compartilhada de espaços públicos urbanos pelo programa de adoção da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, como uma forma de analisar e melhorar a qualidade das áreas verdes públicas desenvolvendo a responsabilidade social entre os gestores e o desenvolvimento local. Foi realizada pesquisa exploratória e qualitativa, com revisão bibliográfica de artigos científicos e da legislação pertinente aos bens públicos quanto ao conceito, classificação e formas de uso. Também foi realizada uma análise dos dados disponíveis de prefeituras no mundo e no Brasil e de estudos de casos através de entrevistas semiestruturadas com gestores dos contratos de adoção desses locais, divididos entre as 5 Áreas de Planejamento (AP) da Cidade, no recorte de 2017 a 2020. Como estudo de caso, foram selecionados dois espaços adotados, um na área de planejamento 1, bairro Centro, e outro na área de planejamento 4, zona oeste da Cidade, bairro Recreio dos Bandeirantes. Trata-se de um primeiro estudo sobre a gestão compartilhada de áreas públicas municipais através de contrato administrativo, modelo de adoção ou apadrinhamento, que analisa positivamente esse tipo de uso de bem público e constata resultados de um maior desenvolvimento social e econômico local através do programa, com práticas adequadas para a Cidade do Rio de Janeiro. O estudo analisa os dados do programa Adote. Rio da Cidade do Rio de Janeiro, estabelecendo relações entre as Áreas de Planejamento, as diversas categorias de espaços e as diferentes qualificações dos adotantes. Também identifica o potencial de cada área e suas demandas. Os resultados obtidos demonstram o engajamento da sociedade civil no cuidado e dedicação com os bens públicos, a relação de pertencimento. Do mesmo modo, indicam propostas que podem alavancar ainda mais o programa, aumentando a quantidade adotada de áreas conservadas e mantidas, o retorno que isso representa para a sociedade e a possível diminuição do ônus para o Tesouro municipal com relação aos custos de manutenção desses lugares, promovendo indiretamente, uma melhora na qualidade dos demais serviços, e na implementação de suas ações.

## Introdução

As áreas verdes constituem importante papel para o bem-estar da população, proporcionando qualidade de vida seja no aspecto social, de lazer, saúde, e educacional, entre outros, contribuindo ainda para a sustentabilidade, uma vez que são “considerados como um indicador na avaliação da qualidade ambiental urbana” segundo Amorim e Lima (2006).

A falta de espaços públicos de bom padrão reduz a qualidade de vida urbana, aumentando a criminalidade, as tensões sociais, a saúde e o congestionamento. Por isso, esses ambientes são de existência obrigatória determinada pela Lei nº 6766/79, que “Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências”, deixando clara a importância de tais “espaços livres de uso público” para o ambiente a qual estão inseridos.

A Prefeitura da Cidade tem procurado melhorar a conservação dessas áreas, diminuindo o estado de degradação de algumas delas. Essa degradação fez com que os lugares ficassem subutilizados por parte dos usuários e dominados pela crescente quantidade de pessoas em situação de rua, agravado nos tempos de pandemia e perdas de fonte de renda, ressaltando os “aspectos negativos percebidos pelos frequentadores como falta de segurança, limpeza e conservação de equipamentos e estrutura” segundo Dorigo e Ferreira (2015).

Conforme identificado na pesquisa bibliográfica, o programa de adoção ou apadrinhamento de bens públicos é pouco estudado, e compreende muitos valores complexos, tangíveis e intangíveis.

Esse estudo teve como objetivo geral discutir as formas de utilização do espaço público por parte de terceiros através do uso especial de adoção, no município do Rio de Janeiro.

## Material e Métodos

A pesquisa desenvolvida foi exploratória e qualitativa, realizada em área com conhecimento sistêmico proveniente de experiência profissional acumulada e organizada. A pesquisa qualitativa quanto à forma de abordagem do problema utiliza estudo de casos, e aplicada quanto à natureza da pesquisa, com utilização prática e dirigida à solução de problemas reais específicos,



envolvendo o tema com interesses locais (OLIVEIRA, 2011). A intenção do estudo foi explanar acerca de procedimentos que poderão ser utilizados, explorando os limites entre o acontecimento e o seu contexto.

Como método de coleta de dados foram utilizadas fontes primárias e secundárias como revisão bibliográfica, observação direta, registro fotográfico, pesquisas com aplicação de formulário eletrônico, pesquisa presencial, e pesquisa documental. Para os dados primários da pesquisa qualitativa foram estabelecidas entrevistas semiestruturadas, baseadas em roteiro elaborado previamente, permitindo ao entrevistador conduzir uma conversa mais natural, obtendo resultados próximos dos indicadores, utilizando o método de explicitação do discurso subjacente (MEDS), com perguntas abertas proporcionando respostas mais discursivas, cujos objetivos centrais são a identificação, descrição e análise destas experiências e dos significados a elas atribuídos, de forma livre e espontânea, pelos participantes da pesquisa (Nicolaci-da-Costa et al, 2004). Foram realizados dois modelos de entrevistas, um para os adotantes e outro para os usuários locais.

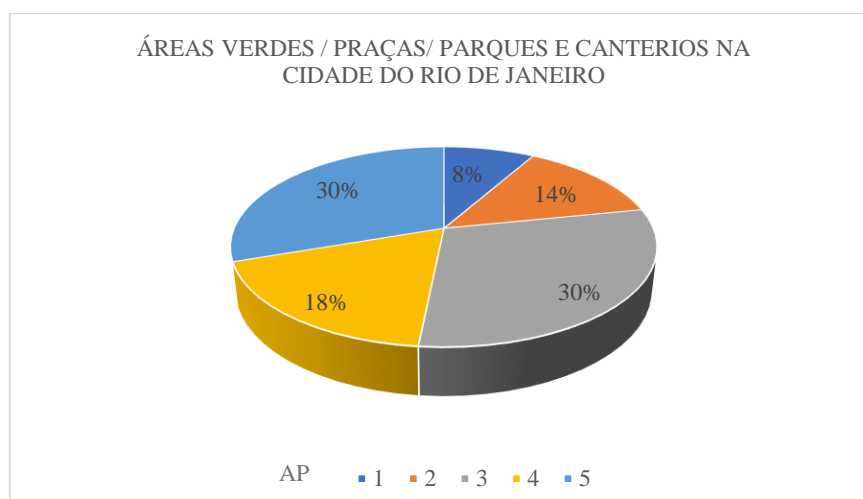
Na abordagem sistêmica desse estudo, foi estabelecido como recorte as adoções realizadas e publicadas nos anos de 2017 a 2020 nas áreas de planejamento da Cidade do Rio de Janeiro, realizadas entre a Fundação Parques e Jardins e as partes interessadas. Foram escolhidos como estudos de casos, espaços públicos urbanos que tenham tido uma significativa representação na concepção de sua adoção.

### Resultados e Discussão

Com uma população de 6.211.223 habitantes, densidade demográfica de 5.174,6 habitantes/km<sup>2</sup> e índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,799 (IBGE, 2022), o município do Rio de Janeiro é a segunda metrópole do país, com uma área de 1.200,329 km<sup>2</sup>, dividida em quatro regiões demográficas conhecidas como Centro, Zona Norte, Zona Sul e Zona Oeste. Segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município (Lei Complementar 111/2011), a cidade apresenta diferenciadas unidades territoriais, com o intuito de planejamento e de controle do seu desenvolvimento urbano, são elas: Áreas de Planejamento (AP); Regiões de Planejamento (RP); Regiões Administrativas (RA); Bairros; Bacias Hidrográficas e Bacias Aéreas. As cinco áreas de planejamento da Cidade, “estabelecidas pela divisão do território municipal a partir de critérios de compartimentação ambiental, de características histórico-geográficas e de uso e ocupação do solo” (RIO DE JANEIRO, 2011), são :AP 1, AP 2, AP 3, AP 4 e AP 5.

O Município apresenta 70,5% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 78,4 % de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada com presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio (IBGE, 2022), e quando comparado com os demais municípios do estado, a Cidade ocupa a 33ª posição no estado referente à arborização e 2ª posição referente à urbanização.

A Cidade do Rio de Janeiro tem cerca de 2.000 áreas verdes públicas, segundo levantamento de um dos autores enquanto trabalhava na Fundação Parques e Jardins (2017-2020), distribuídas entre praças, parques urbanos, canteiros e áreas ajardinadas, divididas pelas 5 áreas de planejamento (AP) da Cidade, sendo em maior concentração na AP 3 com 30% do total e na AP 5, também com 30% do total, seguidas pela AP 4 com 18%, pela AP 2 com 14% e por último pela AP 1 com 8% do total dos espaços, conforme figura 1. Dessas áreas verdes, 80 % são de praças e o restante se dividem em jardins, parques e áreas públicas diversas.



**Figura 1: Distribuição percentual de área verdes / praças/ parques e canteiros na Cidade do Rio de Janeiro por Área de Planejamento.**

**Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados da Fundação parques e Jardins, 2020**

São inúmeros os benefícios ligados a melhoria da habitabilidade do ambiente urbano, pois a existência de espaços públicos de qualidade e apropriáveis, com maior vitalidade urbana, proporciona um aumento da percepção de segurança e de democratização desses locais (Caccia, 2015). Para Pacheco et al (2017), espaços com qualidade e funcionalidade atraem a frequência de mais pessoas nesses lugares com atividades sociais e físicas, fazendo com que se tornem ambientes mais seguros



e por sua vez atraindo ainda mais a população com o sentimento de segurança gerado.

### Conceito e Formas de Uso de Bens Públicos

Bens públicos são todos aqueles que, de qualquer natureza e a qualquer título, pertencem as pessoas jurídicas de direito público, como a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, sejam da Administração descentralizada, como as autarquias, nestas incluindo-se as fundações de direito público e as associações públicas, segundo Carvalho Filho (2015).

Espaços públicos são todos os espaços de uso público, que são livres para serem acessados e utilizados por toda a população sem precisar pagar por isso (ITDP, 2020). São locais de uso comum e coletivo, pertencente a todos, tendo a possibilidade de ser ruas, praças, parques, jardins, boulevards, locais onde o trânsito é normalmente livre.

Meirelles (2003) afirma que todos os bens públicos são sujeitos de uso especial por particulares, no entanto esse uso não pode inutilizar o bem. Qualquer pessoa, física ou jurídica, pode obter uso especial do bem público por meio de contrato ou ato unilateral da Administração, observados os fins destinados aos bens públicos que atendem melhor à população. Ao contrário do uso comum, o uso especial é quando a utilização acontece por meio de regras específicas e aprovação estatal, podendo ser remunerado, segundo Marinela (2013). Para Meirelles (2003) o uso especial privativo, ou uso privativo, é o direito de utilização de bens públicos conferido pela Administração a pessoas determinadas e subdivide-se em duas formas: os atos administrativos unilaterais e os contratos administrativos. Os atos administrativos unilaterais são precedidos de instrumento escrito, em geral de caráter discricionário e precário no qual a Administração pode revogar o ato sem gerar o dever de indenização ao particular. São eles: Autorização como na realização de uma filmagem ou uma corrida na rua por exemplo e Permissão como na realização de feira livre na rua por exemplo.

Já os contratos administrativos são de natureza discricionária, não mais precária, com prazos e investimentos maiores, obedecendo às leis de licitações. Os contratos podem ser para: Concessão de uso, Cessão de uso e Parceria Público Privada-PPP como instituída na Lei Federal 11.079/04 (BRASIL, 2004).

O programa de adoção ou apadrinhamento de bens públicos acontece também acontece por meio de contrato administrativo, o chamado Termo de Adoção e segue os moldes da lei de licitações. A adoção ou apadrinhamento é um programa de participação voluntária da sociedade na gestão compartilhada dos bens de uso comum do povo, presente no mundo todo.

### O programa de adoção de espaços públicos no mundo

No Reino Unido, um dos modelos de gestão de espaço público é a administração por organizações voluntárias e do setor comunitário como parte de um movimento para reduzir a distância entre o usuário e o provedor de serviços (CARMONA, 2008).

Na França, os residentes locais compartilham jardins no Programa Jardins Compartilhados (Les Jardins Partagés), onde assinam um termo com a prefeitura, após escolher a área verde em que pretendem cultivar e cuidar (PARIS, 2018).

No Canadá existem vários programas de adoção espalhados por suas províncias, que vão desde estradas até canteiros e jardins que são adotados por voluntários pelo período de um ano visando a manutenção (VANCOUVER, 2021). Entre os benefícios para a comunidade estão a revitalização do verde, gestão de águas pluviais, manutenção do habitat para vida selvagem, e além da satisfação obtida com a criação de um ambiente mais limpo, os voluntários são identificados por uma placa reconhecendo seus esforços.

Em Cartagena na Colômbia, o apadrinhamento de parques e áreas verdes que se encontram degradados permite aos interessados que contribuir com o cuidado e preservação desses lugares, receber o benefício de deduzir do imposto de renda, 25% de todos os investimentos que tenham efetuado no respectivo ano fiscal da adoção (COLOMBIA, 2016).

Em na capital do México, em 2016, a manutenção de uma área verde ou calçada próxima ao seu imóvel concede em troca um desconto no IPTU proporcional ao investido (MÉXICO, 2018).

### Programa de Adoção no Brasil

A adoção de áreas públicas está presente em muitos municípios brasileiros, que tem suas normas regularizadas através de decretos municipais próprios ajustados às suas estruturas, mas tendo em comum o zelo pela gestão por pessoas físicas e/ou jurídicas como forma de parceria entre a Administração e a sociedade na manutenção e conservação dos bens públicos, podendo ser de forma integral, abrangendo todo o equipamento, ou de forma parcial, quando ocorrer em partes do equipamento.

A Cidade de São Paulo registrou até janeiro de 2021 um total de 1202 praças adotadas no seu Programa Adote uma Praça lançado em 2017 e posteriormente substituído pelo Decreto 61.170 de 22 de março de 2022, (SÃO PAULO, 2022) visando a execução e manutenção de melhorias urbanas, ambientais e paisagísticas de praças e de áreas verdes da Cidade, por pessoa física ou jurídica.

A prefeitura de Fortaleza criou o programa Adoção de Praças e Áreas Verdes em 2014 (FORTALEZA, 2014), que visa permitir que tanto cidadãos como empresas passem a cuidar das áreas verdes do Município. Até janeiro de 2021 Fortaleza já contava com 481 praças adotadas.

Em Porto Alegre, a prefeitura desenvolve, desde 1986, um programa de parcerias entre o poder público e a sociedade civil, atualmente o programa Seja Parceiro de Porto Alegre visa buscar parceiros para os cuidados com os equipamentos públicos e prevê tanto que as pessoas possam doar quanto adotar, permitindo qualquer pessoa física ou jurídica assumir a responsabilidade de urbanizar e manter áreas verdes públicas do município (PORTO ALEGRE, 2019). No ano de 2021, a prefeitura contabilizava 117 adoções.

De acordo com Pereira de Souza e Gomes Miron (2019), “as abordagens centradas na ação do Estado, ou no esforço do setor privado, ou na participação direta da comunidade, podem fornecer soluções para desafios específicos do espaço público





nos contextos específicos nos quais são aplicadas”.

### O Programa de Adoção na Cidade do Rio de Janeiro - Adote.Rio

O Adote.Rio é uma parceria voluntária entre o poder municipal e a sociedade civil, como uma alternativa por parte da prefeitura de manter conservados os bens públicos, aumentando seu uso pela comunidade e por conseguinte aumentando também a sensação de segurança do local.

Fundamentado na lei 1.220 de 12 de abril de 1988, que instituiu o projeto Adote uma Praça, visando a remodelação e conservação de praças, às expensas de empresas particulares (RIO DE JANEIRO, 1988), e posteriormente regulamentado pelo Decreto Rio nº 45159 de 10 de outubro de 2018, o Programa Adote.Rio objetiva atrair a participação da sociedade na gestão de seus espaços adotados por meio de um Termo de Adoção celebrado entre a Prefeitura e as partes interessadas, com papel discricionário e prazo determinado de dois anos, podendo ser renovado por igual período. A adoção pode ser realizada por pessoa física ou jurídica (empresas, associações e condomínios), e o objeto a ser adotado pode ser de forma integral ou parcial (RIO DE JANEIRO, 2018).

A Resolução Conjunta SCMA/FPJ Nº 2 de 21 de janeiro de 2019 em seu art.2 (RIO DE JANEIRO, 2019), considera como bens públicos de uso comum do povo disponíveis para adoção: parques urbanos, parques naturais, unidades de conservação, praças, lagos, decks, mirantes, parques infantis, parques para cães, academias da terceira idade (ATI), aparelhos de ginástica, pistas de skate, quadras esportivas, campos esportivos, árvores, canteiros, jardins, áreas verdes, hortos, monumentos, chafarizes, logradouros e travessas, rotas cicloviárias e bicicletários.

O Programa também garante a participação dos cidadãos no processo de gestão ambiental, que se torna essencial para que o desenvolvimento sustentável da cidade seja alcançado, e estimula a apropriação dos ambientes pelos cidadãos, promovendo o melhor uso desses locais. São diversos os benefícios proporcionados ao adotante (RIO DE JANEIRO, 2018), tais como: o direito de divulgar sua marca e “QR CODE” nos totens ou placas indicativas da adoção; reconhecimento pelo poder público e da comunidade do benefício prestado à sociedade; associação da marca à preservação do meio ambiente e responsabilidade social; participação efetiva na preservação do patrimônio ambiental e cultural da cidade; marketing alternativo, mídias sociais e espontâneas, além de se apropriar de um lugar que tem valor afetivo. Para as pessoas jurídicas que se tornam adotantes, seus produtos e/ou serviços são associados à ideia de sustentabilidades, nos contextos sociais e econômicos, desempenhando de forma integrada a responsabilidade social. No caso de pessoa física, a responsabilidade social gerada na adoção provoca um sentimento de pertencimento ao espaço adotado, com valor afetivo, estimulando a interação entre as pessoas e o ambiente, aumentando assim a vitalidade urbana. O termo de adoção estabelecido com pessoa física ou jurídica, faz com que as pessoas sejam ouvidas no gerenciamento das áreas públicas melhorando a forma de uso, uma vez que o espaço precisa ter uma identidade com a população ou não será utilizado, nem mantido (Pacheco et al, 2017).

O adotante muitas vezes representa um fiscal em tempo integral do bem adotado, por estar “mais perto” do poder público, e se torna um importante canal de comunicação entre a comunidade e a Administração Pública. O envolvimento direto da população na gestão das praças, demonstra maior grau de apropriação e comprometimento da comunidade no seu uso, refletindo a melhoria propiciada por esse modelo de gestão compartilhada, segundo Laredo (2013).

No período de recorte desse estudo a Cidade do Rio de Janeiro tinha 315 bens públicos adotados que somam 1.867.573,61m<sup>2</sup>, área equivalente a 3,33 Quintas da Boa vista ou a 10 Maracanãs. Em termos de valores financeiros, esse total de área adotada representa uma economia para o município na ordem de R\$ 112.000.000,00 ao custo de manutenção estimado na FPJ de R\$60,00/m<sup>2</sup>.

A tabela 1 permite analisar a qualificação de adotantes por ano, se por pessoa física (PF) ou jurídica (PJ), assim como a quantidade total de termos de adoção publicados. Observa-se que no primeiro ano de recorte, em 2017 foram realizados 29 termos de adoções, sendo 10 efetivados por pessoa física e 19 por pessoa jurídica, no ano de 2018 após uma reestruturação dos procedimentos, houve um crescimento expressivo de termos publicados passando para 106, sendo 38 por pessoa física e 65 por jurídica, no ano seguinte aumentou para 155 termos publicados, distribuídos entre 71 efetivados por PF e 84 por PJ, em 2020 a quantidade de termos publicados diminuiu para 25 sendo 9 de PF e 16 de PJ, consequência do lockdown na Cidade decretado pelo Prefeito em março de 2020 devido à Pandemia de Covid-19, suspendendo todos os serviços não essenciais (Rodrigues, 2020), o que praticamente interrompeu todos os processos de adoção no ano, não sendo observado nenhum outro motivo.

**Tabela 1: Qualificação dos adotantes por ano**

Recorte	PJ	% do total no ano	PF	% do total no ano
2017	19	65	10	35
2018	65	62	41	38
2019	84	54,2	71	45,8
2020	16	64	9	36

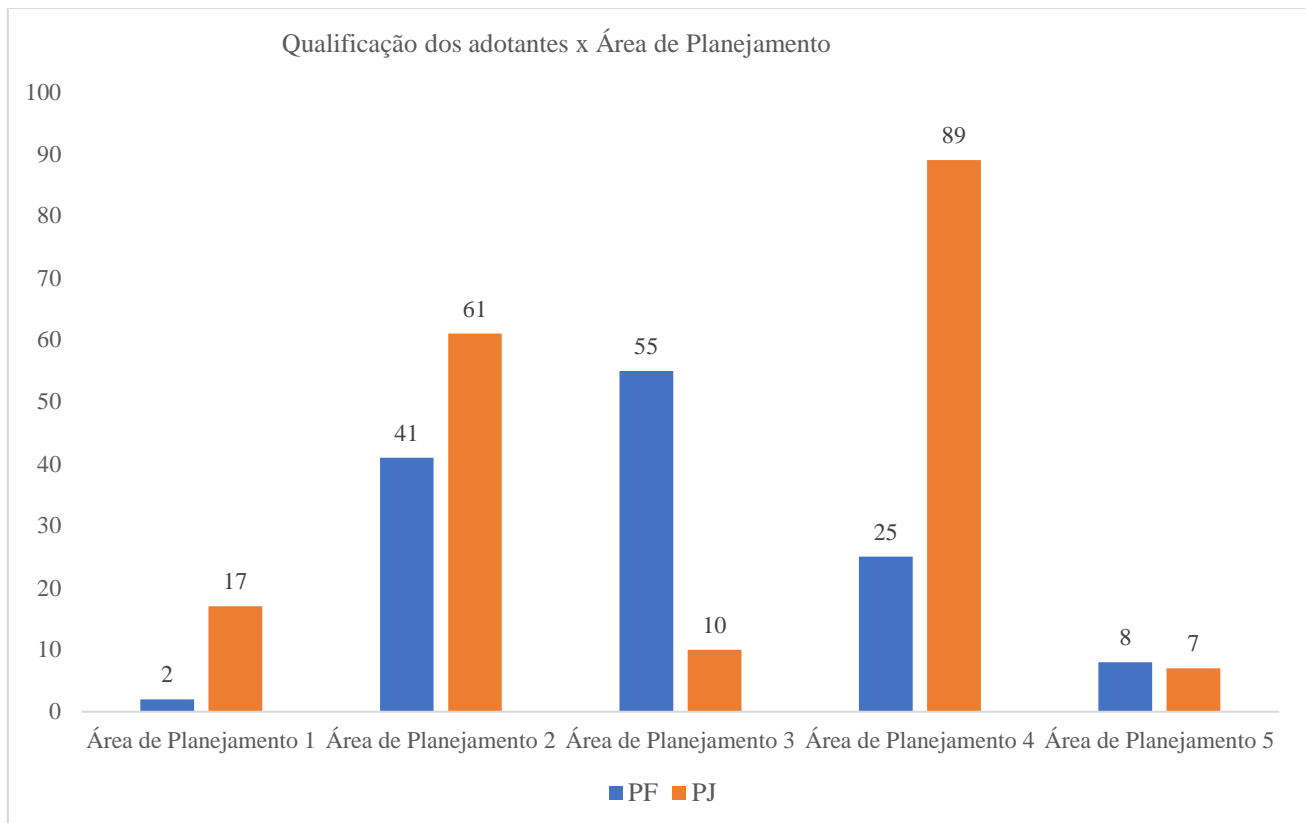
**Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em dados da Fundação Parques e Jardins, 2021**

Nos 4 anos analisados foram realizadas 184 adoções por pessoa jurídica e 131 de pessoa física, em todas as 5 áreas de planejamento.



Observando de forma separada a qualificação dos adotantes por AP, no gráfico da figura 2 percebe -se que as adoções realizadas por pessoas jurídicas acontecem em maior quantidade na AP 1, principalmente na região do Centro, na AP 2 que abrange a zona sul e a Grande Tijuca e na AP 4 que inclui as regiões da Barra da Tijuca e Jacarepaguá.

Observa-se que na AP 1, região do Centro, há uma expressiva quantidade de escritórios, lojas e empresas se mostrando mais interessadas em melhorar o entorno de onde atuam, sendo reconhecidas pela comunidade por sua responsabilidade social no desempenho com o cuidado do meio ambiente. O mesmo acontece na AP 2, zona sul, com sua grande quantidade de restaurantes, bares e escolas, interessados em zelar pelos arredores de suas instalações. Na AP 4, além dos restaurantes e empresas, há uma maior concentração de condomínios e associações de moradores de grandes condomínios engajados em preservar os jardins da sua circunvizinhança, mantendo a qualidade de vida e valorização da sua própria região, uma vez que em muitas situações, esses grandes canteiros ajardinados são provenientes dos percentuais de doação de terreno para uso público e acabam ficando dentro dos limites físicos dos grandes condomínios.



**Figura 2: Gráfico comparativo Qualificação dos adotantes por área de planejamento.**  
**Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em dados da Fundação Parques e Jardins, 2021**

### Estudo de Casos

#### Travessa Belas Artes – Centro – API

Situada entre a Avenida Passos e a Rua Gonçalves Ledo, figura 3, adotada pela empresa de seguros e previdência Mongeral Aegon Seguros e Previdência S.A., com sede na própria travessa desde 1841, onde antigamente existia a Escola Nacional de Belas Artes, originalmente Academia Imperial de Belas Artes, projeto do arquiteto GrandJean de Montigny, que acabou sendo demolido em 1938, e hoje no local funciona um estacionamento.

Em 2015 a empresa ao comemorar seus 180 anos de existência, lançou o projeto de revitalização para a travessa, ficando responsável por toda a obra de reurbanização. Com um investimento de 4 milhões de reais (Sé, 2017), o escopo da obra envolveu restauração de fachadas históricas, substituição de pavimentação, drenagem e iluminação, transformando o ambiente em rua exclusiva para circulação de pedestres e um tipo de *lounge* para seus funcionários. As obras terminaram em 2018, quando a empresa passou a adotar o local. A área de 1.200m<sup>2</sup> atende também ao Centro Municipal de Artes Hélio Oiticica que usa a travessa para exposições ao ar livre e instalações culturais, atraindo ainda mais a circulação de pessoas pelo charmoso *boulevard*, como ficou conhecido pelos que circulam por ali.





**Figura 3: Planta de situação da Travessa Belas artes, Centro.**

**Fonte: Elaborado pelos autores baseado em planta cadastral, 2021**

### **Pomar junto à Av. Djalma Ribeiro (rotatória da Av. Salvador Allende) – Recreio dos Bandeirantes – AP4**

Com o fim das obras da Transolímpica, uma moradora percebeu as enormes sobras de terreno ao redor de uma rotatória no Recreio (figura 4) e idealizou um grande canteiro ajardinado para trazer de volta a frequência dos pássaros afastados devido às obras e também criar oportunidades para que as crianças aprendessem mais sobre as árvores frutíferas e ornamentais da nossa Mata Atlântica. Em uma parceria com os órgãos públicos municipais e junto com vizinhos foi iniciada a recuperação da área de 1.640m<sup>2</sup>, com criação de um sistema de bombeamento de águas de reuso para a rega das plantas, escavação para abertura de covas para o plantio de diversas espécies arbóreas do bioma Mata Atlântica, com mais de 75 mudas doadas pelos próprios moradores e amigos do condomínio ao lado. Cada muda de árvore representa uma história carinhosa, seja na sua origem, seja no plantio ou no próprio transporte até chegar ao local do pomar.

A iniciativa por parte de uma moradora na revitalização do canteiro e na criação do pomar permitiu a aproximação de um cidadão em situação de rua que vivia nas proximidades, e que se interessou em cuidar do pomar. A simples ideia e vontade de revitalizar um espaço degradado por obras, resultou não só na recuperação da flora e da fauna, mas também na geração de renda local, recuperação de dignidade e autoestima das pessoas ao redor.



**Figura 4: Planta de situação do Pomar junto à rotatória da Transolímpica, Barra da Tijuca.**

**Fonte: Imagem elaborada pelos autores, 2021**





### Considerações Finais

Como resultado das análises dos casos aqui estudados, observa-se um breve vislumbre sobre a variedade de categorias de bens públicos encontrados na Cidade do Rio de Janeiro, e percebe-se que o uso, a frequência, e o acesso, são reflexos das diversas formas de apresentação de relação afetiva e social entre o cidadão e o ambiente que ele se encontra. Por conta disso, Silva (2014) afirma que é imperativo que a administração pública conheça as necessidades dos usuários em relação aos espaços públicos, e a despeito de existir ambientes de qualidade, o modo como são geridos se torna bastante relevante.

Tanto na adoção de uma travessa por uma empresa (pessoa jurídica) em pleno Centro da cidade como na adoção de uma área verde na zona oeste por uma pessoa física, constatou-se que em ambas houve uma maior frequência de pessoas, o que acarretou um aumento da sensação de pertencimento, aumentando o engajamento dos vizinhos próximos que se envolveram mais nas tomadas de decisões sobre o seu entorno. As adoções com suas transformações físicas dos ambientes, tiveram uma forte ingerência no aprimoramento da qualidade de vida do entorno imediato com melhorias no escoamento das águas de chuva, na qualidade do ar com diminuição de material particulado e diminuição de temperatura urbana com retenção da umidade do solo, entre outras coisas. Esse engajamento permitiu, do mesmo modo, demonstrar os resultados da responsabilidade social exercida por ambos os adotantes ao mudar a autoestima, a dignidade e o conforto dos frequentadores locais.

Portanto pode-se dizer que o Adote.Rio é uma excelente parceria da prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro com a sociedade, ao se aproximar do cidadão, promovendo a conexão de pessoas da região para ocupar a lacuna antes ocupada pelo poder público, encurtando os processos de tomada de decisão, e providenciando os meios para tornar a Cidade resiliente, sustentável e acessível para gerações atuais e futuras.

### Agradecimentos

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

### Referências Bibliográficas

Amorim, M.C.C.T; Lima, V. 2006. A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades. Revista Formação, nº13, p. 139 – 165.

BRASIL. 1979. Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e da outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm). Acesso em: 24 nov.2020.

BRASIL. 2004. Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/111079.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/111079.htm). Acesso em: 24 nov.2020.

Caccia, L.S. 2015. Mobilidade Urbana: Políticas públicas e apropriação dos espaços nas cidades brasileiras. UFRGS, p. 147 Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/133191>. Acesso em: 16 set.2020.

Carmona, M. Magalhães, C.; hammond, L. 2008. Public space: The management dimension. Routledge.p.7.

Carvalho Filho, J.dos S. 2015. Manual de direito administrativo. 28ª Edição Revista, ampliada e atualizada até 31.12.2014 São Paulo editora Atlas s.a. p.1181.

COLÔMBIA. 2016. Lei nº 1.819, de 29 de dezembro de 2016 - *por mérito de la cual se adopta una reforma tributaria estructural, se fortalecen los mecanismos para la lucha contra la evasión y la elusión fiscal, y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial. Ano CLII nº. 50.101. Disponível em: <https://derechodelacultura.org/wp-content/uploads/2018/06/Ley-1819-29-dic-16-Reforma-Tributaria-Diario-Oficial-50101.pdf>. Acesso em: 24 out. 2021.

Dorigo, T.A.; ferreira, A.P.N.L. 2015. Contribuições da percepção ambiental de frequentadores sobre praças e parques no Brasil (2009-2013): revisão bibliográfica. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS Vol. 4, N. 3.

FORTALEZA (CE). 2014. Decreto nº 13.397, de 07 de agosto de 2014. Institui o programa Adoção de Praças e Áreas Verdes. Fortaleza. 2014. Disponível em: [https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/catalogodeservico/novo\\_dec\\_adocao\\_de\\_pracas\\_n13397\\_de\\_7\\_de\\_agosto\\_2014.pdf](https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/catalogodeservico/novo_dec_adocao_de_pracas_n13397_de_7_de_agosto_2014.pdf). Acesso em 24 nov.2020.

Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento. ITDP BRASIL. 2020. Parcerias para a gestão de espaços públicos. Rio de Janeiro. P.7.

Laredo, R. 2013. Gestão compartilhada na manutenção dos espaços públicos da cidade: um olhar sobre a subprefeitura de Pinheiros em São Paulo. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 01, n. 04, pp. 08-1.



Marinela, F. 2013. Direito administrativo. 7ª ed. Brasil: Impetus. p.1166.

Meirelles, H. L. 2003. Direito administrativo brasileiro. 28ª edição, São Paulo: Malheiros Editores. P.132.

MEXICO, (Cidade) 2018. Administración pública de la ciudad de México Código Fiscal. Gaceta oficial de la ciudad de México. Disponível em :[http://www.paot.org.mx/centro/codigos/df/pdf/2018/CODIGO\\_FISCAL\\_DF\\_31\\_12\\_2017\\_MICH.pdf](http://www.paot.org.mx/centro/codigos/df/pdf/2018/CODIGO_FISCAL_DF_31_12_2017_MICH.pdf) Acesso em 24 de out de 2021.

Nicolaci-da-Costa , A.M.; Leitão , C. F.; Romão-Dias, D. 2004. Como conhecer usuários através do Método de Explicitação do Discurso Subjacente (MEDS) VI Simpósio sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais — Mediando e Transformando o Cotidiano. UFPR, CEIHC SBC, Curitiba. P.47-56.

Oliveira, M. F. de. 2011. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração. Catalão: UFG, 2011. 72 p.: il.

Pacheco, P; caccia, L.S.; Azeredo, L. 2017. Espaços Públicos: 10 princípios para conectar as pessoas e a rua. WRI Brasil. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/espacos-publicos-10-principios-para-conectar-pessoas-e-rua>. Acesso em: 12 out 2021.

PARIS(FR) 2018. Jardins Compartilhados. Disponível em: <https://www.paris.fr/pages/les-jardins-partages-203> Acesso em: 12 out 2021.

Pereira de Souza, A.; Gomes Miron, L. I. 2019. A Gestão de Parques Urbanos e Praças em Porto Alegre. In: II Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana abordagem sistêmica, escalas e intersectorialidade: desafios e potenciais do desenvolvimento urbano sustentável. São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC.

PORTO ALEGRE (RS). 2019. Lei nº 12.583 de 9 de agosto de 2019. Autoriza a adoção de equipamentos públicos e de verdes complementares por pessoas físicas e jurídicas no Município de Porto Alegre e revoga a Lei Complementar nº 618, de 10 de junho de 2009. Porto Alegre. Disponível em: [http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smam/usu\\_doc/ei\\_\\_12.583.pdf](http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smam/usu_doc/ei__12.583.pdf). Acesso em: 12 out. 2021.

RIO DE JANEIRO (Cidade). 1988. Lei nº 1.220 de 12 de abril de 1988. Instituiu o projeto Adote uma Praça. Rio de Janeiro.1988. Disponível em:<http://mail.camara.rj.gov.br/APL/Legislativos/contlei.nsf/e9589b9aabd9cac8032564fe0065abb4/b0805a5ad265eccf032576ac00738922?OpenDocument>. Acesso em: 20 fev. 2022.

RIO DE JANEIRO (Cidade). 2018. Decreto Rio nº 45159 de 10 de outubro de 2018. Regulamenta o Programa Adote.Rio. Rio de Janeiro. Disponível em: [https://smaonline.rio.rj.gov.br/legis\\_consulta/57199Dec%2045159\\_2018.pdf](https://smaonline.rio.rj.gov.br/legis_consulta/57199Dec%2045159_2018.pdf). Acesso em: 22 mar. 2020.

RIO DE JANEIRO (Cidade). 2019. Resolução Conjunta SCMA/FPJ nº 2 de 21 de janeiro de 2019. Estabelece procedimentos a serem executados nas adoções de bens públicos de uso comum do povo no Município do Rio de Janeiro, que se encontrem sob a tutela da Secretaria de Conservação e Meio Ambiente - SECONSERMA - e Fundação Parques e Jardins - FPJ, e dá outras providências. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www2.rio.rj.gov.br/conlegis/ato.asp?57768>. Acesso em: 22 mar. 2020.

Rodrigues, F. 2020. Crivella decreta quarentena no Rio a partir de terça-feira. Poder360. São Paulo. 22 mar. 2020. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/brasil/crivella-decreta-quarentena-no-rio-a-partir-de-3a-feira/>. Acesso em :24 nov. 2020.

SÃO PAULO (Cidade). 2022. Decreto nº 61.170 de 22 de março de 2022. Confere nova regulamentação ao Programa Adote Uma Praça, para o fim de estabelecer os procedimentos, pela via eletrônica, para a celebração de termos de cooperação com a iniciativa privada, bem como pessoa física, no âmbito do referido Programa. Disponível em: <https://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/decreto-61170-de-22-de-marco-de-2022>. Acesso em 22 mar. 2022.

Sé, R. S. 2017. Painelembra obra de Grandjean de Montigny na Praça Tiradentes. Seguradora está investindo 4 milhões de reais na reurbanização de trecho. Veja Rio. 17 nov. 2017. Disponível em : <https://vejario.abril.com.br/cidade/painel-lembra-obra-de-grandjean-de-montigny-na-praca-tiradentes/>. Acesso em 06 dez. 2021.

Silva, F. C. da. 2014. Participação dos usuários nos processos de adoção de espaços públicos de lazer e turismo urbanos. Revista Turismo & Desenvolvimento, v.3(21/22). P. 219-227. <https://doi.org/10.34624/rt.d.v3i21/22.12041>. 2014.

VANCOUVER (CA). Adopt-a-Block Program. 2021. Disponível em: <https://vancouver.ca/green-vancouver/adopt-a-block.aspx>. Acesso em: 12 out 2021.



## COMPROMETIMENTO PÚBLICO PARA MICHAEL SANDEL: BREVES CONSIDERAÇÕES ACERCA DO DIREITO AMBIENTAL CONSTITUCIONAL

1Guilherme Weiss Niedermayer, 2Luciana Turatti, 3Emerson Träsel

1 Univates- Universidade do Vale do Taquari, e-mail: guilherme.n@univesrso.univates.br; 2 Univates- Universidade do Vale do Taquari, e-mail: lucianat@univates.br; 3 Sem vínculo institucional, e-mail: emerson.trasel@universo.univates.br

**Palavras-chave:** Justiça ambiental; Participação Pública. Bem comum.

### Resumo

Pode o Estado impor condutas de conotação ética ou moral aos cidadãos? Como promover uma sociedade mais justa? Há parâmetros na persecução do bem comum? Com essas premissas, o autor Michael J. Sandel convida o leitor a refletir sobre caminhos para uma sociedade justa. De maneira transversal, tem-se a temática do comprometimento público para o pleno funcionamento do Estado Socioambiental brasileiro, a partir da Constituição Federal de 1988. O presente trabalho buscou investigar de que maneira a obra de Sandel pode contribuir para a construção de um Estado Socioambiental brasileiro mais integrador e protetor. Conclui-se que há grande similitude entre o que Sandel entende por justiça social e o objetivo do Estado Socioambiental na proteção do ambiente equilibrado. Ambos são fortalecidos pela participação conjunta entre Poder Público e coletividade. Dentro do sistema normativo brasileiro, os direitos procedimentais são um dos mecanismos de promoção dessa interação. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, desenvolvida a partir dos instrumentais técnicos: revisão bibliográfica e documental.

### Introdução

Michael J. Sandel, ao avaliar a temática da Justiça e como socialmente provê-la, toma posição contraintuitiva acerca do posicionamento do Estado e a promoção da justiça social: a política do bem comum. Ainda que o legítimo temor de que, ao passo que o Estado se envolva em temas como disputas morais ou religiosas, abra-se caminho à intolerância e à segregação, para o autor, é impossível que o Estado não o faça.

Sandel, consagrado professor e escritor, ministra filosofia política na Universidade de Harvard e, em seus livros, abrange temas como Justiça, Ética, Democracia e Mercados. É referência contemporânea, sendo que, seu curso “Justiça” é o primeiro curso de Harvard disponível gratuitamente de forma online, o qual já foi assistido mais de dez milhões de vezes. Através de seu programa “*The Public Philosopher*”, veiculado na BBC Radio 4, torna público o debate acerca de questões filosóficas atreladas a questões sociais importantes como a violência de gênero, a corrupção e a democracia. Sendo esses apenas alguns dos projetos em que o autor está envolvido, resta evidente seu destaque na promoção do debate filosófico público e sua contribuição para a temática. (Harvard [2021?])

O conceito de Justiça não é unânime, ainda que seja um ideário tão caro a todos. Há de se falar em diferentes abordagens para que se efetive a Justiça e, caso a resposta seja positiva, o conceito de Justiça segundo a corrente “x”, pode significar Injustiça para outros? Podem duas “Justiças” coexistirem? Qual o papel do Estado na construção de uma sociedade justa? De que forma a coletividade se relaciona à justiça social? Pela própria natureza do tema, através do livro “Justiça: o que é fazer a coisa certa?”, Sandel busca tornar público o debate sobre a constituição de uma sociedade mais justa.

O utilitarismo em Bentham e Mill, a ideologia libertária, a noção de justiça para Kant, a equidade em John Rawls e a corrente aristotélica são algumas das correntes postas em análise por Sandel e articuladas com diferentes abordagens sobre o que é fazer a coisa certa na contemporaneidade. De maneira muito própria, o autor expõe a sua visão do tema, mas também, propõe ao leitor que reflita sobre a noção de justiça mediante diversas problemáticas.

Por sua vez, a Constituição Federal Brasileira de 1988 inaugurou o Estado Socioambiental garantindo a todos o direito ao meio ecologicamente equilibrado, e impondo como dever do Estado e da coletividade a sua defesa e preservação, visando garantir também o direito das futuras gerações. Assim, o texto constitucional impõe postura ativa no cuidado para com o esplendor ambiental, haja vista sua estreita relação com os demais direitos fundamentais.

Neste sentido, o presente trabalho parte do livro “Justiça: o que é fazer a coisa certa?” de Michael J. Sandel, publicado pela editora Civilização Brasileira, em 2020, 30ª edição. O primeiro capítulo abordará de maneira descritiva as várias partes que compõem o livro. Já o segundo capítulo será dedicado à análise de temas transversais ao trabalho de Sandel e tecerá breves considerações sobre a noção de justiça social e o direito constitucional ambiental brasileiro – materializado no artigo 225 da Constituição Federal de 1988.

Por fim, salienta-se que não tem o condão de substituir a leitura do material apresentado, mas sim, posta-se enquanto um guia para a compreensão da obra. Para mais, ao aproximar a temática do livro ao direito ambiental constitucional, objetiva-se reforçar a importância do debate público das temáticas, tendo em vista que a coletividade ocupa papel de destaque em ambas.

### O ideário de justiça na visão de Sandel

Justiça - o que é fazer a coisa certa contém dez capítulos, nos quais situações cotidianas e hipotéticas são abordadas e suscitam divergências éticas e morais. Apresentando fatos, dilemas hipotéticos, razões e objeções, a narrativa é desenvolvida de





modo a instigar o leitor a pensar sobre problemas morais: “A resposta é que a reflexão moral não é uma busca individual, e sim coletiva. Ela requer um interlocutor – um amigo, um vizinho, um camarada, um compatriota. Às vezes o interlocutor pode ser imaginário, como quando discutimos com a nossa consciência” (Sandel, 2020, p. 38).

Na obra são apresentadas três concepções de justiça: a utilitarista, a Justiça a partir da liberdade e a justiça enquanto uma virtude. A apresentação destas ideias não é cronológica, uma vez que estas são introduzidas enquanto um convite à reflexão sobre a ordem cívica.

Em seu capítulo inaugural, Sandel, de maneira arrebatadora, expõe o leitor a diversas situações morais delicadas. Abordando as relações de consumo, calamidades públicas e o hipotético caso do vagão de trem desgovernado, o leitor irresistivelmente assume postura proativa na concepção de sua própria noção de justiça, ordem e bem-estar social.

A primeira corrente apresentada por Sandel, o Utilitarismo, propagado principalmente por Jeremy Bentham “procura substituir a confiança em Deus, na tradição, senso comum ou instituições, pelo raciocínio a respeito de fatos e suas consequências” (Furrow, 2007, p. 53). A escola busca na maximização dicotômica entre a felicidade e a dor, o ideal de Justiça. Partindo de um apelo intuitivo, *a priori*, simples, a decisão útil – portanto, a correta – seria aquela que proporcionasse a prevalência da felicidade em detrimento da dor. A maximização da felicidade sobre a dor, para Bentham, era também dever dos legisladores. Assim, ao determinar novas normas, o legislador deve primar pela felicidade da comunidade, mesmo que, implique no sofrimento de um número menor de pessoas.

Sandel tece duas objeções ao Utilitarismo proposto por Bentham. A primeira é a total ausência de respeito aos direitos individuais. Já a segunda é a aplicação de um denominador comum a todos os valores morais. Através de exemplos como “os benefícios do câncer de pulmão” ou “explodindo tanques de combustível” convida o leitor a pensar sobre a aplicação pura do Utilitarismo.

Por fim, é apresentado o Utilitarismo de John Stuart Mill, o qual tenta “modernizar” a teoria. Porém, Mill celebra as liberdades como valores morais mais importantes, o que resulta em contradição ao utilitarismo de Bentham, pois, “essa expressão de fé nas faculdades humanas mais elevadas é convincente, mas, ao basear-se nela, Mill foge da premissa do utilitarismo. Os desejos de facto não são mais a única base para julgar o que é nobre e o que é vulgar.” (Sandel, 2020, p. 71). Assim, ainda que as liberdades individuais sejam valorizadas – o que responde parcialmente a objeção número dois -, a violação das liberdades importa em uma problemática social, desconsiderando completamente o respeito à liberdade individual em si – objeção número um.

A segunda grande linha de pensamento é a ideologia libertária. Para os libertários, como Robert Nozick, a Justiça está atrelada ao respeito da Liberdade. Partindo da concepção de Liberdade como valor máximo, os defensores dessa ideologia pregam o Estado Mínimo – cabendo a este tão somente a proteção da propriedade, a fiscalização do cumprimento dos contratos e a manutenção da paz – mas não unicamente pelo critério do livre mercado, e sim em nome da liberdade humana. Assim sendo, opõem-se a qualquer “paternalismo estatal”, ou norma sobre a moral, uma vez que, julgam que cada pessoa deva fazer o que desejar com o que lhe pertence, desde que respeitando o direito do próximo de fazer o mesmo.

A partir de exemplos como serviço militar obrigatório, aborto e a liberdade econômica radical, Sandel tece considerações sobre o poder coercitivo da realidade social, expondo que a liberdade, por vezes, é apenas utopia. Agregando à discussão, as filosofias de Kant e John Rawls são trazidas. Kant e seu conhecido imperativo categórico impõem que os seres humanos são racionais e, portanto, merecedores de respeito e dignidade, bem como também, são sencientes, o que mitigaria a noção de liberdade, pois os desejos e necessidades oprimem a livre escolha. Desta forma, a teoria kantiana defende que o agir moral somente é válido quando não alicerçado em interesses.

Já Rawls parte de um exercício puramente hipotético, no qual propõe a formação de uma sociedade totalmente nova. Através de um “véu de ignorância”, o qual apagasse quaisquer lembranças anteriores como status, posição social, preferências ou parcialidades, deveriam ser eleitos os valores fundantes desta nova comunidade. O filósofo argumenta que os contratos reais não são verdadeiramente morais por uma das partes estar em posição privilegiada. Além disso, o contrato verdadeiramente justo é pautado pela reciprocidade absoluta. Assim sendo, apenas o raciocínio filosófico a partir de uma situação hipotética é capaz de fornecer um contrato social verdadeiramente justo e equânime, estabelecendo os princípios básicos da justiça distributiva.

Desta forma, Sandel opõe-se à corrente libertária por considerar que: i) a liberdade é dirimida por diversos fatores externos como as necessidades biológicas e o contexto social; ii) o respeito e a dignidade inerente aos seres humanos devem se sobrepor a liberdade. Por essa razão, o autor defende a ideia de justiça como um contrato social capaz de conciliar a liberdade individual e o respeito coletivo.

A última das grandes correntes apresentadas por Sandel, é a ideia de justiça enquanto virtude. Essa noção tem sua pedra angular em Aristóteles, para o qual, é fundamental entender o telos de tudo – a razão de ser, a finalidade das coisas. Não seria diferente ao tratar sobre Justiça. Na visão do macedônio, a justiça não pode ser neutra, pois, é fundamental dar a cada um o que lhe é devido. Aristóteles expõe duas noções de Justiça: a distributiva e a corretiva. Para a primeira, o justo é o ponto médio, já a segunda está própria ao termo de igualdade nas transações voluntárias e involuntárias.

Sandel denota que há grande contradição entre o pensamento proposto por Aristóteles e algumas influentes correntes filosóficas modernas sobre justiça. Enquanto estas buscam dividir a moral, honra e virtude de questões de equidade e direitos, aquele acredita que as discussões sobre justiça sejam, inevitavelmente, debates sobre honra, virtude e meios para alcançar a boa vida. Reflexo desta dicotomia, está na definição do telos de Política, “Atualmente não pensamos a política como algo que tenha uma finalidade particular e independente, mas como algo aberto às diversas finalidades que os cidadãos venham a adotar” (Sandel, 2020, p. 239). Já para Aristóteles, o dever da política é formar bons cidadãos e propiciar o bom caráter, potencializando o desenvolvimento das virtudes humanas particulares, para, então, destinar a cada um o que lhe é devido.



Por fim, Sandel apresenta sua convicção sobre a Justiça. Pautado na abordagem do bem comum, o autor enxerga a solidariedade enquanto virtude cívica. Por valores morais como a já citada solidariedade e a compaixão, na visão do autor, far-se-á a Justiça. Os debates e discussões são inerentes à formação de uma sociedade justa. Assim, “Justiça não é apenas a forma certa de distribuir as coisas. Ela também diz respeito à forma certa de avaliar as coisas” (Sandel, 2020, p. 323). Através do comprometimento público, as divergências morais proporcionariam uma base de respeito mútuo e, eventualmente, guiaríamos à Justiça.

### 3 O Direito Ambiental Constitucional transversal à obra de Sandel

Como demonstrado anteriormente, Michael J. Sandel crê que em uma sociedade plural, o respeito às diferentes opiniões e o debate são fundamentais para ascender a uma sociedade mais justa. O comprometimento público é a base de sua teoria de Justiça, sendo dever do Estado proporcionar meios para o cultivo da virtude cívica. A partir deste entendimento, discorrer-se-á brevemente sobre o Estado Socioambiental brasileiro, inaugurado pela Constituição Federal de 1988, buscando evidenciar como a ideia de Justiça de Sandel relaciona-se ao direito-dever ambiental previsto na Lei Maior pátria.

Anteriormente à Constituição Federal de 1988, “não havia menção específica da tarefa estatal de proteção ambiental” (Canotilho; et al, 2018, p. 2.176). Havia, porém, legislação sobre a matéria sob o prisma da fruição específica de alguns elementos constituintes do ecossistema (Sarlet; Fensterseifer, 2020). Seguindo movimentos internacionais – os quais ganharam força após a Declaração de Estocolmo de 1972 – o ímpeto de retomada democrática absorveu, também, a tutela ambiental como dever estatal, materializado no artigo 255 da Constituição Federal de 1988. Esta proteção ganha especial relevância ante o cenário que, para as Ciências Naturais, são notórios os efeitos de crises sistêmicas e ubíquas (Marques, 2018). Tanto pelos Limites Planetários, quanto pelos dados conjecturados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as causas e os efeitos são diversos, porém conexos. Assim sendo, o desequilíbrio de um aspecto natural, pode influenciar diretamente outro. Por outro lado, não há tamanha limpidez sobre aspecto jurídico-político (Minassa, et. al. 2023). O ponto fulcral não é sobre os riscos da emissão dos gases de efeito estufa, mas sim, sobre o quanto a mais se deseja permitir emitir (Wallace-Wells, 2019). Tudo se conecta na medida em que: “O clima não é um componente ambiental palpável, senão é ele próprio o ambiente em que estamos imersos. Por isso, o clima é palco, não ator. Na tragédia pós-moderna, com suas tramas econômicas, sanitárias, institucionais, políticas e humanitárias, todos os atores se deparam com um palco (sustentáculo da vida) a ceder sob seus pés”. (Minassa, et. al. 2023, p. 3).

Ainda que o referido dispositivo seja o protagonista da proteção ambiental no texto constitucional, não é apenas no artigo 225 que o meio ambiente recebe respaldo. A preservação ecológica é introduzida como ponto basilar em diversos dispositivos da Carta Magna, e inclusive aparece de forma indireta em outros direitos fundamentais consagrados. Nesse viés, Benjamin (2008, p. 104) aponta que “em rigor, os fundamentos do art. 225 não estão ilhados, pois ligam-se, de forma umbilical, à própria proteção à vida e à saúde, à salvaguarda da dignidade da pessoa humana e à funcionalização ecológica da propriedade”. Outro importante exemplo desta condição diz respeito a previsão encontrada no artigo 170 que condiciona a liberdade econômica à observância dos princípios ambientais.

Sarlet et al. (2015) expõe que, a partir da formação constitucional, a matéria ambiental é indispensável, impondo ao Estado uma postura proativa no resguardo aos cidadãos de quaisquer formas de violação de direitos em decorrência da crise ecológica, sendo a prevenção, aliás, marca característica das normas em temática ambiental (Antunes, 2015). De tal sorte, resta cristalino a instauração de um modelo de Estado Socioambiental (Sarlet, et al. 2015), modelo este que se deu a partir da Carta Magna de 1988, deixando para trás o modelo tradicional das constituições anteriores que representaram um estágio miserável para a proteção ecológica no Brasil (Benjamin, 2008).

O Estado Socioambiental – e consequente constitucionalismo ambiental – não abandona as conquistas relativas à tutela da dignidade humana dos modelos de Estado Liberal e Social, apenas acresce a dimensão ecológica, sendo essa a marca de superação de seus predecessores (Sarlet, et al, 2015). Em tese firmada pela Corte Interamericana de Direitos Humanos, através da Opinião Consultiva 23, de 15 de novembro de 2017, o exercício dos demais direitos humanos pressupõem a qualidade ambiental mínima (CIDH, 2017). Tendo o Brasil ratificado a Convenção Americana de Direitos Humanos em 1997, este é também responsável pela manutenção da qualidade ambiental como pavimento ao exercício dos demais direitos humanos e fundamentais. Assim, resta evidente que se entenda o Estado brasileiro enquanto Estado Socioambiental.

Convém ressaltar que o Estado Socioambiental é produto do Estado Democrático de Direito, portanto, “a proteção do ambiente e dos direitos sociais não pode ser feita às custas de princípios e regras elementares da Democracia e da judiciedade.” (Sarlet, et al. 2015, p. 36). Complementa Barroso (1992), que a Constituição é um “sistema de normas” (p. 45). Neste sistema de normas, convém, ao ímpeto deste trabalho, recortar a dimensão procedimental enquanto aspecto próprio do direito-dever fundamental de proteção ambiental (Sarlet; Wedy; Fensterseifer, 2021).

Uma vez inseridos no texto da Constituição, a eficácia e aplicabilidade das normas que instruem os direitos e garantias fundamentais são atrelados ao seu enunciado, sendo a maioria de aplicação imediata (Moraes, 2021). Alcançando status *jusfundamental*, os direitos procedimentais ensejam a efetivação dos direitos materiais, não limitando-se a mera declaração normativa. Desta feita, o procedimento é um desdobramento da dimensão objetiva dos direitos fundamentais, os quais perderiam a razão de ser em um mundo ideal de pleno exercício dos direitos. Logo, a função direito ao procedimento é fornecer instrumentos necessários à salvaguarda e exercício da dimensão subjetiva do direito fundamental ao ambiente, viabilizando, caso necessário, a participação pública (Sarlet; Wedy; Fensterseifer, 2021).



Porém, salienta Dufour (2016), que há, ainda, uma lacuna entre as pretensões discursivas e a efetivação da participação cidadã, sendo mantida uma estrutura hierarquizada. Permite-se especular sobre essa discrepância como o resultado de uma sintomática falta de prestação efetiva de direitos de informação, direitos de participação e direitos de ação judicial (Sarlet; Wedy; Fensterseifer, 2021).

Não há de se falar do ambiente como um conjunto isolado e apartado da própria essência humana. De mesma sorte, não prospera a ideia de entender o Direito Ambiental enquanto um ramo do direito que não se relaciona com os demais. Além do que, o direito à proteção do meio ambiente consagrado no artigo 225 da Constituição Federal carrega qualidade de direito fundamental (Sarlet, 2015). Por ter a atribuição de direito-dever fundamental, o meio ambiente ecologicamente equilibrado implica em reflexos nas mais diversas searas jurídicas, possuindo inclusive o condão de impor limites sobre outros direitos para ver garantida a proteção ecológica (Sarlet; Fensterseifer, 2020).

Como exposto anteriormente, o direito fundamental ao ambiente possui sua dimensão objetiva e subjetiva. A plena efetivação dos procedimentos, como salvaguarda dos direitos subjetivos, pressupõe o acesso à informação, o acesso à justiça, e a garantia da participação social na tomada de decisão do Poder Público. O meio ambiente é matéria que interessa e que tem impacto na vida de todas as pessoas, forte no caráter intergeracional materializado pela constituição brasileira, que demonstra expressamente o resguardo com o direito das gerações futuras. Diante disso, é imprescindível que a coletividade tenha à sua disposição ferramentas para exercer o seu direito-dever de preservá-lo.

Nesse sentido, infere-se que o Estado Socioambiental lança sob o ordenamento jurídico, sob a organização administrativa e sob a coletividade o poder-dever do equilíbrio ambiental. Desta forma, os direitos procedimentais igualam-se em importância ao direito material, adquirindo inclusive o mesmo status jusfundamental. Para mais, o pleno exercício do direito fundamental ao ambiente equilibrado depende da conexão com outros direitos fundamentais. Logo, a relação de dependência tende a fortalecer o sistema normativo como um todo, alcançando a coletividade, bem como toda a esfera administrativa e judiciária. Em outras palavras, observadas tais premissas, alcança-se a efetivação do Estado Socioambiental.

## Considerações finais

O presente trabalho orientou-se pelo objetivo de desenvolver um elo entre a noção de Justiça social para Michael Sandel e o comprometimento público inerente à matéria ambiental constitucional brasileira. Para tanto, o trabalho foi elaborado em dois estágios: o primeiro descritivo sobre a obra “Justiça: o que é fazer a coisa certa?” de Michael Sandel; e o segundo, de caráter analítico sobre a temática do comprometimento público para a efetivação do direito fundamental ao ambiente equilibrado, como reflexo transversal à obra.

Fica evidente que diversas teorias foram formuladas a fim de explicar o que seria uma sociedade justa. De modo didático, Sandel apresenta e contrapõe essas teorias, a fim de incentivar o leitor a refletir sobre o tema. São abordadas as teorias do Utilitarismo de Bentham e Mills, o Liberalismo a partir de Nozick e Rawls, por fim, as reflexões do próprio autor sobre a justiça social. Invocando as lições de Aristóteles, Sandel propõe um Estado que incentive as virtudes cívicas como caminho para alcançar uma sociedade justa. Logo, o poder da coletividade respeitosa, plural e de indivíduos preocupados com o próximo deve ser maximizado através do incentivo estatal.

De maneira transversal, tem-se a temática do comprometimento público para o pleno funcionamento do Estado Socioambiental brasileiro. A Constituição Federal de 1988 inaugurou normativamente o Estado Socioambiental, acrescentando a dimensão ecológica ao princípio norteador da dignidade da pessoa humana. Para a plena efetivação do direito fundamental ao ambiente equilibrado, é necessário o agir conjunto entre Poder Público e Coletividade. Assim, a dimensão objetiva, ou seja, os procedimentos, possuem papel inafastável como garantias de meios para alcançar o direito material. Sob a ótica do Estado Socioambiental, os poderes executivo, legislativo e judiciário, bem como a coletividade, são igualmente importantes para a tomada de decisão e proteção do ambiente equilibrado. Assim, a faceta procedimental do direito fundamental é fortalecida e fortalece direitos como informação, participação e acesso à justiça.

Portanto, nota-se uma ponte teórica entre o que Sandel entende por justiça social e o objetivo do Estado Socioambiental na proteção do ambiente equilibrado. Ambos são fortalecidos pela participação conjunta entre Poder Público e coletividade. Dentro do sistema normativo brasileiro, os direitos procedimentais são um dos mecanismos de promoção dessa interação. Entretanto, os direitos procedimentais são reforçados por direitos de informação, acesso à justiça e promoção de espaços para o debate público, sendo, como afirma Sandel, dever do Estado proporcionar e fomentar as virtudes cívicas do pluralismo, respeito e cuidado.

Este trabalho não tem o condão de substituir a leitura do livro resenhado, tampouco esgotar as discussões a respeito da temática do comprometimento público para o exercício do direito fundamental ao ambiente equilibrado. Como sugestão a pesquisas futuras destaca-se a possibilidade de explorar as temáticas da cidadania ambiental, participação ativa na tomada de decisões e a formulação de uma ética ambiental condizente com o Estado Socioambiental.

## Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Universidade do Vale do Taquari pelo apoio recebido. De mesma forma, ao Grupo de Pesquisa sobre Justiça Ambiental ASAS: Alimentos, Saberes e Sustentabilidade.





### Referências Bibliográficas

Alves, Pâmella de Fátima Antunes; Heimann Jaqueline de Paula. Estado de Coisas Inconstitucional Ambiental: no cenário brasileiro. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. São Paulo, v.8 .n. 01. jan. 2022. Disponível em: <https://www.periodicorease.pro.br/rease/article/view/3863/1500>. Acesso em: 01 abr 2022

Antunes, Paulo de Bessa. 2015. Manual de direito ambiental. 6ª ed. São Paulo.

Barroso, Luis R. 1992. A proteção do meio ambiente na Constituição Brasileira. Revista da Procuradoria Geral do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. v. 44, p. 41 – 75. Disponível em: <https://pge.rj.gov.br/revista-de-direito/1992-volume-44>. Acesso em: 28 jun. 2021.

Benjamin, Antônio Herman. 2008. Direito constitucional ambiental brasileiro: Constitucionalização do ambiente e ecologização da Constituição brasileira. In: Canotilho, José Joaquim Gomes; Leite, José Rubens Morato (orgs.). Direito constitucional ambiental brasileiro. 2. ed. São Paulo. p. 57-130.

Canotilho, J. J. Gomes; Sarlet, Ingo Wolfgang; Streck, Lênio L.; Mendes, Gilmar Ferreira. 2018. Comentário à Constituição do Brasil. 2ª ed. São Paulo.

CIDH - Corte Interamericana de Derechos Humanos. 2017. Opinión Consultiva 23/17: obligaciones estatales en relación con el medio ambiente en el marco de la protección y garantía de los derechos a la vida y a la integridad personal - interpretación y alcance de los artículos 4.1 y 5.1, en relación con los artículos 1.1 y 2 de la convención americana sobre derechos humanos. 15 de noviembre de 2017. Texto digital. Disponível em: [https://www.corteidh.or.cr/docs/opiniones/seriea\\_23\\_esp.pdf](https://www.corteidh.or.cr/docs/opiniones/seriea_23_esp.pdf). Acesso em: 28 ago. 2020.

Dufour, F. P. 2016. A governança democrática como instrumento de participação cidadã no processo de tomada de decisões em políticas públicas. 2016. Dissertação (Mestrado em Direito) – PUC-PR, Curitiba.

Furrow, Dwight. 2007. Ética: conceitos-chave em filosofia. Tradução Fernando José da Rocha. Porto Alegre.

Harvard. Bio: Michael J. Sandel. Texto digital. Disponível em: <https://scholar.harvard.edu/sandel/sandel/bio>. Acesso em: 17 jun. 2021.

Moraes, Alexandre de. 2021. Direitos humanos fundamentais: teoria geral, comentários aos arts. 1º a 5º da Constituição da República Federativa do Brasil e jurisprudência. 12ª. São Paulo.

Sandel, Michael J. 2020. Justiça - O que é fazer a coisa certa. Tradução de Heloísa Matias e Maria Alice Máximo. 30ª ed. Rio de Janeiro.

Sarlet, Ingo Wolfgang. 2015. A eficácia dos direitos fundamentais: uma teoria geral dos direitos fundamentais na perspectiva constitucional. 12. ed. Porto Alegre.

Sarlet, Ingo Wolfgang. Fensterseifer, Tiago. 2020. Curso de direito ambiental. Rio de Janeiro.

Sarlet, Ingo Wolfgang; Machado, Paulo Affonso Leme; Fensterseifer, Tiago. 2015. Constituição e legislação ambiental comentadas. São Paulo.

Sarlet, Ingo Wolfgang; Wedy, Gabriel de Jesus; Fensterseifer, Tiago (Orgs.) 2021. Governança judicial e direitos ambientais de participação. São Paulo.

Strek, Lênio Luiz. 2016. Estado de Coisas Inconstitucional é uma nova forma de ativismo. Texto digital. Disponível em: <https://esmec.tjce.jus.br/wp-content/uploads/2016/02/Estado-de-Coisas-Inconstitucional.pdf>. Acesso em: 01 abr, 2022.

Marques, Luiz. 2018. Capitalismo e colapso ambiental. E-book. 3ª ed. ver. atual. Campinas, SP. 736 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=3h6zDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=luiz+marques+crises+sistêmicas&ots=mTTnwo-r6C&sig=F-> . Acesso em: 18 nov. 2023.

Minassa, Pedro; Miceli, Caroline; Niedermayer, Guilherme Weiss; Castro, Natércia Cordeiro; Silva, Camili Meira Santos; Leal, Caroline Ferreira; Rodrigues, Laís Tayná Amaral. 2023. Green New Deal e Multilateralismo: o futuro pós-pandêmico. Rio de Janeiro.

Wallace-wells, David. 2019. A Terra inabitável. São Paulo.



## INVENTÁRIO FLORESTAL APLICADO PARA SEGURANÇA VIÁRIA. ESTUDO DE CASO NA BR-495/RJ

1Mauro Medeiros de Carvalho Júnior, 2Patrícia Antonucci Forny, 3Daniel Maia Ramos, 4Jhony Paulino dos Santos, 5Desidério Torres de Almeida, 6Raphael Borsoi Saullo

1 DNIT, e-mail: mauro.medeiros@dnit.gov.br; 2 Concremat, e-mail: patricia.aforny@concremat.com.br; 3 DNIT, e-mail: daniel.ramos.estagiario@dnit.gov.br; 4 Concremat, e-mail: jhony.psantos@concremat.com.br; 5 DNIT, e-mail: desiderio.almeida@dnit.gov.br; 6 Geoscene, e-mail: raphael@geoscene.com.br

**Palavras-chave:** Inventário Florestal; Faixa de Domínio Rodoviária; BR-495/RJ.

### Resumo

A presença de indivíduos arbóreos nas faixas de domínio de rodovia pode representar alto risco à segurança viária, principalmente quando não há serviço de poda especializado ou até mesmo quando não é realizada a supressão indicada pelos profissionais especializados. Nesse sentido, a realização de inventário florestal (100%) ou censo florestal torna-se uma ferramenta decisória importante para avaliar as características quantitativas e qualitativas da vegetação da faixa de domínio e fornecer as informações necessárias para tomada de decisão dos gestores quanto as ações de poda e supressão. Ainda, permite estimar o volume de material lenhoso existente e a área total a ser suprimida, assim como os parâmetros fitossociológicos de interesse, além de identificar as espécies raras, endêmicas, ameaçadas de extinção e protegidas por legislação específica, isto é, permite um diagnóstico completo dos indivíduos arbóreos para a tomada de decisão baseada em dados técnicos. Aliado as técnicas tradicionais, o uso de LiDAR (Light Detection and Ranging) pode auxiliar neste processo de refinamento do levantamento de campo, construindo uma base ainda mais refinada para o diagnóstico da vegetação. Desta forma, em virtude do Programa INOVA SRERJ, foi realizado o Projeto-Piloto com o estudo de caso na BR-495/RJ, aplicando alguns conceitos inovadores na execução do inventário florestal aplicado ao modo rodoviário.

### Introdução

A Faixa de Domínio é considerada a base física sobre a qual se assenta uma rodovia, constituída pelas pistas de rolamento, canteiros, obras de arte, acostamentos, sinalização e faixa lateral de segurança, com limites definidos conforme projeto executivo da rodovia, decretos de utilidade pública, ou em projetos de desapropriação (DNIT, 2024). Nesse sentido, cabe ao empreendedor, seja público ou privado, a manutenção e fiscalização de todos seus ativos, incluindo os indivíduos arbóreos, em especial àqueles que podem oferecer riscos à segurança viária, usuários e população lindeira, destacando-os quanto a necessidade de poda ou supressão.

Na esteira do tema, visando realizar o diagnóstico dos indivíduos arbóreos ao longo de toda a Faixa de Domínio, foi desenvolvido o Projeto-Piloto na BR-495/RJ, que possui 34,5km de extensão e conecta a BR-116/RJ, em Teresópolis, com a BR-040/RJ, em Petrópolis. O referido Projeto-Piloto foi criado pela Portaria nº 1198, de 06 março de 2024<sup>1</sup> e é integrante do Programa INOVA SRERJ, o qual visa fomentar projetos inovadores na administração pública, relacionado as atividades do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Assim, todos os indivíduos arbóreos localizados dentro dos limites da Faixa de Domínio, da rodovia em estudo, foram identificados quanto a sua espécie botânica. Ainda, tiveram seus dados dendrométricos coletados e sempre que localizados em locais de acesso seguro, foram marcados com lacres numerados e georreferenciados. Após o processamento dos dados de campo, foram registradas informações sobre a necessidade de poda supressão dos indivíduos arbóreos, sendo gerada a base vetorial georreferenciada com todas as informações de atributos e metadados.

Cabe destacar que o inventário florestal (100%) ou censo florestal realizado avaliou as características quantitativas e qualitativas da vegetação da faixa de domínio e forneceu as informações necessárias para atender os seguintes objetivos: estimar o volume de material lenhoso existente; estimar os parâmetros Fitossociológicos de interesse, a partir das informações coletadas em campo; identificar as espécies raras, endêmicas, ameaçadas de extinção e protegidas por legislação específica e; identificar os indivíduos com necessidades de poda ou supressão, com a devida justificativa técnica.

### Metodologia

Entre os meses de setembro de 2023 e janeiro de 2024, foram realizados os levantamentos florístico e florestal da vegetação existente na faixa de domínio de toda a BR-495/RJ. Os dados coletados em campo foram catalogados, tendo sido os indivíduos arbóreos isolados ou localizados em fragmentos florestais mapeados, fotografados e georreferenciados.

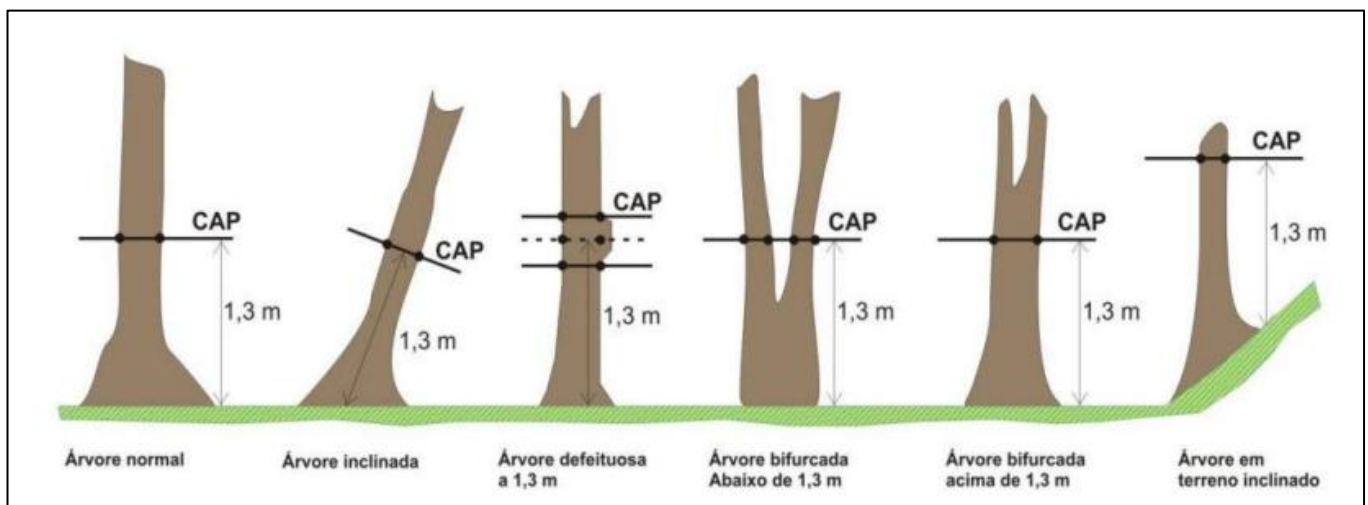
Um dos métodos que a ciência florestal dispõe para levantar informações acerca dos recursos florestais disponíveis em uma determinada área é o censo. Assim, o censo ou completa enumeração é a abordagem exaustiva ou de 100% dos indivíduos da população. A completa enumeração reproduz, exatamente, todas as características da população, ou seja, fornece os seus parâmetros, valores reais ou verdadeiros. Segundo FIGUEIREDO FILHO (1999), o censo florestal é uma técnica já tradicional no estudo da dinâmica e da análise estrutural da floresta, visto que a metodologia proporciona conhecimento total da população e a possibilidade da realização de estudos aprofundados das espécies florestais, como é o caso concreto aqui exposto.

Para o conhecimento de certas variáveis florestais, para fins de pesquisa ou trabalhos técnicos de alta complexidade, é necessária maior precisão nos métodos de medição e de cálculos. Considerando o objetivo do presente estudo, foram utilizados métodos simples de mensuração, para determinação de altura, DAP (Diâmetro à Altura do Peito) e volume, amplamente utilizados na dendrometria. Na classificação dos indivíduos arbóreos foi considerado o diâmetro mínimo de 5 cm.

Para a realização dos trabalhos de campo, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: fita métrica; folhas de papelão; jornal; prensa; tesoura de poda; trena; caderneta de campo através do software Inventree; Máquina fotográfica; Binóculos e; GPS. Ainda, para complementar as informações foram utilizadas, como auxílio visual, o ortofotomosaico obtido pelo voo de drone e MDT (Modelo Digital de Terreno) e MDS (Modelo Digital de Superfície), obtidos com o sensor LiDAR (Light Detection and Ranging) realizado ao longo de toda a faixa de domínio.

Em dois pequenos trechos da rodovia, onde há taludes muito íngremes, as árvores localizadas dentro da faixa de domínio encontram-se inacessíveis, representando 2,69% da área total das copas de supressão. Desta forma, estas foram contabilizadas com base na experiência do profissional de campo e com medição amostral, visando extrapolação das informações para o restante das populações homogêneas.

Assim, em campo, a circunferência dos indivíduos foi tomada a 1,30m do solo, convencionalmente denominada CAP, Circunferência à Altura do Peito. Para a mensuração desta variável utilizou-se fita métrica comum, adotando-se os seguintes critérios, conforme **Figura 1**:



**Figura 1: Procedimentos para a correta medição de CAP.**

Fonte: STCP (2011)

Após obtido o valor do CAP em centímetros com o uso de fita métrica convencional, foi calculado o valor do Diâmetro da Altura do Peito (DAP), conforme a equação abaixo:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Para a medição da altura foi utilizado o método expedito (FINGER, 1992), que se baseia na habilidade do operador auxiliado por uma régua graduada (podão com cabo extensor) que, encostada à árvore, serviu como referencial.

Em adicional, foi determinada a área basal, utilizando a seguinte fórmula:

$$G = DAP^2 \times 40000\pi$$

Para a estimativa do volume total com casca foi utilizada a equação, abaixo, sendo: VTC = volume total com casca em m<sup>3</sup>; DAP = diâmetro a altura do peito (cm) e; Ht = altura total (m). (CETEC, 1995).

$$VT_c = 0,000074 \times DAP \times 1,707348 \times Ht \times 1,6873$$

Outra grandeza necessária para o levantamento realizado é o volume de galho com casca, tendo sido estimado através da equação abaixo, sendo: VT<sub>gc</sub> = volume total de galhos com casca em m<sup>3</sup>; DAP = diâmetro a altura do peito (cm) e Ht = altura total (m). (CETEC, 1995).

$$VT_{gc} = 0,000062 \times DAP \times 1,79973 \times Ht \times 0,538642$$





Seguindo o rito metodológico e trazendo uma inovação no DNIT, foi estimado o diâmetro de copa utilizando as equações abaixo, sendo:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  os parâmetros dos modelos; DC o diâmetro de copa da árvore; DAP o diâmetro à altura do peito e; HT a altura total (LEÃO, 2017): 21990289885

$$DC = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 H$$

$$DC = 1,4691 + 0,1524 \times DAP + 0,1709 \times HT$$

Assim, a inovação, supracitada, se dá pelo fato de estimar a área de supressão usando a área da copa dos indivíduos e não a área basal, que poderia subestimar a área total a ser suprimida, ou toda a área da faixa de domínio, que superestimava a referida área. Segundo Netto e Brena (1997), a área da copa representa o espaço ocupado pelas partes aéreas da árvore, incluindo as folhas e os ramos e para o planejamento da extração de madeira.

Destaca-se que a área de supressão é a região em torno de uma árvore que será afetada com a poda ou remoção. Assim, é representada pela área da copa da árvore, que é a projeção horizontal das folhas e galhos no solo. A área da copa é um indicador útil para determinar a quantidade de espaço que uma árvore ocupa no ambiente. Ao considerar a área da copa como parte da área de supressão, podemos estimar com mais precisão o volume de madeira que será removido, trazendo o planejamento mais preciso quanto a destinação e acondicionamento do material lenhoso ou inservível.

Após o processamento dos dados de campo foi possível identificar os indivíduos que necessitam de poda e supressão. A Poda e supressão são procedimentos distintos relacionados ao manejo de árvores em rodovias. A poda envolve o corte seletivo de partes da árvore, como galhos e folhagem, com o objetivo de controlar o crescimento, remover galhos mortos ou doentes, melhorar a estética, garantir a segurança viária e reduzir interferências com a fiação elétrica. Já, a supressão refere-se à remoção completa da árvore, geralmente realizada.

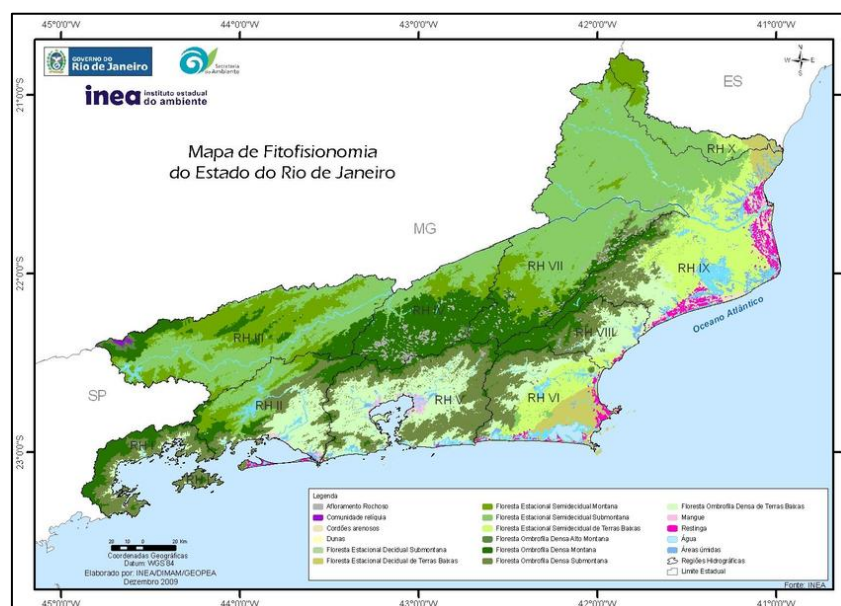
A necessidade de poda ou supressão de árvores em rodovias depende de vários fatores, incluindo a saúde da árvore, o risco que ela representa e as necessidades da infraestrutura viária. Árvores doentes, danificadas ou com crescimento descontrolado podem precisar de poda para reduzir o risco de queda, enquanto a supressão pode ser necessária em situações em que a árvore não pode ser mantida com segurança. Assim, ambos os procedimentos devem ser realizados de forma criteriosa, seguindo legislação ambiental e respeitando critérios técnicos.

## Caracterização da Área

### Panorama Regional

O estado do Rio de Janeiro já possuiu 97% de seu território coberto por Mata Atlântica, porém, atualmente, somente 19% é composto por área florestal. Isso, levou a uma transformação da paisagem, por conta da fragmentação desta área, restando apenas manchas florestais impactadas, geralmente inferiores a 1.000ha (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2012). Estes impactos são oriundos, principalmente, pela exploração de madeira (lenha e carvão), agricultura, pecuária e pela construção das cidades (Morellato & Haddad, 2000 apud Abreu, 2013).

O mapa de Fitofisionomias do Estado do Rio de Janeiro, elaborado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), apresenta a região de estudo inserida no domínio da Floresta Ombrófila Densa Montana na **Figura 2**.



**Figura 2: Mapa de Fitofisionomia do Estado do Rio de Janeiro.**

Fonte: INEA, 2009

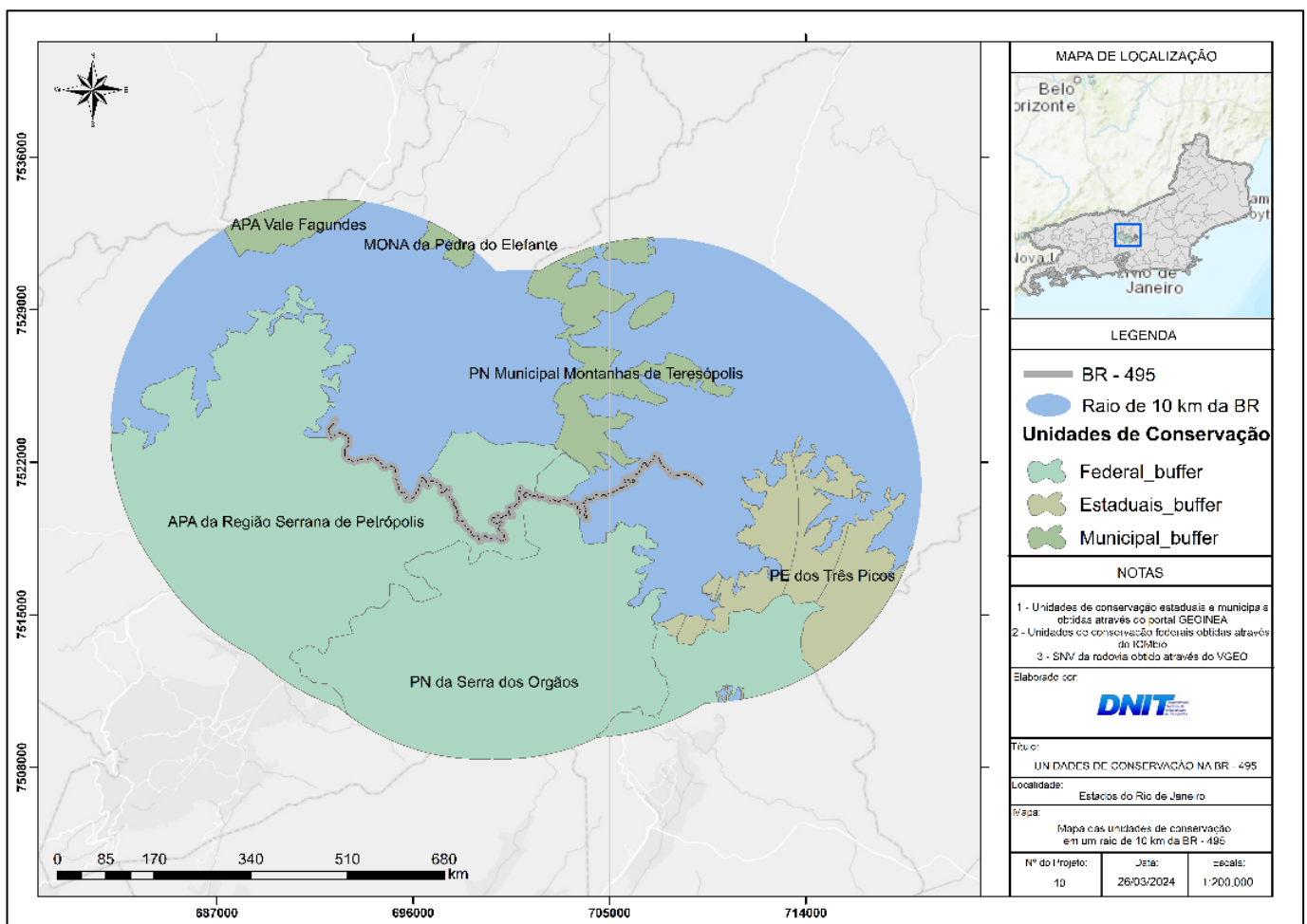


### Unidades de Conservação

As Unidades de Conservação são áreas legalmente protegidas pelo Poder Público, com restrições legais e técnicas, contendo características naturais relevantes, incluindo águas jurisdicionais e florestas, com limites definidos e regimes especiais de administração (BRASIL, 2000).

Existem alguns tipos de unidades de conservação, cada uma com objetivos e características específicas. Os Parques Nacionais são áreas destinadas à preservação integral da natureza (Lei nº 9.985/2000). As Reservas Biológicas são focadas na preservação da biodiversidade, proibindo exploração dos recursos naturais (Lei nº 9.985/2000). Já, as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) visam conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais. As Reservas Legais de Propriedade Privada são áreas privadas com reconhecimento público de sua importância para a conservação (Lei nº 12.651/2012). Por fim, a Área de Preservação Permanente (APP), que não são unidades de conservação, mas visam proteger e preservar as margens de rios, topos de morros, restingas, nascentes e manguezais, etc, com a intenção de proteger essas áreas, conforme Lei nº 12.651/2012.

Visando avaliar as unidades de conservação na área de estudo, foi realizado um *buffer* de 10 km a partir do bordo da rodovia BR-495/RJ, considerando a exigência do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (SINAFLOR) para solicitação de Autorização de Supressão de Vegetação (ASV). A **Figura 3** apresenta essas unidades de conservação e a extensão da BR-495/RJ.



**Figura 3: Unidades de Conservação no raio de 10 km da rodovia BR-495/RJ.**

### Recursos Hídricos

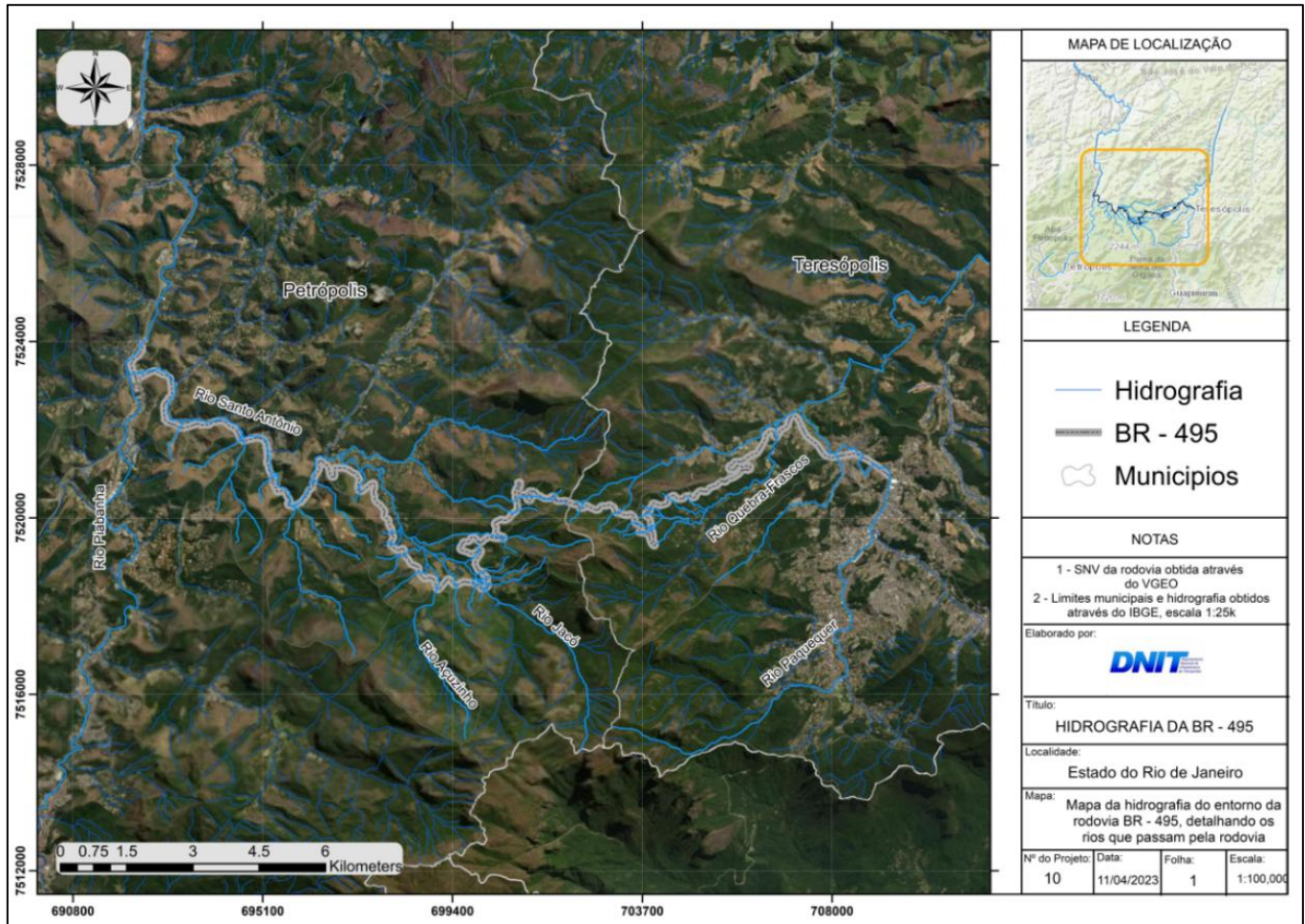
A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Atlântico Sudeste, que corresponde a uma das doze regiões hidrográficas do Brasil. Ela é formada por diversas sub-bacias das quais se destacam: Bacia do Paraíba do Sul; Bacia do Rio Doce; Bacia do Rio Itapemirim; Bacia do Rio Itabapoana; Bacia do Rio Jucu; Bacia do Guandu e, Bacia do Rio Pombo.

Além disso, o estado do Rio de Janeiro é subdividido em nove Regiões Hidrográficas (RH). A região de estudo localiza-se na Região do Piabanha (RH-IV), que segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do RJ, apresenta 38% do seu território coberto com florestas.

Na esteira do tema, para identificação dos cursos hídricos e bacias hidrográficas envolvidos na região hidrográfica supramencionada, foi elaborado um mapa dos principais rios, fundamentado na base vetorial 1:25.000 do IBGE/INEA, que



interceptam a rodovia BR-495/RJ: Paquequer, Quebra-frascos, Jacó, Santo Antônio, Piabanha e o córrego Tapera. Este mapa é apresentado na **Figura 4**, a seguir.



**Figura 4: Principais cursos d'água que interceptam a rodovia BR-495/RJ.**

### Florística e Fitossociologia

O levantamento florístico e fitossociológico consiste na análise da estrutura da comunidade florestal, utilizando a composição florística, diversidade de espécies, estrutura horizontal, estrutura vertical, valor de importância, estrutura de tamanho e volume. A coleta de dados em campo foi realizada com o software Inventree e o processamento foi efetuado através do software MS Excel.

Os parâmetros florísticos visaram, sobretudo, o conhecimento da importância ecológica de cada espécie e o grau de diversidade florística da área inventariada. Ainda, com a análise da diversidade de espécies, avaliou-se o quanto uma região florestal é diversa em termos de espécies. Os cálculos para a obtenção dos parâmetros supracitados, assim como os índices, foram fundamentos conforme as orientações de PÉLLICO NETTO (1997).

As estimativas da estrutura horizontal incluíram densidade e dominância de cada espécie amostrada. Para avaliar a importância ecológica em termos de distribuição horizontal, foram calculados o Índice de Valor de Cobertura (IVC) e o Índice de Valor de Cobertura Relativo (IVC%). O IVC, quando calculado por espécie, indica as mais expressivas na comunidade ou mais importantes ecologicamente.

Na análise da composição florística serão apresentadas informações sobre as espécies encontradas, separadas por família botânica, espécie e domínio fitogeográfico. A análise da diversidade de espécies visou estabelecer referências que permitam avaliar o quanto uma população florestal é diversa. Para tanto, foram empregados três índices: coeficiente de mistura de Jentsch (QM), índice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) e Pielou ( $J'$ ).

### Estrutura Horizontal

A estrutura horizontal de uma floresta é determinada pela densidade, frequência e dominância de cada espécie por unidade de área (LAMPRECHT, 1964; MUELLER-DUMBOIS e ELLENBERG, 1974; MARTINS, 1991). A distribuição diamétrica, que analisa a distribuição dos diâmetros dos indivíduos a 1,30m do solo, é uma ferramenta importante para avaliar essa estrutura, fornecendo informações para estudos fitossociológicos, caracterização físico-ecológica e potencial econômico





da floresta.

### Caracterização Ecológica

As áreas estudadas são caracterizadas por indivíduos isolados e pequenos fragmentos florestais, sem formação de serrapilheira ou sub-bosque devido a roçadas periódicas para manutenção da faixa de domínio. Os fragmentos são compostos por indivíduos jovens em regeneração e adensamentos de árvores em estágio secundário. Ao longo da rodovia, foram observados grupos de árvores de uma única espécie, muitas vezes provenientes de uma única matriz. Em alguns trechos, árvores de antigos plantios com espaçamentos homogêneos foram encontradas, sendo Eucalipto, Pinus e Cipreste as espécies mais abundantes, todas exóticas e de grande porte.

### Resultados e Discussões

Diante do inventário florestal realizado, foram registrados 2.528 indivíduos pertencentes a 38 famílias botânicas e 149 morfoespécies, onde 59,7% de origem nativa e 17,5% exóticas ou cultivadas e 22,8% não avaliadas quanto a sua origem. Deste total de indivíduos catalogados 86 foram apontados como mortos.

Foram encontradas 5 espécies ameaçadas de extinção nesta rodovia. Na categoria Vulnerável (VU), foi observada a espécie (Cedro-rosa), *Cedrela fissilis* Vell da Família Meliaceae, com 6 indivíduos. Já, da espécie (Jacarandá-caviúna ou Jacarandá-da-bahia) *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth., da Família Fabaceae, foram observados 41 indivíduos e da espécie (Bucho de boi ou Ipê-tabaco) *Zeyheria tuberculosa* (Vell.) Bureau ex Verl., da família Bignoniaceae, apenas 1 indivíduo. Na categoria criticamente em perigo (CR) foi observada a espécie (Araucária) *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, da Família Araucariaceae, com 1 indivíduo e o (Pau-brasil) *Paubrasilia echinata* (Lam.) Gagnon, H.C.Lima & G.P.Lewis. da Família Fabaceae, também, com 1 indivíduo.

O estudo identificou o grau de determinação taxonômica dos indivíduos arbóreos, revelando que 64,4% foram identificados a nível de espécie, 6,0% a nível de gênero e 14,8% a nível de família. A impossibilidade de visualização das copas, devido à presença de lianas, cipós e erva-de-passarinho, ou à ausência de folhas em algumas espécies caducifólias durante o levantamento de campo, impediu a identificação de 14,8% dos indivíduos inventariados, mas ainda passarão por refinamento com o auxílio do ortofotomosaico.

As classes de altura mais frequentes foram de 4 a 8m e 8 a 12m, indicando um estágio sucessional médio na vegetação, com tendência a avançado. Entretanto, a presença de espécies exóticas de grande porte, como Eucaliptos, Pinus e Ciprestes, foi observada ao longo da rodovia, aumentando o número de indivíduos das classes superiores e descaracterizando a vegetação típica da mata atlântica.

As espécies com maiores médias de diâmetro (DAP) foram: *Ficus elastica* Roxb.; *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth; *Coussapoa microcarpa* (Schott) Rizzini; *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze; *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze e; *Roystonea oleracea* (Jacq.) O.F.Cook.

Quanto as classes de diâmetro, a espécie com maior Densidade Relativa e com representantes em todas as classes de diâmetro foi *Eucalyptus* spp., com 11,38% do total de indivíduos, seguido por *Croton floribundus* Spreng, *Pinus elliottii* Engelm, *Cecropia hololeuca* Miq. e *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F.Macbr., com 8,72%, 7,98, 7,57% e 5,52%, respectivamente.

Quanto a Dominância Relativa as espécies que apresentaram maiores índices foram: *Eucalyptus* spp (25,49%); *Pinus elliottii* (20,34%); *Roystonea oleracea* (Jacq.) O.F.Cook. (6,41%); *Cupressus sempervirens* L (5,34%) e; *Ficus elastica* Roxb. (4,56%).

O Índice de Valor de Cobertura (IVC) foi representado pelas espécies: *Eucalyptus* spp. (12,77%); *Pinus elliottii* Engelm. (9,20%); *Croton floribundus* Spreng. (8,12%); *Cecropia hololeuca* Miq. (7,07%); *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F.Macbr. (5,29%). Estas espécies representaram 42,45% da população inventariada.

O índice de Shannon-Weaver (IVI), relacionado à diversidade da população, foi de  $H=3,54$ , indicando uma alta diversidade florística na área de estudo, comparado com o valor de 3,42 encontrado por Pinto Sobrinho et al. (2010) na região do Tinguá-RJ, mesmo com trechos da rodovia atravessando áreas urbanas. Já, o índice de equidade de Pielou, que mede a distribuição das espécies na comunidade, foi de  $J=0,80$ , sugerindo uma distribuição relativamente equitativa das espécies.

Diversas espécies de diferentes estratos da vegetação foram observadas, incluindo espécies epífitas, lianas, cipós, bromeliáceas, orquídeas e cactáceas. A família Bromeliaceae foi representada por três gêneros predominantes (*Tillandsia* spp., *Vriesea* spp. e *Aechmea* spp.), enquanto a família Cactaceae apresentou ocorrência dos gêneros *Cereus* spp, *Opuntia* spp e *Rhipsalis* spp. Foram observados, também, indivíduos do gênero *Epidendrum* spp. e *Pleurothallis* spp. da família Orquidaceae, presentes em rochas e árvores.

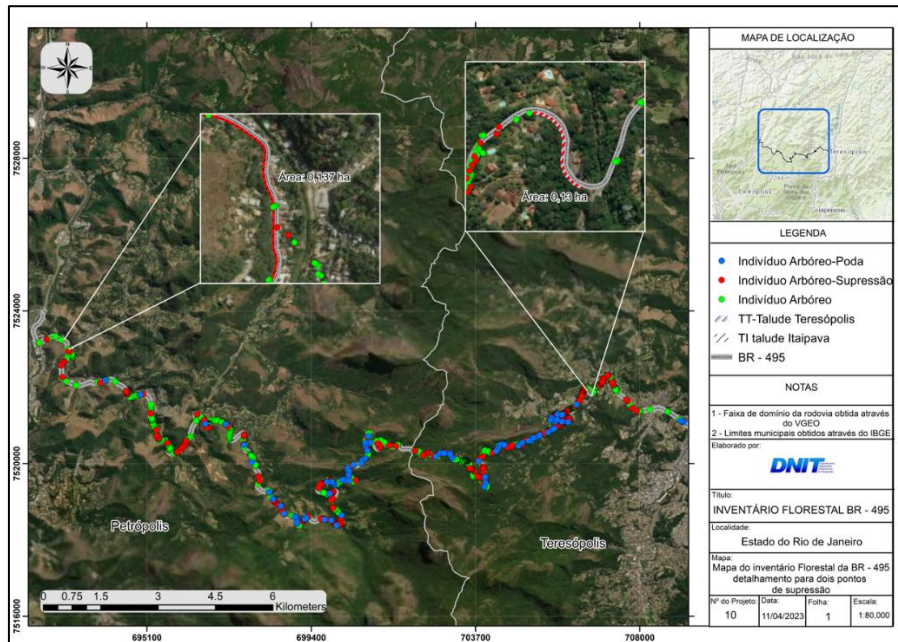
Em relação às questões fitossanitárias, foram identificadas pragas de insetos, como brocas, besouros, formigas, cupins e cigarrinhas, que podem causar danos às árvores. Doenças causadas por fungos, bactérias e vírus, como cancro, podridão radicular e ferrugem, também, foram observadas, enfraquecendo as árvores e aumentando o risco de queda na rodovia. Além disso, foram constatados danos mecânicos causados por práticas inadequadas, como ferimentos por roçadeiras e podas mal executadas, que podem levar a infecções secundárias e redução da saúde geral das árvores.

Desta forma, compreende-se que a vegetação existente, atualmente, na faixa de domínio da BR-495/RJ, requer a supressão, para garantir a segurança da via, de 651 indivíduos arbóreos já danificados, mortos ou em risco de queda, além da poda de 110 indivíduos. A estimativa do volume de madeira a ser removido é de 596,24m<sup>3</sup>, com área total das copas das áreas



para supressão de 4.398,18m<sup>2</sup>, enquanto o volume resultante das podas é estimado em 21,32m<sup>3</sup>.

A **Figura 5**, a seguir, apresenta os indivíduos arbóreos com a necessidade de poda, supressão ou sem necessidade de intervenção, com destaque para as duas áreas, nas quais foi necessário a estimativa por amostra, considerando a elevada inclinação do talude e dificuldade de acesso.



**Figura 5: Representação das áreas de supressão.**

### Considerações Finais

A realização de inventários florestais (100%) ou censo mostra-se como uma ferramenta essencial para a adequada manutenção rodoviária e prevenção de acidentes nas rodovias. A segurança viária não é somente relacionada a qualidade do pavimento da rodovia, mas também, no adequado gerenciamento de todos os ativos rodoviários, nos quais estão incluídos os indivíduos arbóreos dentro das faixas de domínio.

A estimativa da área total das copas dos indivíduos arbóreos mostra-se mais adequada para estimar a área total a ser suprimida e informada nos requerimentos de solicitação de Autorização de Supressão de Vegetação (ASV), junto aos órgãos licenciadores, do que utilizar a área basal, que pode subestimar os valores, ou até mesmo o uso da área total da Faixa de Domínio, que superestima de forma significativa os valores estimados para supressão, quando são desenvolvidos projetos de implantação, melhorias ou ampliações de capacidade. Os resultados deste estudo corroboram esta afirmação, pois a área total das copas dos indivíduos foi estimada em 9,89ha e a área total da faixa de domínio da BR-495/RJ é de 69ha, isto é, a área real ocupada pelos indivíduos é de, aproximadamente, 14,3% da faixa de domínio.

O presente trabalho identificou que há necessidade de supressão de 651 indivíduos arbóreos já danificados, mortos ou em risco de queda, além da poda de 110 indivíduos, que totalizam uma área de copa equivalente para supressão de 0,44ha, representando 4,44% da área total das copas dos indivíduos (9,89ha).

### Referências Bibliográficas

ABREU K.M.P., Estrutura, Florística e Diversidade de Fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual do Norte-Noroeste Fluminense, UENF,2013.

BRASIL. Lei Federal Nº 9985, de 18 de julho de 2001. Regulamenta o artigo 225, Parágrafo 1, Incisos I,II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial [da] asil, Poder Executivo, Brasília, DF,19 jul. 2000.

BRASIL. Lei Federal Nº 12.651/2012, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial [da] asil, Poder Executivo, Brasília, DF,25 mai. 2012.

Cuddington, K. & Hastings, A. 2004. Invasive engineers. Ecological Modelling, 178: 335-347.

Chapin, F.S.; Zavaleta, E.S.; Eviner, V.T.; Naylor, R.L.; Vitousek, P.M.; Reynolds, H.L.; Hooper, D.U.; Lavorel,S.; Sala, O.E.; Hobbie, S.E.; Mack, M.C.; Díaz, S. 2000. Consequences of changing biodiversity. Nature,405: 234-242.





- D'Antonio, C. & Meyerson, L.A. 2003. Exotic plants as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. *Restoration Ecology*, 10(4): 703-713.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviaras/faixa-de-dominio>. Acesso em: 30/04/2024.
- FIGUEIREDO FILHO, A. Implantação de áreas de coleta de sementes de espécies arbóreas nativas utilizando-se o censo florestal. CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 50°. Mesa Redonda: Alternativas modernas de criação de bancos de sementes de espécies arbóreas nativas. (Blumenau: 1999) Anais. Blumenau: SBB, FURB, 1999. p. 333
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Atlas Dos Remanescentes Florestais Da Mata Atlântica Período 2011-2012, p. 122, 2012.
- IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2a Edição. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2012.
- Ehrenfeld, J.G. 2003. Effects of Exotic Plant Invasions on Soil Nutrient Cycling Processes. *Ecosystems*, 6: 503-523.
- LAMPRECHT, H. Ensayo sobre la Estructura Florística de la parte sur – Oriental del Bosque Universitario “El Caimital”, Estado Barinas. *Rev. For. Venez.* 7(10/11): 77-119, 1964.
- LEÃO, T.D.S. ET AL. Ajuste de modelos para estimativa do diâmetro de copa em uma área de reflorestamento misto na Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Biometria*, Lavras, v. 35, n. 3, p. 523-536, 2017.
- LINGNER, D. V.; SCHORN, L. A.; VIBRANS, A. C.; MEYER, L.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; SOBRAL, M.G.; KRÜGER, A.; KLEMZ, G.; SCHIMIDT, R.; ANASTÁCIO JUNIOR, C.; PASQUALLI, V. R. 2013. Fitossociologia do componente arbóreo/arbustivo da Floresta Ombrófila Densa no Estado de Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V.(eds). Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina, Vol IV, Floresta Ombrófila Densa. Blumenau. Edifurb, 2013.
- LONGHI, S.J. A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no sul do Brasil. Curitiba: UFPR, 1980. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 1980.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. Curitiba: Editorado pelos autores, 2003.
- MARTINELLI, Gustavo; MORAES, Miguel Avila (Organizadores). Livro vermelho da flora do Brasil. Tradução Flávia Anderson, Chris Hieatt. 1. ed. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. 1100 p.; 30 cm. ISBN 978-85-88742-58-1.
- MARTINS, F.R. Estrutura de uma floresta mesófila. Campinas: UNICAMP, 1991. 246 p.
- MUELLER-DUMBOIS, D., ELLENBERG, H. Aims and methods vegetation ecology. New York : John Wiley & Sons, 1974. 547 p.
- PÉLLICO NETTO, S.; BREÑA, D. A. Inventário florestal. Curitiba: Editorado pelos autores, 1997. 316 p.
- PINTO SOBRINHO, F. A.; CHRISTO, A. G.; GUEDES-BRUNI, R. R.; Fitossociologia do Componente Arbóreo num Remanescente de Floresta Ombrófila Densa Submontana Limítrofe à Reserva Biológica do Tinguá, Rio de Janeiro. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v.40, n.1, p. 111-124, jan./mar. 2010.
- RADAM BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro/Vitória. Ministério das Minas e Energia, 1983.
- SEA, Secretaria de Estado do Ambiente. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Itaperuna / Secretaria de Estado do Ambiente, Rio de Janeiro, 2015. 116 p
- SEMA. SEC. Coordenadoria de Ecossistemas. Programa de Gerenciamento das Unidades de Conservação, por Felisberto Cavalheiro e outros. Brasília, 28p, 1984.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.





# DIAGNÓSTICO DA PARTICIPAÇÃO DA SOCIEDADE CIVIL NOS CONSELHOS ESTADUAIS DE RECURSOS HÍDRICOS BRASILEIROS

**1Beatriz Schenaide Vitoria, 2Denise Gallo Pizella**

*1 Faculdade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Mestra pelo Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, e-mail: beatriz.schenaide@unesp.br; 2 Docente da Faculdade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Biologia e Zootecnia, e-mail: denise.gallo@unesp.br*

**Palavras-chave:** democratização da gestão hídrica; participação popular; governança hídrica.

## Resumo

A Política Nacional de Recursos Hídricos se fundamenta na participação da gestão hídrica, por meio órgãos colegiados do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, como são os Comitês de Bacias Hidrográficas, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos e os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERHs). Estes órgãos são instâncias deliberativas formadas por representantes do Estado, de usuários dos recursos hídricos e da sociedade civil organizada, incumbidos de zelar pela consolidação do uso racional e legítimo deste bem de direito difuso. Os CERHs são órgãos que deliberam sobre os conflitos do uso da água entre bacias hidrográficas, elaboram resoluções que devem ser seguidas pelos Comitês de Bacia dos estados e são responsáveis pela elaboração e acompanhamento dos Planos Estaduais de Recursos Hídricos. Nesta pesquisa, utilizou-se a seguinte definição de sociedade civil: “núcleo institucional, formado de associações e organizações livres, não estatais e não econômicas que ancoram as estruturas de comunicação da esfera pública” (Muller Neto e Artmann, 2012, p.3410). Tal definição permite distinguir os setores representados, incluindo em “sociedade civil” representantes de Organizações Não Governamentais, Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIPs) e movimentos sociais diversos. Além da sociedade civil, há o setor econômico ou produtivo, denominado de “usuário” das águas e os representantes do Estado, em âmbito estadual e regional. Tendo em vista a importância da participação da sociedade civil na gestão hídrica, a pesquisa se objetivou a diagnosticar o grau de paridade e representação dos atores sociais nos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos brasileiros e do Distrito Federal, com enfoque sobre a composição paritária entre os três setores que os compõem. Para tanto, foi identificada a composição dos Conselhos, no intuito de investigar se são paritários (cada setor representante possui igual quantidade de assentos no Conselho). Verificou-se que, em termos de percentagens dos representantes dos três setores analisados na totalidade dos estados que apresentaram essa informação, a maioria se refere ao Poder Público, com 60% de assentos nos Conselhos, enquanto 20% representam o setor produtivo do país em igualdade de porcentagem com a sociedade civil. Não há, portanto, paridade entre os representantes nos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos. O Rio Grande do Sul foi o único estado cujo Conselho apresenta a totalidade de seus membros representando o Estado. Amazonas, São Paulo, Sergipe e Tocantins apresentaram o menor número de assentos para a sociedade civil (todos com 10%), enquanto que Distrito Federal, Rio de Janeiro e Santa Catarina obtiveram um melhor desempenho (30% da sociedade civil representada nos Conselhos). Neste sentido, esta pesquisa traz como recomendação que seja adotada a paridade na composição dos Conselhos, conferindo aos três setores de interesse igual direito de participação. É de conhecimento na literatura sobre o tema que a participação da população em órgãos gestores contribui para que haja a discussão dos assuntos abordados de modo a buscar pelo bem da coletividade, já que o setor produtivo muitas vezes atua em prol de interesses de grupos. Já o Estado é considerado privilegiado nas discussões e deliberações dos Conselhos, pelo acesso facilitado às informações e possíveis alianças com o setor produtivo. Sugere-se a alteração no artigo Política Nacional de Recursos Hídricos, em seu capítulo I, artigo 1, inciso VI, em que se lê: “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”, acrescentando-se “em igualdade de acesso” ou “em igualdade de assentos nos órgãos colegiados de gestão hídrica”. Enquanto isto não ocorre, os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos possuem presença marcante para definir a quantidade de assentos destinados a cada setor representado. Neste sentido, se houver mobilização social neste sentido, os CERHs podem modificar seus Regimentos Internos de modo a promover a paridade.

## Introdução

No Brasil, as décadas de 70 e 80 foram marcadas por mobilizações sociais e políticas que fomentaram o processo de redemocratização no país após um longo período (entre 1964 a 1985) de regime autoritário civil militar. A participação social apresentou papel importante para a expressão dessas demandas e na redemocratização da gestão e execução de políticas sociais. Pretendia-se promover mudanças por meio de mecanismos institucionais e legais para legitimar a participação popular nas políticas públicas (Silva et al., 2013).

Como “participação social” ou “popular” compreende-se o conjunto de ações que possibilitam a intervenção dos cidadãos sobre o poder estatal, considerando a diversidade de interesses e conflitos inerentes à sociedade que, por meio de decisões consensuais, primam pela prevalência dos interesses da coletividade e detrimento dos particulares (Ciesielczuk e Porras, 2021). Neste sentido, se constitui como um processo social que necessita de canais informativos confiáveis para seu aperfeiçoamento e no compartilhamento de conhecimentos e interesses diversificados (Bourblanc, 2010; Pickering et al., 2022).



A Constituição Federal de 1988 anuncia que o poder emana do povo, seja por meio de seus representantes eleitos ou de forma direta. Dessa forma, foram estabelecidos Conselhos nos diversos setores da administração pública, permitindo que a sociedade civil e outros grupos de interesse discutam as questões de Estado, de modo a interferir nas tomadas de decisão concernentes à saúde, educação, segurança, trabalho, moradia, ambiente, dentre outros.

Segundo Pickering et al. (2022), a democracia não se limita às eleições livres e justas, mas também aos valores e qualidades processuais como liberdades civis, participação pública nas tomadas de decisões e responsabilidade dos tomadores de decisão perante os titulares de direito.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio da promulgação da Lei nº 9.433, se fundamenta na participação da gestão hídrica e integrada de seus usos múltiplos, por meio de entes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com órgãos colegiados representados por meio do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERHs) e do Distrito Federal e Comitês de Bacias Hidrográficas. Tais órgãos são instâncias deliberativas formadas por representantes do Estado, de usuários dos recursos hídricos e da sociedade civil organizada, incumbidos de zelar pela consolidação do uso racional e legítimo deste bem difuso (Brasil, 1997, Malheiros et al., 2013).

Os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERHs) são órgãos que deliberam sobre os conflitos do uso da água entre bacias hidrográficas, elaboram resoluções que devem ser seguidas pelos Comitês de Bacia dos estados e são responsáveis pela elaboração e acompanhamento dos Planos Estaduais de Recursos Hídricos.

De modo a distinguir os setores que se fazem representados nos órgãos colegiados de gestão hídrica, adota-se a seguinte definição de sociedade civil: “núcleo institucional, formado de associações e organizações livres, não estatais e não econômicas que ancoram as estruturas de comunicação da esfera pública” (Muller Neto e Artmann, 2012, p.3410). Tal definição permite distinguir os setores representados, incluindo em “sociedade civil” representantes de Organizações Não Governamentais, Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIPs) e movimentos sociais diversos, excluindo-se os grupos de interesse econômico sobre os recursos hídricos, denominados genericamente de “usuários”. Em tese, parte-se do princípio de que as demandas, discussões e deliberações nos Conselhos tenham abordagens distintas entre estes dois setores e que, para garantir interlocução dos interesses, deve haver uma representação paritária entre sociedade civil organizada, usuários e Estado.

O setor de usuários possui representantes com interesses econômicos sobre as águas, buscando a garantia de seu uso para irrigação, pecuária, geração de hidreletricidade, mineração, indústria e outros. As associações de classe, presentes muitas vezes como representantes da sociedade civil nos colegiados, atendem a interesses trabalhistas e, portanto, econômicos, trazendo uma abordagem técnica sobre a gestão hídrica. Os movimentos sociais, por sua vez, trazem preocupações relacionadas à água como um bem que necessita de conservação e preservação para garantir o abastecimento da população, a permanência de seus modos de vida (como é o caso das populações tradicionais) e de sua qualidade e quantidade adequadas para o bem-estar da população e das demais formas de vida, enfim, da justiça ambiental.

É importante pontuar, também, a influência que a sociedade civil possui no Estado, uma vez que essas duas entidades podem ser lidas como entidades relacionadas organicamente e que se influenciam de forma mútua, sendo a sociedade civil caracterizada como “conteúdo ético do Estado”.

No Estado Democrático de Direito, o conflito é inerente e deve ser garantido no processo deliberativo de políticas públicas, tais como em órgãos colegiados. Na busca pelo consenso, o diálogo é um importante instrumento utilizado em espaços que necessitam de debates públicos, com a participação da sociedade civil sendo parte essencial nas melhores tomadas de decisão que envolvem alto grau de complexidade (Habermas, 2014).

Dentre os problemas que requerem soluções complexas a respeito dos recursos hídricos, tem-se a escassez natural e de origem antrópica das águas, a poluição provocada pelos usos desmedidos, o desperdício e a falta de acesso universal ao saneamento básico, frutos de disputas de poder e no sistema capitalista de exploração dos recursos naturais, que justifica a exploração desenfreada dos bens ambientais em prol do “desenvolvimento” (Peixoto et al., 2022).

Como observado, os processos participativos existentes na gestão dos recursos hídricos são fundamentais para a garantia de direitos e responsabilidades cívicas (Priscoli, 2009; Fontaine et al., 2022). Todavia, estudos realizados com essa temática relatam que a participação nem sempre se dá de maneira eficiente e democrática. Dentre as razões e dificuldades listadas, se encontram a utilização de termos técnicos, impossibilitando a contribuição de amplas camadas da sociedade sem acesso à informação simplificada dos assuntos abordados nas reuniões e deliberações dos órgãos colegiados, fazendo com que se sintam alheias ao processo de decisão (Mesquita, 2018; Fontaine et al., 2022).

Mesmo com as fragilidades para a participação popular, são muitos os seus benefícios à democracia. Dentre eles, pode-se citar o compartilhamento de conhecimentos tradicionais de povos étnicos tradicionais, o que implica em uma maior coerência entre os objetivos de projetos e os valores das comunidades presentes no espaço; maior aceitação da população em relação à programas, uma vez que, normalmente, a população apresenta maior receptividade àqueles em que seus representantes estejam envolvidos; maior legitimidade do processo decisório, posto que ocorre de forma mais transparente, dentre outros (Carr et al., 2012).

Quando se pensa em participação social, se tem como horizonte a concretização dos valores democráticos e o fortalecimento da cidadania. Uma vez que a participação social visa melhorar a gestão de recursos com sua democratização, é necessário que haja uma análise das possibilidades de participação social, para que seja possível o entendimento de diferentes realidades e de seu alcance como ferramenta para uma boa gestão. Além disso, tal análise se faz necessária para o aprimoramento de formas mais efetivas para a participação social (Carr et al., 2012).



A participação popular na gestão hídrica desempenha um importante papel no desenvolvimento e implementação de políticas públicas bem-sucedidas, de forma a contribuir para o desenvolvimento econômico e o bem estar das populações (Ituarte-Lima e Mares, 2024). A inexistência de valores democráticos em órgãos estatais pode resultar em políticas públicas ineficazes, fiscalização precária, instituições fracas e corrupção. Tendo em vista a importância da participação da sociedade civil na gestão hídrica, a pesquisa se objetivou a diagnosticar as possibilidades apresentadas para sua concretização nos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos brasileiros e do Distrito Federal.

### Materiais e Métodos

Neste pesquisa, realizou-se uma consulta aos sítios eletrônicos dos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos brasileiros e do Distrito Federal. Foi identificada a composição dos Conselhos, no intuito de investigar se são paritários (cada setor representante possui igual quantidade de assentos no Conselho). Como foi utilizada a definição de Habermas (2014) como sociedade civil, em diversas situações, a divisão dos membros dos Conselhos como representantes de Estado, usuários e sociedade civil foi reavaliada, em função das diferenças de concepção do conceito.

Elaborou-se uma Tabela com as porcentagens de cada setor presente nos Conselhos e, a partir destas informações, houve a discussão a respeito da paridade dos setores representados, com ênfase para a sociedade civil, à luz da literatura.

### Resultados e Discussão

Ao analisar a paridade dos CERHs na perspectiva de sociedade civil de Muller Neto e Artmann, (2012), que exclui as organizações de interesse econômico do conceito, obtiveram-se os seguintes resultados dos estados e Distrito Federal, apresentados na Tabela 1:

**Tabela 1. Quantidade (em número total e porcentagem) dos representantes do Estado, do setor produtivo/econômico) e da sociedade civil dos CERHs brasileiros, incluindo o Distrito Federal**

Estados	Quantidade de representantes do Estado	Quantidade de representantes do setor produtivo/econômico	Quantidade e representantes da sociedade civil
Acre	11 (0,5%)	6 (0,3%)	5 (0,2%)
Alagoas	11 (0,6%)	4 (0,2%)	3 (0,2%)
Amapá	Sem informação	Sem informação	Sem informação
Amazonas	25 (0,7%)	8 (0,2%)	4 (0,1%)
Bahia	9 (0,4%)	6 (0,3%)	5 (0,2%)
Ceará	15 (0,6%)	4 (0,2%)	5 (0,2%)
Distrito Federal	17 (0,6%)	4 (0,2%)	7 (0,3%)
Espírito Santo	Sem informação	Sem informação	Sem informação
Goiás	8 (0,5%)	5 (0,3%)	4 (0,2%)
Maranhão	13 (0,5%)	8 (0,3%)	7 (0,2%)
Mato Grosso	19 (0,5%)	11 (0,3%)	6 (0,2%)
Mato Grosso do Sul	13 (0,5%)	7 (0,3%)	4 (0,2%)
Minas Gerais	20 (0,5%)	7 (0,2%)	9 (0,3%)
Pará	16 (0,5%)	11(0,3%)	5 (0,2%)
Paraíba	13 (0,6%)	4 (0,2%)	5 (0,2)
Paraná	25 (0,7%)	6 (0,2%)	5 (0,1%)
Pernambuco	18 (0,5%)	8 (0,3%)	7 (0,2%)
Piauí	18 (0,8%)	1(0%)	4 (0,2%)
Rio Grande do Norte	21(0,7%)	3 (0,1%)	6 (0,2%)
Rio Grande do Sul	21 (1%)	0	0
Rio de Janeiro	16 (0,5%)	7 (0,2%)	9 (0,3%)
Rondônia	15 (0,5%)	11 (0,3%)	5 (0,2%)
Roraima	Sem informações	Sem informações	Sem informações
Santa Catarina	11 (0,5%)	3 (0,2%)	6 (0,3%)
São Paulo	24 (0,7%)	7 (0,2%)	2 (0,1%)
Sergipe	10 (0,7%)	3 (0,2%)	2 (0,1%)
Tocantins	19 (0,7%)	4 (0,2%)	3 (0,1%)
Média Total (%)	0,6%	0,2%	0,2%

Em todos os estados, os representantes de Universidades foram considerados membros da sociedade civil, posto não serem atores sociais que representam o Estado ou o setor produtivo. Outro critério foi incluir os Comitês de Bacia como órgãos





pertencentes ao Poder Público, mesmo sendo colegiados, já que fazem parte do SINGRE. Em diversos Conselhos, as associações patronais (como Conselho de Arquitetos, Engenheiros, Biólogos, dentre outros) foram classificadas como sociedade civil mas, por representarem interesses de grupos econômicos, foram incluídas como setor econômico/produtivo. A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) e Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) foram consideradas membros da sociedade civil, por não representarem o Poder Público ou o setor econômico. Os prestadores de serviços públicos de abastecimento e saneamento foram classificados como Poder Público, já que as suas ações majoritárias pertencem ao Estado.

O estado de Amapá, não apresenta a composição do CERH. Há apenas a informação de que é composto por trinta e três membros. Nos estados do Espírito Santo e Roraima não foi encontrada a composição do Conselho.

Percebe-se que há falta de critérios para a definição de sociedade civil em todos os CERHs brasileiros, posto que universidades, mesmo estatais, não representam o Estado, já que possuem gestão autônoma. Os Comitês de Bacia também foram incluídos como representantes da sociedade civil em alguns CERHs, mesmo sendo órgãos do SINGREH e, portanto, do Estado. Em diversos Conselhos, não há uma divisão entre os representantes dos três setores, mas sim lista de entidades, o que dificulta a identificação numérica de cada um ao público e, portanto, da análise da paridade na representação.

Em termos de percentagens dos representantes dos três setores analisados na totalidade dos estados que apresentaram essa informação, a maioria se refere ao Poder Público, com 60% de assentos nos Conselhos, enquanto 20% representam o setor produtivo do país em igualdade de porcentagem com a sociedade civil. Não há, portanto, paridade entre os representantes nos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos. O Rio Grande do Sul foi o único estado cujo Conselho apresenta a totalidade de seus membros representando o Estado. Amazonas, São Paulo, Sergipe e Tocantins apresentaram o menor número de assentos para a sociedade civil (todos com 10%), enquanto que Distrito Federal, Rio de Janeiro e Santa Catarina obtiveram um melhor desempenho (30% da sociedade civil representada nos Conselhos).

Em termos de paridade nos Conselhos, segundo Fontaine et al. (2022), a ausência de uma composição igualitária entre seus membros é uma das principais dificuldades encontradas para a participação social nestas instâncias de participação na gestão hídrica, já que não há iguais condições de acesso para tanto, em detrimento dos órgãos de governo e do setor produtivo. No entanto, diferentemente dos autores e do Regimento dos Conselhos, não há critério para a delimitação entre sociedade civil, setor produtivo e Estado na sua composição, o que esta pesquisa pretendeu realizar.

Na Política Nacional de Recursos Hídricos de 1997, em termos de representação, determina-se que o Poder Público não deve ocupar mais de 50 por cento dos assentos em Comitês de Bacia (o que se espera também para os Conselhos Estaduais e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos). Todavia, os Conselhos apresentaram uma média de 60% dos assentos ocupados pelo Estado.

Salienta-se a importância da efetivação de uma composição igualitária dos membros dos Conselhos, de maneira a ampliar os espaços de participação e a legitimidade nas tomadas de decisão. A própria Política Nacional de Recursos Hídricos poderia ser revista neste sentido, já que prevê a possibilidade dos três setores interessados em participar dos Comitês de Bacias Hidrográficas (o que parece determinar a composição dos Conselhos Estaduais), mas não garante sua paridade.

Para que os membros da sociedade civil tenham voz e direito a voto nos locais de participação, efetivando a democracia na gestão hídrica, é necessária a mudança na esfera legal, já que os interesses do setor governamental e dos usuários são mais facilmente recepcionados nas tomadas de decisão, devido aos privilégios em termos de informações, tempo e conhecimento das “regras do jogo” presentes nas esferas das tomadas de decisão.

Para além destes apontamentos, como evidenciado por Jacobi (2010), a participação e representatividade dos diversos atores na gestão hídrica desempenha um papel importante na construção de políticas públicas que priorizem interesses públicos em detrimento dos privados, apoiando melhorias na qualidade e no acesso à água e ao saneamento universal, em direção aos princípios da sustentabilidade socioambiental. Dessa forma, é necessário que todos os setores envolvidos na governança hídrica, sejam eles sociedade civil, usuários dos recursos hídricos ou Poder Público ajam de forma a equilibrar direitos e responsabilidades enquanto representantes.

Ao mesmo tempo, há na literatura, autores que postulam uma visão diversa sobre importância dos valores democráticos para o alcance da sustentabilidade ambiental. Para estes, denominados de eco-autoritários, práticas mais centralizadas e tecnocráticas de gestão são consideradas mais adequadas para tal fim. Argumentos em favor desta abordagem são que os problemas ambientais contemporâneos são muito complexos para a compreensão do cidadão comum e de que os ciclos eleitorais presentes em governos democráticos são rápidos e conduzem à prioridades de curto prazo (Shearman e Smith, 2007).

No entanto, é de conhecimento amplo na literatura a respeito da democratização de questões ambientais que a presença de espaços públicos e plurais para participação seja estimulada, já que permitem a exposição de conflitos de interesses entre os setores envolvidos, uma vez que a democracia depende da pluralidade de percepções sobre o uso dos bens ambientais, como as águas, para a escolha das melhores alternativas no campo do planejamento e gerenciamento ambiental. Ainda, é necessário que tais conflitos sejam mais bem solucionados por meio da interdisciplinaridade e contribuição de diferentes conhecimentos, sendo fundamental que todos os atores envolvidos possuam direito a voz para expor e defender os interesses de seu respectivo setor (Jacobi, 2010).

## Considerações Finais

Como evidenciado pela literatura, a participação social possui grande relevância para a construção de uma legítima e democrática gestão hídrica, sendo que suas dificuldades podem culminar em aspectos negativos, como políticas públicas destinadas



aos recursos hídricos ineficazes e ilegítimas, assim como fiscalização precária das medidas adotadas pelos órgãos colegiados.

O artigo buscou analisar se os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos brasileiros e do Distrito Federal possibilitam a participação da sociedade por meio de critérios de efetividade identificados na literatura

Pelas análises, constatou-se que todos os CERHs não possuem composição paritária entre os setores Poder Público (estado e municípios), usuários de recursos hídricos e sociedade civil. Como consequências de composições não paritárias em órgãos deliberativos, há deficiência na democratização da gestão hídrica, ferindo o princípio de participação nas tomadas de decisão presentes na Política Nacional de Recursos Hídricos e no Direito ambiental, de forma mais ampla. Neste sentido, esta pesquisa traz como recomendação a paridade na composição dos Conselhos, conferindo aos três setores de interesse igual direito de participação. Sugere-se a alteração no artigo Política Nacional de Recursos Hídricos, em seu capítulo I, artigo 1, inciso VI, em que se lê: “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”, acrescentando-se “em igualdade de acesso” ou “em igualdade de assentos nos órgãos colegiados de gestão hídrica”.

Enquanto isto não ocorre, os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos possuem autonomia para definir a quantidade de assentos destinados a cada setor representado. Neste sentido, se houver mobilização social neste sentido, os CERHs podem modificar seus Regimentos Internos de modo a promover a paridade.

As dificuldades apresentadas precisam ser sanadas por meio de Leis ou Resoluções nacionais, no tocante à paridade.

De qualquer modo, é importante que haja demanda da sociedade civil organizada em participar em igualdade de oportunidades da gestão hídrica brasileira, democratizando efetivamente as tomadas de decisões para solucionar os problemas socioambientais que afetam a água e, portanto, a coletividade.

### **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE No. 2717/2015, pelo apoio técnico científico.

### **Referências Bibliográficas.**

Bourblanc, M.; 2010. Social participation in water governance and management: critical and global perspectives. *Water Resources Development*, v. 26(4), p. 709-713.

Brasil. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Diário Oficial da União*, Brasília.

Carr, G; Blöschl, G; Louks, D. P.; 2012. Evaluating participation in water resource management: A review, 2012. *Water Resources Research*, v. 48(11), p.1-17.

Ciesielczuk, J.; Porras, G.L.; 2021. Public participation and the Escazú agreement: Implementation challenges for vulnerable groups amid a global pandemic. *The IUCN AEL J. Environ. Law*, v.11, p. 12-33.

Fontaine, G.; Carrasco, C.; Rodrigues, C.; 2022. How transparency enhances public accountability: The case of environmental governance in Chile. *The Extractive Industries and Society*, v.9(101040), p. 2-14.

Habermas, J., 2014. Mudança estrutural da esfera pública: investigações quanto a uma categoria da sociedade burguesa. *Tempo Brasileiro*, Rio de Janeiro, 543 p.

Ituarte-Lima, C.; Mares, R.; 2024. Environmental democracy: Examining the interplay between Escazu Agreement's innovations and EU economic law. *Earth System Governance*, v. 21(100208), p. 1-13.

Jacobi, P. R.; 2010. Aprendizagem social, desenvolvimento de plataformas de múltiplos atores e governança da água no Brasil. *Revista Inter. Interdisc. INTERthesis*, v. 7(1), 69-95.

Malheiros, T. F.; Prota, M. G.; Pérez-Rincón, M. A.; 2013. Participação comunitária e implementação dos instrumentos de gestão da água em bacias hidrográficas. *Revista Ambiente & Água*, v. 8 (1), p. 98-118.

Mesquita, F. G.; 2018. Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos. *Desenvolvimento & Meio Ambiente*, v.45, p. 56-80.

Muller Neto, J.S; Artmann, E.; 2012. Política, gestão e participação em Saúde: reflexão ancorada na teoria da ação comunicativa de Habermas. *Ciênc. saúde coletiva*, v. 17 (12), p. 3407-3416.

Peixoto, F.S.; Soares, J.A.; Ribeiro, V.S.; 2022. Conflitos pela água no Brasil. *Sociedade & Natureza*, v. 34, p.1-13.



Pickering, J.; Hickmann T.; Backstrand, K.; Kalfagianni, A.; Bloomfield, M.; Mertf, A.; Ransan-Cooper, H.; Lo, A.Y.; 2022. Democratising sustainability transformations: assessing the transformative potential of democratic practices in environmental governance. *Earth System Governance*, v.11 (100131), p. 1-14.

Priscoli, J. D.; 2009. What is public participation in water resources management and why is it important? *Water International*, v. 29(2), p. 221-227.

Shearman, D.J.C., Smith, J.W.; 2007. *The Climate Change Challenge and the Failure of Democracy*. Greenwood, Westport.

Silva, C. V.; Silva, D. F. L.; Souza, E. M.; 2013. A participação da sociedade civil na democratização do setor de saúde no Brasil. *Rev. Bras. Educ. Med.*, v. 37(2), p. 254-259.





# ANÁLISE GEOESPACIAL DA COBERTURA VEGETAL E SUA RELAÇÃO COM A POPULAÇÃO DOS DISTRITOS DA CIDADE DE SÃO PAULO

1 Mariana Fialho Nascimento

1 Universidade Federal do ABC, mariana.fialho@aluno.ufabc.edu.br

**Palavras-chave:** Mata Atlântica; análise geoespacial; áreas verdes urbanas.

## Resumo

A Mata Atlântica é um dos biomas mais devastados do Brasil, apesar de sua alta biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos que provê. São Paulo, a maior cidade do Brasil em população e importância econômica, está inserida na região do bioma e extrai desta grande parte dos recursos necessários para a sobrevivência da população. O objetivo deste artigo é mapear a cobertura vegetal da cidade de São Paulo, relacionando com a população dos seus 96 distritos e analisar se o índice de cobertura vegetal por habitante é um indicador apropriado para mensurar a promoção de serviços ecossistêmicos dentro da cidade. As análises foram realizadas com o software R e as informações obtidas por meio do portal Geosampa e da Fundação SEADE. A análise indicou que 48% da área do município possui cobertura vegetal. No entanto, mais da metade dos distritos possuem menos de 50% de cobertura em sua área. A densidade demográfica calculada indica grandes concentrações populacionais no centro expandido e nas periferias, e ao relacionar essa informação com a cobertura vegetal, percebeu-se que regiões com alta densidade demográfica possuem um baixo ICV. Cabe ressaltar que esse indicador não deve ser o único parâmetro considerado, pois deve ser acompanhado de uma análise multifatorial, incluindo a qualidade da cobertura vegetal e dos usos permitidos, conforme o zoneamento municipal. Com isso, conclui-se que se a cobertura vegetal da Mata Atlântica oferece serviços ecossistêmicos para a população de São Paulo, mas essa oferta não é distribuída de maneira uniforme pelo território.

## Introdução

A Mata Atlântica é a formação florestal mais antiga do Brasil estabelecida há pelo menos 70.000.000 de anos (LEITÃO FILHO, 1987 apud SÃO PAULO, 2017). Segundo dados da Fundação SOS Mata Atlântica, a cobertura original do bioma era de 1.309.736 km<sup>2</sup>. Essa área abrange atualmente 15% do território brasileiro e está presente em 17 estados do país (Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Sergipe) (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2023). Atualmente, restam apenas 24% da área que originalmente era floresta, sendo que apenas 12,4% desse total formam fragmentos grandes suficientes para proteger efetivamente a biodiversidade. Essa devastação se deu, em grande medida ao longo da história, em decorrência dos ciclos econômicos e da industrialização brasileira, além do processo de urbanização que ocorreu do litoral para as áreas centrais do país (NEVES, 2006; CARDOSO, 2016). O modelo de urbanização vigente no Brasil e em outros lugares do mundo tem sido marcado pelo processo de “terra arrasada”, ou seja: promove a retirada da cobertura vegetal de todo o sítio urbano, inclusive das áreas não edificáveis. As megalópoles pecam pelo excesso de solo impermeabilizado e ausência de vegetação, criando ambientes extremamente desconfortáveis pela intensa luminosidade, calor e ausência de áreas verdes (GANEM, 2008).

No território de abrangência do bioma, encontram-se 3.429 municípios, dos quais 2.928 têm suas sedes municipais dentro da área da Mata Atlântica. Além disso, o bioma é responsável por 80% da economia e abriga quase 70% da população brasileira (145 milhões de pessoas) (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2023). Assim, é incontestável a responsabilidade que esses entes federativos têm para com a conservação e recuperação da vegetação nativa da Mata Atlântica, em prol da qualidade de vida da população (CAMPANILI; SCHÄFFER, 2010).

O estabelecimento do município de São Paulo num planalto acima da Serra do Mar e próximo a diversos rios transformou o local num ponto estratégico de intercâmbio econômico entre o litoral e o interior. Atualmente, na área do município, existem apenas alguns remanescentes de vegetação nativa, com exceção das grandes extensões de matas presentes nas Unidades de Conservação (UCs) e de fragmentos mais íntegros dispersos principalmente em suas áreas periurbanas (SÃO PAULO, 2017).

De acordo com Mello-Théry (2011), no caso da metrópole paulistana, opõem-se dois padrões de uso do solo: a concentração de áreas de matas nas periferias das zonas sul-sudoeste-oeste e o norte (o Parque Estadual da Cantareira, o pico do Jaraguá), enquanto nas zonas sul-sudeste, leste, nordeste e noroeste, identifica-se a reduzida presença de mata (nativa ou reconstituída), apenas na APA Capivari-Monos (zona de amortecimento do Parque Estadual da Serra do Mar), ou as nascentes das represas Billings e Guarapiranga.

Somam-se a essas áreas protegidas, os parques lineares e os parques urbanos, que integram a paisagem e são muito importantes uma vez que as plantas proporcionam conforto ambiental ao interceptar, absorver e refletir os raios solares. As áreas bem arborizadas apresentam temperaturas mais estáveis e em geral mais frescas. Praças, ruas e residências bem arborizadas também contribuem para a retenção de materiais poluentes, e ainda permitem a manutenção da fauna, principalmente das aves (CAMPANILI; SCHÄFFER, 2010). Outros benefícios apontados são a mitigação do ruído urbano e a melhora na qualidade do ar (RAMOS; FREITAS; PASSARELLI, 2016).



Esses serviços ecossistêmicos são reconhecidos e amplamente estudados (CONSTANZA, 2017), pois interferem na qualidade ambiental da vida nas cidades. Além desses serviços, existem também a variável cultural, que abrange os serviços que podem ser extraídos a partir da relação entre os seres humanos e o meio ambiente, e que podem promover enriquecimento cultural, espiritual, atividades educacionais. Ao considerar, por exemplo, a ocorrência da pandemia de COVID-19, é possível identificar que a percepção do espaço urbano e a interação com a natureza vem sofrendo alterações que podem ser de longa duração. Veitch et al. (2022) pontuou, ao entrevistar visitantes de parques urbanos, que estes relataram que passaram a visitar os parques de forma mais frequente desde o início da pandemia, e que as áreas proporcionam a oportunidade contato com a natureza, ar fresco e sensação de relaxamento.

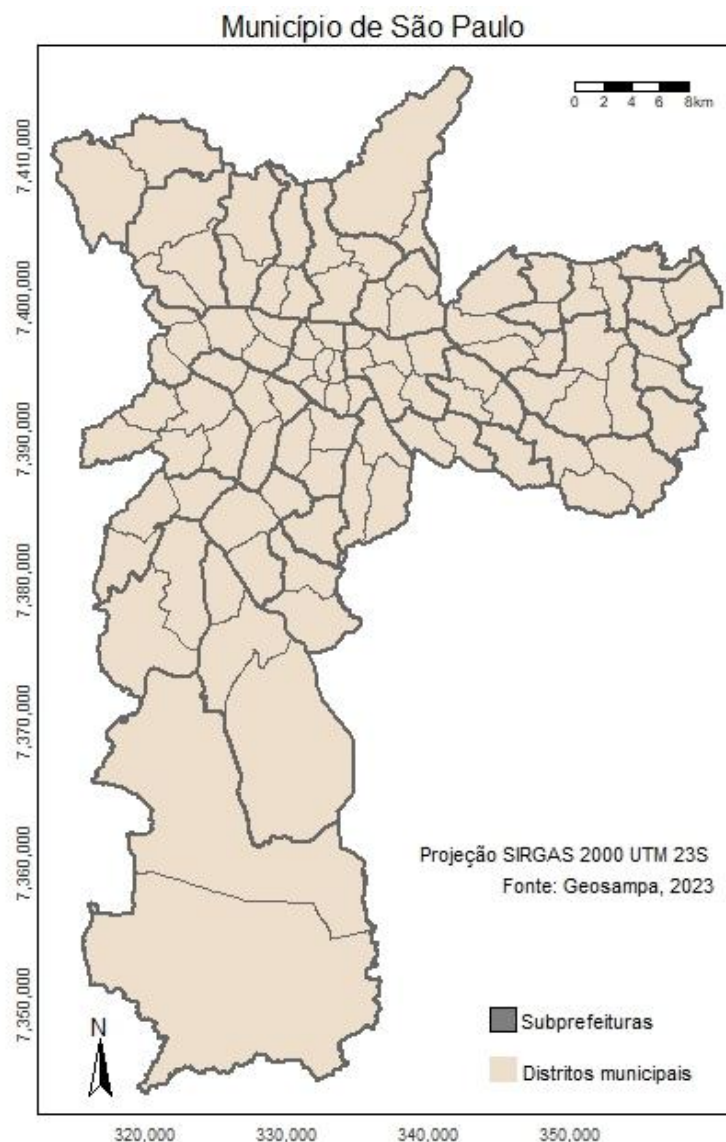
Em vista desses aspectos, conservar a vegetação nativa deve ser um dos componentes da política de desenvolvimento urbano, questão que permeia a legislação ambiental e urbanística brasileira (GANEM, 2008).

Essa pesquisa tem por objetivo analisar o mapeamento de cobertura vegetal do município de São Paulo, identificando o percentual de cobertura por distrito, e verificar se existe a proporção de cobertura vegetal por população é um indicador relevante para a promoção de serviços ecossistêmicos.

## Material e Métodos

### Área de estudo

A pesquisa teve como objeto de estudo o município de São Paulo. Maior cidade do Brasil e uma das maiores metrópoles do mundo, São Paulo é o centro financeiro e corporativo do país. Tratando-se de população, possui 11.451.245 habitantes, conforme dados divulgados pelo IBGE referente ao Censo de 2022 (IBGE, 2023). Essa população se distribui em 96 distritos, perfazendo uma área total de 1.521,2 km<sup>2</sup>, conforme mapa abaixo.



**Figura 1: Área de estudo.**



Seu Produto Interno Bruto (PIB), de acordo com levantamento do IBGE no ano de 2020, foi de aproximadamente R\$748 bilhões, sendo mais do que o dobro da segunda colocada, a cidade do Rio de Janeiro (R\$331 bilhões) (IBGE, 2021). São Paulo também possui influência nacional e internacional no cenário cultural e histórico, sendo atrativo turístico com diversos museus, parques e monumentos com relevância mundial, como o Memorial da América Latina, o MASP e o Parque do Ibirapuera.

A cidade de São Paulo trabalha ativamente com mecanismos de incentivo à conservação dos remanescentes de vegetação nativa, tanto no aprimoramento da legislação urbana, onde se destaca o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (SÃO PAULO, 2017), como também com a utilização de ferramentas de análise geoespacial. O Geosampa, portal coordenado pela Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (SMUL), reúne cerca de 400 camadas georreferenciadas dos mais diversos dados do município, como como zoneamento, rede de transporte público, patrimônio histórico, escolas e parques. (SÃO PAULO, 2023).

### Coleta de dados

Os principais dados utilizados para esta pesquisa foram: cobertura vegetal de São Paulo, limites administrativos dos distritos e subprefeituras, e os dados de população.

No ano de 2020, a Prefeitura de São Paulo lançou um novo mapeamento da cobertura vegetal, que compreendeu a vetorização de 15 categorias classificadas por meio de fotointerpretação de imagens aéreas ortorretificadas do ano de 2017/2018, apoiada por dados LIDAR, constituindo conjuntos de informações com geometrias e topologias geradas para utilização em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e abrangendo a totalidade da superfície do Município de São Paulo – SP, com 1.168 km<sup>2</sup> na escala 1:1.000 e 359 km<sup>2</sup> na escala 1:5.000 (SÃO PAULO, 2020). Esse arquivo foi obtido em formato *shapefile* através da ferramenta de download do portal Geosampa.

Outra informação obtida através do Geosampa foram os limites dos distritos da cidade de São Paulo, para fins de cômputo da área destas unidades de referência. Os distritos foram criados mediante a Lei nº 11.220/1992. Seus limites foram estabelecidos a partir de estudos elaborados por diversos órgãos do Executivo municipal, tendo em conta fatores físico-territoriais, demográficos, urbanísticos, econômicos e político-administrativos (SÃO PAULO, 2011).

Por fim, a população dos distritos de São Paulo no ano de 2021 foi obtida a partir da Fundação SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados), vinculada à Secretaria da Fazenda e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo, que atua como um centro de referência nacional na produção e disseminação de análises e estatísticas socioeconômicas e demográficas.

### Análise de dados

Os dados foram tratados através do software R Studio, que utiliza a linguagem R (versão 4.3.0). Os pacotes utilizados foram: *readr* (leitura de tabelas), *sf* (formato espacial simple feature, ou sf), *dplyr* (manipulação de banco de dados), *tmap* (elaboração de mapas temáticos em método não-incremental) e *terra* (formato espacial raster).

Primeiramente, foi realizada a leitura de todos os dados e elaboração dos mapas preliminares de cobertura vegetal e de distribuição da densidade demográfica nos distritos de São Paulo. Após essa etapa, foi feita a conversão das informações vetoriais em formato *raster*, para cálculo do percentual de cobertura vegetal nos distritos de São Paulo. Por fim, foram feitos os cálculos de percentual de cobertura vegetal por distrito, e de índice de cobertura vegetal, a partir de manipulações nas tabelas de dados. As fórmulas consideradas para os cálculos estão listadas abaixo:

$$\%CV = \left( \frac{\text{Área total de cobertura vegetal}}{\text{Área total do distrito}} \right) * 100 \quad (1)$$

Onde CV representa o percentual de cobertura vegetal.

$$ICV = \left( \frac{\text{Área de cobertura vegetal}}{\text{população}} \right) \quad (2)$$

Onde o ICV representa o Índice de Cobertura Vegetal para cada distrito.

Após a obtenção dos dados, foram feitos novos mapas com os resultados identificados, para posterior interpretação e discussão.

### Resultados e Discussão

A partir da análise dos dados, foi feito o seguinte mapeamento de população distribuída nos distritos do município de São Paulo:



Densidade demográfica dos distritos de São Paulo - 2021

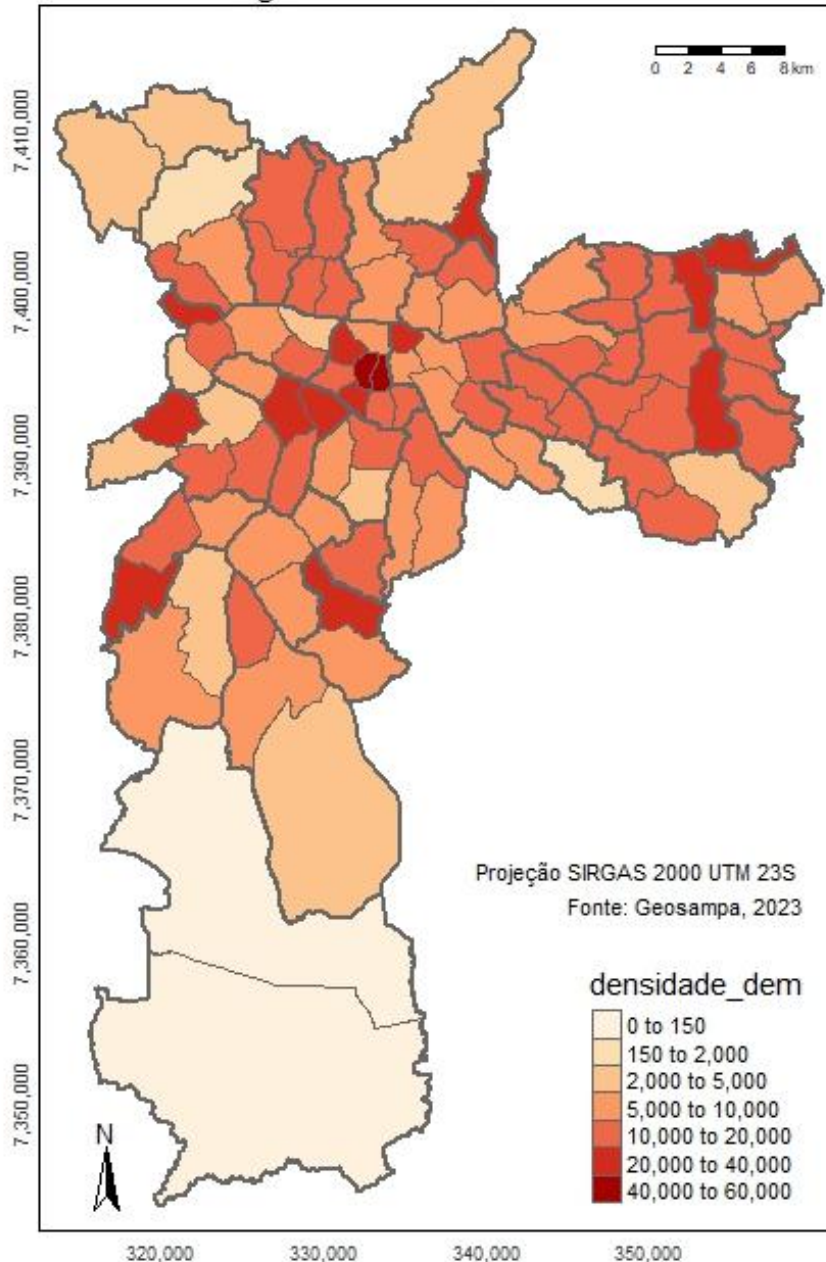


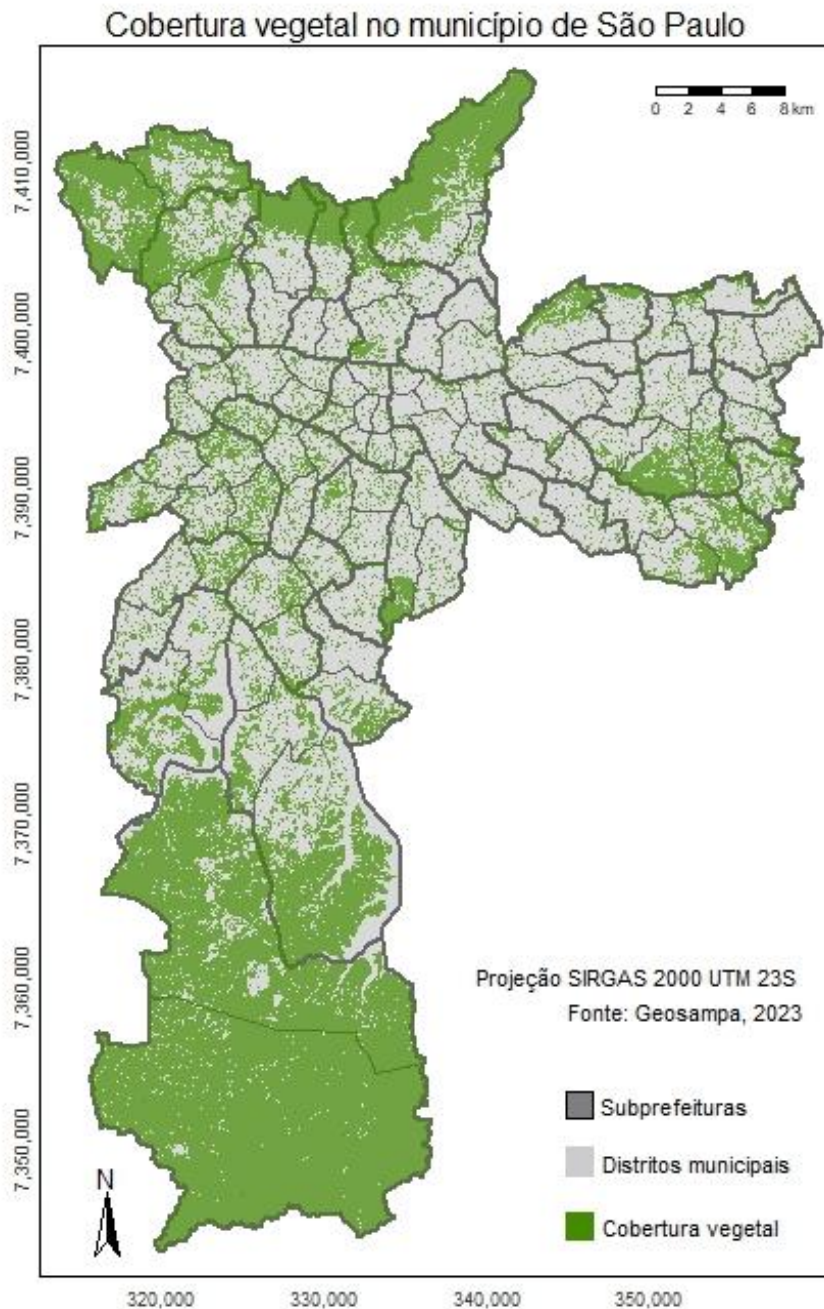
Figura 2: Densidade demográfica de São Paulo.

O padrão de distribuição da população na cidade de São Paulo indica condições diferentes nas periferias: enquanto no extremo sul existem distritos com uma densidade demográfica abaixo de 1.000 hab/km<sup>2</sup>, nas zonas leste, oeste e sul concentram-se distritos com alta densidade, entre 20.000 e 40.000 hab/km<sup>2</sup>.

Em números absolutos, entre os distritos mais populosos, destaca-se o Grajaú (392.734 habitantes), localizado na zona sul, e o Jardim Helena (341.881 habitantes), no extremo leste do município. Apesar de contarem com uma população similar, os valores de densidade demográfica são bem díspares: no Grajaú distribuem-se 4.236 hab/km<sup>2</sup>, enquanto no Jardim Helena o índice é de 37.364 hab/km<sup>2</sup>.

Já os distritos que possuem menor população são Marsilac (8.463 habitantes), no extremo sul do município, e Barra Funda (16.342 habitantes). Apesar de ter poucos moradores, a Barra Funda possui densidade demográfica de 2.793 hab/km<sup>2</sup>. Já o distrito de Marsilac possui a menor densidade demográfica encontrada no município, com aproximadamente 40 hab/km<sup>2</sup>. A área, apesar de grande, não é densamente habitada, em decorrência da cobertura vegetal.

Com relação à cobertura vegetal, os dados de área calculados do município de São Paulo indicam que dos 1.521,2 km<sup>2</sup> de área, 735,77 km<sup>2</sup> possuem algum tipo de cobertura vegetal, o que corresponde a 48,37% da área total. Essas áreas estão concentradas principalmente na porção norte e sul da cidade.



**Figura 3: Cobertura vegetal de São Paulo.**

A região norte da cidade faz parte da Serra da Cantareira, que abrange os distritos Cachoeirinha, Mandaqui, Tremembé e Brasilândia. A área está protegida, em sua maioria, pelo Parque Estadual da Serra do Mar. Já a região sul da cidade, que apresenta a maior porção de cobertura vegetal, tem áreas que integram o Parque Estadual da Serra do Mar, e os Parques Naturais Municipais Varginha, Bororé, Itaim e Jaceguava. Esses parques ocupam quase que integralmente os distritos de Marsilac e Parelheiros. No restante do município, existe uma distribuição de cobertura vegetal esparsa e com fragmentos pequenos, o que pode prejudicar a interpretação dos dados levando em conta apenas os valores absolutos. Ao considerar o percentual de cobertura vegetal por área dos distritos, é possível verificar que os distritos com maiores manchas de vegetação remanescente se destacam como aqueles com maior percentual também. Os distritos da zona sul, Marsilac e Parelheiros, são os que possuem maior cobertura vegetal, com 97,5% e 83,11% respectivamente.



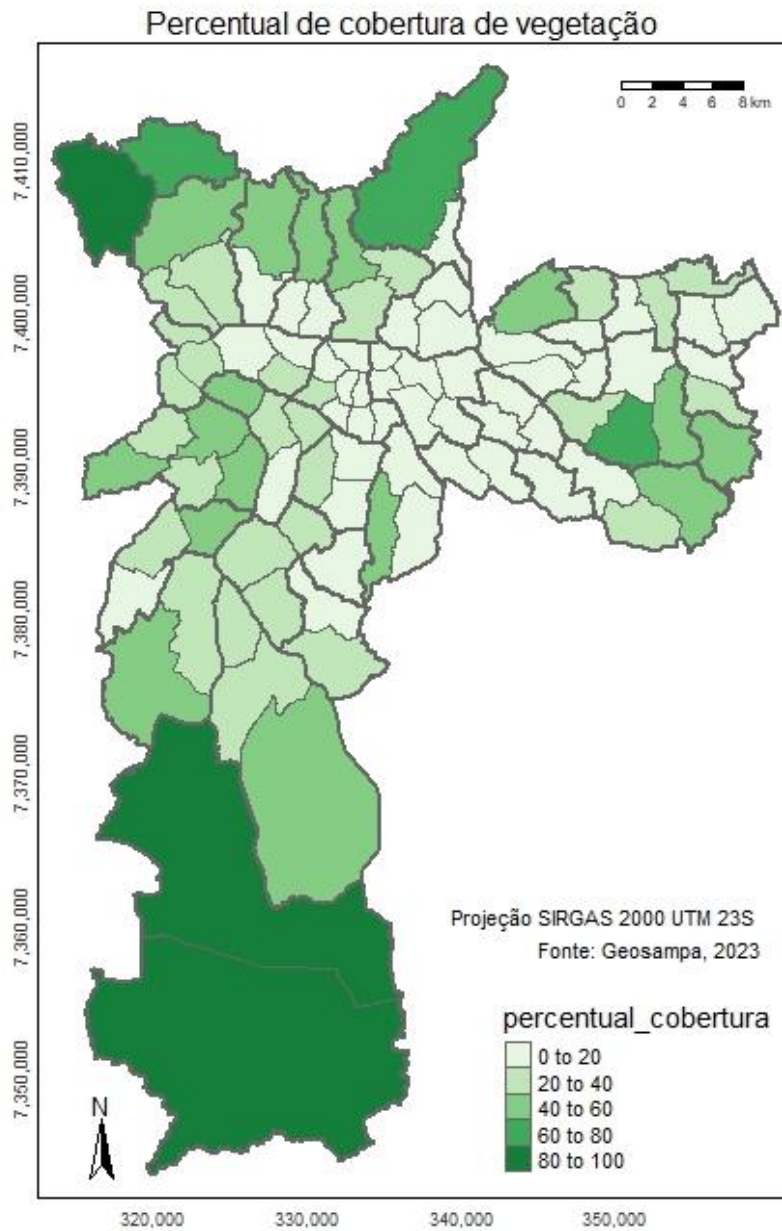


Figura 4: Percentual de cobertura vegetal por distrito de São Paulo.

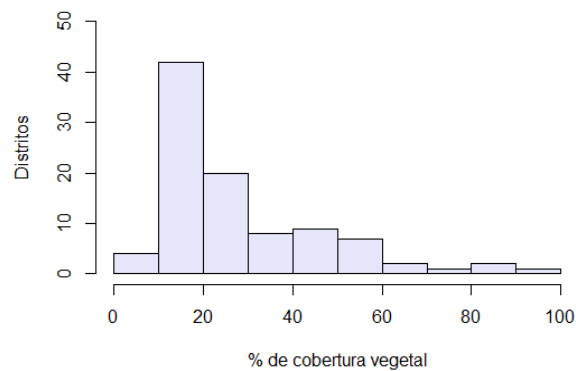


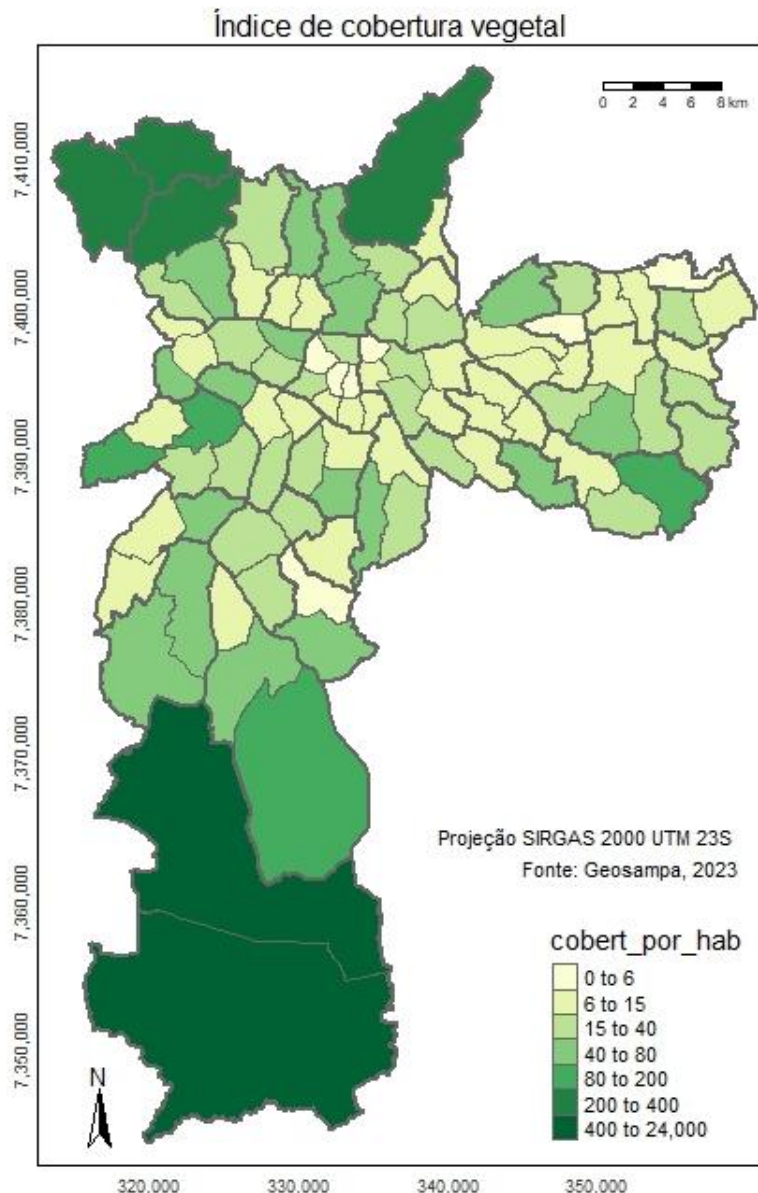
Figura 5: Histograma do percentual de cobertura vegetal.



Pela análise do histograma apresentado anteriormente, identifica-se que aproximadamente 60 distritos possuem cobertura vegetal em até 30% do seu território. O valor médio obtido é de 27,3%.

O índice de cobertura vegetal (ICV) não possui uma definição específica para cálculo, e diversas metodologias são criadas para análise desse parâmetro nas cidades (PERIN, 2019). Uma vez que o município de São Paulo não possui uma metodologia própria para utilização, optou-se pelo cálculo da razão entre a área total de cobertura vegetal do distrito e a população residente.

A partir do mapa, verifica-se uma grande variação entre os valores de cobertura vegetal por habitante, indo de 2,29 m<sup>2</sup>/hab (no distrito da República, região central) a 23.985 m<sup>2</sup>/hab (Marsilac, no extremo sul). Os maiores valores do ICV são encontrados naqueles distritos com maior densidade de cobertura vegetal, que são marcados pela presença de Unidades de Conservação e que apresentam fragmentos íntegros de vegetação nativa. Já os menores valores são encontrados nas regiões centrais, locais onde se iniciou o processo de urbanização da cidade de São Paulo, como Brás (6,08 km<sup>2</sup>/hab) e Pari (5,6 km<sup>2</sup>/hab), e em regiões com alta densidade populacional, como a Ponte Rasa (4,82 km<sup>2</sup>/hab) e Cidade Ademar (4,36 km<sup>2</sup>/hab), que se encontram nas regiões leste e sul do município.



**Figura 6: Índice de cobertura vegetal por distrito de São Paulo.**

Ao comparar o ICV dos distritos mais populosos, também é possível identificar cenários bem diferentes da dinâmica territorial do município de São Paulo. O distrito do Grajaú (392.734 habitantes), localizado na zona sul, tem ICV de 128,83 m<sup>2</sup>/hab; já o Jardim Helena (341.881 habitantes), no extremo leste do município, tem ICV de apenas 5,64 m<sup>2</sup>/hab. Isso pode ser explicado a partir do histórico de ocupação do território.

O Grajaú possui um índice de cobertura vegetal alto, em decorrência da legislação de proteção aos remanescentes de vegetação e de bacias hidrográficas, e da ocupação tardia dessa região ao longo da história da cidade de São Paulo, que remonta



às décadas de 50 e 60, em decorrência da expansão da cidade no seu processo de industrialização. Vale ressaltar que nessa época, já existia o primeiro Código Florestal, trazendo relevância para a discussão de preservação ambiental.

Já o Jardim Helena, apesar de fazer parte da área de várzea do Rio Tietê e demandar esforços e recursos de proteção para essa região, teve seu processo de ocupação do território muito anterior à existência da legislação de proteção ambiental. Sua origem acompanha a do bairro vizinho, São Miguel Paulista, que surgiu por volta de 1560.

### **Limitações da análise**

Cabe ressaltar que existe uma falta de consenso em relação à definição de áreas verdes, dificuldade no mapeamento e na classificação dessas áreas, além das tentativas de comparações entre diferentes índices obtidos através de metodologias diversas (BARGOS e MATIAS, 2012, p. 309).

Uma vez estabelecida essa definição, é preciso levar em consideração também a qualidade dessas áreas e as múltiplas formas de uso a que as áreas estão submetidas (PERIN, 2019).

O cálculo de áreas verdes por habitante por si só não é suficiente para garantir a entrega de serviços ecossistêmicos e de qualidade ambiental para a população de determinada região; essa dimensão de análise é multifatorial e deve ser acompanhada de uma análise holística, que faça o mapeamento de todos os usos, da qualidade e integridade da área verde, além do valor numérico calculado da forma estabelecida pelo indicador.

### **Considerações Finais**

A partir das análises realizadas, é possível concluir que, apesar da alta taxa de urbanização de São Paulo, o município ainda possui 48% de sua área coberta por vegetação, que pode ser considerado um valor expressivo para um município do porte de São Paulo. Dentre essa vegetação, existem importantes remanescentes de Mata Atlântica, um dos biomas mais biodiversos e desmatados do país. A presença dessa cobertura vegetal no município traz diversos benefícios para a população que está distribuída nos seus distritos, como a regulação da temperatura, retenção de materiais poluentes, enriquecimento cultural e atividades educacionais.

Com o cálculo do índice de cobertura vegetal, foi possível concluir que apesar de mais da metade dos distritos possuírem até 30% de cobertura vegetal em seu território, esta cobertura não está nos distritos mais densamente povoados. Distritos como o Brás e o Jardim Helena possuem alta densidade demográfica e baixo índice de cobertura vegetal.

Como a cobertura vegetal e a população não estão distribuídas de maneira uniforme pelo território, os serviços ecossistêmicos não são recebidos com a mesma magnitude pela população. Portanto, para que seja possível abordar esse problema sob a ótica das políticas públicas de planejamento territorial e da justiça ambiental, é necessário estabelecer uma metodologia para o cálculo desse indicador, que leve em consideração não só a cobertura vegetal em si, como também aspectos qualitativos como a qualidade desses remanescentes e seus usos permitidos para a sociedade.

### **Referências bibliográficas**

Secretaria do Verde e Meio Ambiente da Prefeitura de São Paulo. 2017. Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica do Município de São Paulo. 533 p.

Fundação SOS Mata Atlântica. 2023. A Mata Atlântica. 11 p.

NEVES, Ana Carolina Marzullo. 2006. DETERMINANTES DO DESMATAMENTO NA MATA ATLÂNTICA: uma análise econômica. 94 p.

CARDOSO, Josiane Teresinha. 2016. A Mata Atlântica e sua conservação. *Encontros Teológicos*, v. 31, p. 441-458.

GANEM, Roseli Senna. 2008. CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE EM ÁREAS URBANAS. *Cadernos Aslegis*, n. 34, p. 41-64.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2023. População e domicílios - Primeiros resultados. 75 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2021. PIB per capita.

CAMPANILI, Maura; SCHÄFFER, Wigold Bertoldo. 2010. Mata Atlântica: manual de adequação ambiental. *Biodiversidade* 35, 96 p.

MELLO-THÉRY, Neli Aparecida de. 2011. Conservação de áreas naturais em São Paulo. *Estudos Avançados*, v. 25, p. 175-188.

RAMOS, Ruth Cristina Ferreira; FREITAS, Simone Rodrigues de; PASSARELLI, Silvia Helena Facciolla. 2016. A dimensão simbólica da vegetação na cidade: o caso de Santo André (SP). *Sociedade & Natureza*, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 55-65.



- COSTANZA, Robert et al. 2017. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go?. *Ecosystem Services*, [S.L.], v. 28, p. 1-16.
- VEITCH, Jenny. 2022. What do adults want in parks? A qualitative study using walk-along interviews. *Bmc Public Health*, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 753-764.
- Prefeitura de São Paulo. 2023. Portal GeoSampa, maior plataforma de dados oficiais da cidade, é utilizado para projetos de diversas áreas.
- Secretaria do Verde e Meio Ambiente da Prefeitura de São Paulo. 2020. Mapeamento Digital da Cobertura Vegetal do Município de São Paulo: relatório final. 112 p.
- Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento da Prefeitura do Município de São Paulo. 2011. Distritos.
- Fundação SEADE do Governo do Estado de São Paulo. 2021. População do município de SP por distritos - 2021.
- R Core Team. 2023. *\_R: A Language and Environment for Statistical Computing\_*. R Foundation for Statistical Computing
- Wickham, H; Hester, J; Bryan, J. 2023. *\_readr: Read Rectangular Text Data\_*.
- Pebesma, E. 2018. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal* 10 (1), p. 439-446.
- Wickham, H; François, R; Henry, L; Müller, K; Vaughan, D. 2023. *\_dplyr: A Grammar of Data Manipulation\_*
- Tennekes, M. 2018. tmap: Thematic Maps in R. *Journal of Statistical Software*, v. 84, p 1-39.
- Hijmans, R. 2023. *\_terra: Spatial Data Analysis\_*.
- Pebesma, E.; Bivand, R. 2023. *Spatial Data Science: With Applications in R*.
- PERIN, João Vitor. 2019. ANÁLISE CRÍTICA DOS ÍNDICES DE ÁREAS VERDES URBANAS. 66 p.
- BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. 2011. Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v.6, p. 172-188.





# ENTIDADE EXECUTIVA E O ASSESSORAMENTO AOS COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDO DE CASO DO AGRUPAMENTO URUGUAI/OESTE NO ESTADO DE SANTA CATARINA

**1André Leão, 2Jairo Marchesan, 3Rafael Leão, 4Murilo Anzanello Nichele**

*1 Consultor/Pesquisador, Coordenador Técnico da Entidade Executiva vinculada a Universidade do Contestado (UNC), email: engenheiro.andreleao@gmail.com; 2 Coordenador Geral da Entidade Executiva vinculada a Universidade do Contestado (UNC), e-mail: jairo@unc.br; 3 Consultor/pesquisador a serviço da Entidade Executiva vinculada a Universidade do Contestado (UNC), e-mail: eng.rafaelleao@gmail.com, 4 Consultor/pesquisador a serviço da Entidade Executiva vinculada a Universidade do Contestado (UNC), e-mail: murilonichele@gmail.com*

## Resumo

Este artigo destaca a experiência significativa de atuação de uma Entidade Executiva na articulação, mobilização e implementação de ações visando o fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Grupo Uruguai de Santa Catarina (Comitês: Canoas e Pelotas; Peixe, Jacutinga, Chapecó e Irani; Antas e Afluentes do Peperi-guaçu) em prol a gestão dos recursos hídricos deste território. O estudo adota uma abordagem metodológica fundamentada na revisão de literatura, com destaque para o Edital nº32/22 da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), Nota Técnica nº01/23 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Economia Verde (SEMAE) e demais legislações tangentes. Caracterizado como estudo, descritivo analítico e propositivo. A experiência compartilha o êxito de atuação da Entidade Executiva na colaboração com os mencionados Comitês respaldados no instrumentos de gestão das águas contidos na Lei Federal 9.433/1997, em especial corroborando com o aprimoramento dos processos decisórios, à implementação de plano de comunicação e divulgação, dos instrumentos de gestão e fortalecimento dos Comitês, à realização de capacitações técnicas, de estudos sobre as águas subterrâneas, elaboração de projetos dos planos de recursos hídricos e a promoção e integração de Comitês do mesmos agrupamento. Contudo, para o ano de 2023 a entidade executiva assessorou 48 reuniões técnicas, entre elas assembleias gerais e reuniões de câmaras técnicas, foram 42 eventos relacionados a temática, representados por representantes das organizações membros, sendo os mesmos organizados e promovidos pela Entidade Executiva e também por outras instituições, 5 projetos elaborados e executados com relação as metas de curto prazo dos planos de recursos hídricos, 12 capacitações técnicas somando mais de 70 horas com diferentes temáticas e palestrantes, 237 matérias e 46 informativos publicados. Tornando eminente a necessidade de continuidade no processo de articulação, mobilização e implementação de ações, visando o fortalecimento e qualificação dos Comitês de Bacias Hidrográficas.

**Palavras-chave:** Comitês de Bacias Hidrográficas; Entidade Executiva; Recursos Hídricos.

## Introdução

Articular, mobilizar e organizar as pessoas em torno da necessidade de fazer a gestão sobre os recursos hídricos em seus respectivos territórios é uma tarefa que se apresenta com urgente e desafiadora, especialmente nas últimas duas décadas. Isso ocorre tanto em nível individual quanto, sobretudo, em nível coletivo, por meio da atuação dos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs).

Os CBHs são órgãos colegiados, que atuam no gerenciamento das águas das bacias hidrográficas, amparados na Lei Federal nº 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Nesta direção, os Comitês, são vinculados ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), possuem atribuições normativas, deliberativas e consultivas. Já, as organizações-membro que compõem os CBHs são representantes de três segmentos: usuários da água (40%), órgãos da administração federal e estadual (20%) e da população da bacia hidrográfica (40%). Os integrantes dos CBHs são representantes de entidades que participam das reuniões, propõem sugestões e deliberam pautas inerentes à temática dos recursos hídricos, além de possuírem atribuições para contribuir efetivamente para a gestão dos recursos hídricos das respectivas bacias hidrográficas de Santa Catarina, conforme preconiza a Resolução nº 19, de 19 de setembro de 2017 do CERH.

O Estado em nível nacional ou pelas Unidades Federativas tem sido o protagonista desse processo, seja, por meio da elaboração das Leis ou mesmo apresentando e conduzindo os processos de gestão das águas.

Nesta direção, a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), em parceria com a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico (SDE), atual Secretaria do Meio Ambiente e da Economia Verde (SEMAE), lançou, em 1º de agosto de 2022, o Edital nº 32, oportunizando a pesquisadores e Instituições Catarinenses de Ciência e Tecnologia (ICT) para apresentarem propostas ao referido Edital, o qual teve como um dos objetivos principais assessorar, apoiar e fortalecer o funcionamento dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado.

Na ocasião, a Universidade do Contestado (UNC) cuja área de atuação abrange desde o meio Oeste até o Planalto Norte e parte da região serrana de Santa Catarina, designou Professor Pesquisador para liderar o referido projeto, juntamente



com uma equipe de pesquisadores, foi elaborada e submetida uma proposta ao edital, sendo esta qualificada para atender o agrupamento denominado Uruguai. Este agrupamento engloba todas as bacias hidrográficas catarinenses que convergem para o Rio Uruguai, principal curso d'água na Vertente do Interior do Estado, sendo composto por cinco Comitês de Bacias Hidrográficas: Antas e Afluentes do Peperi-guaçu, Chapecó e Irani, Jacutinga, Peixe e Canoas e Pelotas.

O Projeto está sendo executado desde o início do ano de 2023 e terá como data de finalização o mês de dezembro de 2024, em uma área territorial de aproximadamente 30.000 km<sup>2</sup>. Nele, tem mais de 1 milhão e 400 mil habitantes, distribuídos em aproximadamente 150 dos 295 municípios do Estado e atua desde a Serra até o Extremo Oeste Catarinense.

A Equipe é composta por 16 Pesquisadores, dentre os quais, Geógrafo, Engenheiros Sanitaristas e Ambientais, Agrônomos, Biólogos, Jornalista, Advocacia, Administração e Design Gráfico.

Segundo o referido Edital, tem como objetivo geral “Apoiar e implementar práticas de pesquisa, tecnologia e inovação relacionadas a projetos de pesquisa aplicada no apoio e promoção do fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina e implementação de instrumentos de gestão de recursos hídricos” (Edital FAPESC, nº32, 2022).

Para além deste, tem como objetivos específicos: Aperfeiçoar os processos decisórios dos Comitês de Bacia Hidrográfica integrantes do Agrupamento atendidos; Promover ações de capacitação e de atualização técnica dos membros dos Comitês de Bacias Hidrográficas integrantes do Agrupamento atendido, em especial na área de gestão de recursos hídricos e processos participativos; Promover ações de comunicação social que permitam ampliar o reconhecimento dos Comitês de Bacia Hidrográfica pela sociedade em geral; Contribuir para a implementação dos instrumentos de gestão, bem como para a efetividade dos Comitês de Bacia em favor da melhoria da qualidade dos recursos hídricos e da oferta de sua disponibilidade; Contribuir com os programas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, firmados com a Secretaria Executiva de Meio Ambiente (SEMA/SDE); Elaborar estudos específicos a partir de temas elencados nas atribuições da SEMA/SDE e baseados no Plano Estadual de Recursos Hídricos e promover integração e a troca de experiências entre os Comitês de Bacia Hidrográfica, que partilhem do mesmo Agrupamento atendido (FAPESC, Edital nº032/2022).

Assessorar os Comitês de Bacias Hidrográficas por meio deste Projeto é uma das possibilidades de produzir e difundir conhecimentos e práticas de cuidado com um dos maiores patrimônios ambientais: a água. Afinal, a água em quantidade, qualidade e ofertada com regularidade é fundamental a sobrevivência de todas as formas de vida e para o desenvolvimento das atividades humanas.

Este artigo tem como objetivo apresentar descritivamente o Projeto, bem como os resultados do primeiro ano de implementação (2023), seus limites, desafios e potencialidades que possibilitam contribuir com a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433/97), através do assessoramento e fortalecimento aos Comitês de Bacias Hidrográficas.

O Projeto alinha-se aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aos Objetivos 6 – Água Potável e Saneamento e 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis, propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU).

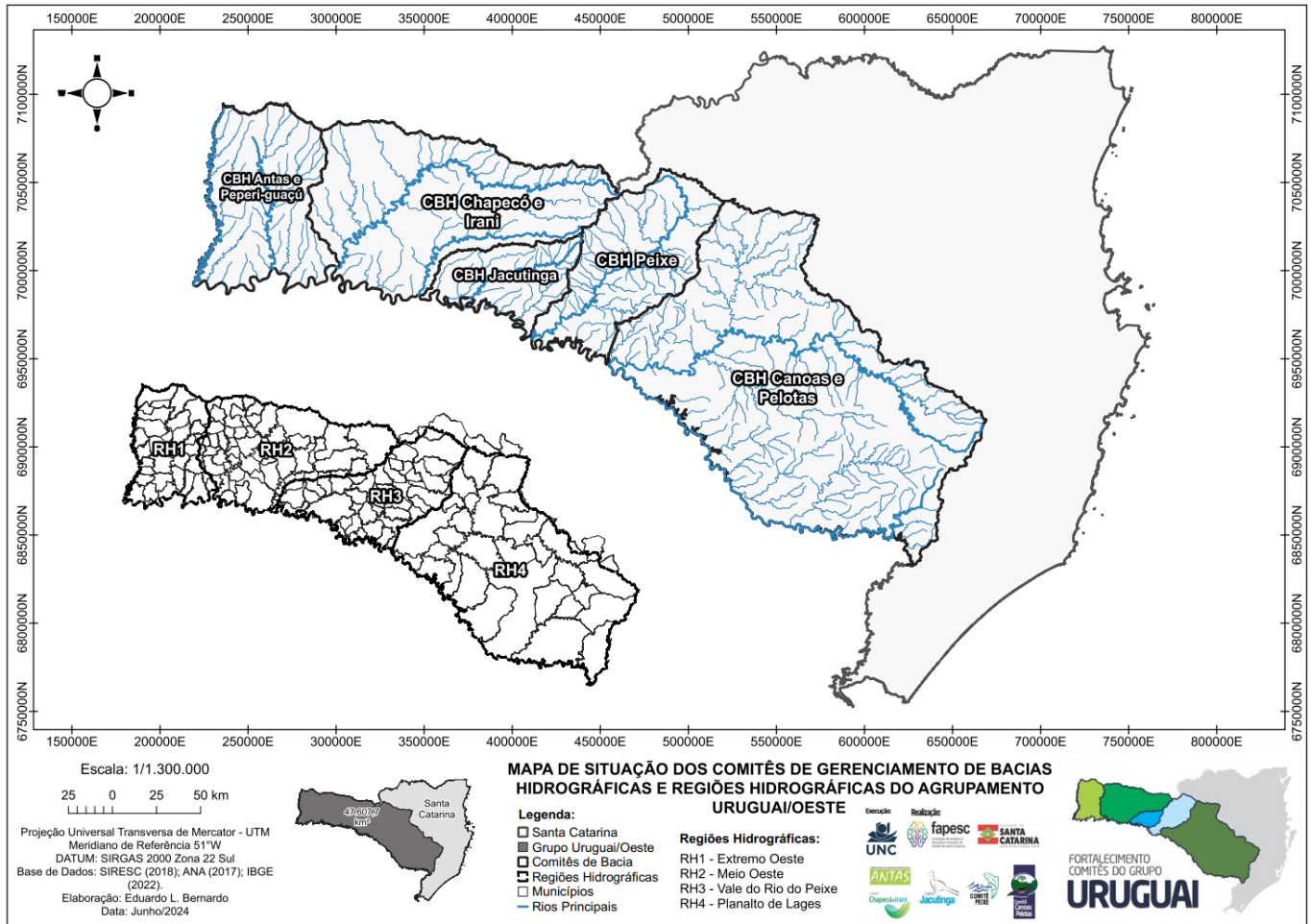
### Material e Métodos

No decorrer deste tópico será apresentada a caracterização da área de estudo, detalhamento sobre o assessoramento da Entidade Executiva UNC junto aos Comitê do Agrupamento Uruguai/Oeste SC e os métodos para coleta e análises dos dados.

### Caracterização da área de estudo

A área de atuação da Entidade Executiva Universidade do Contestado no assessoramento aos Comitês de Bacias Hidrográficas do agrupamento Uruguai está representada conforme a Figura 01.

A área de atuação da Entidade Executiva realizada através da UNC corresponde às Bacias Hidrográficas inseridas nas Regiões Hidrográficas 01, 02, 03 e 04 do Estado de Santa Catarina., as quais, contemplam as seguintes Bacias e seus respectivos Comitês de Bacias Hidrográficas: Comitê Canoas e Pelotas, Comitê Peixe, Comitê Jacutinga, Comitê Chapecó e Irani e Comitê Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu. Uma similaridade dos 5 Comitês de Bacias Hidrográficas é o fato de todos os cursos d'água drenarem as suas águas para o Rio Uruguai.



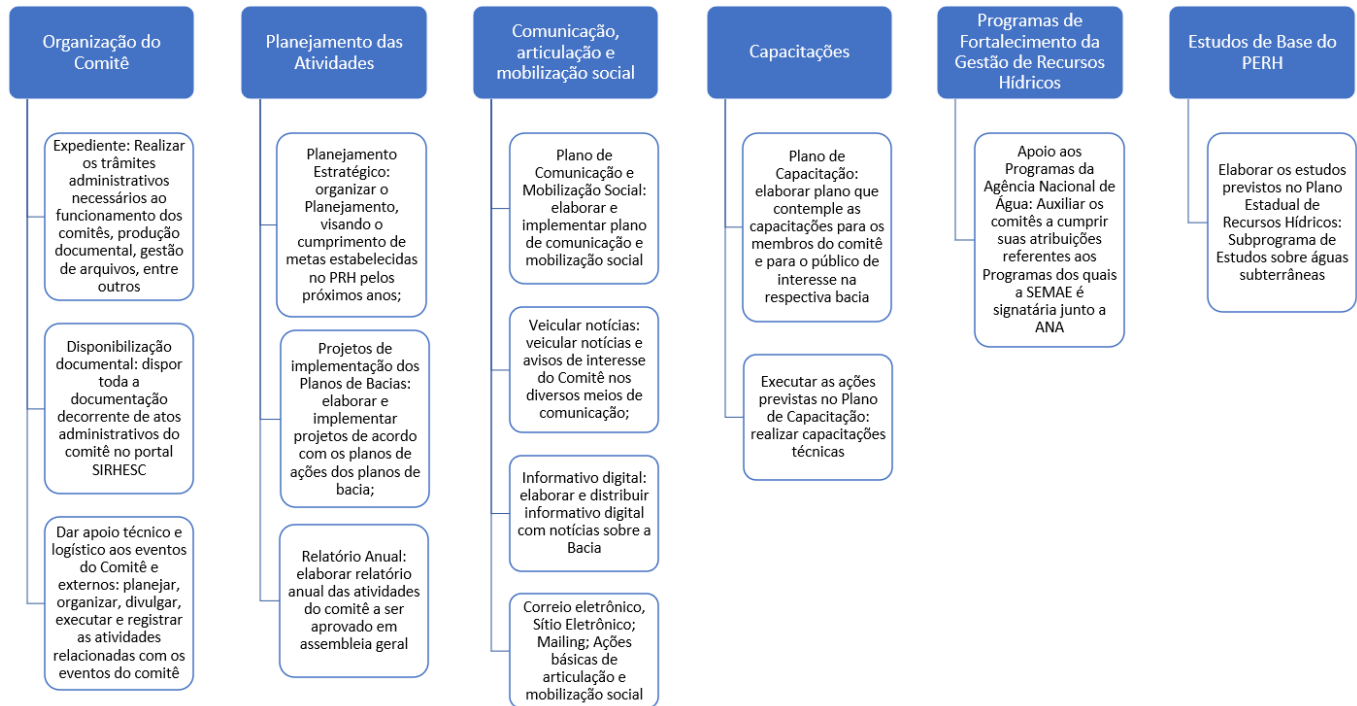
**Figura 1: Estado de Santa Catarina com destaque para os Comitês de Bacias Hidrográficas atendidos pela Entidade Executiva Universidade do Contestado.**  
Fonte: Autores (2024)

### O Assessoramento aos Comitês de Bacia do Agrupamento Uruguai/Oeste

A FAPESC, em parceria com a SDE, atualmente denominada de SEMAE, lançou, o Edital nº 32/2022, convidando Pesquisadores vinculados a ICTs para a apresentação de propostas ao referido Edital, com objetivo de fortalecer o funcionamento dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado. A UNC, juntamente com uma equipe de pesquisadores, pleiteou o Edital nº32/22 e venceram a proposta para assessorar os Comitês de Bacias Hidrográficas do Grupo Uruguai/Oeste por meio da atuação como Entidade Executiva.

Dentre as atividades do Projeto a ser executado pela Entidade Executiva Universidade do Contestado, são aquelas apresentadas no Edital supracitado e detalhadas conforme Figura 2.





**Figura 2: Escopo de Atividades da Entidade Executiva conforme Edital 32/2022.**  
**Fonte: Adaptado de Santa Catarina (2022)**

Também fora considerado para fins de cumprimento e execução das atividades da entidade executiva frente ao referido edital às orientações contidas na Nota Técnica SEMAE nº01/23, às quais deram detalhes e informações para pleno atendimento aos indicadores e micro indicadores estabelecidos no referido edital.

Todo o escopo de trabalho busca fomentar e determinar o caminho, na perspectiva da preparação para a constituição da futura Agência de Bacia. Assim, quando alcançado tal estágio, haverá recursos, condições e pessoas, para que a atuação desta instituição ocorra de modo contínuo, integrado e intenso, na perspectiva de apoiar tecnicamente e administrativamente os Comitês, bem como, de realizar intervenções na bacia hidrográfica.

### Etapa de coleta e análise dos dados

O presente trabalho tem como método a pesquisa documental, com o objetivo de investigar as informações sobre a etapa do certame de Edital lançado pela FAPESC, elaboração do plano de trabalho, mas, principalmente, sobre a etapa de operacionalização do trabalho de assessoramento pela Entidade Executiva vinculada a UNC frente a atuação dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Agrupamento Uruguai/Oeste.

Conforme descrita por Oliveira (2007), a pesquisa documental é a busca de informações em documentos que não receberam nenhum tratamento científico, como relatórios, publicações em diferentes mídias, imagens, entre outras fontes similares, ou seja, fontes primárias.

Assim, para a realização da pesquisa em questão, foram coletados dados e informações em documentos publicados e disponibilizados no Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina (SIRHESC), mas sobretudo no documento produzido pela Entidade Executiva, submetido a SEMAE com o título “Relatório Parcial Anual – Ano 01/2023”. Esta fonte está disponível nos arquivos internos da Entidade Executiva e contempla detalhadamente todas as ações executadas para cada um dos 5 Comitês de Bacia Hidrográfica assessorado, apresentando os indicadores e microindicadores e seus respectivos resultados, além de uma série de anexos contendo os comprovativos obtidos na execução das atividades referente ao ano de 2023. O relatório em questão foi elaborado e apresentado a SEMAE em meados de janeiro de 2024.

### Resultados e Discussão

Conforme previsto no Edital nº32/2022, compete à Entidade Executiva o cumprimento do escopo mínimo de atividades listado no item 2 do Anexo II, o qual será apurado por meio de 5 indicadores de desempenho que se subdividem em 8 micro indicadores, sendo estes:

**Indicador 1: Execução das Atividades Planejadas (macro).** O que mede: capacidade e agilidade na tomada de decisões para o alcance de metas da agenda de atividades.

**Microindicador 1.1: Cumprimento do Calendário de Reuniões (micro).** O que mede: número total de reuniões de quórum mensurável.

**Microindicador 1.2: Participação em Eventos (micro).** O que mede: número total de eventos, de iniciativa própria ou de terceiros, no qual haja participação de ao menos um membro do comitê de bacia hidrográfica.



Microindicador 1.3: Elaboração de Projetos dos Planos de Bacias (micro). O que mede: número total de projetos elaborados, visando o cumprimento das metas do Plano de Bacias.

Indicador 2: Avaliação pelos Membros (macro). O que mede: reconhecimento pelo Comitê das ações executadas.

Microindicador 2.1: Avaliação do Projeto pelo Comitê (micro). O que mede: atuação da Entidade Executiva sob ponto de vista do Comitê.

Indicador 3: Capacitações Técnicas (macro). O que mede: transmissão de conhecimento técnico acerca da gestão de recursos hídricos às organizações-membro dos Comitês.

Microindicador 3.1: Número de Capacitações Técnicas (micro). O que mede: quantidade de capacitações técnicas sobre conceitos relacionados à gestão de recursos hídricos, cadastro de usuários de recursos hídricos ou instrumentos de gestão ministradas, sobretudo, a representantes de organizações-membro dos Comitês de Bacias.

Indicador 4: Comunicação e Mobilização Social (macro): Mede a capacidade de veiculação de informações aos membros e aos grupos de interesse externos ao Comitê.

Microindicador 4.1: Número de Informativos (micro). O que mede: quantidade de informativos vinculados em forma eletrônica.

Microindicador 4.2: Número de Publicações em Página Eletrônica - Site Águas (micro). O que mede: quantidade de notícias postadas na página do comitê no Site Águas.

Indicador 5: Representatividade no Plenário do Comitê (macro). O que mede: capacidade de mobilização social para realização das Assembleias Gerais Ordinárias (AGOs) e Assembleias Gerais Extraordinárias (AGES).

Microindicador 5.1, Participação das Organizações-Membro do Comitê (micro): O que mede: quórum (% de participantes nas Assembleias Gerais do Comitê).

A partir dos indicadores e micro indicadores apresentados, foram estabelecidas as metas para 05 Comitês do Agrupamento Uruguai, o Quadro 1 apresenta os indicadores, micro indicadores e metas anuais para cada Comitê de Bacia Hidrográfica do Agrupamento:

**Quadro 1: Indicadores, Microindicadores e Metas Anuais por Comitê do Agrupamento Uruguai, conforme Edital FAPESC nº32/2022**

Indicador	Microindicador	Meta anual por Comitê				
		Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu	Chapecó e Irani	Jacutinga	Peixe	Canoas e Pelotas
1 - EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES PLANEJADAS O que mede: Capacidade e agilidade da tomada de decisões para o alcance de metas da agenda de atividades	Cumprimento do calendário de reuniões	8	8	8	8	10
	Participação em eventos	5	5	5	5	3
	Elaboração de projetos dos Planos de Bacias	1	1	3	1	1
2 - AVALIAÇÃO PELOS MEMBROS O que mede: Reconhecimento pelo Comitê das ações executadas	Avaliação do projeto pelo Comitê	7	7	7	7	5
3 - CAPACITAÇÕES TÉCNICAS O que mede: Transmissão de conhecimento técnico acerca da gestão de recursos hídricos	Número de capacitações técnicas	3	5	2	2	2
4 - COMUNICAÇÃO E MOBILIZAÇÃO SOCIAL O que mede: Capacidade de veiculação de informações aos membros e aos grupos de interesse externos ao Comitê	Número de informativos	8	12	10	10	6
	Número de publicações em página eletrônica – site águas	36	24	12	12	30
5 - REPRESENTATIVIDADE NO PLENÁRIO DO COMITÊ O que mede: Capacidade de mobilização social	Participação das organizações-membro do Comitê	45%	51%	51%	51%	45%

**Fonte: Adaptado de Santa Catarina (2022)**

A partir das metas estabelecidas no Edital e pactuadas entre FAPESC (agente financiador), SEMAE (Órgão Gestor Estadual de Recursos Hídricos) e Universidade do Contestado (UNC) enquanto Entidade Executiva, organizou-se de modo que fosse possível, através de esforços coletivos da equipe, tanto nos aspectos de assessoramento técnico, quanto administrativo, cumprir no ano de 2023 com todas as metas pactuadas.



Para facilitar a compreensão, os quadros serão apresentados separados, demonstrando o atingimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Agrupamento por microindicador.

Microindicador 1.1, Cumprimento do Calendário de Reuniões: As reuniões presenciais ou virtuais constituem-se em espaços privilegiados de interação, troca ou socialização de experiências entre os representantes membros e que compõem o Comitê de Bacia Hidrográfica. Ou ainda, dito de outro modo, são espaços que fortalecem as relações humanas entre os envolvidos e contribuem sobremaneira para ampliar e consolidar processos de discussões e, conseqüentemente, de mobilização entre os representantes membros do Comitê. Evidentemente, as reuniões promovem aprendizagens individuais e principalmente coletivas sobre temas atinentes aos envolvidos, além de constituir-se do espaço para que de fato os representantes discutam a gestão integrada dos recursos hídricos. Ainda: É onde Comitê de Bacia Hidrográfica materializa suas decisões e possibilita que as atribuições consultivas, deliberativas e propositivas em que a Lei Federal 9.433/ 1997 lhes confere de fato ocorram. Foram computados neste microindicador as Assembleias Gerais Ordinárias, Extraordinárias e reuniões de Câmaras Técnicas. O Quadro 2 apresenta os resultados alcançados no ano de 2023 pelos CBHs do agrupamento, referente ao Microindicador 1.1 – Cumprimento do Calendário de Reuniões.

**Quadro 2: Resultados do Microindicador 1.1 – Cumprimento do Calendário de Reuniões**

Indicador	Microindicador	Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu		Chapecó e Irani		Jacutinga		Peixe		Canoas e Pelotas	
		Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance
1 - Execução das atividades planejadas	1.1 - Cumprimento do calendário de reuniões	8	11	8	8	8	10	8	8	10	11

Fonte: Autores (2024)

Conforme os resultados apresentados no Quadro 2, todos os CBHs cumpriram com a meta anual estabelecida, e no caso dos CBHs Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu, Jacutinga e Canoas e Pelotas, a superaram, demonstrando que os Comitês se reuniram regularmente. Também é importante destacar que através do assessoramento da Entidade Executiva, tais reuniões foram possíveis, tendo em vista que cabe a mesma, elaborar os documentos, organizar o espaço da reunião, mobilizar a participação dos representantes e documentar a reunião.

Microindicador 1.2, Participação em Eventos: Participar de Eventos sobre temáticas ambientais, especialmente as que convergem ou envolvem sobretudo a gestão dos recursos hídricos, sempre são oportunas, importantes, senão, necessárias para ampliar às relações de conhecimentos dos representantes membros que compõem os Comitês de Bacias Hidrográficas. Os Eventos são oportunidades para interação, troca de informações e experiências, aprendizagens individuais e coletivas além de aproximar as pessoas e promover a integração. Nesta direção, a Entidade Executiva preocupada com a formação continuada dos representantes membro, bem como, a sociedade interessada, promoveu encontros de capacitações virtuais, mas, também presenciais, sobre temas emergentes e convergentes as questões hídricas. O Quadro 3 apresenta os resultados alcançados em 2023 pelos CBHs do Agrupamento, referente ao microindicador 1.2 – Participação em Eventos.

**Quadro 3: Resultados do Microindicador 1.2 – Participação em Eventos**

Indicador	Microindicador	Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu		Chapecó e Irani		Jacutinga		Peixe		Canoas e Pelotas	
		Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance
1 - execução das atividades planejadas	1.2 - Participação em eventos	5	10	5	6	5	12	5	8	3	6

Fonte: Autores (2024)

Os resultados apresentados no Quadro 3 atestam que todos os Comitês superaram a meta anual estabelecida, demonstrando que houve engajamento na participação dos representantes em eventos relacionados a gestão de recursos hídricos.

Microindicador 1.3, Elaboração de Projetos dos Planos de Bacias: Dentre as atividades de responsabilidade da Entidade Executiva para com os Comitês estava a elaboração de Projetos dos Planos de Bacia. Nesta direção, os referidos Projetos foram pensados, definidos e realizados cooperativamente entre a Entidade Executiva e Comitê. O Edital apresentava possibilidades de apenas submeter Projetos a órgãos de fomento afim de atingir a meta proposta. No entanto, coletivamente, dialogou-se,





principalmente com os representantes membros dos Comitês, os quais, optaram por realizar os Projetos e não apenas submetê-los a eventuais Editais, sem a certeza de que seriam ou não aprovados. Deste modo, a Entidade Executiva coordenou e executou os Projetos e, ao final do ano de 2023 os mesmos foram entregues aos cinco CBHs.

O Quadro 4 apresenta os resultados alcançados no ano de 2023 pelos CBH's do Agrupamento, referente ao Microindicador 1.3 – Elaboração de Projetos dos Planos de Bacia.

**Quadro 4: Resultados do Microindicador 1.3 – Elaboração de Projetos dos Planos de Bacia**

Indicador	Microindicador	Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu		Chapecó e Irani		Jacutinga		Peixe		Canoas e Pelotas	
		Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance
1 - Execução das atividades planejadas	1.3 - Elaboração de projetos dos Planos de Bacia	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1

Fonte: Autores (2024)

A Entidade Executiva do Grupo Uruguai/Oeste desenvolveu os seguintes Projetos:

- Comitê Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu: Apoio à criação e fortalecimento de Unidades de Conservação na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas e Afluentes Catarinense do Rio Peperi-guaçu.
- Comitê Chapecó e Irani: Identificação dos conflitos nas Áreas de Preservação Permanente (APP) da Bacia Hidrográfica do Rio Retiro.
- Comitê Jacutinga: Banco de Dados Colaborativo das Fontes de Água na Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e Contíguos.
- Comitê Peixe: Mapa Interativo: Captação de água e empreendimentos hidrelétricos na Bacia do Rio do Peixe e Bacias Contíguas.
- Comitê Canoas e Pelotas: Espacialização dos Usos da Água e Empreendimentos Hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do rio Canoas e Afluentes Catarinenses do rio Pelotas.

Em que pese que a meta anual para o CBH Peixe estabelecida pelo Edital era de 3 projetos, a mesma foi reduzida em comum acordo em Comitê, EE e SEMAE para 1 projeto, tendo em vista que a EE se comprometeu a elaborar e executar o projeto. Portanto 03 projetos seriam inviáveis e dificilmente cumpridos, perante a demanda de trabalho e outras atividades dos Comitês.

Microindicador 2.1, Avaliação do Projeto pelo Comitê: avaliação do projeto por parte das Secretarias Executivas dos Comitês é fundamental indicador dos trabalhos, pois este reflete a percepção dos Comitês de Bacias Hidrográficas quanto ao trabalho da Entidade Executiva frente ao assessoramento e fortalecimento do colegiado. Para a Entidade Executiva, o objetivo maior deste projeto é de fato contribuir para que os Comitês de Bacias Hidrográficas se estruturarem, se fortaleçam e de fato atuem como verdadeiros fóruns de discussão e deliberações para contribuir com a gestão de recursos hídricos nas bacias hidrográficas locais.

O Quadro 5 apresenta os resultados alcançados no ano de 2023 pelos CBHs do Agrupamento, referente ao Microindicador 2.1 – Avaliação do Projeto pelo Comitê.

**Quadro 5: Resultados do Microindicador 2.1 – Avaliação do Projeto pelo Comitê**

Indicador	Microindicador	Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu		Chapecó e Irani		Jacutinga		Peixe		Canoas e Pelotas	
		Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance
2 – Avaliação pelos Membros	2.1 - Avaliação do Projeto pelo Comitê	7	8,14	7	9,66	7	9,72	7	8,88	5	8,41

Fonte: Autores (2024)

A partir das notas obtidas através do preenchimento do formulário de avaliação pelas Secretarias Executivas e Presidência dos Comitês, fica demonstrado que a Entidade Executiva, desempenhou em 2023, trabalho consistente e de qualidade técnica a contento dos colegiados assessorados. Os 5 Comitês tiveram boas notas e todos superaram a meta prevista.

Microindicador 3.1, Número de Capacitações Técnicas: As capacitações foram destinadas especialmente aos



representantes de organizações-membro dos Comitês de Bacias Hidrográficas e sociedade interessada pelas temáticas apresentadas. As capacitações devem atender aos interesses e as expectativas dos representantes membro dos Comitês, bem como, deve ser uma atividade contínua, sistemática e que promova apropriação conceitual e crescimento intelectual dos participantes. Quando os representantes dos Comitês se apropriam de conhecimentos inerentes as questões hídricas, denotam-se empoderamento, qualificação e, conseqüentemente, melhores resultados ambientais e até econômicos podem ou serão alcançados.

No Quadro 6 é possível observar os resultados alcançados no ano de 2023 pelos CBH's do Agrupamento, referente ao Microindicador 3.1 – Número de Capacitações Técnicas.

**Quadro 6: Resultados do Microindicador 3.1 – Número de Capacitações Técnicas**

Indicador	Microindicador	Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu		Chapecó e Irani		Jacutinga		Peixe		Canoas e Pelotas	
		Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance
3 - Capacitações técnicas	3.1 - Número de capacitações técnicas	3	3	5	3	2	2	2	2	2	2

Fonte: Autores (2024)

No ano de 2023 as temáticas trabalhadas nas capacitações dos 5 Comitês de Bacias Hidrográficas foram:

- Monitoramento hidrológico e eventos extremos: base de dados, sistemas digitais de alerta e o papel do Comitê;
- Mediação e arbitragem de conflitos associados a implantação e operação de empreendimentos hidroelétricos;
- Enquadramento dos corpos de água: aspectos teóricos e práticos;
- Introdução a segurança de barragens e mediação de conflitos: aspectos teóricos e práticos.

Conforme apresentado no Quadro 6, a Entidade Executiva cumpriu com a meta estabelecida para o ano de 2023, com ressalva para o Comitê Chapecó e Irani, que se previa 5 capacitações e foram realizadas 3. Cabe ressaltar que assim como o microindicador 1.3 – Elaboração de Projetos dos Planos de Bacia, que para o Comitê Peixe reduziu-se a meta em comum acordo entre CBH, SEMAE e EE, foi acordado entre as mesmas partes que, para o Comitê Chapecó e Irani, a meta seria reduzida para 3 capacitações, uma vez que a meta de 5 capacitações destoava dos demais CBHs do Agrupamento, e, portanto, dificilmente seria possível ser atingida.

Microindicador 4.1, Número de Informativos: A Entidade Executiva vinculada a Universidade do Contestado (UNC) cumprindo o que apresenta o Edital 032/2022, elaborou, publicou e distribuiu de forma online os Informativos contendo conceitos, informações, dados, depoimentos, reflexões e outros. Reconhece-se que a comunicação é fundamental no processo de interação com a sociedade. Por isso, os Informativos ofereceram conhecimentos e empoderamento aos Comitês de Bacias Hidrográficas. Ainda: os Informativos são formas ou ferramentas que sintetizam ou resumem as principais notícias, informações, acontecimentos, eventos e ações realizadas nas Bacias Hidrográficas em determinado tempo ou período. A seguir, o Quadro 7 apresenta os resultados alcançados no ano de 2023 pelos CBHs do Agrupamento, referente ao Microindicador 4.1 – Número de Informativos.

**Quadro 7: Resultados do Microindicador 4.1 – Número de Informativos**

Indicador	Microindicador	Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu		Chapecó e Irani		Jacutinga		Peixe		Canoas e Pelotas	
		Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance
4 - Comunicação e mobilização social	4.1 - Número de informativos	8	8	12	12	10	10	10	10	6	6

Fonte: Autores (2024)

Conforme demonstrado através do Quadro 7, pode se observar que todos os Comitês do Agrupamento Uruguai cumpriram com a meta anual, publicando e divulgando o mesmo número de informativos que a meta prevista para cada CBH.

Microindicador 4.2, Número de Publicações em Página Eletrônica - Site Águas: As publicações de notícias referentes as ações dos CBH's e da Entidade Executiva na página eletrônica do SIRHESC é uma das maneiras de divulgar as ações dos colegiados para toda a sociedade da bacia hidrográfica. Porém, bem mais do que apresenta o Edital 032/2022, a proposta de publicar é uma das maneiras dar conhecimento, registro e visibilidade aos interessados. Trata-se de publicizar o que ocorre na Bacia Hidrográfica. Entende-se que a comunicação registrada – escrita e publicada é uma modalidade de diálogo com o Órgão Gestor do Estado, bem como, com os interessados.



O Quadro 8 apresenta a meta e o alcance, por Comitê de Bacia Hidrográfica do Grupo Uruguai do microindicador 4.2– Número de Publicações em Página Eletrônica – Site Águas.

**Quadro 8: Resultados do Microindicador 4.2 – Número de Publicações em Página Eletrônica – Site Águas**

Indicador	Microindicador	Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu		Chapecó e Irani		Jacutinga		Peixe		Canoas e Pelotas	
		Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance
4 - Comunicação e mobilização social	4.2 – Número de publicações em página eletrônica	36	52	24	55	12	51	12	39	30	40

Fonte: Autores (2024)

De acordo com o exposto no Quadro 8, a Entidade Executiva em atendimento aos CBHs não só cumpriu com a meta de publicações no Sistema de Informações de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina, como superou em grande número, demonstrando que houve ativa participação do setor de comunicação social do Projeto.

Microindicador 5.1, Participação das Organizações-Membro do Comitê: De acordo com os regimentos internos dos Comitês, as Assembleias Gerais Ordinárias (AGOs), e Assembleias Gerais Extraordinárias (AGEs), bem como, as reuniões de Câmaras Técnicas, necessitam ter quórum mínimo de participação dos representantes membros do Comitê de Bacia Hidrográfica para dar legitimidade as decisões tomadas pela plenária. Nesta direção, a Entidade Executiva do Grupo Uruguai/Oeste sempre atuou de modo contínuo e sistemático, no sentido de mobilizar intensamente os representantes membros dos Comitês, para que os mesmos participassem das Assembleias e outras reuniões. A Entidade Executiva deve assessorar os Comitês de modo que possibilite que as atribuições consultivas, deliberativas e propositivas em que a Lei Federal 9.433/ 1997 lhes confere de fato ocorram. O Quadro 9 apresenta a meta e o alcance por Comitê de Bacia Hidrográfica do Grupo Uruguai do microindicador 5.1– Participação das Organizações-membro do Comitê.

**Quadro 9: Resultados do Microindicador 5.1– Participação das Organizações-membro do Comitê**

Indicador	Microindicador	Antas e Afluentes do Peperi-Guaçu		Chapecó e Irani		Jacutinga		Peixe		Canoas e Pelotas	
		Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance	Meta	Alcance
5 - Representatividade no plenário do Comitê	5.1 -Participação das organizações - membro do Comitê	45%	73%	51%	83%	51%	68%	51%	77%	45%	62%

Fonte: Autores (2024)

No ano de 2023, todos os Comitês de Bacias Hidrográficas do Agrupamento Uruguai, cumpriram com a prerrogativa regimental, ou seja, realizaram Assembleias (Ordinárias e Extraordinárias) e reuniões de Câmara Técnica ao longo do ano. As reuniões foram realizadas na modalidade presencial, híbrida e virtual, de acordo com a demanda de cada reunião e cada CBH. Conforme demonstrado no Quadro 9, os Comitês de Bacias Hidrográficas tiveram média de quórum no ano de 2023 superior à meta preconizada no Edital nº 32/22, demonstrando boa participação e envolvimento das organizações-membro.

### Considerações finais

As Entidades Executivas (EEs) são organismos para mobilizar, organizar e assessorar o processo de fortalecimentos dos Comitês de Bacias Hidrográficas, os quais, têm a função social e ambiental estratégica, no sentido de serem as agentes de vanguarda, mobilizadores e articuladores dos diferentes segmentos da sociedade, integrados às bacias hidrográficas. Além disso, na condição de agentes de atuação, possuem a função estratégica de mobilizar o poder público, os usuários de água e a sociedade civil em geral, conforme preconiza a PNRH, que reforça a necessidade do cuidado e a boa gestão das águas nas Bacias Hidrográficas.

O fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas catarinenses, especialmente do Agrupamento Uruguai/Oeste, alinha-se, também, a outros e todos movimentos da área hídrica em curso, em prol de projetos ou ações de integração da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai em nível do Mercosul (Brasil, Argentina e Uruguai), como uma das formas de estabelecer cooperação e contribuições na gestão dos recursos hídricos transfronteiriços.

A experiência destacada neste artigo demonstra a importância crucial da atuação da EE na colaboração com os CBHs do Grupo Uruguai. Ao longo do estudo, ficou evidente o papel fundamental desempenhado pela Entidade na articulação,





mobilização e implementação de ações em prol da gestão eficaz dos recursos hídricos nessa região.

Os expressivos números apresentados para o ano de 2023 refletem o compromisso e a dedicação no assessoramento de um grande número de reuniões técnicas, de eventos relacionados à temática, na elaboração e execução de projetos alinhados às metas de curto prazo dos planos de recursos hídricos, e a realização de diversas capacitações técnicas e atividades de comunicação, sendo avaliada pelos comitês do agrupamento de forma positiva, fato demonstrado na nota atribuída à entidade executiva.

A atuação da Entidade Executiva neste território, vinculada a UNC, apresenta-se como uma extensão do Estado junto à comunidade regional, a qual, contribui no processo de articulação, mobilização para que os CBHs tenham legitimidade, suporte mínimo e realizem movimentos no contexto da gestão, preferencialmente integrada das águas regionais.

Diante disso, destaca-se a importância contínua do fortalecimento e da qualificação destes colegiados, por meio da articulação, mobilização e implementação de ações coordenadas. A continuidade desse processo é fundamental para assegurar o aprimoramento e amadurecimento da atuação dos seus representantes, visando a melhoria da gestão socioambiental, sustentabilidade e a preservação dos recursos hídricos das regiões hidrográficas do Estado.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a UNC por meio da Entidade Executiva pelo interesse em contribuir com o processo de gestão das águas e a oportunidade ofertada à equipe de pesquisadores para desenvolver o assessoramento aos Comitês e realizar este trabalho. Agradecimento aos Comitês Canoas e Pelotas, Peixe, Jacutinga, Chapecó e Irani e Antas e Afluentes do Peperi-guaçu pela confiança no trabalho realizado. Agradecimento a FAPESC e SEMAE pela oportunidade ensejada por meio do Edital de Fortalecimento dos Comitês de Bacia Hidrográfica. Agradecimento especial a todos os colegas da Entidade Executiva pela parceria e comprometimento em todas as etapas da execução do trabalho capitaneado pela UNC junto aos 5 Comitês de Bacias do Agrupamento Oeste/Uruguai.

## Referências Bibliográficas

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm). Acesso em: 4 maio 2024.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE SANTA CATARINA. **Resolução nº 19, de 19 de setembro de 2017**. Diretrizes gerais para instituição, organização e funcionamento dos Comitês de Bacia Hidrográfica integrantes do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Florianópolis, 2017. Disponível em: [http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/mvs/conselho/resolucao/Resolucao\\_CERH\\_n\\_019\\_estabelece\\_diretrizes\\_comites.pdf](http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/mvs/conselho/resolucao/Resolucao_CERH_n_019_estabelece_diretrizes_comites.pdf). Acesso em: 11 maio 2024.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E INOVAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA – FAPESC. **Edital de chamada pública FAPESC nº 032/2022**. Programa de fortalecimento dos comitês de bacias hidrográficas de Santa Catarina. Florianópolis, 2022. Disponível em: [https://fapesc.sc.gov.br/wpcontent/uploads/2022/08/cp\\_fapesc\\_sde\\_32\\_2022\\_recursos-hidricos.pdf](https://fapesc.sc.gov.br/wpcontent/uploads/2022/08/cp_fapesc_sde_32_2022_recursos-hidricos.pdf). Acesso em: 4 maio 2024.

OLIVEIRA, M. M. **Como fazer pesquisa qualitativa**. Petrópolis: Vozes, 2007.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. **Transformando nosso futuro: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Nova York, 2015.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Síntese. Florianópolis, 2017. Disponível em: [http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa\\_e/perh\\_sc\\_plano\\_de\\_acoes-2017-final.pdf](http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa_e/perh_sc_plano_de_acoes-2017-final.pdf). Acesso em: 2 maio 2024.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Economia Verde. SEMAE/SC. **Nota Técnica nº 01/2023**. Orientações para atuação das entidades executivas junto aos comitês de bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 2023.



## ENVIRONMENTAL SANITATION IN SLUMS: CASE OF THE FAVELA BEIRA-RIO

**1Juliana Fernandes Farias, 2Rafael Soares Gonçalves**

*1 Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Pontifícia Universidade Católica-PUC/Rio, e-mail: farias.juliana@gmail.com; 2 Professor Associado II Doutor da Pontifícia Universidade Católica-PUC/Rio, e-mail: rafaelsgoncalves@yahoo.com.br*

**KeyWords:** Environmental Sanitation; Urban Environmental Management; Sustainable Development.

### Abstract

The 2030 Agenda, from the United Nations (UN) is an action plan for people, for the planet, and for prosperity, composed of 17 Sustainable Development Goals (SDGs). Among them, we find "ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all", and "Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable".

The traditional conception of Sanitation Networks in urban areas, which consists of a system that supplies water demand, collects urban sewage from households, industries, businesses, etc., up to a treatment point for subsequent release into a body of water. In cities such as Rio de Janeiro, this system does not always fulfill its role, because during this path rainwater, solid waste and clandestine sewage connections may enter. Moreover, the collected sewage will not always be taken to a treatment plant suitable for this type of effluent, being often released directly into the water body.

It is necessary to rethink this traditional urban management, that is done in a centralized manner, based on technical studies, which decide the best alternatives to address a problem in a region. The sanitation cycle should propose new solutions, the involvement of society and public policies aimed at developing the system appropriate to the reality of the city of Rio de Janeiro and its slums.

Social control and decentralization, which are principles of Federal Law No. 14.026/2020, which establishes the national guidelines for basic sanitation, and the Water Law, Federal Law No. 9.433/97, allow understanding the problem considering in urban solutions the needs perceived by the population affected by the problem, and thus better adapt urbanization programs to local reality.

The historical contextualization of the slum urbanization theme made it possible to expose in a structured way the topics and principles for the application of this mechanism of participation and social inclusion, which are present both in the legislation related to water and sanitation and in the urban policy instruments, together with the approach of several national and international authors, as well as their respective approaches on the issue, facilitating the understanding of the discussed theme.

The Beira-Rio favela in Recreio dos Bandeirantes, object of this study, is called Canal do Cortado by "Sistema de Assentamentos de Baixa Renda" (SABREN) and is located near Avenida das Américas and Avenida Salvador Allende, in a prime area of the city, and, coveted by agents of real estate speculation in Rio de Janeiro. The community is part of the Canal do Cortado, one of the tributaries of the Marinho River, which flows into the Jacarepaguá lagoon.

Due to the coronavirus pandemic between 2020 and 2021, it was not possible to conduct a face-to-face interview with the community residents. However, a virtual questionnaire was made available, and then the answers chosen were analyzed as a solution to evaluate ways to build environmental citizenship practices among the residents of the Beira-Rio favela.

Analyzing the existing system, its main deficiencies regarding sanitation and environmental quality, and presenting the results of the questionnaire answered by the slum inhabitants. Also was approached the need for future forecasts for the expansion of the system, in relation to the population growth of this slum, considering that it is currently not complete, despite investments from municipal urbanization programs.

This study proposes to observe the benefits that can be promoted in terms of environmental management, urban planning and citizenship, to reduce the environmental impact of the slum, meeting both the mentioned SDGs and Federal Laws No. 14.026/2020 and No. 9.433/97, recovering the environmental quality in that stretch of the Cortado River.

Specifically, it aimed to observe the benefits promoted by social control in terms of environmental management and urban planning, which enable better results from environmental sanitation systems. It also sought to make progress in relation to the themes proposed by the Sustainable Development Goals (SDGs) 6 and 11 in the United Nations (UN) Agenda 2030, "Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all and everyone" and "Sustainable Cities and Communities - Making cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable", respectively, which further motivates the effort to improve the dialogue between population, service providers and urban planners.

By integrating critical environmental education with practical environmental citizenship, we aim to address social inequalities and the environmental challenges they pose. This approach fosters critical thinking and empowers the population to actively address vulnerabilities resulting from environmental degradation, moving beyond traditional notions of environmental preservation.





### Introduction

The city of Rio de Janeiro has a historical social inequality between and within its neighborhoods, generating a large negative impact on the lives of its inhabitants. Although its urbanization is old, it still presents several fragile aspects that demand a lot of attention from urban planners, as is the case of parts of the city such as the slums. Even if one observes the creation of several municipal programs aimed at the urbanization of these spaces in the last decades, they have not been able to develop at the pace of the necessary demand.

According to information present in IBGE census conducted in 2010, along with information presented by the Instituto Pereira Passos (IPP), Rio's favelas had about 1,434,975 inhabitants in 2018, corresponding to 22% of the population present in the municipality. A total of 453,571 households were classified as subnormal settlements, equaling 19.28% of the total number of households in the city.

The State Company for Water and Sewage (CEDAE), which was in the process of privatizing its services, were responsible for sanitation in the municipality of Rio de Janeiro, operating six Sewage Treatment Plants (ETE) and two submarine outfalls (CEDAE, 2021). There are also some private stations in condominiums and shopping centers and the data are not disclosed. However, according to the IBGE, in 2010, there were 1,639 households in the city of Rio de Janeiro without a bathroom or toilet, which is extremely harmful to the population's health, and impacts the city's water resources. The volume of sewage collected in the city by CEDAE reaches 509,647 m<sup>3</sup>, and the treated, 339,473 m<sup>3</sup>, about 67% (SNIS, 2019), demonstrating that the sewage system is not keeping up with the city's expansion or the growth of its population. Thus, it becomes urgent investments and compatible planning for a quality service provision within Rio's reality.

The sanitary sewage system in Barra and Jacarepaguá was already implemented by CEDAE in most of the region and connected to the Barra Outfall (CEDAE, 2019). However, there is still an advanced stage of deterioration and eutrophication covering the Lagunar de Jacarepaguá complex. According to the monthly monitoring conducted in the waters of the Lagoa by the State Environmental Institute (INEA), between the years 2010 and 2020, discharges made by several point and diffuse sources were identified in the local stormwater galleries and are from the existing activities in that region (INEA, 2013).



**Figure 1: Study Area Location: Beira-Rio Favela (Cortado River Canal).**

The Beira-Rio favela in Recreio dos Bandeirantes, object of this study, is called Canal do Cortado by Sistema de Assentamentos de Baixa Renda (SABREN) and is located near Avenida das Américas and Avenida Salvador Allende, in a prime area of the city, and, coveted by agents of real estate speculation in Rio de Janeiro. The community is part of the Canal do Cortado, one of the tributaries of the Rio Marinho, which flows into the Lagoa de Jacarepaguá.

### Material and Methods

This research aimed to observe the benefits promoted by social control in terms of environmental management and urban planning, which enable better results from environmental sanitation systems. It also sought to make progress in relation to the themes proposed by the Sustainable Development Goals (SDGs) 6 and 11 in the United Nations (UN) Agenda 2030, "Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all and everyone" and "Sustainable Cities and Communities - Making cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable", respectively, which further motivates the effort to improve the dialogue between population, service providers and urban planners.





Once the local reality of the Beira Rio favela is known, based on this information about the sanitation services in the region and the environmental problems, strategies will be created to present the participative urban environmental management actions to be proposed together with the population. In this way, the establishment of a dialogue channel between the population, the service providers and the government will be able to lead to the offer of a service that can meet the reality of the population and improve its environmental quality in this part of the Lagoa de Jacarepaguá in particular.

According to the definition of the Sanitation Law (Federal Law No. 14.026/2020), sanitation that includes the set of services, infrastructure and operational facilities for: a) drinking water supply, b) sanitary sewage, c) urban cleaning and management of solid waste, d) drainage and management of urban rainwater, it was presented the Basic Sanitation Cycle.

Associating critical environmental education with a practical environmental citizenship, one seeks to face social inequalities and the environmental problems caused by them, creating a critical sense and motivating the protagonism of the population to deal with the vulnerabilities caused by environmental degradation, going beyond conservative concepts of environmental preservation.

As for legislation and urbanism concepts, the definition of subnormal agglomeration used by the IBGE to classify Beira Rio (Canal do Cortado) stands out. Other important instruments that help to organize and plan the urban territory in terms of developing basic sanitation projects in deprived areas such as slums are City Statute, Master Plan and other federal, state and municipal legislations that guide in an interdisciplinary way on the subject.

Despite this history of existence of several programs and resources for slum urbanization, the follow-up and maintenance of improvements after implementation have not achieved good results over the years (Figure 2). They also lack universalization in all communities in Rio de Janeiro. Furthermore, there is an urgent need to review ways to provide sustainable development after urbanization is completed. From this point on, there is a need for the population to participate in the evaluation of what needs to be changed in new programs with this purpose and the demand for their greater involvement through environmental citizenship.



**Figure 2: A) Accumulated Garbage in Beira-Rio; B) Garbage and Sewage into the Cortado River Canal (2019).**

The Dry Sewer Capture (CTS) proposed in the lagoons' sanitation and environmental recovery plan, as well as the already existing River Treatment Unit (UTR) in Arroio Fundo, represent a mitigating alternative and not a control one for the points where polluting loads are released into these waters. However, according to von Sperling (2005), they can be adopted as intermediate treatment steps until the goal of complete sewage treatment is consolidated for the whole basin, before discharge, and having a deadline established for the conclusion of the final stage in the sanitation service concession contracts.

The search for the fulfillment of the goals of the SDGs must consider the reality of cities like Rio de Janeiro, which has several challenges related to disorderly growth, which, in turn, was not accompanied by the necessary urbanization. Therefore, the proposal of mechanisms that can generate the universalization of sanitation, along with the awareness of the poorest population about the need to reduce the environmental impact in the places where they live, which is only possible with environmental education programs, popular participation in decisions and investments compatible with the development of this population.

### Results and Discussion

The traditional conception of Sanitation Networks in urban areas consists of a system that supplies water demand, collects urban sewage from households, industries, businesses, etc., up to a treatment point for subsequent release into a body of water (LIBRALATO; GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012). In cities such as Rio de Janeiro, this system does not always fulfill its role, because during this path rainwater, solid waste and clandestine sewage connections may enter. Moreover, the collected sewage will not always be taken to a treatment plant suitable for this type of effluent, being often released directly into the water body. At this point, it is necessary to rethink the sanitation cycle with new solutions and the involvement of society with public policies aimed at developing the system appropriate to the reality of the city of Rio de Janeiro and its slums.

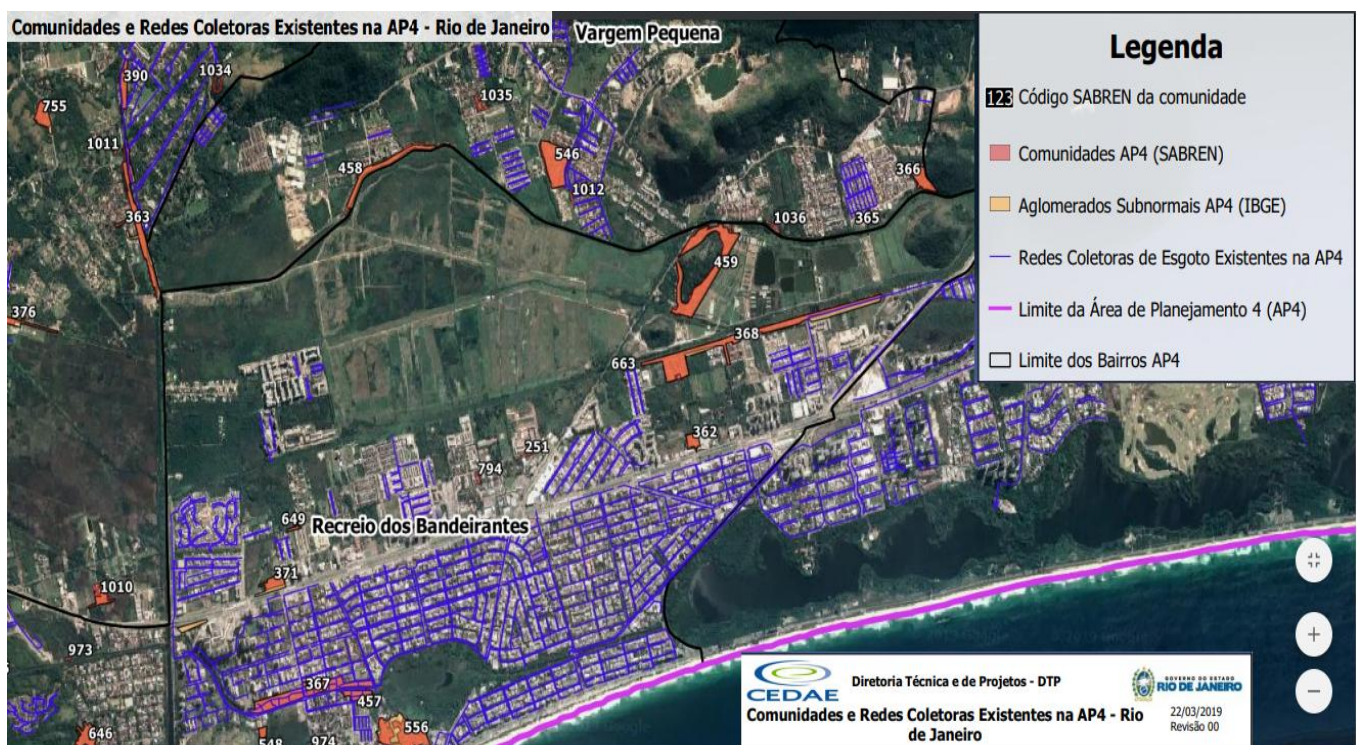




However, according to von Sperling (2005), it can be adopted an intermediate treatment step until the goal of complete sewage treatment is consolidated for the whole basin, before discharge, and having a deadline established for the conclusion of the final stage in the sanitation service concession contracts.

The lack of existing infrastructure made it possible to include the Beira-Rio slum in the Bairro Maravilha Oeste Program to receive urbanization works, such as the construction of a court and the paving of eight streets. In addition, the proximity to the Cortado Chanel brings another serious problem to the area: flooding. These are caused by the overflowing of the canal, which is silted up by solid waste and sewage dumping, which causes several inconveniences to the residents. Although the collection by the Municipal Urban Cleaning Company (COMLURB) is regular, there is land in the community that is used as a disposal point and accumulates waste, which is then carried to the river by rain runoff, hindering the flow of the canal. The direct dumping of waste into the Canal do Cortado by the residents accelerates the silting up process. Also, the proximity of the houses to the river makes the execution of drainage projects difficult.

As a case of study, Beira Rio slum (368 SABREN number), analyzing its existing system (Figure 3), its main deficiencies regarding sanitation and environmental quality, and presenting the results of the questionnaire answered by the slum inhabitants. Also was approached the need for future forecasts for the expansion of the system, in relation to the population growth of this slum, considering that it is currently not complete, despite investments from municipal urbanization programs.



**Figure 3: Existing Collector Network in AP4 (AGENERSA, 2019).**

The residents' responses to the virtual questionnaire between October 2020 and February 2021 demonstrate that very little has changed in the community compared to 2010, despite the urbanization project in the Maravilha Oeste neighborhood. 23% of the favela households still lacked bathrooms, and 55% of sewage was discharged into rivers, lakes, or the sea without any treatment. Of the total 19 respondents, 10 reported that their household sewage was still directly released into the river, 5 said their sewage was connected to the CEDAE network, and 4 confirmed using septic tanks. The presence of sewage in the streets remains one of the main challenges faced by residents.

32% of households were not served by the public network, and only 1 household collected rainwater. It's important to consider that the use of wells or springs on a property must be regulated by Inea (State Environmental Institute), ensuring sustainable practices to avoid contamination and negative impacts on both groundwater and utilized springs.

In response to the survey questions, 18 individuals reported having a connection to the street water supply network, while only 1 person was unsure of their water source.

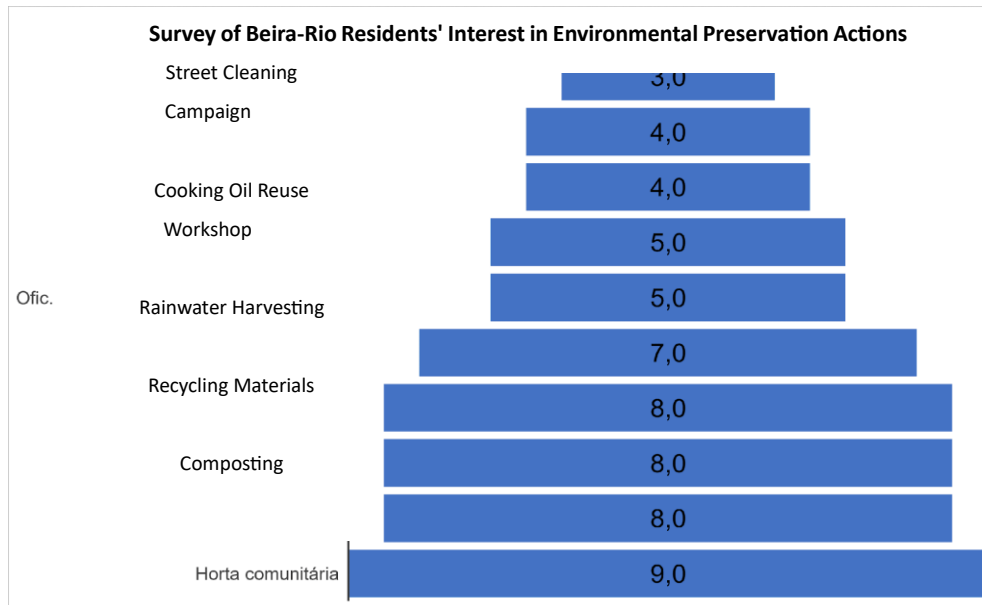
99% of favela households were served either by garbage collection or COMLURB dumpsters and all residents who responded to the questionnaire agreed that there is weekly garbage collection in Beira-Rio. However, the satisfaction with this service was perceived as unsatisfactory by some of them. Six residents rated the cleanliness service with a satisfaction level of 1 or 2.

Another issue highlighted by residents in their responses regarding the favela's urban cleanliness needs is the absence of community street sweepers. This exacerbates the problem of waste accumulation in vacant lots, streets, rivers, lakes, or the sea.



The estimated population of Beira-Rio would be approximately 7,420 inhabitants in 2030. Therefore, the generation of solid waste would be 62,968 kg/day (3 tons/day), resulting in 9,646 kg/day of waste.

The Graph 1 presents residents' responses regarding their interest in participating in environmental preservation activities, with greater adherence to community gardens (9), solar energy utilization alternatives (8), tree planting (8), and river cleaning campaigns (8). Other options, collectively considered important for broader results, could be incentivized through stimuli for residents, such as concerts or recreational activities for children.



**Graph 1 - The Survey of Beira-Rio Residents' Interest in Environmental Preservation Actions.**

It is also understood that the questionnaire sample size was not representative, which means these responses are recorded based on what the collaborating residents consider important for the favela. Although it cannot be presented as statistically sufficient to characterize the community, the analyzed sample demonstrates that residents are interested in environmental preservation projects within the favela. They could engage in such actions if proposals were made during urbanization and sanitation works, as well as projects related to lagoon depollution and the development of critical environmental education in the communities.

Finally, the necessity of developing a permanent process of involvement of the local population by providing information and constituting spaces for participation and dialogue related to the improvement of environmental conditions, and consequently, the urban, social and sustainable development of the Beira Rio slum area, without competing with the traditional technical solutions that already exist or that may be implemented such as the Dry Sewer Capture and River Treatment Units. In a process of universal sanitation and future urbanization, it is necessary, according to the projected growth of the territory occupied by this slum, to make this methodology suitable for the urban planning process that meets the UN Sustainable Development Goals (SDGs), as well as it should seek to prepare the region to face possible effects of rising oceans and droughts caused by climate change.

### Final Considerations

From the historical contextualization of the slum urbanization theme, it was possible to expose in a structured way the topics and principles for the application of this mechanism of participation and social inclusion, which are present both in the legislation related to water and sanitation and in the urban policy instruments, together with the approach of several national and international authors, as well as their respective approaches on the issue, facilitating the understanding of the discussed theme.

It was also discussed how Sustainable Development Goals 6 and 11 can help to ensure that places that are not yet served by sanitation will participate in decisions in the urban planning context by 2030. It was also discussed how critical environmental education should be embedded in the reality of the slum to drive change and access to water, sewage, drainage, and waste management services.

Due to the coronavirus pandemic between 2020 and 2021, it was not possible to conduct a face-to-face interview with the community residents. However, a virtual questionnaire was made available, and then the answers chosen were analyzed as a solution to evaluate ways to build environmental citizenship practices among the residents of the Beira-Rio favela.

It must be emphasized that all the efforts for the urbanization and universalization of sanitation in the favela of Beira-Rio, or in any other community in Rio de Janeiro, will only produce an improvement in the environmental quality when other sources of pollution are controlled, such as the sewage disposal by condominiums, hotels and shopping centers in the region and other diffuse sources that cause the eutrophication of the lagoons.





The effort to include social participation of favela residents in sanitation and urbanization projects must go beyond a mere agenda, with public hearings conducted to explore conservative solutions. Practical transformation of urbanization and sanitation projects will be achieved through dynamic dialogue and proposed solutions, aiming not only for service universalization and necessary recovery and conservation of the physical environment, fauna, and flora but also sustainable development for the community. It should generate alternatives for local economic and household activities. Sustainable development should extend beyond the physical environment, reaching residents of neighborhoods and favelas benefiting from sanitation and urbanization programs. Once a means of enabling social mobilization among local groups is found, managing new sustainability actions and environmental education campaigns becomes easier, leading to progress toward the goals and indicators proposed by the UN's 2030 Agenda Sustainable Development Goals (SDGs). All of this, combined with other forums and channels of participation established during these actions, also contributes to social control, enabling faster and more decisive action by oversight bodies and other stakeholders involved in social control.

Although observed as new concepts, the theoretical foundation and the referential presented, environmental citizenship and social control in slum environmental sanitation projects in the urban context can successfully contribute to resilience in large cities, which face the problems of social inequality and urban land distribution.

### References

Abduche C. Chegou a Hora do Saneamento. Caderno IERBB – Vozes para o Saneamento Básico / Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro, CAO Meio Ambiente e Patrimônio Cultural, Rio de Janeiro, 2020, p. 43-45. Disponível em: [https://www.mprj.mp.br/documents/20184/1352969/revista\\_ierbb\\_vozesparaosaneamento\\_final.pdf](https://www.mprj.mp.br/documents/20184/1352969/revista_ierbb_vozesparaosaneamento_final.pdf). Acesso em: 14 jan. 2021.

Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA). O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz? Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, Brasília, DF, v. 1, 2011. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>. Acesso em: 14 out. 2020.

Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio De Janeiro (AGENERSA). Relatório Técnico Bacia Zona dos Canais. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/consultapublica/E220071452019-complexolagunar/proposta/relatoriozonadoscanais.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Comunidades e Redes Coletoras Existentes na AP4 - Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/consultapublica/E220071452019-complexolagunar/proposta/comunidades.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2020.

\_\_\_\_\_. Sistema De Esgotamento Sanitário Da Área De Planejamento 4 Da Cidade Do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em <http://www.agenersa.rj.gov.br/documentos/consultapublica/E220071452019-complexolagunar/Apresentacao-audiencia-publica-AP4-07-05-2019.pdf>. Acesso em 13 nov. 2020.

Bastos, V. P.; Oliveira, M. U. A. A Política Nacional de Resíduos Sólidos e seus 10 anos de execução: balanço dos avanços e retrocessos. Letra Capital Editora, 2021.

Brasil. Ministério das Cidades. Panorama do saneamento básico no Brasil: visão estratégica para o futuro do saneamento básico no Brasil. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2011b. v. VI. Disponível em: [https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab/panorama\\_vol\\_06.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab/panorama_vol_06.pdf). Acesso em: 7 set. 2020.

\_\_\_\_\_. Lei n.º 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei n.º 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm). Acesso em: 13 jul. 2020.

\_\_\_\_\_. Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei n.º 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF: Presidência da República, 2007. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm). Acesso em: 24 set. 2021.

\_\_\_\_\_. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso: Acesso em 14 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº



8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Presidência da República, 1997.

\_\_\_\_\_. Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm) Acesso em: 27 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Panorama do saneamento básico no Brasil: elementos conceituais para o saneamento básico. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2011a. v. I. Disponível em: [https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab/panorama\\_vol\\_01.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab/panorama_vol_01.pdf). Acesso em: 7 set. 2020.

\_\_\_\_\_. Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR). Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). Brasília, DF: Ministério de Desenvolvimento Regional, 2014. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao\\_Conselhos\\_R\\_esolu%C3%A7%C3%A3o\\_Alta\\_-\\_Capa\\_Atualizada.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao_Conselhos_R_esolu%C3%A7%C3%A3o_Alta_-_Capa_Atualizada.pdf). Acesso em: 13 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional do Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS 2019): série histórica. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 14 abr. 2020.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional do Saneamento. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2005.

Carvalho, R. P. B.; Silva, A. J. O. Análise Multitemporal Da Qualidade Da Água Da Lagoa De Jacarepaguá (Município Do Rio De Janeiro, RJ). Revista Uniabeu, [S. l.], v. 10, n. 24, 2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/268395867.pdf>. Acesso em: 14 set. 2020.

Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio De Janeiro (CEDAE). Estações de tratamento de esgotos. Rio de Janeiro: Cedae, [2021]. Disponível em: [https://www.cedae.com.br/conheca\\_centros](https://www.cedae.com.br/conheca_centros). Acesso em: 30 nov. 2020.

Gonçalves, R. S. Favelas do Rio de Janeiro: história e direito. Rio de Janeiro: Pallas/Ed. PUC-Rio, 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Aglomerados subnormais. Brasília, DF, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15788-aglomerados-subnormais.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 7 jun. 2020.

Instituto Estadual de Ambiente (INEA). Boletim Consolidado De Qualidade Das Águas Da Região Hidrográfica V - Baía De Guanabara Bacia Do Sistema Lagunar De Jacarepaguá: Resultados Referentes Ao Ano De 2019. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/01/Consolidado-2019-RH-V-SLJ.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Boletim De Qualidade Das Águas Da Região Hidrográfica V - Baía De Guanabara Bacia Do Sistema Lagunar De Jacarepaguá: nº 2 – novembro/2020. [S. l.], 2020. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/12/Boletim-IQA-RH-V-Bacia-do-Sistema-Lagunar-de-Jacarepagu%C3%A1-2020-N2.pdf>. Acesso em 13 de jan. de 2021.

\_\_\_\_\_. Qualidade das Águas por Região Hidrográfica (RHs). [S. l.], 2013. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-das-aguas-por-regiao-hidrografica-rhs/>. Acesso em: 24 set. 2021.

Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP). Uso do Solo 2016. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://www.data.rio/datasets/uso-do-solo-2016/explore?location=-22.945362%2C-43.398030%2C12.29>. Acesso em: 13 ago. 2020.

Instituto Trata Brasil (ITB). ITB lança estudo sobre investimentos em saneamento para o futuro. [S. l. s. n.], 2020. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2020/11/26/itb-lanca-estudo-sobre-investimentos-em-saneamento-para-o-futuro/> Acesso em: 17 jan. 2021.

Organização das Nações Unidas (ONU). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, [S. l.], 2015. Disponível em:



[http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil\\_Amigo\\_Pesso\\_Idosa/Agenda2030.pdf](http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf). Acesso em: 29 set. 2021

Pereira, R. H. M. et al. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis: o que mostra o retrato do Brasil? Brasília, DF: Ipea, 2019. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/190612\\_cadernos\\_ODS\\_objetivo\\_11.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/190612_cadernos_ODS_objetivo_11.pdf). Acesso em: 24 de jul. de 2021.

Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (PC-RJ). Revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Planejamento Urbano, 2021. Disponível em: <https://planodiretor-pcrj.hub.arcgis.com/pages/diagnostico-3>. Acesso em: 29 set. 2021.

\_\_\_\_\_. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, julho 2021. Disponível em: [http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/13305794/4334422/PMGIRSVERSAO12\\_08\\_21.pdf](http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/13305794/4334422/PMGIRSVERSAO12_08_21.pdf). Acesso em: 15 ago. 2021.

\_\_\_\_\_. Plano Municipal De Saneamento Básico Da Cidade Do Rio De Janeiro – Drenagem E Manejo De Águas Pluviais Urbanas. Rio de Janeiro: Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, dezembro 2015. Disponível em: [https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/5302963/4152314/PMSB\\_DRENAGEMEMANEJODEAGUASPLUVIAIS.pdf](https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/5302963/4152314/PMSB_DRENAGEMEMANEJODEAGUASPLUVIAIS.pdf). Acesso em: 28 abr. 2021.

Santos, G. R.; Kuwajima, J. I. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Brasília, DF: Ipea, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9329>. Acesso em: 25 jul. 2021.

Santos, M. R. Evolução Temporal da Eutrofização no Complexo Lagunar de Jacarepaguá. Projeto de Graduação. (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://drhima.poli.ufrj.br/images/documentos/tcc/2015/mariana-rodrigues-2015.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2020.

Silveira, R. B; Heller, L.; Rezende, S. Identificando correntes teóricas de planejamento: uma avaliação do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 47, n. 3, p. 601-622, maio-jun. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/xvvQyhhv5BPLwQykwfQG9Cz/?lang=pt>. Acesso em: 23 jul. 2021.

Sistema de Assentamentos de Baixa Renda (SABREN). Resumo. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.data.rio/apps/sabren/explore>. Acesso em: 14 maio 2021.

Torres, N. S. F. S. Desenvolvimento sustentável no estado democrático de direito: atendimento à agenda 2030 da ONU por meio da regularização fundiária urbana. Revista da SJRJ, Rio de Janeiro, v. 23, n. 46, p. 107-136, jul.-out. 2019. Disponível em: <http://revistaauditorium.jfrj.jus.br/index.php/revistasjrj/article/view/245>. Acesso em: 18 jun. 2020.

Universidade Federal do Rio De Janeiro (UFRJ). Análise da Viabilidade Técnica e Econômica da Implantação de Estruturas de Captação de Esgotos Sanitários em Tempo Seco CTS e de Tratamento de Deflúvios Poluídos (UTR) no Âmbito da Área de Planejamento-4 da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: [s. n.], 2018.

Von S. M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.





# ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO COMO INDICADOR DE SERVIÇOS AMBIENTAIS: BIOMA MATA ATLÂNTICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

1Camila Peixoto de Oliveira, 2Weslei Peter de Oliveira, 3José Luiz de Medeiros,  
4Ofélia Queiroz Fernandes Araújo

1 Programa de Engenharia Ambiental da UFRJ, e-mail: camila.oliveira@poli.ufrj.br; 2 ProPEd - UERJ, e-mail: wesleipeter@hotmail.com; 3 Programa de Engenharia Ambiental da UFRJ, e-mail: jlm@eq.ufrj.br; 4 Programa de Engenharia Ambiental da UFRJ, e-mail: ofelia@eq.ufrj.br

**Palavras-chave:** estoque de carbono orgânico do solo; serviço ambiental; sequestro de carbono e clima; políticas públicas.

## Resumo

O trabalho apresenta resultados de pesquisa em estoque de carbono orgânico do solo (COS) como possível apoio a políticas públicas. O COS é aplicado como indicador de serviço ambiental (AS) de Sequestro de Carbono e Clima (SCC) no Bioma Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro (BMARJ). Com recorte inicialmente para os municípios de Petrópolis, Magé e Paty de Alferes, selecionados por proximidade, o estudo compara os municípios visando, em etapa futura, identificar políticas públicas que tenham promovido diferenças ou que possam ser adotadas para recuperar AS e SCC do BMARJ. O método de análise baseia-se em PARRON et al (2015) e VASQUES et al. (2017), com adaptações metodológicas baseadas em revisão da literatura. A análise utiliza na construção da base de dados o Mapa de Estoque de Carbono Orgânico do Solo (COW) a 0-30 cm do Brasil, construído pela EMBRAPA (VASQUES et al., 2017). Visando identificar correlações entre COS, AS e SCC, o trabalho desenvolve novos mapas para densidade demográfica, cobertura vegetal e uso do solo nos três municípios investigados.

## Introdução

As atividades antrópicas afetam os serviços ecossistêmicos tornando necessária a avaliação e a monitoração para a proposição de medidas de políticas públicas para mitigação de seus impactos principalmente via práticas de manejo e conservação. As alterações na utilização e cobertura da terra afetam diversos componentes ambientais, impactando diretamente sua capacidade de prover bens e serviços para a sociedade. Citam-se sete impactos relevantes para políticas públicas:

(1) Biodiversidade - a conversão de habitats naturais em áreas agrícolas, urbanizadas ou industriais muitas vezes resulta na perda de habitats, dificultado a oferta de serviços pelos ecossistemas, como polinização, controle de pragas e manutenção da diversidade genética;

(2) Qualidade da Água - A mudança no uso da terra (e.g., desmatamento e agricultura) pode levar à erosão do solo e ao aumento do escoamento superficial, que pode aumentar a quantidade de sedimentos e nutrientes nos cursos de água, prejudicando a qualidade da água e afetando os serviços de provisão (como água potável) e de regulação (como a filtragem de água).

(3) Qualidade do Solo - O uso intensivo da terra para agricultura pode esgotar os nutrientes do solo, reduzir a matéria orgânica e afetar a estrutura do solo. Um solo degradado limita a capacidade do ecossistema de produzir cultivos, o que afeta diretamente o serviço de provisão de alimentos.

(4) Processos do Ecossistema - Os serviços regulatórios, como a regulação climática e o ciclo de nutrientes, dependem de processos ecossistêmicos saudáveis. A mudança no uso da terra pode alterar esses processos, afetando o sequestro de carbono, a regulação do clima local e a reciclagem de nutrientes.

(5) Sequestro de Carbono e Clima - Florestas e outros ecossistemas naturais são importantes estoques de carbono. Quando essas áreas são desmatadas ou degradadas, o carbono armazenado é liberado para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global e alterando os padrões climáticos.

(6) Serviços Culturais - A perda ou alteração de paisagens naturais pode afetar serviços culturais como recreação, turismo, educação e a própria identidade cultural de comunidades que dependem de ecossistemas tradicionais.

(7) Resiliência do Ecossistema - Um ecossistema diversificado e intacto é mais resiliente a distúrbios e mudanças, como condições climáticas extremas. As mudanças no uso da terra podem reduzir essa resiliência, aumentando a vulnerabilidade a desastres naturais e alterações climáticas.

Essas mudanças influenciam a habilidade dos ecossistemas de prover recursos e serviços essenciais. PARRON et al. (2015) destacam as consequências das mudanças no uso e cobertura do solo no fluxo dos SAs, refletindo em custos associados ao controle de enchentes, ao fornecimento de água potável e ao controle da erosão do solo. Compreender essas transformações é fundamental para identificar padrões de atividade humana e a capacidade dos ecossistemas de entregar serviços ambientais (SAs) (PARRON et al., 2015).

Com essa finalidade, a seleção de indicadores é fundamental para estimar o valor dos serviços ambientais (SA). Os indicadores precisam refletir as dimensões ecológica, social e econômica, e não necessariamente precisam ser monetários, mas podem ser baseados em unidades biofísicas e análises qualitativas. A pesquisa visa organizar informações sobre as consequências

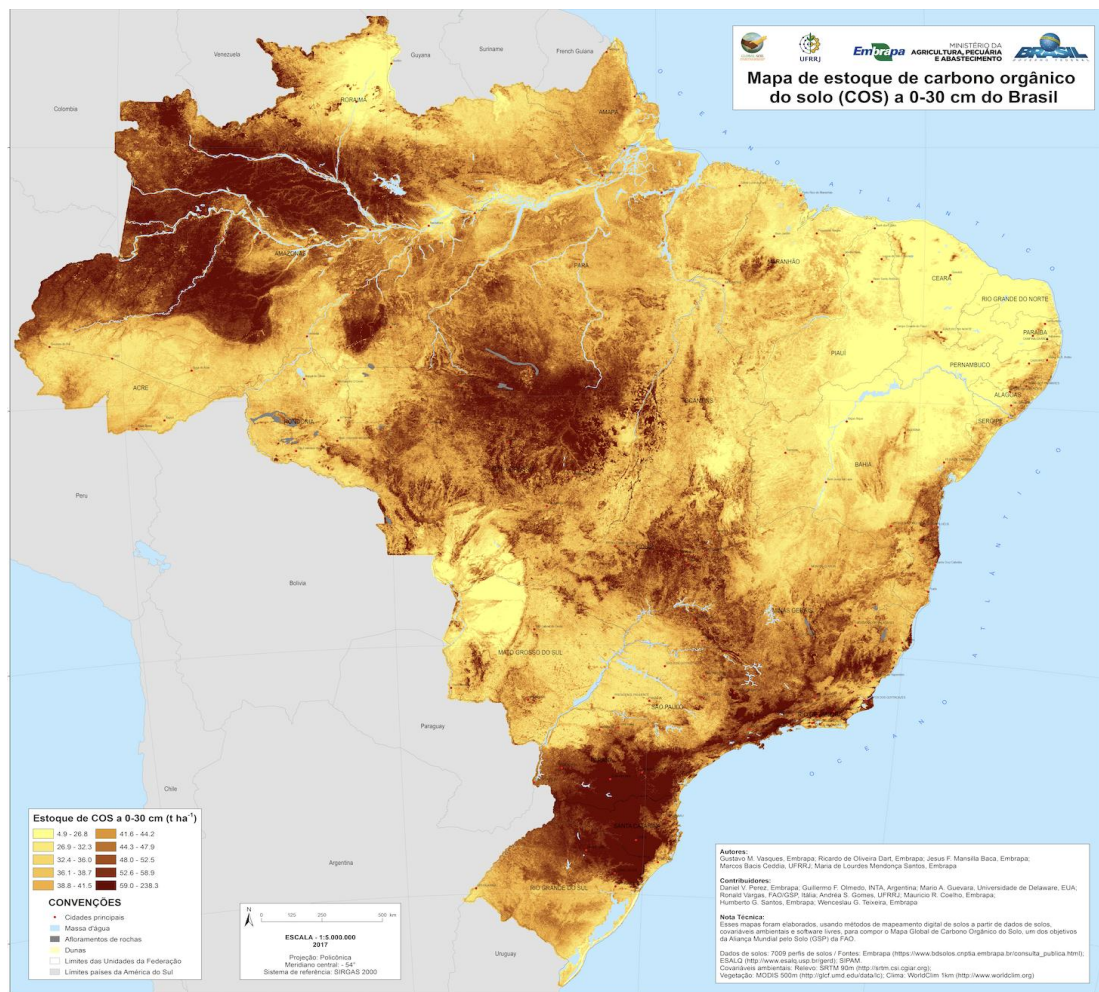


do uso da terra em três municípios do Bioma Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro (BMARJ), a saber: Petrópolis, Magé e Paty de Alferes. Especificamente, analisa-se o estoque de carbono orgânico do solo tendo como objetivo disponibilizar informações que orientem futuras políticas públicas de controle do estoque de carbono orgânico no solo (COS) como indicador do serviço ambiental (AS) Sequestro de Carbono e Clima (SCC) no BMARJ com recorte para os municípios selecionados. O presente estudo levanta indicadores de estoque de carbono e analisa fatores que tenham potencialmente interferido nestes indicadores, e que deveriam ser manipulados por políticas públicas para otimizar os SAs do BMARJ. Especificamente, os fatores investigados são o uso e cobertura do solo, e a densidade demográfica.

### Métodos

A análise dos Serviços Ambientais da região definida pelos municípios do BMARJ (SA-BMARJ) Petrópolis, Magé e Paty de Alferes prioriza os seguintes SAs: Qualidade do Solo, Sequestro de Carbono e Clima, Serviços Culturais, e Resiliência do Ecossistema. A pesquisa é conduzida com as seguintes etapas metodológicas:

- Caracterização dos Serviços Ambientais SA “Sequestro de Carbono e Clima” (SCC/SA-BMARJ) e COS como indicador SCC/SA-BMARJ;
- Recorte do Mapa de Estoque de Carbono Orgânico do Solo (COW) a 0-30 cm do Brasil, construído pela EMBRAPA (VASQUES et al., 2017) para a microrregião avaliada. O COW é usado como indicador de SCC;
- Construção do Mapa de Densidade Demográfica, utilizado como indicador de fator antrópico de impacto no COS;
- Construção do Mapa de Cobertura Vegetal, utilizado como indicador de fator misto (antrópico e natural) de impacto no COS;
- Construção de Mapa de Uso e Manejo da Terra, utilizado como indicador de fator antrópico de impacto no COS;
- Análise da relação entre o uso e manejo do solo e o SCC/SA-BMARJ;
- Análise do impacto do uso e manejo da terra no COS; COS como indicador da qualidade do solo; e
- Análise de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do solo.



**Figura 1: Mapa de Estoque de Carbono Orgânico no Solo em Território Nacional.**

Fonte: VASQUES et al. (2017)





Destaca-se que a metodologia se baseia em PARRON et al (2015) e VASQUES et al. (2017), com ampliação de indicadores e elaboração de seus respectivos mapas, a saber: densidade demográfica, cobertura vegetal e uso do solo. A originalidade do estudo está na confrontação dos dados do mapa de VASQUES et al. (2017) (Figura 1) com indicadores de fatores antrópicos e mistos (antrópicos e naturais) para identificar correlações causais.

### Resultados e Discussão

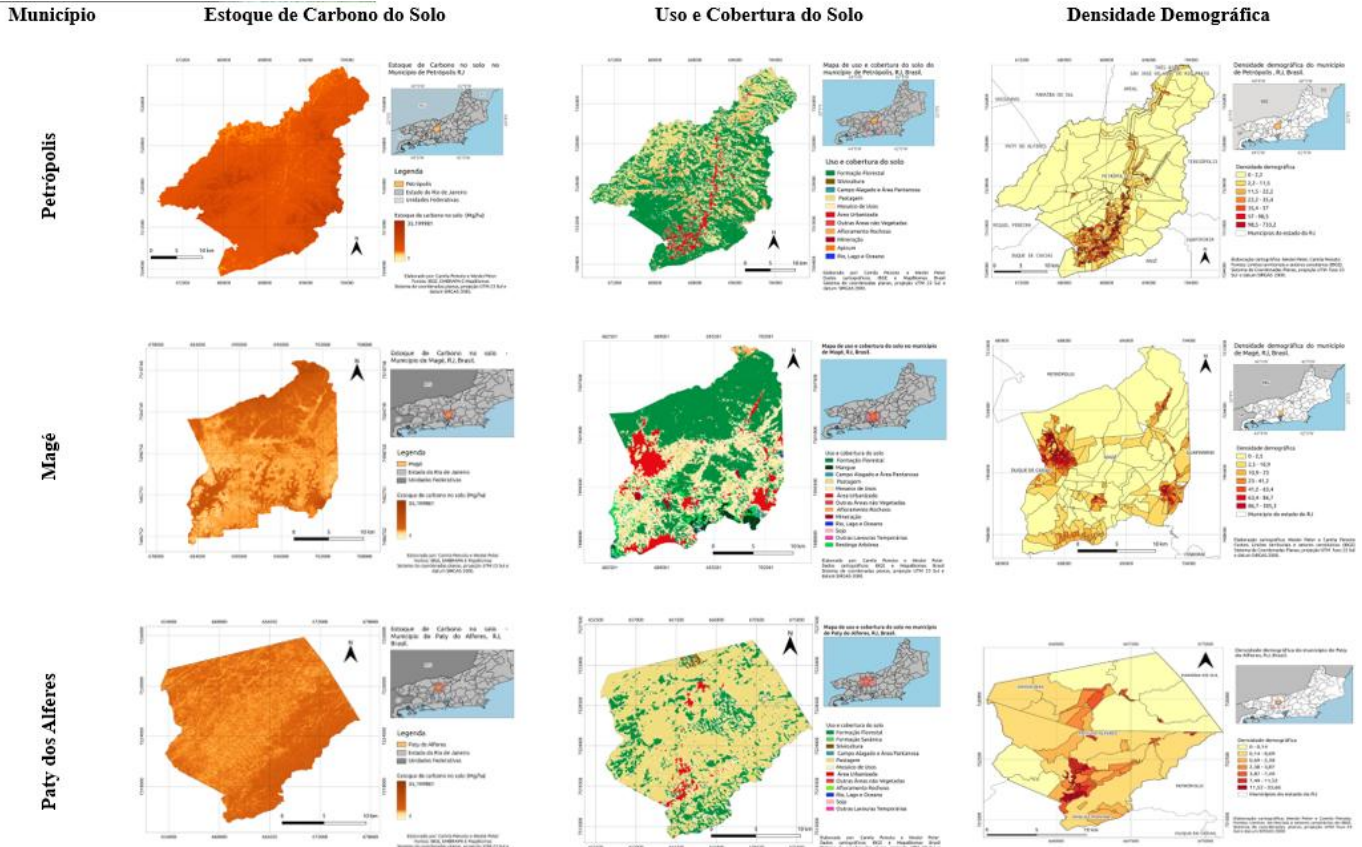
O estudo associa os dados de densidade demográfica, uso e cobertura do solo, e estoques de carbono orgânico no solo, exibidos em mapas recortados para as regiões avaliadas, com os serviços ambientes (e.g., qualidade do solo e da água). É relevante na análise a declaração de Santos e colaboradores (2012, p. 2): *“as diferenciações no uso e cobertura do solo associadas à dinâmica climática local geram implicações socioambientais em ambientes urbanos, onde os elementos naturais foram transformados (...). A formação de ilhas de calor, inversão térmica, poluição atmosférica, dentre outros processos ocasionados pela ação antrópica em função de transformações ocorridas no balanço de energia das cidades, tem comprometido cada vez mais a qualidade de vida das populações que residem nesses ambientes”*. Por exemplo, a redução da qualidade da água é afetada por diversas atividades de uso e ocupação antrópicas que alteram os processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais (Oliveira-Filho et al., 2012). O impacto da urbanização na qualidade da água é diagnosticado por Deschamps e colaboradores (2014, p. 136): *“Os resultados obtidos no estudo dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e a sua relação com o uso e ocupação do solo reafirmaram que este último foi determinante na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Duas Mamas. Áreas com mata nativa produzem concentrações de fósforo total, nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes superiores aos padrões ambientais estabelecidos pela legislação. Outros parâmetros também apresentaram valores elevados, mas em conformidade com a legislação. O uso antrópico, seja agrícola ou urbano, interferiu, mesmo que de maneira branda, na qualidade de água. A urbanização, apesar de pequena, comprometeu a qualidade da água, pois foi a seção fluviométrica cujos resultados mais superaram os valores estabelecidos na legislação*”). Essas mudanças influenciam a habilidade dos ecossistemas de prover recursos e serviços essenciais. Compreender essas transformações é fundamental para estudar os padrões de atividade humana e a capacidade dos ecossistemas de entregar serviços ambientais (PARRON et al., 2015).

Martins et al. (2017) e Stoddard et al. (2006) apontam que áreas que foram impactadas de forma mínima manifestam valores de parâmetros físicos e químicos característicos de água com boa qualidade, inseridos em padrões que permitem a manutenção do equilíbrio das comunidades aquáticas, adequadas ao consumo humano após tratamento simples. Para Gaston et al. (2002), com expectativa de resguardar áreas com características de estabilidade, as unidades de conservação ambiental são uma estratégia globalmente utilizada.

A Figura 2 apresenta os mapas de Estoque de Carbono do Solo, Cobertura do Solo e Densidade Demográfica para os municípios de Petrópolis, Magé e Paty dos Alferes. A Figura 3 é auxiliar da Figura 2, definindo a localização geográfica dos municípios analisados e as escalas dos indicadores Estoque de Carbono no Solo e Densidade Demográfica, o código de cobertura e uso da terra. Os mapas e indicadores levantados possibilitam uma análise quantitativa do Serviço Ambiental “Sequestro de Carbono e Clima” e inferência qualitativa dos demais serviços ambientais elencados na Tabela 2. Na análise, o desempenho dos serviços ambientais tem natureza qualitativa, classificando-os em três níveis: ALTO, MÉDIO e BAIXO.

Retomaremos, posteriormente, à discussão dos resultados apresentados neste primeiro momento, os quais nos servirão de objeto futuro. Haja vista, a necessidade de verificarmos outros aspectos, a serem abordados ademais, concernentes aos municípios em questão. Para que então possamos gerar a título de exemplo, mapas adicionais, e a partir destes alimentar nossa análise. Visando além disso, a formulação de um método que nos possibilite apurar com mais precisão o cruzamento desses mesmos dados.





**Figura 2 - Mapas de Estoque de Carbono do Solo, Cobertura do Solo e Densidade Demográfica para os municípios de Petrópolis, Magé e Paty dos Alferes.**  
 Fonte: Elaborada pelos autores (2024)

Município	Localização		Estoque de Carbono no Solo a 0-30 cm (t ha <sup>-1</sup> )		Legendas	
					Uso e Cobertura de Solo	Densidade Demográfica
Petrópolis					<ul style="list-style-type: none"> <li>Formação Florestal</li> <li>Silvicultura</li> <li>Campo Alagado e Área Pantanosa</li> <li>Pastagem</li> <li>Mosaico de Usos</li> <li>Área Urbanizada</li> <li>Outras Áreas não Vegetadas</li> <li>Afloramento Rochoso</li> <li>Mineração</li> <li>Apicium</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Densidade demográfica</li> <li>0 - 2,2</li> <li>2,2 - 11,5</li> <li>11,5 - 22,2</li> <li>22,2 - 35,4</li> <li>35,4 - 57</li> <li>57 - 98,5</li> <li>98,5 - 733,2</li> </ul>
Magé			<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;">4.9 - 26.8</li> <li style="width: 50%;">41.6 - 44.2</li> <li style="width: 50%;">26.9 - 32.3</li> <li style="width: 50%;">44.3 - 47.9</li> <li style="width: 50%;">32.4 - 36.0</li> <li style="width: 50%;">48.0 - 52.5</li> <li style="width: 50%;">36.1 - 38.7</li> <li style="width: 50%;">52.6 - 58.9</li> <li style="width: 50%;">38.8 - 41.5</li> <li style="width: 50%;">59.0 - 238.3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formação Florestal</li> <li>Mangue</li> <li>Campo Alagado e Área Pantanosa</li> <li>Pastagem</li> <li>Mosaico de Usos</li> <li>Área Urbanizada</li> <li>Outras Áreas não Vegetadas</li> <li>Afloramento Rochoso</li> <li>Mineração</li> <li>Rio, Lago e Oceano</li> <li>Soja</li> <li>Outras Lavouras Temporárias</li> <li>Restinga Arbórea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Densidade demográfica</li> <li>0 - 2,5</li> <li>2,5 - 10,9</li> <li>10,9 - 23</li> <li>23 - 41,2</li> <li>41,2 - 63,4</li> <li>63,4 - 86,7</li> <li>86,7 - 305,3</li> </ul>	
Paty dos Alferes					<ul style="list-style-type: none"> <li>Formação Florestal</li> <li>Formação Savânica</li> <li>Silvicultura</li> <li>Campo Alagado e Área Pantanosa</li> <li>Pastagem</li> <li>Mosaico de Usos</li> <li>Área Urbanizada</li> <li>Outras Áreas não Vegetadas</li> <li>Afloramento Rochoso</li> <li>Rio, Lago e Oceano</li> <li>Soja</li> <li>Outras Lavouras Temporárias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Densidade demográfica</li> <li>0 - 0,14</li> <li>0,14 - 0,69</li> <li>0,69 - 2,38</li> <li>2,38 - 3,87</li> <li>3,87 - 7,49</li> <li>7,49 - 11,52</li> <li>11,52 - 33,66</li> </ul>

**Figura 3 - Dados geográficos dos municípios de Petrópolis, Magé e Paty dos Alferes.**  
 Fonte: Elaborada pelos autores (2024)



Serviço Ambiental	Petrópolis	Magé	Paty de Alferes
1. Biodiversidade	Alto	Médio	Médio
2. Qualidade da água	Alto	Médio	Médio
3. Qualidade do Solo	Alto	Baixo	Médio
4. Processos do Ecossistema	Alto	Baixo	Baixo
5. Sequestro de Carbono e Clima	Alto	Baixo	Médio
6. Serviços Culturais	Alto	Baixo	Médio
7. Resiliência do Ecossistema	Médio	Médio	Baixo

**Tabela 1 – Análise do nível de serviço ambiental da região avaliada.**

**Fonte: Elaborada pelos autores (2024)**

Na atribuição dos níveis de qualidade, foi determinante para os SAs 3, 4, e 6 a cobertura vegetal, com avaliação da densidade demográfica como fator de modificação dos SAs. O serviço 2 foi analisado classificando priorizando o efeito da urbanização. Para o SA5, o estoque de carbono e a cobertura vegetal foram determinantes. Observa-se que Magé apresenta regiões de alta densidade demográfica com redução forte de cobertura vegetal, mostrando o impacto da urbanização.

Em Petrópolis, a redução da cobertura vegetal estende-se em formação longiforme, possivelmente associada à região entre a BR-040 e a estrada União Indústria. O projeto da União Indústria começou em 1854, quando o comendador Mariano Procópio Ferreira Lage recebeu a concessão por 50 anos para a construção de custeio de uma rota que, partindo de Petrópolis, se dirigisse à margem do rio Paraíba. Inaugurada em 1861, a rodovia União e Indústria unia os interesses do Império aos da região sul da Zona da Mata Mineira e, particularmente, de Juiz de Fora. A primeira estrada pavimentada (com macadame) do país (Genovez, 1998) claramente exemplifica o impacto da política pública do período imperial, sugerindo que a abertura de novas rodovias e vias vicinais a essas terão impacto negativo nos serviços determinados por densidade urbanização e modificação da cobertura vegetal. Genovez (1998) menciona que as ferrovias promoveram a falência da concessão à estrada União Indústria, podendo ter promovido a proteção de serviços ambientais, quando comparadas a cobertura e a densidade demográfica dos três municípios. Na classificação do SA 7 dos municípios, a cobertura vegetal é determinante dentre os fatores analisados. Contudo, a região de Petrópolis, por seu relevo, é mais suscetível a mudanças climáticas pelos riscos de deslizamentos.

### Considerações Finais

A pesquisa aborda o Estado do Rio de Janeiro pelos ciclos de transformação do seu bioma da Mata Atlântica. Especificamente, analisa-se o estoque de carbono orgânico do solo. Com decisão pelo recorte geográfico referente aos municípios de Petrópolis, Paty de Alferes e Magé, pertencentes ao estado do Rio de Janeiro. Como desenvolvimentos futuros, sinalizam-se a inclusão de outros serviços ambientais (e.g., Biodiversidade, Qualidade da água, Qualidade do Solo, Processos do Ecossistema, Serviços Culturais, e Resiliência do Ecossistema) para embasar recomendações de Políticas Públicas. Os resultados da análise apontam serviços ambientais em ordem decrescente de qualidade para Petrópolis, Magé e Paty dos Alferes. A avaliação evidencia que o impacto da urbanização pode ser mitigado por planejamento de vias de escoamento urbano, como mostrado pela estrada União Indústria no município de Petrópolis. Recomenda-se que as políticas de urbanização sejam harmonizadas com planejamento de rede de rodovias, indicando que ferrovias, pela predefinição de estações de parada, tem como traçar a expansão urbana em áreas de proteção de serviços ambientais.

### Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental PEA-UFRJ, que possibilitou o desenvolvimento dessa pesquisa.

### Referências Bibliográficas

Deschamps, F. C.; Heinz, K. G. H.; Pinheiro, A.; Pinheiro, I. G.; Schoen, C.; Schultz, J. Relação Entre o Uso do Solo e a Qualidade da Água em Bacia Hidrográfica Rural no Bioma Mata Atlântica. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 19, n. 3, jul./set. 2014, 127-139.

Genovez, PF. 1998. A viagem enquanto forma de poder: a viagem de Pedro II e a inauguração da rodovia União e Indústria, em



1861. Tempo 3(5), 161-180. Disponível em [https://www.historia.uff.br/tempo/artigos\\_livres/artg5-8.pdf](https://www.historia.uff.br/tempo/artigos_livres/artg5-8.pdf)

Gaston, KJ, Pressey, RL, Margules CR. 2002. Persistence and vulnerability: Retaining biodiversity in the landscape and in protected areas. *Journal of Biosciences* 27: 361–384. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02704966>

Martins IS, Ligeiro R, Hughes RM, Macedo DR, Callisto M. 2017. Regionalisation is key to establishing reference conditions for neotropical savanna streams. *Marine and Freshwater Research* 69 (1): 82-84. <http://dx.doi.org/10.1071/MF16381>

OLIVEIRA-FILHO, P. C.; DUTRA, A. M.; CERUTI, F.C. Qualidade das águas superficiais e o uso da terra: estudo de caso pontual em bacia hidrográfica do oeste do Paraná. *Revista Floresta e Ambiente, Seropédica*, v.19, v.1, jan./mar. 2012.

Parron Junior, L. M., Ruiz Garcia, E. B. de O., Brown, G. G., Prado, R. B. 2015. Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. EMBRAPA. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1024082/1/LcFAfaNpjEG2rCQEhuE1sA1hLU4gnk6JR2.pdf>

Prado, R. B., Fidalgo, E. C. C., Balieiro, F. de C., Coutinho, H. L. da C., Turetta, A. P. D., Goncalves, A. O., Pedreira, B. da C. C. G., Schuler, A. E., Monteiro, J. M. G., Coelho, M. R., Donagemma, G. K., Martins, A. L. da S., Almeida, E. de P. C., Oliveira, A. P. de. 2015. Serviços ambientais no bioma Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro: abordagem metodológica e desafios. EMBRAPA. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1001116>.

Santos, J. S. dos, Silva, V. de P. R. da, Lima, E. R. V., Araújo, L. E. de, & Costa, A. D. L. (2012). Campo Térmico Urbano e a sua Relação com o Uso e Cobertura do Solo em Cidade Tropical Úmida (Thermal Urban Field and its Relation to the Use and Land Cover in a Humid Tropical City). *Revista Brasileira De Geografia Física*, 5(3), 540–557. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232851>

Santos, J. S. dos, Silva, V. de P. R. da, Lima, E. R. V., Araújo, L. E. de, & Costa, A. D. L. (2012). Campo Térmico Urbano e a sua Relação com o Uso e Cobertura do Solo em Cidade Tropical Úmida (Thermal Urban Field and its Relation to the Use and Land Cover in a Humid Tropical City). *Revista Brasileira De Geografia Física*, 5(3), 540–557. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232851>

Stoddard JL, Larsen DP, Hawkins CP, Johnson RK, Norris RH. 2006. Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. *Ecological Applications* 16 (1): 1267-1276

Vasques, G. de M., Dart, R. de O., Baca, J. F. M. Ceddia, M. B., Mendonça Santos, M. de L. EMBRAPA, 2017. Mapa de estoque de carbono orgânico do solo (COS) a 0-30 cm do Brasil. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085197>.





# PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA DEFINIÇÃO DE MÉTODO DE ANÁLISE DE ESPECIALISTAS APLICADO À ELABORAÇÃO DE DIAGNÓSTICOS SOCIOAMBIENTAIS

1Caroline Viganó Rech, 2Tiago Panizzon, 3Juliano Rodrigues Gimenez

1 Universidade de Caxias do Sul, e-mail: cvrech@ucs.br; 2 Universidade de Caxias do Sul, e-mail: tpanizzo@ucs.br;

3 Universidade de Caxias do Sul, e-mail: jrgimene@ucs.br

**Palavras-chave:** Consulta a especialistas; Áreas de Preservação Permanente; Diagnóstico Socioambiental.

## Resumo

Historicamente as populações utilizaram os rios, alterando seu curso, poluindo as águas e ocupando áreas circundantes, resultando na remoção de matas ciliares, que desempenham papel importante protegendo os corpos d'água, servindo como filtro, mantendo a qualidade das águas e os solos no entorno. Preservar essas áreas tornou-se uma demanda socioambiental e uma ferramenta para isso são as leis ambientais existentes. A lei pioneira a tratar desse tema foi o Primeiro Código Florestal, sancionado em 1934, em consonância com a Lei das Águas e a Constituição Federal, todas publicadas no mesmo ano. A partir disso, o Código Florestal foi atualizado em 1965 e, novamente, em 2012, sendo a sua versão mais recente a Lei 12.651/2012, conhecida como o Novo Código Florestal. A Lei 12.651/2012 define Áreas de Preservação Permanente (APPs) como áreas protegidas, que podem ou não ser cobertas por mata nativa e que tem como uma de suas funções proteger os recursos hídricos. Além disso, a Lei 12.651/2012 define as larguras de APPs que devem ser adotadas para cada caso. Porém, o texto original se aplica apenas a áreas rurais consolidadas e não contém determinações para áreas urbanas consolidadas. Sendo assim, de forma a complementar a Lei 12.651/2012, foi promulgada a Lei 14.285/2021, que altera dispositivos da Lei 12.651/2012 e trata especificamente de APPs hídricas em zonas urbanas consolidadas. Essa lei define o conceito de áreas urbanas consolidadas e estabelece critérios para sua delimitação. Ademais, a lei estabelece a possibilidade de um município definir faixas marginais de APPs distintas das estabelecidas anteriormente pela Lei 12.651/2012, mediante a elaboração de um Diagnóstico Socioambiental (DSA) para demarcação dessas áreas. Se tratando de um tema recente no âmbito legislativo, não há uma metodologia descrita para o desenvolvimento de um DSA, nem mesmo na Lei 14.285/2021. Nesse contexto, propõe-se elaborar um método para definição da metodologia de análise a especialistas mais adequada para a realização de Diagnósticos Socioambientais. Dessa forma, os objetivos específicos deste trabalho são investigar metodologias de análise a especialistas e identificar critérios para tomada de decisão sobre qual metodologia de consulta a especialistas é mais adequada. Para definição do método mais adequado, foram escolhidos por meio de análise literária os métodos mais adequados ao caso. Os oito métodos escolhidos foram: Métodos qualitativos e quantitativos, Ad Hoc, Check List, Análise Multicritério, Modelos de Simulação, Matriz de Leopold, Análise Hierárquica de Processos e Método Delphi. A partir da escolha dos métodos foram definidas características relevantes para o estudo que o método escolhido deveria possuir, resultando em catorze critérios para definição do método, sendo eles: aplicabilidade ao caso, facilidade na elaboração do material, utilização de equipe multidisciplinar, consideração de questões sociais, aplicação rápida, baixo custo de aplicação, anonimato da equipe de especialistas, precisão das respostas finais, objetividade, tomada de decisão multicritério, resolução de problemas complexos, resolução de questões com mais de uma resposta, possibilidade de *feedbacks*/reconsideração de opiniões e associação de resultados quali-quantitativos. Estes critérios foram selecionados por meio de análise à literatura, principalmente estudando os oito métodos escolhidos para análise, identificando quais são suas vantagens e desvantagens e selecionando as vantagens e desvantagens consideradas como importantes características para compor o método a ser escolhido. Após as definições dos métodos e dos critérios relevantes, estes foram relacionados entre si por meio de uma matriz de decisão. A matriz de decisão relaciona cada um dos oito métodos escolhidos a cada um dos catorze critérios apresentados. Para cada critério foram estabelecidas pontuações, variando entre 0 (resposta com teor negativo: “não” ou “baixo”), 0,5 (respostas medianas: “talvez/indiferente” ou “médio”) e 1 (respostas com teor positivo: “sim” ou “alto”). Dessa forma, ao final da matriz foi possível identificar a metodologia mais adequada, sendo essa o Método Delphi, que obteve a maior pontuação final, totalizando 12 pontos de 14 pontos possíveis. O método Delphi superou por uma pequena margem a Análise Multicritério, Análise Hierárquica de Processos e o Ad Hoc. Dessa forma, foi necessário analisar se o método Delphi era de fato o mais adequado verificando quais eram as desvantagens dos métodos com pontuação aproximada ao método que mais pontuou (Método Delphi) e qual a relevância dessa desvantagem. O método Ad Hoc fornece respostas finais subjetivas, pois se trata de um método de análise a especialistas com apenas uma rodada. A Análise Multicritério apresenta elevados custos de aplicação e na Análise Hierárquica de Processos as equipes de especialistas responsáveis pelas respostas não permanecem anônimas. Sendo assim, adotou-se o método Delphi como o mais apropriado ao caso. Com base nessa escolha, é possível dar início à fase de consulta aos especialistas para definir as faixas de APP mais adequadas a cada caso e, por fim, elaborar o Diagnóstico Socioambiental. Cabe destacar que o método foi testado e aplicado em um caso real, para a escolha da metodologia de análise a especialistas, porém ele foi desenvolvido e utilizado apenas pelos autores, sendo necessária uma maior validação do método, por meio da avaliação de mais especialistas. Ainda, este artigo é um ponto de partida para uma extensa pesquisa que envolve a aplicação da metodologia Delphi aos especialistas, o tratamento estatístico das respostas e, por fim, a realização do Diagnóstico Socioambiental.



## Introdução

As primeiras grandes civilizações antigas se estabeleceram graças à presença de cursos hídricos, desenvolvendo com facilidade a agricultura e, rapidamente, se fixando nessas regiões, por meio de pequenas comunidades (Rosa, 2012). Ao longo dos anos, além dos cultivos agrícolas facilitados por meio dos cursos d'água, muitas das dinâmicas sociais se desenvolveram no entorno dos rios, como transportes, locomoção e comercialização de produtos, extração de materiais, infraestruturas (como estradas e ferrovias) e despejos de resíduos (efluentes, cadáveres, resíduos sólidos, entre outros). Após a Revolução Industrial esse descarte se tornou uma prática mais intensa e recorrente, levando aos rios rejeitos do setor industrial (Peixoto, 2016). Os rios também desempenhavam papel importante na defesa e proteção das cidades, que eram estrategicamente alocadas em ilhas ou nas margens próximas ao rio, como Paris e Londres (Baptista; Cardoso, 2013).

Estas vegetações, localizadas às margens dos rios, são chamadas de matas ciliares. De acordo com Ferreira *et al* (2016), as matas ciliares são vegetações florestais que margeiam os rios, riachos, córregos e outros corpos d'água, elas protegem os recursos hídricos, servindo como filtro, mantendo a qualidade das águas e os solos no entorno. Essa vegetação típica apresenta características diferentes das demais, em relação à arquitetura e florescimento, que estão conectadas ao elevado teor de água no solo bem como a outras condições hidroclimatológicas, ocasionadas pela superficialidade do lençol freático e pelas frequentes inundações do local (Castro M.; Castro R. e Souza, 2013).

No entanto, estes espaços, que deviam ser preservados, são muitas vezes ocupados e tem seus padrões de uso e ocupação do solo alterados, o que, por sua vez, coloca em movimento uma série de processos que modificam o meio ambiente, natural e construído. Estas alterações têm se mostrado, geralmente, negativas e degradantes para o espaço. Das ações antrópicas que mais geram impactos ambientais destaca-se a urbanização, justamente pelas consequências de mudanças no uso e ocupação dos solos. O crescimento acelerado das cidades, concomitante com a remoção da cobertura vegetal original dos solos, aumento da impermeabilização, introdução de obras de canalização e ocupação de áreas ribeirinhas, agravou significativamente a problemática das enchentes urbanas (Miguez; Veról; Rezende, 2015).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2015, 84,72% da população brasileira residia em área urbana (IBGE, 2015). Nas últimas décadas, o Brasil passou por um processo acelerado de urbanização, o qual resultou na formação de cidades com uma infraestrutura urbana inadequada (Tucci; Marques, 2001).

Desta forma, surgem os impactos hidrológicos decorrentes da urbanização dos espaços, como redução das taxas de infiltração e aumento de volume e velocidade do escoamento superficial das águas pluviais, levando a maiores incidências de alagamentos e inundações nos perímetros urbanos, além da vetorização de doenças (Baptista; Nascimento, 2002). À medida que a população impermeabiliza o solo e possibilita um escoamento mais rápido das águas pluviais através de dutos e canais, a quantidade de água chegando aos sistemas de drenagem aumenta.

Como forma de preservação e manutenção dos elementos ambientais, no Brasil, historicamente, há uma sucessão de legislações acerca do tema, destacando-se para esse trabalho a Lei nº 12.651/2012, o Código Florestal. Na referida lei é definido o conceito de Áreas de Preservação Permanente e suas larguras de acordo com o curso hídrico. Porém, esta lei trata especificamente sobre áreas rurais consolidadas, deixando uma lacuna para as áreas urbanas. Dessa forma, em 2021 foi sancionada a Lei 14.285/2021, alterando dispositivos da Lei 12.651/2012 e trazendo a definição de zonas urbanas consolidadas, bem como possibilitando aos municípios o estabelecimento de regramentos menores de faixas marginais do que os estabelecidos pela Lei 12.651/2012. Para tal, se faz necessária a elaboração de um Diagnóstico Socioambiental (DSA). O DSA é dividido em duas fases. Inicialmente é necessário realizar um diagnóstico completo do município, definindo a área urbana consolidada, mapeando os cursos hídricos, delimitando as APPs, avaliando áreas de risco, bem como analisar as legislações ambientais, em âmbito nacional, estadual e municipal. A partir da elaboração do diagnóstico completo do município é necessário iniciar a segunda fase, que consiste em definir as novas faixas de APPs hídricas na zona urbana consolidada previamente delimitada. No entanto, não há uma definição técnico-metodológica a ser seguida para a elaboração de um DSA e, principalmente, uma metodologia para conversão do diagnóstico elaborado pelo DSA em faixas efetivas de APPs.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para escolha do método para definição das faixas de elaboração de um DSA, baseado em consultas com especialistas. Através da revisão de literatura e do estabelecimento de critérios, buscou-se definir a abordagem metodológica mais adequada para auxiliar na delimitação dessas áreas e na proposição efetiva de faixas de APPs hídricas em zonas urbanas consolidadas.

Sendo assim, o presente trabalho atua como uma ferramenta importante para a elaboração de parâmetros que, futuramente, definam as faixas de APPs hídricas em zonas urbanas consolidadas. Através da metodologia proposta, o estudo também contribui para a identificação de soluções adequadas que abordam a complexa problemática ambiental, social e humanitária relacionada ao tema.

## Revisão bibliográfica: metodologias de avaliação por especialistas

Existem diversos métodos de avaliação de aspectos e impactos socioambientais desenvolvidos para avaliação por especialistas. Sendo assim, foram selecionados para este trabalho os considerados mais relevantes tendo em conta o objetivo do trabalho. Dessa forma, por meio de análise documental, foram definidos estes métodos e também foram escolhidos critérios para a composição da matriz de decisão. Alguns dos métodos escolhidos são comumente utilizados também para elaboração de EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental).



### **Métodos quantitativos**

Os métodos quantitativos buscam associar valores aos aspectos qualitativos que podem surgir durante a elaboração de um EIA/RIMA. Foi desenvolvido com o objetivo de avaliar empreendimentos relacionados à utilização de recursos hídricos, buscando a promoção de uma abordagem sistêmica, integral e hierarquizada do meio ambiente (Carvalho; Lima, 2010).

Estes métodos apresentam a vantagem de fornecer boas informações aos analistas, para a caracterização da situação ambiental, precisando os impactos que podem ser gerados. No entanto, para utilização deste tipo de método, se faz necessário um trabalho preparatório intenso, objetivando elaborar gráficos para cada indicador ambiental. Além disso, apresentam falhas na identificação de impactos secundários e de demais ordens (Carvalho; Lima, 2010).

### **Matriz de Leopold**

A Matriz de Leopold é um método de avaliação do tipo matriz de interação, onde é possível visualizar, em uma mesma estrutura, as relações entre indicadores provenientes do meio natural e do meio antrópico. A Matriz de Leopold é uma das mais utilizadas nos EIA/RIMA no Brasil (IBAMA, 1995).

Trata-se de uma matriz de interação simples. Cada célula mostra a relação entre uma ação do futuro empreendimento e uma característica ou condição ambiental, quantificando a magnitude e significância dos impactos causados, em uma escala de 1 a 10. O uso desta escala, em números ordinais, simplifica o resultado da matriz, podendo torná-la superficial. Ainda, ela vem sendo aplicada em estudos ambientais sem a preocupação de justificar, técnica e cientificamente, as ações e características ambientais escolhidas, bem como os critérios utilizados para definição da escala quantitativa (IBAMA, 1995).

### **Metodologias espontâneas (Ad Hoc)**

Esta metodologia é baseada no conhecimento empírico de profissionais do assunto e são aplicáveis em casos de escassez de dados e tempo restrito para finalização do estudo. A vantagem é a maior agilidade no processamento dos dados, maior facilidade de compreensão do público geral, além do baixo custo de execução. Porém, os resultados têm um alto grau de subjetividade (Carvalho; Lima, 2010).

### **Listagens (check list)**

De acordo com IBAMA (1995), é uma simples listagem dos indicadores do meio natural e do meio antrópico, utilizados para análise dos efeitos do projeto, podendo ou não ser acompanhada de uma caracterização de cada indicador listado. Esta caracterização, quando realizada de acordo com os parâmetros da resolução 001/1986 do CONAMA, confere uma maior transparência dos dados e melhor avaliação dos indicadores.

Este é um dos métodos mais utilizados no EIA e suas vantagens estão relacionadas com o emprego imediato na avaliação qualitativa dos impactos e no potencial de lembrar todos os possíveis fatores ambientais relacionados, evitando a omissão de impactos expressivos. No entanto, a partir dela não é possível identificar impactos diretos, considerar características temporais dos impactos e sua magnitude, além de obter resultados subjetivos (Carvalho; Lima, 2010).

### **Modelos de simulação**

São modelos matemáticos utilizados para representar, o máximo possível, o comportamento de parâmetros ambientais ou as relações de causa e efeito de determinadas ações. É um método útil em projetos com múltiplos usos e pode ser utilizado após o início da operação. Suas vantagens estão relacionadas à consideração da dinâmica dos sistemas ambientais, interação entre fatores e impactos e variável temporal, troca de informações, interações multidisciplinares, e tratamento organizado das variáveis quantitativas e qualitativas. Porém, o modelo apresenta custo elevado e representação imperfeita de qualidade (Carvalho; Lima, 2010).

### **Análise multicritério**

A compreensão de que, em muitas situações da vida real, a avaliação das possíveis soluções requer a consideração de diversos pontos de vista, levou ao surgimento de uma área conhecida como tomada de decisão multicritério. Os métodos multicritério foram desenvolvidos para auxiliar e orientar os tomadores de decisão na avaliação e seleção das alternativas-solução em diferentes contextos. O espaço das variáveis de decisão, em particular, abrange o conjunto de decisões viáveis e inviáveis para um determinado problema. Os critérios podem ser quantificados ou avaliados e contribuem para a tomada de decisão (Gomes; Costa, 2013).

Frequentemente, a busca por uma solução ocorre em um ambiente em que os critérios estão em conflito, ou seja, o ganho em um critério pode resultar em perda em outro. Esses critérios podem ser do tipo fator, compostos por variáveis que enfatizam ou reduzem a adequação de uma determinada alternativa em relação ao objetivo em questão, ou podem ser do tipo exclusão, variáveis que limitam as alternativas consideradas na análise, excluindo-as do conjunto de soluções. Os modelos baseados em tomada de decisão multicritério são indicados para problemas nos quais há múltiplos critérios de avaliação. A tomada de decisão multicritério também pode ser definida como o conjunto de técnicas utilizadas para investigar um conjunto de alternativas, considerando múltiplos critérios e objetivos em conflito (Gomes; Costa, 2013).

De acordo com Bouyssou (1990), em uma abordagem monocritério, o analista constrói um critério que captura os aspectos significativos do problema. As comparações deduzidas deste critério devem ser interpretadas como expressões de "preferências globais", ou seja, tendo em conta todos os pontos de vista relevantes. Já em uma abordagem de múltiplos critérios,





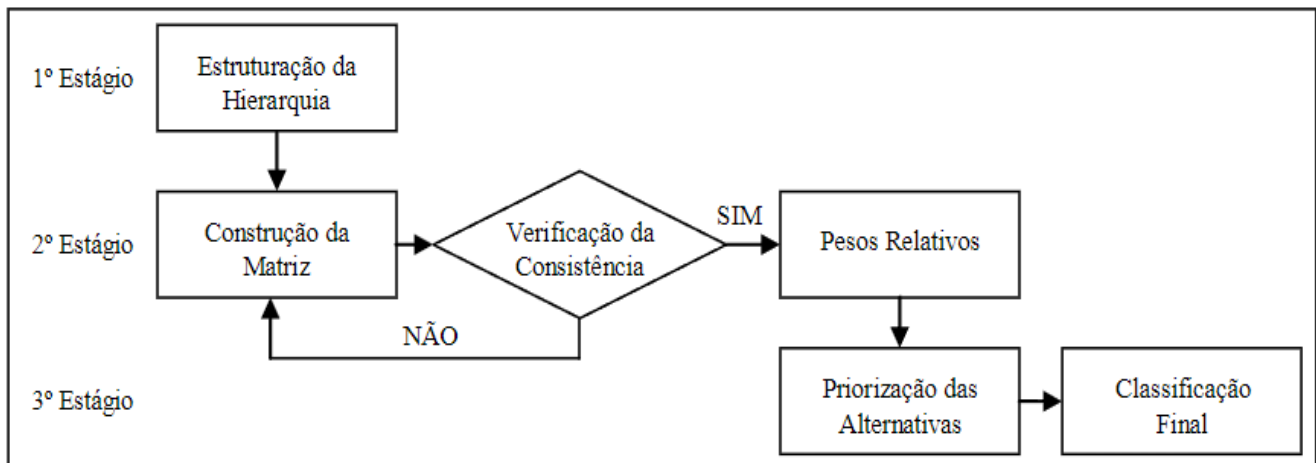
o analista busca construir vários critérios utilizando diversos pontos de vista. Essas perspectivas representam os diversos eixos nos quais os diferentes participantes do processo de tomada de decisão justificam, transformam e argumentam suas preferências.

### Análise Hierárquica de Processos (AHP)

De acordo com Saaty (2008), o método AHP é uma metodologia de tomada de decisão multicritérios. Ela é composta pelas seguintes etapas:

- Definição do problema e do tipo de solução buscada;
- Estruturação de uma hierarquia de decisão;
- Construção de um conjunto de matrizes de comparações por pares. Cada elemento de nível superior é utilizado em comparação com o elemento imediatamente inferiores;
- Utilização das prioridades obtidas para pesar as prioridades dos níveis imediatamente inferiores.

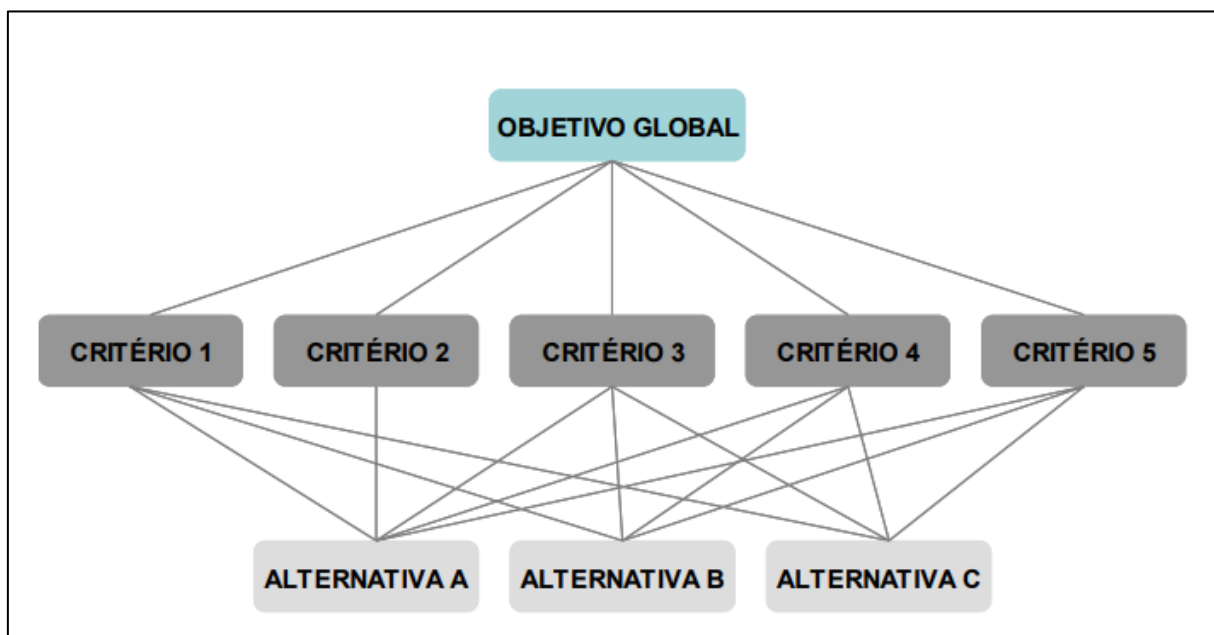
Na Figura 1 é apresentado um fluxograma indicativo da aplicação do método AHP.



**Figura 1: Fluxograma para aplicação de um método AHP.**

Fonte: Silva; Nunes, 2009

Para realizar as comparações é necessária a utilização de uma escala de números, indicando quantas vezes mais relevante ou dominante é um elemento sobre o outro, relacionado a propriedade com a qual estão sendo comparados (Saaty, 2008). Na Figura 2 é apresentada a estrutura genérica do método AHP. É possível observar que o método exige um objetivo principal, um conjunto de alternativas que representam as possibilidades de decisão e um conjunto de critérios a serem avaliados.



**Figura 2: Estrutura genérica do método AHP.**

Fonte: Costa; et al, 2019



### Método Delphi

A metodologia Delphi consiste na aplicação iterativa e interativa de pesquisas ou questionários a um grupo multidisciplinar de especialistas com vistas a atingir um consenso com relação a um assunto. Estes questionários são aplicados em rodadas, quantas forem necessárias, até que se atinja um consenso entre os especialistas acerca do tema abordado (Turoff; Linstone, 2002).

O método tem como objetivo alcançar a convergência de opiniões a respeito de um tópico específico. Uma das principais vantagens relacionadas a isto é a participação equilibrada dos membros do time de especialistas, que, aliado ao anonimato das equipes, impede que a opinião de um membro dominante seja capaz de influenciar nas decisões dos demais membros (Mcmillan; King; Tully, 2016).

A primeira etapa para elaboração da metodologia é definição dos objetivos. Eles precisam ser bem discutidos e definidos com nitidez, bem como devem ser apresentados de forma explícita especificando os resultados desejados e os métodos de avaliação das respostas (Wright; Giovinazzo, 2000).

Na sequência, são elaborados os questionários. Os questionários devem atender aos objetivos anteriormente definidos. Além disso, é importante ser cuidadoso nesta etapa, para que as opiniões da equipe elaboradora dos questionários não acabem tendenciando a pesquisa com os especialistas (Powel, 2003).

Após cumpridas as etapas anteriores, deve-se definir os especialistas que serão responsáveis por responder os questionários. Para Wright e Giovinazzo (2002), é importante que esse painel de especialistas seja heterogêneo e escolhido com cautela, pois a qualidade dos resultados obtidos depende essencialmente dos participantes do estudo. Não há um número exato de especialistas para compor o painel, porém recomenda-se entre 15 e 30 participantes. Recomenda-se também a realização de uma rodada teste.

A primeira rodada do Delphi consiste em três fases: envio dos questionários, recebimento das respostas e análise quanti-qualitativa dos resultados obtidos. A segunda rodada do Delphi consiste em quatro fases: construção da segunda versão do questionário, a partir das observações e feedbacks realizados pelos especialistas na primeira rodada; envio dos questionários; recebimento das respostas e análise quanti-qualitativa dos resultados obtidos (Wright; Giovinazzo, 2000).

Juntamente com a segunda rodada dos questionários é enviado um quadro resumo dos resultados da primeira rodada, a fim de incentivar os especialistas a revisarem suas opiniões anteriores, bem como compará-las com as demais respostas. Esta etapa tem o objetivo de buscar o consenso entre os especialistas. Este procedimento é repetido nas rodadas posteriores, até a finalização da aplicação do método (Dias, 2007).

### Materiais e Métodos

Este trabalho se caracteriza de natureza quali-quantitativa, com caráter exploratório, baseado na pesquisa de métodos de avaliação de aspectos e impactos socioambientais (Gil, 2002). Os métodos utilizados foram escolhidos com base em análises de metodologias existentes em literaturas e considerando uma potencial aplicabilidade ao caso de delimitação de APPs em zonas urbanas consolidadas. Além disso, são pesquisados e adaptados critérios para classificação dos métodos e posterior seleção do mais adequado ao caso, realizado por meio de uma matriz de decisão, que relaciona os métodos e os critérios escolhidos através de um sistema de pontuação.

Tomando por base os critérios e condicionantes estabelecidos por diversos autores (Carvalho; Lima, 2010; Gomes; Costa, 2013; Saaty, 2008; Turoff; Linstone, 2002) quando da seleção de um melhor método, técnica ou ferramenta a ser aplicada em um determinado processo de tomada de decisões, buscou-se identificar na literatura estratégias consolidadas para a definição de faixas de APPs em zonas urbanas consolidadas. No entanto, tendo em vista a inexistência destes, procedeu-se para a proposição de uma matriz para essa tomada de decisões.

Nesta matriz são levados em consideração diversos fatores, combinando a temática ambiental com a problemática social urbana, buscando um método que associe resultados quantitativos e qualitativos, por meio de uma equipe multidisciplinar, que apresente resultados finais precisos e coerentes, pouco subjetivos, baseados em uma análise multicritério dos casos e que seja capaz de resolver problemas complexos e convergir opiniões multidisciplinares. Estes objetivos, buscados no método escolhido, são definidos como critérios considerados necessários para definição do método mais adequado.

A matriz objetiva relacionar as metodologias propostas oito metodologias com catorze critérios considerados necessários para escolha do método. As metodologias analisadas são: Métodos qualitativos e quantitativos, Ad Hoc, Check List, Análise Multicritério, Modelos de Simulação, Matriz de Leopold, Análise Hierárquica de Processos e Método Delphi. No cruzamento destes 14 x 8 fatores, foram então atribuídos valores com a perspectiva de ponderar quali-quantitativamente esses resultados, analisando cada uma das oito metodologias em relação a cada um dos catorze critérios, tendo, ao final, uma pontuação para cada método. As metodologias e critérios propostos para a composição da matriz de decisão estão apresentadas na Figura 3.

Estas oito metodologias foram selecionadas com base em análises de metodologias existentes em literaturas. Levou-se em consideração, para sua definição, a potencial aplicabilidade ao caso de delimitação de APPs em zonas urbanas consolidadas. Já os critérios foram definidos com base em análises à literatura, de acordo com as metodologias escolhidas. Além disso, os critérios adotados são também as características desejadas pelos autores para o método escolhido. Ou seja, os critérios para definição do método mais adequado ao caso foram determinados considerando as vantagens e desvantagens dos métodos estudados, sendo adaptados ao objeto deste estudo. Ainda, foi analisada a relevância destas desvantagens. Por exemplo, o método ser impreciso e gerar resultados subjetivos é uma desvantagem relevante, enquanto que o método ser de



aplicação demorada não necessariamente configuraria uma desvantagem relevante para o caso estudado.

Estas definições, tanto dos métodos aplicáveis, quanto dos critérios analisados, foram realizadas pelos autores, levando em consideração elementos retirados de análise literária. Os autores analisados para a composição dos elementos da matriz de decisão (apresentada no capítulo de resultados) estão indicados como referenciais.



**Figura 3: Metodologias analisadas e critérios utilizados para compor a matriz de decisão.**

Fonte: Os autores, 2023

Para cada um dos critérios estabelecido foi atribuída uma escala com três alternativas: 0; 0,5; e 1. O valor 0 (zero) representa resposta com teor negativo: “Não” ou “Baixo”. O valor 0,5 representa resposta mediana: “Talvez/indiferente” ou “Médio”. O valor 1 (um) representa resposta com teor positivo: “Sim” ou “Alto”. Estas definições foram determinadas pelos autores, sem origem em um método específico.

Ainda, na matriz de decisão, os critérios de avaliação dos métodos foram subdivididos entre as fases de **elaboração**, **elaboração/aplicação**, **aplicação** e **resultados** do método. Esta subdivisão foi adotada com o intuito de organizar a matriz e facilitar o entendimento do leitor. Na etapa de elaboração são apresentados os critérios relativos ao processo de elaboração do método, e assim sucessivamente. Essa subdivisão organiza a matriz de acordo com as três grandes fases necessárias para a definição do método e para sua posterior aplicação.

Ao final da matriz, foi realizada uma soma, com o intuito de identificar qual das metodologias atingiu o melhor desempenho em relação aos critérios estabelecidos. A metodologia com maior total na soma final foi a metodologia escolhida. Os Quadros e Tabelas referentes a esta análise estão apresentados no capítulo de resultados.

Cabe destacar que o objetivo da elaboração da matriz de decisão é a definição do método mais adequado para aplicação na elaboração de um Diagnóstico Socioambiental, que, por sua vez, objetiva delimitar Áreas de Preservação Permanente de margens de rios localizadas em zonas urbanas consolidadas, em atendimento às disposições contidas na Lei nº 14.285/2021.

### Resultados e Discussão

Com a necessidade de definir uma metodologia para elaboração de DSAs e a opção pela realização de uma matriz de decisão, foram definidos os catorze critérios de análise apresentados anteriormente. Estes critérios são esclarecidos no Quadro 1, onde estão apresentados os critérios, a escala numérica utilizada para avaliação do critério na matriz de decisão, o motivo utilizado para definição deste critério e a referência utilizada para definição deste motivo.

Para a escolha dos critérios foram analisadas literaturas sobre cada um dos métodos definidos anteriormente. A partir das referências presentes na literatura foi analisado o elenco de vantagens e desvantagens informado pelos autores estudados para os oito métodos, e, dentre esse elenco, foram selecionadas as vantagens e desvantagens consideradas, pelos autores deste





trabalho, como relevantes para a composição de uma metodologia a ser utilizada na elaboração de DSAs.

**Quadro 1: Quadro explicativo dos critérios avaliados para a escolha do método**

<b>Critério</b>	<b>Escala de pontuação aplicada</b>	<b>Motivo para escolha do critério</b>	<b>Referência utilizada</b>
Este método é aplicável ao caso analisado?	0 - Não 1 - Sim	O método escolhido precisa, necessariamente, ser aplicável ao caso proposto. Este é um critério determinante para escolha do método	-
Qual o nível de facilidade na elaboração do material necessário para aplicação do método?	0 - Baixo 0,5 - Médio 1 - Alto	Analisa-se, entre os métodos, o nível de facilidade de sua elaboração	Carvalho; Lima, 2010
Este método exige utilização de uma equipe multidisciplinar, tanto para elaboração quanto para aplicação?	0 - Não 1 - Sim	Devido ao número multidisciplinar de fatores analisados, é necessário que o método escolhido seja elaborado e aplicado por equipes multidisciplinares. Este é um critério determinante para escolha do método	Carvalho; Lima, 2010
Este método considera questões sociais, tanto na elaboração quanto na aplicação?	0 - Não 1 - Sim	O objetivo da pesquisa é realizar um Diagnóstico Socioambiental, sendo assim, é indispensável a escolha de um método que considere questões sociais, tanto em elaboração, quanto em aplicação. Este é um critério determinante para escolha do método	Cremonez; <i>et al</i> , 2014
Este método é de aplicação rápida?	0 - Não 1 - Sim	Analisa-se, entre os métodos, sua rapidez de aplicação	Carvalho; Lima, 2010
Este método apresenta baixos custos de aplicação?	0 - Não 1 - Sim	Analisa-se, entre os métodos, seus custos de aplicação	Carvalho; Lima, 2010
Neste método as equipes responsáveis pelas respostas são anônimas?	0 - Não 1 - Sim	O anonimato das equipes pode reduzir a influência de hierarquias ou de personalidades influentes durante a aplicação do método	Linstone; Turoff, 2002; Dias, 2007
Qual o nível de precisão das informações finais?	0 - Baixo 0,5 - Médio 1 - Alto	O método escolhido requer um nível alto de precisão dos resultados finais. Este é um critério determinante para escolha do método	Carvalho; Lima, 2010
Qual o nível de objetividade do método?	0 - Baixo 0,5 - Médio 1 - Alto	O método escolhido requer um nível alto de objetividade, para evitar a subjetividade nos resultados finais	Carvalho; Lima, 2010; IBAMA, 1995
A tomada de decisão do método é baseada em mais de um critério?	0 - Não 1 - Sim	Por ser um estudo que analisa situações diversas, é necessário que o método escolhido tenha uma tomada de decisão baseada em múltiplos critérios	Carvalho; Lima, 2010; Gomes; Costa, 2013; Bouyssou, 1990; Saaty, 2008; Linstone; Turoff, 2002
Este método é capaz de resolver problemas complexos?	0 - Não 1 - Sim	Devido a diversidade de critérios e variáveis aplicadas ao caso, se faz necessária a utilização de um método capaz de oferecer solução para problemas complexos	Linstone; Turoff, 2002; IBAMA, 1995; Saaty, 2008
Este método é capaz de resolver questões com mais de uma resposta correta?	0 - Não 1 - Sim	Se tratando de um assunto complexo, geralmente sem opiniões convergentes entre os especialistas, se faz necessário um método capaz de resolver problemas com mais uma solução adequada. Este é um critério determinante para escolha do método	Linstone; Turoff, 2002; Saaty, 2008
Neste método há possibilidade de convergir opiniões multidisciplinares, dar feedbacks e reconsiderar os posicionamentos iniciais?	0 - Não 1 - Sim	Se tratando de um caso multidisciplinar, que analisa diversas variáveis/critérios, é necessário um método que possibilite convergência de opiniões, feedbacks e possibilidade de reconsideração de posicionamentos iniciais. Este é um critério determinante para escolha do método	Linstone; Turoff, 2002; Saaty, 2008
Este método associa resultados qualitativos e quantitativos?	0 - Não 1 - Sim	É necessário que o método apresente uma associação de resultados quantitativos e qualitativos, pois, além de determinar larguras de faixas de APP, o método deve considerar aspectos qualitativos	Carvalho; Lima, 2010; Linstone; Turoff, 2002; Saaty, 2008

Fonte: Os autores, 2023



Definidos os critérios e suas escalas numéricas, estes foram aplicados na matriz de decisão, que relaciona as oito metodologias escolhidas com cada um dos catorze critérios, em uma matriz 14 x 8. Cabe destacar que os critérios apresentados no Quadro 1 foram aplicados na matriz para avaliar a adequabilidade dos oito métodos escolhidos, quanto ao objetivo de determinar as faixas de APPs hídricas em zonas urbanas consolidadas.

A Tabela 1 apresenta esta matriz, onde os critérios analisados estão divididos entre as fases de **elaboração**, **elaboração/aplicação**, **aplicação** e **resultados** do método. Ao final da matriz são somadas as pontuações obtidas por cada um dos métodos.

**Tabela 1: Matriz de decisão**

	<b>Crítérios analisados</b>	<b>MQQ<sup>1</sup></b>	<b>Mat. Leo<sup>2</sup></b>	<b>Ad Hoc<sup>3</sup></b>	<b>Check List<sup>4</sup></b>	<b>Mod. Simul.<sup>5</sup></b>	<b>Anal. Mult.<sup>6</sup></b>	<b>AHP<sup>7</sup></b>	<b>Met. Delphi<sup>8</sup></b>
<b>ELABORAÇÃO</b>	Este método é aplicável ao caso analisado?	1	1	1	1	1	1	1	1
	Qual o nível de facilidade na elaboração do material necessário para aplicação do método?	0	1	1	1	0	0	0	0
<b>ELABORAÇÃO/APLICAÇÃO</b>	Este método exige utilização de uma equipe multidisciplinar, tanto para elaboração quanto para aplicação?	1	1	1	1	1	1	1	1
	Este método considera questões sociais, tanto na elaboração quanto na aplicação?	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>APLICAÇÃO</b>	Este método é de aplicação rápida?	1	1	1	1	0	0	0	0
	Este método apresenta baixos custos de aplicação?	1	1	1	1	0	0	1	1
	Neste método as equipes responsáveis pelas respostas são anônimas?	0	0	0	0	0	1	0	1
<b>RESULTADOS</b>	Qual o nível de precisão das informações finais?	0	0,5	0,5	0	0,5	1	1	1
	Qual o nível de objetividade do método?	0	0	0	0	0,5	1	1	1
	A tomada de decisão do método é baseada em mais de um critério?	1	1	1	0	1	1	1	1
	Este método é capaz de resolver problemas complexos?	0	0	1	0	1	1	1	1
	Este método é capaz de resolver questões com mais de uma resposta correta?	0	0	1	0	1	1	1	1
	Neste método há possibilidade de convergir opiniões multidisciplinares, dar feedbacks e reconsiderar os posicionamentos iniciais?	0	0	1	0	0	1	1	1
	Este método associa resultados qualitativos e quantitativos?	0	1	1	0	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>		<b>6</b>	<b>8,5</b>	<b>11,5</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>12</b>

Fonte: Os autores, 2023

**Legenda:**

- 1 – Métodos Qualitativos e Quantitativos
- 2 – Matriz de Leopold
- 3 – Ad Hoc



- 4 – Check List
- 5 – Modelos de Simulação
- 6 – Análise Multicritério
- 7 – Análise Hierárquica de Processos
- 8 – Método Delphi

Conforme observa-se na Tabela 1, com pontuação total de 12, dentre os 14 pontos possíveis, o Método Delphi se apresenta como o mais adequado ao caso. No entanto, outros métodos tiveram desempenhos significativos, o que levou a uma análise da relevância das desvantagens apresentadas por eles. O método Ad Hoc, como apresentado na matriz, tem um nível alto de subjetividade nas respostas finais, pois se trata de um método de consulta a especialistas com apenas uma rodada, sendo assim, vigora a opinião subjetiva deste especialista sem a possibilidade de um *feedback* e/ou reconsideração da resposta inicial. Portanto, mesmo o método obtendo uma pontuação significativa, ele foi desconsiderado.

Em relação ao método de Análise Multicritério, este apresenta elevados custos de aplicação, o que inviabilizaria a sua utilização neste trabalho. Portanto o método também foi desconsiderado.

E, por fim, o método de Análise Hierárquica de Processos, diferente do método Delphi, não utiliza equipes anônimas em suas pesquisas. Essa desvantagem foi considerada como de grande relevância, pois acredita-se que seja um fator determinante para a pesquisa que as respostas sejam realizadas de forma anônima, considerando que se trata de um tema de alta complexidade e com uma divergência muito grande de opiniões entre os especialistas. Também é importante para a pesquisa que as equipes sejam anônimas para evitar influências hierarquizadas durante o processo de resposta. No caso de as respostas serem abertas, isso pode reprimir o especialista de fornecer sua real opinião sobre o tema ou até mesmo diminuir a quantidade de especialistas respondentes.

Sendo assim, manteve-se a escolha fornecida pela matriz de decisão e o método definido como mais adequado para a realização do Diagnóstico Socioambiental foi o método Delphi, e, por consequência, será o método utilizado para o restante do desenvolvimento da pesquisa, que objetiva a elaboração de um Diagnóstico Socioambiental para delimitação de APPs hídricas em zonas urbanas consolidadas.

Cabe destacar que a matriz de decisão proposta nesse trabalho foi aplicada em um caso real, porém necessita de mais avaliações e de uma validação por parte de mais especialistas, sendo esse artigo um ponto de partida para sua validação. Ainda, este artigo também é um ponto de partida para a pesquisa aqui apresentada, a qual, nas próximas etapas, será desenvolvida através da produção dos questionários, aplicação do método para consulta aos especialistas e tratamento estatístico das respostas, para então desenvolver o Diagnóstico Socioambiental.

### Comentários finais

Este trabalho teve como objetivo propor uma metodologia para definição de um método de análise a especialistas aplicado à realização de Diagnósticos Socioambientais (DSAs), visando a definição de Áreas de Preservação Permanente (APPs) em zonas urbanas consolidadas, em atendimento às disposições da Lei Federal nº 14.285/2021. Por meio de análises à literatura foram definidos métodos e critérios para a realização de uma matriz de decisão e uma escolha mais acertada de qual método seria o mais adequado para utilização em um DSA.

Os objetivos específicos inicialmente propostos foram atendidos, permitindo a construção de uma base sólida para a tomada de decisões ambientais. Foram investigadas metodologias de análise a especialistas e critérios para a tomada de decisão sobre a metodologia mais adequada foram identificados e aplicados. Por meio da matriz de decisão proposta, foram relacionados os métodos e os critérios, resultando, ao fim, na seleção do método mais adequado para aplicação.

Este estudo, voltado à proposição de uma metodologia para escolha de um método utilizado na definição de APPs de cursos hídricos em zonas urbanas consolidadas, apresenta algumas limitações que merecem considerações. Primeiramente, a abordagem metodológica adotada, baseada na elaboração de uma matriz de decisão, está sujeita a subjetividade dos autores, que selecionaram os métodos, os critérios e definiram as pontuações aplicadas. Em se tratando de um método de consulta a especialistas, o método também está sujeito aos vieses e subjetividades da equipe de especialistas respondentes. Ainda, como se trata de um método aplicado em formato de questionário, cabe destacar que não é simples ou rápido atingir um número ideal de respondentes.

Reconhece-se que este trabalho é um ponto de partida e que a complexidade das dinâmicas urbanas e ambientais exige que a metodologia seja continuamente revisada e aprimorada. Além disso, é necessário adaptar o método para a elaboração dos questionários para aplicação aos especialistas, realizar a aplicação de uma rodada teste, e então aplicar a versão final dos questionários ao time de especialistas selecionados, bem como realizar as próximas rodadas definidas pelo Método Delphi. Ademais, se faz necessário efetivar a análise estatística necessária para de fato aplicar o método nos municípios, definindo suas faixas de APPs hídricas.

### Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao Instituto de Saneamento Ambiental da Universidade de Caxias do Sul (ISAM/UCS) pelo apoio recebido durante a elaboração deste trabalho.





### Referências Bibliográficas

- GIL, A.C.; 2002. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas. p. 41-44
- ROSA, Carlos Augusto de Proença; 2012. História da ciência: da antiguidade ao renascimento científico. In: História da ciência: da antiguidade ao renascimento científico. p. 469-469.
- PEIXOTO, Paulo; 2016. Os usos sociais dos rios. A água como património: experiências de requalificação das cidades com água e das paisagens fluviais. p. 57-70.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; CARDOSO, Adriana Sales; 2013. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história. Revista da Universidade Federal de Minas Gerais, v. 20, n. 2. p. 124-153.
- FERREIRA, Rodrigo César Flores *et al*; 2016. Produção de mudas nativas para o reflorestamento de matas ciliares: cartilha. p.4.
- CASTRO, Martha Nascimento; CASTRO, Rodrigo Martinez; DE SOUZA, Caldeira; 2013. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. Revista Uniaraçu, v. 4, n. 4, p. 230-241.
- MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M.; 2016. Drenagem Urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade. 1ª Edição, Rio de Janeiro: Elsevier. p. 9-18.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; 2002. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, p. 29-49.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; 2012. Gestão da drenagem urbana. p. 1-54.
- CARVALHO, Diego Lellis; LIMA, Adriana Villarinho; 2010. Metodologias para Avaliação de Impactos Ambientais de Aproveitamentos Hidrelétricos. p. 1-11.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA; 1995. Avaliação de impacto ambiental: agentes sociais, procedimentos e ferramentas. Brasília, IBAMA. p. 88-91.
- GOMES, Carlos Francisco Simões; COSTA, Helder Gomes. Proposta do uso da visão prospectiva no processo multicritério de decisão. 2013. Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/264235115\\_TOMADA\\_DE\\_DECISAO\\_GERENCIAL\\_Enfoque\\_TOMADA\\_DE\\_DECISAO\\_GERENCIAL\\_Enfoque\\_Multicriterio](https://www.researchgate.net/publication/264235115_TOMADA_DE_DECISAO_GERENCIAL_Enfoque_TOMADA_DE_DECISAO_GERENCIAL_Enfoque_Multicriterio). Acesso em: 20 maio 2023. p. 94-114.
- BOUYSSOU, Denis; 1990. Building criteria: a prerequisite for MCDA. In: Readings in Multiple Criteria Decision Aid [edited by C.A. Bana e Costa], Springer Verlag, Berlin. p. 2-6
- SAATY, Thomas; 2008. The analytic network process. Pittsburgh: University Of Pittsburgh. p.3-28.
- SILVA, C. A. da; NUNES, F. P; 2009. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE. p. 1-8.
- COSTA, Elias Carvalho Batista da; *et al*; 2019. Construção de indicador composto com base no ETHOS: aplicando a dimensão social em representações de calçados nos estados do Pará e Maranhão. In: XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 39, Santos. Os desafios da engenharia de produção para uma gestão inovadora da Logística e Operações. Santos: Enegep. p. 1-16.
- TUROFF, Murray; LINSTONE, Harold A; 2002. The Delphi method-techniques and applications. p. 5-9, 71-79, 223-229.
- WRIGHT, James Terence Coulter; GIOVINAZZO, Renata Alves; 2000. Delphi - Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. São Paulo: Caderno de Pesquisas em Administração. p. 1-12.
- POWELL, C; 2003. The Delphi technique: myths and realities. Journal of Advanced Nursing, 41(4). p. 376-382.
- DIAS, Rita de Cássia Barros; 2007. Método Delphi: Uma descrição de seus principais conceitos e características. Monografia (Especialização em Pesquisa de Mercado em Comunicação), Universidade Federal de São Paulo, São Paulo. p. 26-67.
- CREMONEZ, Filipe Eliazar; *et al*; 2014. Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil. Revista Monografias Ambientais, p. 3821-3830.



# CONCEPÇÃO DE FERRAMENTA DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETOS DE MINERAÇÃO A PARTIR DO SOFTWARE MAFMINE

1Upiragibe Vinícius Pinheiro, 2Fernando Alves Cantini Cardozo, 3Carlos Otávio Petter,  
4Weslei Monteiro Ambrós, 5João Vitor Martel, 6Vinícius Krug de Souza

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: upiragibe@gmail.com; 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail fernando.cantini@ufrgs.br; 3 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: cpetter@ufrgs.br; 4 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: weslei.ambrós@ufrgs.br; 5 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: martelpe@gmail.com; 6 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: viini.souza@gmail.com.

**Palavras-Chave:** Projetos de Mineração; Emissões de Gases do Efeito Estufa; MAFMINE ESG.

## Resumo

As implicações ambientais das operações industriais e as regulamentações cada vez mais rigorosas em relação ao meio ambiente, somados ao fato de que a indústria da mineração não se configura como sustentável, no sentido de que suas operações têm uma vida útil finita, fazem com que muitas empresas de mineração assumam o compromisso em reduzir suas emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). Embora a incorporação de questões ambientais em processos de tomada de decisão possa ser bastante desafiadora, torna-se evidente a necessidade de que qualquer atividade de mineração só deve ser realizada após a avaliação de suas contribuições para o meio ambiente. Neste contexto, a ferramenta MAFMINE ESG é concebida a partir do software MAFMINE, visando a integração de módulos que estimam balanços de massa e energia, custos, receita e índices de sustentabilidade ambiental. A fase atualmente em desenvolvimento envolve a integração das estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente e tem por objetivo que as estimativas sejam função das informações fornecidas pelos usuários (informações locais e produtivas) e estimativas já fornecidas nos relatórios finais de MAFMINE (estimativas de equipamentos e suas especificações, por exemplo). O desafio em questão envolve a necessidade de mapeamento de informações disponíveis e de necessidades de complementação. Atualmente a ferramenta MAFMINE se limita a fornecer estimativas de número de caminhões e suas especificações, bem como, porte e número de escavadeiras (*shovels*), para projetos de minas a céu aberto. Já para mineração subterrânea, são fornecidas especificações para o transporte de minério e estimativas de custos com desenvolvimento e lavra. O novo módulo em implantação no MAFMINE representa um avanço significativo na avaliação do impacto ambiental de projetos de mineração. Ao considerar não apenas os aspectos técnicos e econômicos, mas também as emissões de GEE, consumo de água e energia, associadas às operações de mineração, o modelo MAFMINE proporcionará uma visão mais abrangente e holística da sustentabilidade em projetos de mineração. É fundamental, todavia, que as metodologias de estimativa de índices de sustentabilidade sejam constantemente revistas e validadas, garantindo a precisão e a confiabilidade das estimativas de emissões e contribuindo para o avanço da indústria de mineração em direção a práticas mais sustentáveis.

## Introdução

A crescente conscientização do mercado consumidor, sobre as implicações ambientais das operações industriais, e as regulamentações cada vez mais rigorosas em relação ao meio ambiente, fazem com que empresas de todo o mundo revisem suas operações globais para atender às restrições ambientais atuais e permanecer competitivas. Em consequência, várias empresas de mineração estão comprometidas em reduzir suas emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), mas reduzir essas emissões pode significar impor custos extras às operações de mineração. Além disso, as empresas de mineração, ao longo do tempo, consomem mais energia e geram mais emissões para produzir a mesma quantidade de minérios. Assim, as empresas de mineração estão procurando práticas para reduzir suas emissões, juntamente com aumentos em seus lucros gerais (Valderrama *et. al.*, 2020).

Estritamente falando, a indústria da mineração não se configura como sustentável, no sentido de que suas operações têm uma vida útil finita e a dependência da humanidade por recursos não renováveis não pode continuar indefinidamente (Serman, 2012). Mas também, o fato de que existe uma relação exponencialmente inversa entre o teor de minério e seu impacto ambiental, em termos de consumo de energia e água, e a quantidade de emissões de GEE geradas por tonelada de mineral produzido, corroboram para contribuir contra a sustentabilidade da indústria da mineração. Afinal, quanto menor é o teor de minério, mais processos serão necessários para atingir a qualidade do produto da demanda, incorrendo no aumento do consumo de energia e consequentemente no aumento das emissões de GEE (Northey *et. al.*, 2014).

Assim, uma perspectiva integrada de metas de sustentabilidade nos níveis de decisão estratégica, tática e operacional, se torna central e significa que as decisões de alocação de recursos ambientais devem ser analisadas de maneira integrada e transparente, juntamente com as metas econômicas inerentes. Além disso, a capacidade de levar questões de sustentabilidade adequadamente em consideração ao projetar, operar e fechar projetos de mineração tornou-se um pré-requisito primário para apoiar a viabilidade de projetos de mineração (Pimentel *et. al.*, 2016).

De forma que, se torna claro que indicadores e métricas de desempenho em sustentabilidade são uma necessidade fundamental para qualquer abordagem consistente envolvendo esses aspectos. Embora a incorporação de questões sustentáveis nos processos quantitativos de tomada de decisão possa ser bastante desafiadora, torna-se evidente a necessidade de que qualquer atividade de mineração só deve ser realizada se uma contribuição líquida positiva de longo prazo para a sociedade e para o meio ambiente puder ser produzida (Pimentel *et. al.*, 2016).



Nesse contexto, ferramentas computacionais que incluam índices de sustentabilidade, principalmente no que se refere a questões ambientais, como índices de emissões de gases como o CO<sub>2</sub> equivalente, consumo de energia e de água, somados a estimativas técnico-econômicas na tomada de decisão em projetos de mineração são de grande valia. A incorporação da problemática socioambiental na avaliação da viabilidade de projetos em tais *softwares*, no entanto, ainda é emergente (Pinheiro *et. al.*, 2023). Assim, com olhar voltado à problemática ambiental relacionada à mineração, este artigo tem como objetivo apresentar como será composto o desenvolvimento de uma nova versão do MAFMINE, a qual irá incorporar um módulo específico com aspectos ligados às emissões de GEE, consumo de energia e consumo de água, o MAFMINE ESG.

Pinheiro *et. al.* (2023) descrevem como é a concepção inicial do MAFMINE ESG, que irá abordar as questões de sustentabilidade, com foco na gestão e consumo de água. Porém, o foco deste artigo é descrever como será a estratégia de concepção das estimativas de emissões de GEE e forma como se dará o uso das estimativas de consumo de energia elétrica para o cálculo das emissões oriundas desse escopo, já que esta informação já é um produto dos módulos atualmente em operação do MAFMINE.

### MAFMINE

O MAFMINE é uma ferramenta de estimativa de custos de projetos de mineração baseada em modelos paramétricos e foi projetada para fornecer estimativas de custos em um nível de detalhe conhecido como Avaliação Econômica Preliminar (AEP). Neste, o objetivo principal é estabelecer a viabilidade econômica potencial dos recursos minerais, aceitando uma precisão de estimativa de custo de até 50%. Os recursos de AEP para novos projetos é o que diferencia o MAFMINE da maioria das ferramentas comerciais atualmente disponíveis, uma vez que incorre em elevados esforços computacionais no mapeamento de cenários (D'Arrigo, 2012).

O MAFMINE, atualmente, oferece equações para criação de cenários de processamento que objetivam resultados baseados em estimativas de CAPEX e OPEX para diferentes projetos de mineração, mediante modelos paramétricos suportados por uma quantidade relativamente simples de entradas (metas de processo e coeficientes técnicos indicados pelo usuário). A parametrização de custos é estabelecida por meio de análise de regressão utilizando bases de dados disponíveis para cada parâmetro. Para além disto, o MAFMINE conta com diversos módulos para detalhamento de cenários em um projeto, tais como: módulo para seleção do método de lavra, métodos de processamento, avaliação econômica (depreciação, taxa de retorno etc.) (D'Arrigo, 2012).

### MAFMINE ESG

Neste contexto, a nova ferramenta da plataforma MAFMINE surge com a finalidade de simular a viabilidade preliminar de projetos de mineração utilizando índices que incorporem sustentabilidade ambiental, em especial, no que diz respeito a emissões de GEE e ao consumo de água e energia. Pinheiro *et. al.* (2023) apresentaram a estratégia utilizada para o passo inicial de desenvolvimento deste módulo do MAFMINE, que inclui principalmente a gestão do consumo de água. Ficou demonstrado que a ideia principal associada ao desenvolvimento da plataforma em questão consiste na adaptação das estratégias de parametrização e indexação de custos utilizada no MAFMINE para a estimativa de índices de risco associados ao uso e consumo de água e energia em projetos de mineração. Todavia, o maior desafio identificado no processo, é encontrar as bases de dados para o consumo e captação de água na indústria da mineração, pois há grande variabilidade entre diferentes minas no consumo de água (Pinheiro *et. al.*, 2023), e, da mesma forma, este desafio se repete na consolidação do MAFMINE ESG.

A fase atualmente em desenvolvimento envolve a integração das estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente e tem por objetivo que as estimativas sejam função das informações fornecidas pelos usuários (informações locais e produtivas) e estimativas já fornecidas nos relatórios finais de MAFMINE (estimativas de equipamentos e suas especificações, por exemplo). O desafio em questão envolve a necessidade de mapeamento de informações disponíveis e de necessidades de complementação. Atualmente a ferramenta MAFMINE se limita a fornecer estimativas de número de caminhões e suas especificações, bem como, porte e número de escavadeiras (*shovels*), para projetos de minas a céu aberto. Já para mineração subterrânea, são fornecidas especificações para o transporte de minério e estimativas de custos com desenvolvimento e lavra.

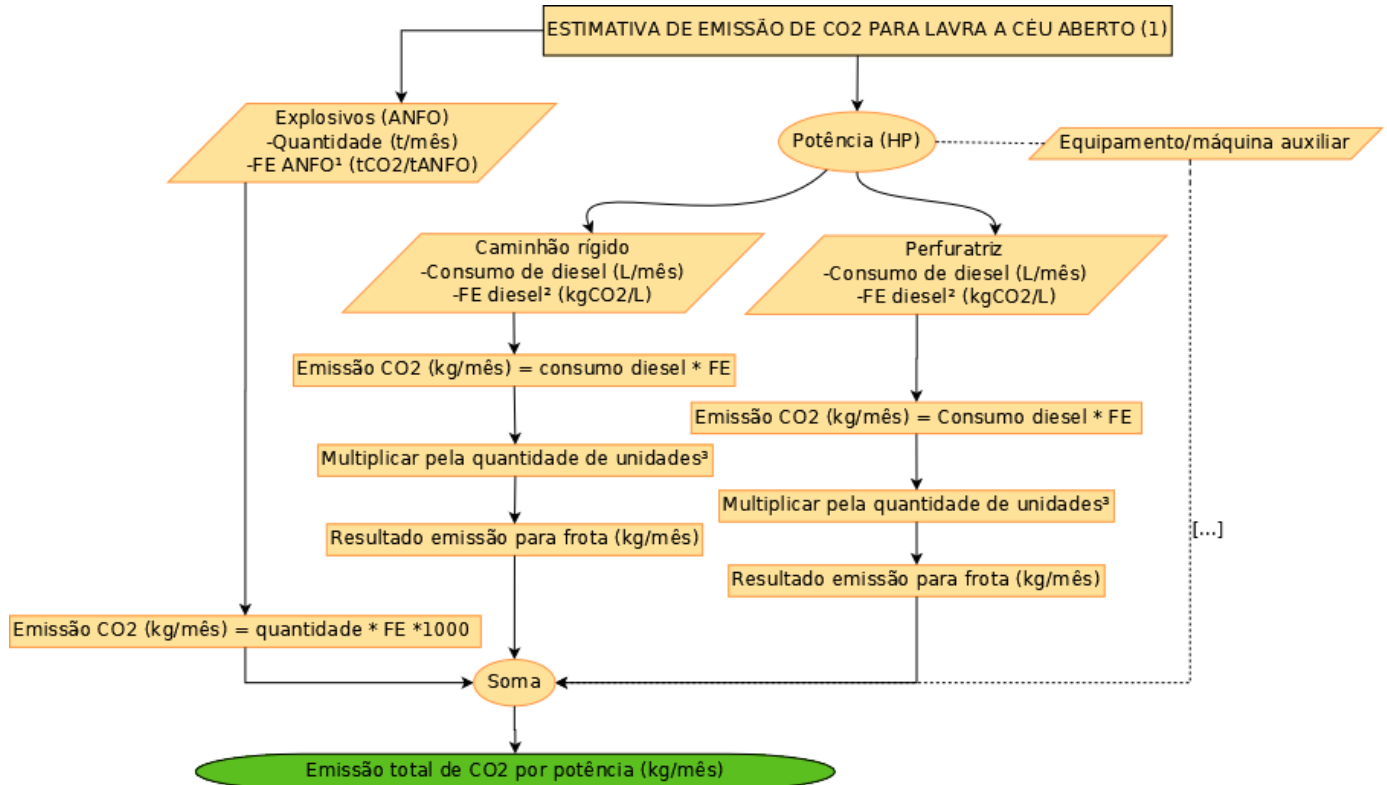
Dessa forma, objetiva-se demonstrar neste artigo, como será realizado o mapeamento e determinação da melhor rota para estimativas de índices de sustentabilidade associados à informações já fornecidas nos relatórios produzidos pelos módulos principais já existentes do MAFMINE – Módulos Mina a Céu Aberto, Mina Subterrânea e Planta de Beneficiamento. Na Tabela 1 são elencadas e descritas as etapas gerais a serem seguidas para a concepção da ferramenta MAFMINE ESG.





**Tabela 1: Etapas gerais a serem seguidas para a concepção da ferramenta MAFMINE ESG**

<b>Levantamento de Dados e Identificação de Fontes de Emissão</b>
Identificar todas as fontes potenciais de emissão de CO <sub>2</sub> equivalente nos processos de mineração a céu aberto e subterrânea, bem como no beneficiamento de minério, incluindo a queima de combustíveis fósseis nos equipamentos, o consumo de eletricidade, o deslocamento de veículos e a operação de instalações fixas.
Utilizar dados históricos ou médias setoriais para estimar as emissões associadas à produção de uma determinada quantidade de minério ou material beneficiado na mina subterrânea.
Levantar dados detalhados sobre os equipamentos utilizados em cada etapa do processo, incluindo número, tipo, capacidade, eficiência energética e tipo de combustível utilizado.
Coletar informações sobre o consumo de combustível, eletricidade e outras fontes de energia utilizadas nos equipamentos e instalações, bem como sobre as emissões associadas a cada uma dessas fontes.
<b>Desenvolvimento de Metodologia de Cálculo</b>
Desenvolver uma metodologia de cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> equivalente baseada nos dados levantados, levando em consideração as características técnicas e operacionais de cada equipamento, o tipo de combustível utilizado e os fatores de emissão específicos.
Incorporar na metodologia de cálculo as variáveis relacionadas à operação dos equipamentos, como horas de funcionamento, carga de trabalho e eficiência operacional, para estimar com precisão as emissões ao longo do ciclo de vida de cada equipamento.
Além das emissões diretas associadas à operação da mina subterrânea, considerar as emissões indiretas associadas à geração de energia elétrica utilizada na mina, ao transporte de materiais e insumos, e às operações de manutenção e logística.
<b>Integração com o MAFMINE</b>
Integrar a metodologia de cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> equivalente ao MAFMINE, de modo a automatizar a geração das estimativas durante a análise de custos e quantitativos técnicos.
Modificar as funções do modelo MAFMINE para incluir as variáveis relacionadas às emissões de CO <sub>2</sub> equivalente, garantindo que os resultados sejam consistentes e precisos e que reflitam o impacto ambiental total dos projetos de mineração.
<b>Validação e Ajustes</b>
Realizar testes e validações para garantir a precisão e a confiabilidade das estimativas de emissões geradas pelo modelo MAFMINE.
Realizar ajustes e refinamentos na metodologia de cálculo e nas variáveis do modelo conforme necessário, com base nos resultados dos testes e nos feedbacks dos usuários.



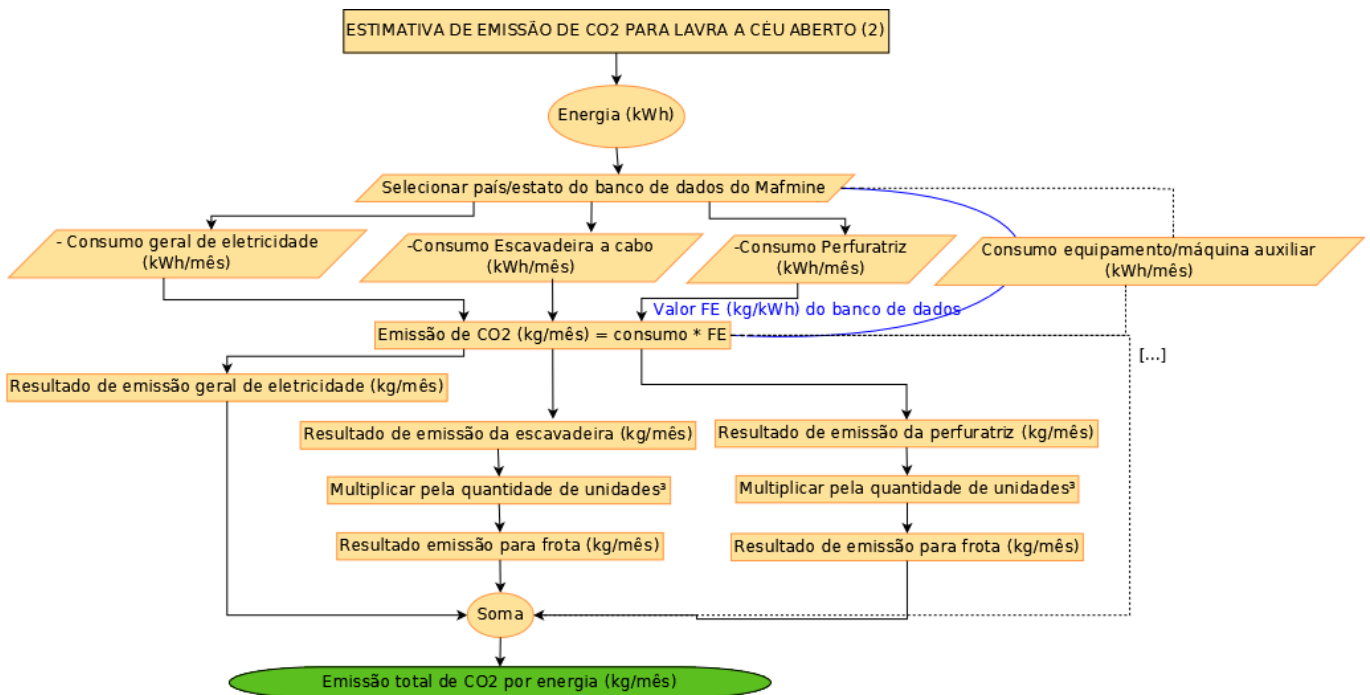
FE = Fator de Emissão

<sup>1</sup>Valor do FE médio para ANFO = 0.189 tCO<sub>2</sub>/tANFO

<sup>2</sup>Valor do FE médio para diesel = 2.68 kgCO<sub>2</sub>/L

<sup>3</sup>A quantidade total de unidades dos equipamentos é estimada pelo Mafmine

**Figura 1: Fluxograma do MAFMINE ESG para estimativas de emissões de GEE a partir do consumo de equipamentos a diesel e outros combustíveis para a Lavra de Minas a Céu Aberto.**



FE = Fator de Emissão

<sup>3</sup>A quantidade total de unidades dos equipamentos é estimada pelo Mafmine

**Figura 2: Fluxograma do MAFMINE ESG para estimativas de emissões de GEE a partir do consumo de energia elétrica na Lavra de Minas a Céu Aberto.**

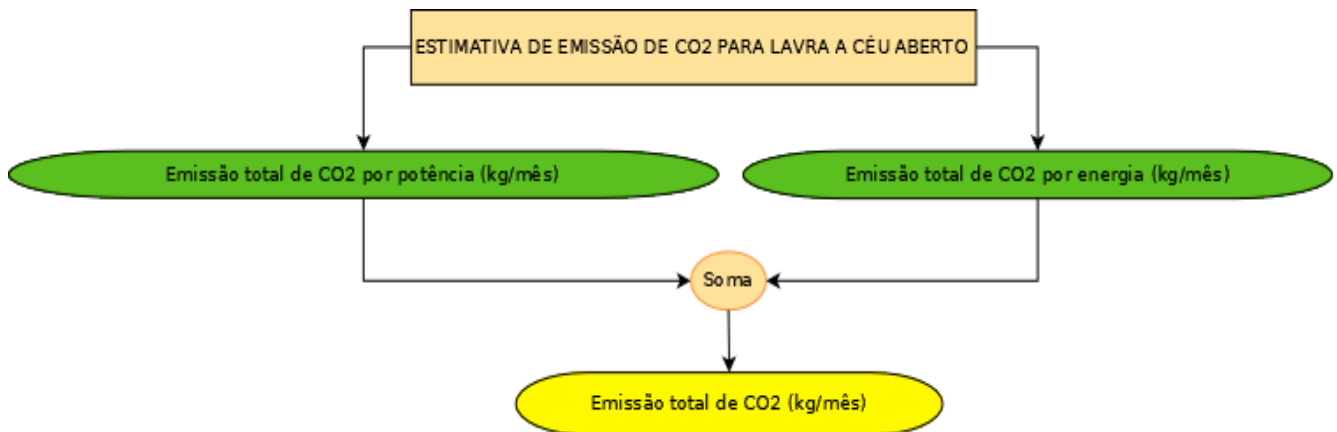
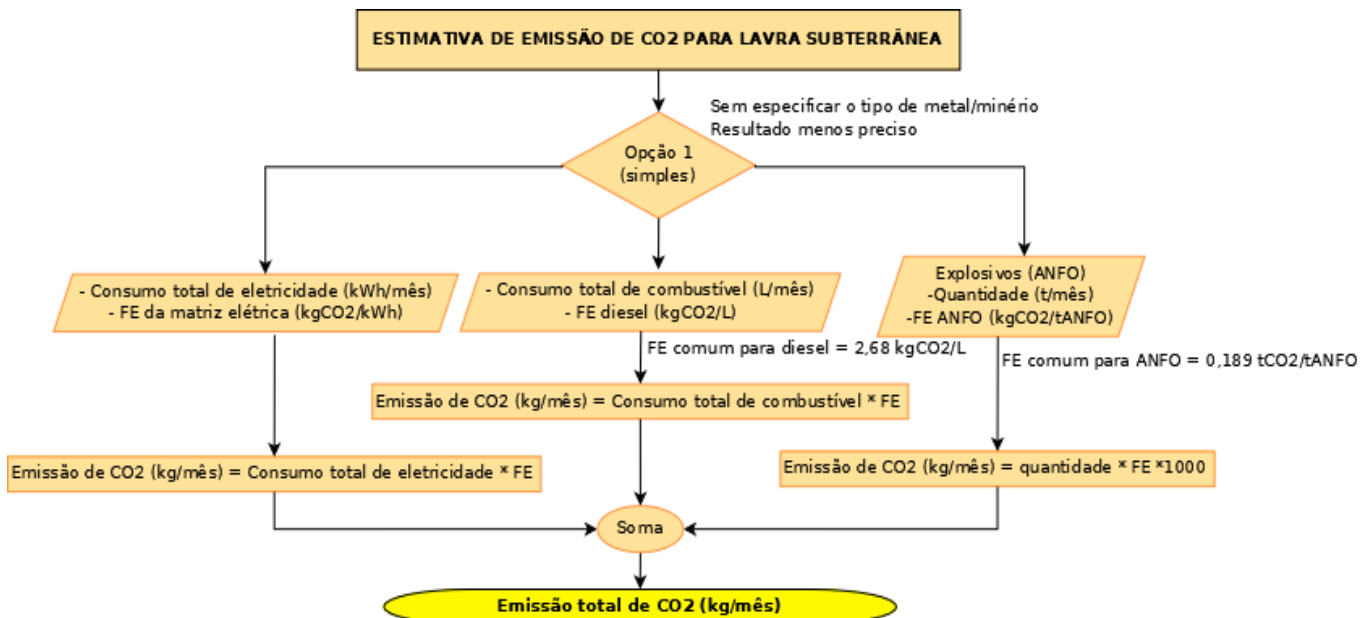


Figura 3: Fluxograma do MAFMINE ESG que esquematiza a estimativas totais de emissões de GEE para projeto de Minas a Céu Aberto.



FE = Fator de Emissão

Figura 4: Fluxograma do MAFMINE ESG para estimativas de emissões totais de GEE para projeto de Minas Subterrâneas.

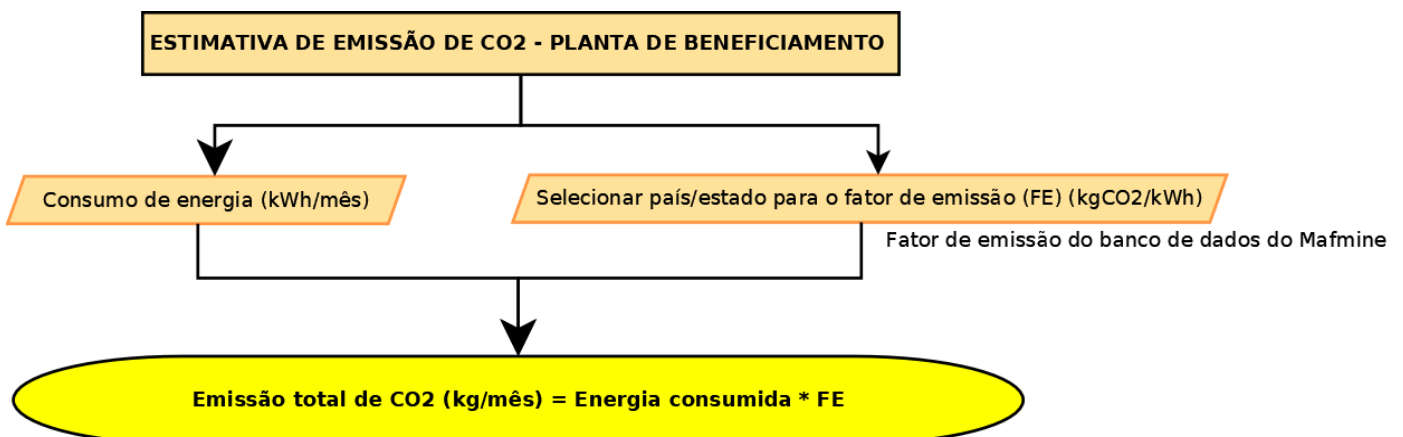


Figura 5: Fluxograma do MAFMINE ESG para estimativas de emissões totais de GEE a partir de projetos gerados pelo Módulo Planta de Beneficiamento.





Os fluxogramas apresentados nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5 objetivam tornar fácil a visualização das etapas elencadas na Tabela 1. As cinco figuras se referem a fluxogramas que descrevem a estrutura do MAFMINE ESG para cada um dos três módulos já existentes no MAFMINE: Módulo Mina a Céu Aberto (Figuras 1, 2 e 3), Mina Subterrânea (Figura 4) e Planta de Beneficiamento (Figura 5).

Resumidamente, os cinco fluxogramas demonstrados nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5 podem ser descritos da seguinte forma: para a estimativa de emissões de GEE, serão utilizados como entrada os dados fornecidos pelo relatório que é produto dos três módulos do MAFMINE, que são especificações dos equipamentos que consomem combustíveis (Potência em HP, por exemplo), número de horas trabalhadas por dia, e consumo de energia. A potência, em HP, dos equipamentos com motor a combustão (*diesel*, geralmente) pode se tornar uma boa escolha por conservar uma correlação muito forte com os dados de emissões de GEE, na forma de CO<sub>2</sub> equivalente. O fator de emissão utilizado para os cálculos será baseado em valores fornecidos por relatórios de agências governamentais ou instituições intergovernamentais. Assim, os resultados serão dados de emissões em kg/h, ou kg/ton de minério de operação da mina.

Todavia, também pode-se buscar correlacionar as emissões com a quantidade de consumo de combustível estimada, através do número de equipamentos e dos dados de consumo destes equipamentos. As emissões relacionadas ao consumo de energia poderão ser multiplicadas pelos coeficientes de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente tanto das matrizes energéticas disponíveis (hidrelétrica, carvão, gás natural, eólica, solar, nuclear etc.) quanto, pela média de emissões por matriz regional (por país), através de dados fornecidos por agências governamentais ou instituições intergovernamentais. Assim, o resultado será composto de dados de emissões em kg/kWh.

### Considerações Finais

O setor da indústria de mineração passou a visar à melhora do seu desempenho sustentável, sendo que os aspectos centrais, quanto às questões ambientais, são o consumo de água, energia e emissões de gases como o CO<sub>2</sub>. De uma perspectiva mais ampla, a extração de recursos minerais se inicia pelo projeto e construção do local, operação, fechamento e reabilitação final, mas cada uma dessas etapas, em todas as fases do desenvolvimento, pode criar impactos negativos ambientais e sociais significativos que devem ser equilibrados, combatendo investimentos com benefícios a longo prazo. Isso se torna central para uma perspectiva integrada de metas de sustentabilidade nos níveis de decisão estratégica, tática e operacional, o que significa que as decisões de alocação de recursos ambientais e sociais devem ser analisadas de maneira integrada e transparente, juntamente com as metas econômicas inerentes.

Destarte, ficou evidente que existe uma lacuna de desafios e oportunidades, uma vez que há um pequeno número de trabalhos que apresentam modelos formais dedicados a projetos de mineração sustentáveis. Assim, após o desenvolvimento e a implementação do MAFMINE ESG, se espera que resultados significativos possam ser alcançados. Inicialmente, deverá haver uma melhoria na avaliação ambiental, permitindo uma compreensão mais completa do impacto ambiental dos projetos de mineração. Isso facilitará a identificação de áreas de melhoria e o desenvolvimento de estratégias de mitigação. Além disso, os tomadores de decisão terão acesso a informações detalhadas sobre as emissões associadas às operações de mineração, o que os capacitará a tomar medidas proativas para reduzir o impacto ambiental e garantir a sustentabilidade a longo prazo.

O novo módulo em implantação no MAFMINE representa um avanço significativo na avaliação do impacto ambiental de projetos de mineração. Ao considerar não apenas os aspectos técnicos e econômicos, mas também as emissões de GEE, consumo de água e energia, associadas às operações de mineração, o modelo MAFMINE proporcionará uma visão mais abrangente e holística da sustentabilidade em projetos de mineração. É fundamental, todavia, que as metodologias de estimativa de índices de sustentabilidade sejam constantemente revistas e validadas, garantindo a precisão e a confiabilidade das estimativas de emissões e contribuindo para o avanço da indústria de mineração em direção a práticas mais sustentáveis.

### Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq no âmbito da chamada CNPq/CT-Mineral n° 27/2022.

### Referências Bibliográficas

- D'Arrigo, R. F.; 2012. Modelo de estimativa de custos operacionais e de capital em projetos de mineração em fase conceitual baseado no modelo de O'Hara. Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre.
- Northey, S.; Mohr, S.; Mudd, G.M.; Weng, Z.; Giurco, D.; 2014. Modelling future copper ore grade decline based on a detailed assessment of copper resources and mining, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 83, p. 190-201.
- Pimentel, B. S.; Gonzalez, E. S.; Barbosa, G. N.O.; 2016. Decision-support models for sustainable mining networks: fundamentals and challenges, *Journal of Cleaner Production*, v. 112 (4), p. 2145-2157.
- Pinheiro, U. V.; Ambros, W. M.; Petter, C. O.; Cardozo, F. A. C.; D'Arrigo, R. F.; Petter, R. A.; 2023. MAFMINE ESG: Ferramenta de sustentabilidade para gestão de água em projetos de mineração. In: 7º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, Porto Alegre. Anais do 7º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis. Madri: IAHR Publishing. v. 2. p. 193-198.



Sterman, J. D.; 2012. Sustaining Sustainability: Creating a Systems Science in a Fragmented Academy and Polarized World. In: Weinstein, M., Turner, R. (eds) Sustainability Science. Springer, New York.

Valderrama, C. V.; Gonzalez, E. S.; Pimentel, B.; Véjar, A. C.; Bustos, L. C.; 2020. Designing an environmental supply chain network in the mining industry to reduce carbon emissions, Journal of Cleaner Production, v. 254.



# PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS E ESG NO DESCOMISSIONAMENTO DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO

**1Fernando Alves Cantini Cardozo, 2Upiragibe Vinícius Pinheiro, 3Carlos Otávio Petter, 4Weslei Monteiro Ambrós**

*1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: fernando.cantini@ufrgs.br; 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: upiragibe@gmail.com; 3 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: cpetter@ufrgs.br; 4 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: weslei.ambros@ufrgs.br*

**Palavras-chave:** Projeto de Mineração; Descomissionamento de Barragens; Barragens de Rejeito.

## Resumo

O descomissionamento de barragens de mineração emergiu como uma questão crucial no contexto da sustentabilidade e da responsabilidade socioambiental corporativa (ESG) em projeto de mineração. Este artigo propõe uma análise abrangente da integração de práticas ESG no planejamento inicial de projetos de mineração, com foco específico no descomissionamento de barragens. Considerando que o modelamento de implementação e de descomissionamento deve ser considerado desde as fases de projetos iniciais. Permitindo avaliação adequada de necessidades e consequentes custos. Assim, o presente trabalho explora a importância de considerar aspectos técnico-econômicos desde as etapas conceituais dos projetos, visando mitigar riscos ambientais, sociais e financeiros associados ao ciclo de projetos de mineração.

## Introdução

O descomissionamento de barragens de mineração emergiu como uma questão crucial no contexto da sustentabilidade e da responsabilidade socioambiental corporativa (ESG) na indústria mineral. Incidentes recentes destacaram os impactos devastadores das falhas estruturais, tornando-o um ponto crítico de atenção. Historicamente, as barragens de mineração têm apresentado um histórico maior de falhas em comparação com as barragens para reservação de água, influenciadas por uma variedade de fatores, desde materiais construtivos até gestão e fiscalização. No entanto, é imperativo considerar não apenas a construção inicial, mas também o descomissionamento desde as fases iniciais dos projetos. Sendo que na mineração é recente o paradigma de minimização e mitigação de impactos, e sua consideração como um importante critério de projeto. Massignan e Sánchez (2022), em revisão bibliográfica, apontam como assunto descomissionamento de barragens de mineração ainda é pouco explorado e carece de referências.

Atualmente, as práticas ESG são fundamentais para a viabilização de projetos de mineração, uma vez que refletem a necessidade de maior confiabilidade nas estruturas e a redução dos impactos socioambientais. A consideração dessas práticas desde a concepção dos projetos, além de promover uma avaliação mais precisa das necessidades e dos custos associados, visa mitigar riscos ao longo do ciclo de vida das barragens. Diversos autores atribuem em parte os danos socioambientais da mineração e de barragens de mineração ao fato de não ocorrer um planejamento e controle adequado dos processos desde a concepção dos projetos (Cardozo; Ruver; Gehling, 2020; Schoenberger, 2016)

Diante desse cenário, este artigo busca preencher lacunas na literatura atual, concentrando-se na integração de práticas sustentáveis e ESG desde as etapas iniciais dos projetos de mineração. Reconhece-se a importância de abordagens que incorporem avaliação de impacto ambiental, engajamento das partes interessadas, análise de viabilidade técnica e financeira, design sustentável, planejamento adequado do descomissionamento e governança corporativa eficaz.

A discussão sobre os custos associados ao descomissionamento de barragens ressalta a importância de considerar esses fatores desde as fases iniciais do projeto, visando garantir sua viabilidade financeira e responsabilidade corporativa. Além disso, a proposta de uma estrutura de avaliação ESG oferece uma possibilidade valiosa para entender, medir e gerenciar os impactos do descomissionamento de barragens em diversas áreas, promovendo a transparência, a responsabilidade e a adoção de práticas sustentáveis. Diversos trabalhos têm apontado recentemente para a importância de consideração de aspectos ESG na tomada de decisão em projetos de mineração (Cardozo; Petter; Petter, 2023; Martins, 2020). Corroborando pelo entendimento de incorporação de modelos de indicadores ESG dentro de Modelos Técnico Econômicos para projetos de Mineração. Petter *et. al.* (2022) destaca tais fatores e apresenta como os aspectos ESG podem ser incorporados em Modelos Técnico Econômicos.

No entanto, a implementação bem-sucedida dessas práticas requer comprometimento e colaboração de todas as partes interessadas, incluindo empresas de mineração, comunidades locais, governos e ONGs ambientais. Tornando complexa uma integração massiva já em etapas de projeto. Em última análise, o objetivo é alcançar uma abordagem mais responsável e sustentável para o descomissionamento de barragens de mineração, garantindo a proteção do meio ambiente, o bem-estar das comunidades locais e o desenvolvimento sustentável a longo prazo.

## Materiais e Métodos

Para compreender a integração de práticas sustentáveis e ESG no descomissionamento de barragens de mineração, é essencial delinear os desafios enfrentados, as práticas existentes e as metodologias e ferramentas propostas. A seguir, é apresentado uma análise desses aspectos, abordando desde os desafios técnicos, econômicos e sociais do descomissionamento





até as estratégias sugeridas para integrar efetivamente práticas sustentáveis e ESG desde as fases iniciais dos projetos de mineração. Os pontos a seguir abordados tem base em análise da bibliografia disponível e experiência dos autores. Foram consultadas principais bases de dados científicas. Posteriormente com base nestes pontos são apresentadas as discussões relacionando os três temas.

### Desafios do Descomissionamento de Barragens de Mineração

O descomissionamento de barragens (Figura 1) permeia desafios técnicos, econômicos e sociais, destacando a necessidade de abordagens holísticas ao tema. Barragens de mineração tem a função de servir aos fins de um empreendimento mineiro pela vida útil dele. Ou seja, após o exaurimento técnico-econômico de uma jazida as barragens de rejeito tornam-se passivos. Considerando que barragens são estruturas que necessitam de monitoramento e intervenções periódicas. Temos a necessidade de se descomissionar adequadamente a estrutura de forma a se ter confiabilidade quanto a sua estabilidade estrutural e ambiental. Para tanto, técnicas podem ir desde o desmonte total da estrutura (retirada do rejeito), quanto a obras de reforço e encapsulamento. Fernandes *et. al.* (2020) destaca que existem diversas maneiras de se desmontar uma barragem de rejeitos, que iram variar a depender de fatores limitantes de projeto, bem como de fatores associados a custo, técnica e prazo. Sendo que a estabilidade durante e após o processo deve ser plenamente garantida. Um grande desafio na gestão das barragens é a adequada consideração e previsibilidade do processo de descomissionamento em novos projetos.

Outro grande desafio é o alto custo para desmobilização das estruturas. Daré e Leão (2022) apresentam que os custos totais para um descomissionamento físico (desmonte da estrutura) se assemelham muito ao custo de alteamento, embora o custo médio por metro cubico seja inferior. Considerando que em termos de volume o desmonte de uma barragem de mineração requer maior movimentação que o necessário para o alteamento.



**Figura 1: Descomissionamento da Barragem 8B da Vale.**

### Sustentabilidade na Mineração

A sustentabilidade na mineração refere-se primeiramente a prática responsável de extrair recursos minerais enquanto se preserva o meio ambiente, protege as comunidades locais e promove o bem-estar social. Isso envolve a implementação de práticas sustentáveis que minimizam o impacto ambiental, garantem a segurança dos trabalhadores e contribuem para o desenvolvimento sustentável das regiões afetadas pela mineração.

Algumas práticas sustentáveis na mineração incluem a redução da geração de resíduos e a implementação de tecnologias de recirculação e reprocessamento. Além disso, a mineração responsável envolve o respeito aos direitos das comunidades locais, o envolvimento delas no processo de tomada de decisões e o apoio ao desenvolvimento socioeconômico das áreas impactadas.

Outras medidas incluem a adoção de tecnologias limpas e de baixo impacto ambiental, a mitigação dos impactos negativos da mineração na biodiversidade e nos ecossistemas locais, e o cumprimento rigoroso das regulamentações ambientais e de segurança. Em resumo, a sustentabilidade na mineração busca garantir que a atividade extrativa seja realizada de forma a promover o equilíbrio entre os aspectos econômicos, sociais e ambientais, assegurando o bem-estar das gerações presentes e futuras.

A literatura ilustra que a mineração pode contribuir para o desenvolvimento sustentável, concentrando-se em resultados econômicos, ambientais e comunitários bem-sucedidos. No entanto, em um contexto de mineração, esses três pilares não conseguem cobrir adequadamente duas áreas importantes. Uma é a segurança, que recebe mais atenção no setor de mineração do que qualquer outra indústria. A cobertura da mídia e o foco político aplicado a qualquer acidente em uma mina excede praticamente todas as outras indústrias. É comum que os reguladores forcem uma mina a fechar com base em um histórico de segurança ruim (Laurence, 2011).

A segunda dimensão que falta é um foco nas práticas de extração do próprio recurso mineral. Onde, geralmente, aborda-se o assunto a partir de um nível macro e de uma perspectiva econômica. Porém, há uma necessidade latente de se concentrar no nível micro, no local da mina individual, onde o recurso é gerenciado de forma sustentável ou insustentável. Todavia, pela Figura



2, fica claro que a indústria da mineração estará no caminho certo para estabelecer uma operação de mineração sustentável se se concentrar nas cinco áreas destacadas na figura: segurança, meio ambiente, economia, eficiência e comunidade (Laurence, 2011).

Nestes termos, vemos que o cuidado com a disposição e manejo dos rejeitos da mineração se torna um dos principais desafios para projetos sustentáveis. Vide o grande potencial de dano de falhas na disposição e nas estruturas de contenção. No caso de barragens, estas além de impactarem diretamente o meio físico e biótico, nos locais onde são executadas, podem caracterizar situações de eminentes riscos. Acidentes recentes com barragens exemplificam o grande potencial de dano socioambiental e os prejuízos em decorrência destes. Em caso recente da Barragem de Fundão e os danos no Rio Doce, os prejuízos socioambientais e custos com reparações e indenizações ultrapassa o montante de um bilhão de dólares.

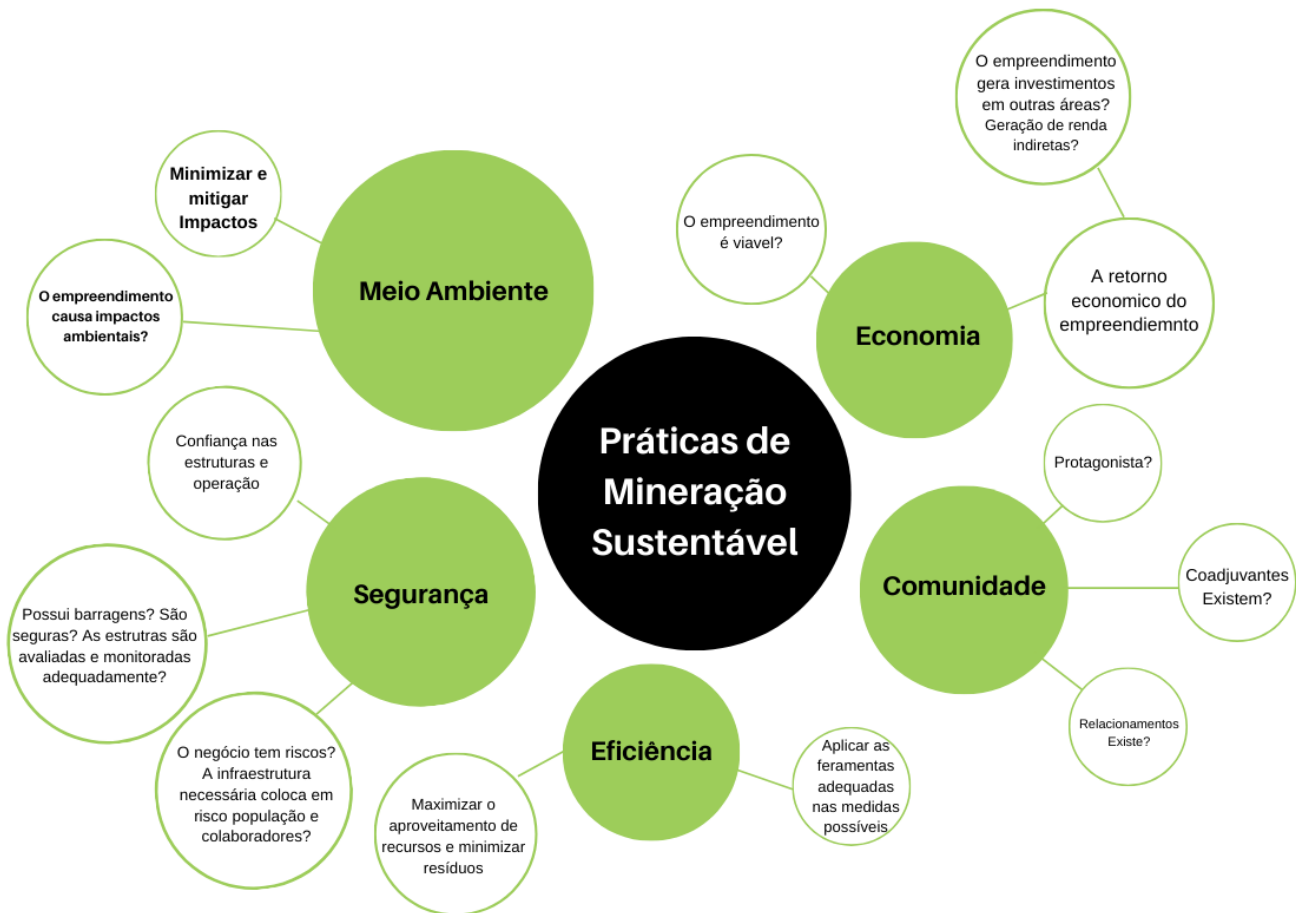


Figura 2: Práticas de Mineração Sustentável.

### ESG e Responsabilidade Corporativa

O ESG examina como uma empresa opera em relação ao meio ambiente (ambiental), seu impacto nas comunidades e funcionários (social) e a eficácia de suas estruturas de gestão e governança corporativa (governança). Diferente do conceito de sustentabilidade, mais amplo, o ESG uma estrutura mais específica para avaliar a performance de uma empresa, principalmente do ponto de vista dos investidores e sociedade, com foco em aspectos ambientais, sociais e de governança (Delgado-Ceballos *et al.*, 2023).

No caso de Barragens de mineração é importante que análises socioambientais devem ser levadas em consideração e até mesmo preceder análises técnicas quanto a projetos de barragens (Schoenberger, 2016). Sendo que o estudo da relação da comunidade e do meio socioambiental é fundamental para locação e dimensionamento de estruturas e pela aceitabilidade de projetos. Já quanto a esfera de governança Schoenberger (2016), aponta que cerca de três quartos das falhas de estruturas de barragens seriam em decorrência de problemas de gerenciamento e não simplesmente técnicos.

Outro ponto de suma importância é relação da empresa, gestora da barragem, para com as comunidades locais. É ponto chave a adequada comunicação e ciência das comunidades com a situação das operações e das estruturas. No caso das barragens deve haver clareza no repasse de informação das situações, obras e intervenções a serem desenvolvidas. E internamente é desejável que a empresa trata a área com uma governança sólida.





### Resultados e Discussão

A integração de práticas sustentáveis e ESG no descomissionamento de barragens de mineração abre caminho para uma análise multifacetada dos desafios e das soluções propostas. Dentro deste escopo se identificam três desafios principais: (i) integração de práticas sustentáveis na fase conceitual de projetos, (ii) abordar o descomissionamento de projetos dentro do ESG, e (iii) a integração e avaliação de métricas ESG acerca do descomissionamento de barragens. A seguir é apresentada uma discussão abrangente sobre a importância e as implicações dessas práticas para o setor de mineração.

### Integração de Práticas Sustentáveis na Fase Conceitual

Integrar práticas sustentáveis e ESG (Ambiental, Social e Governança) na fase conceitual de projetos de mineração, especialmente no contexto de barragens de mineração e seu descomissionamento, se mostra fundamental para garantir que os impactos ambientais, sociais e de governança sejam considerados desde o início do planejamento. Tal prática além de reduzir custos com o futuro descomissionamento, os prevendo antecipadamente, conferi importante competitividade a projetos. A seguir são elencadas algumas ferramentas para a integração de práticas nos estudos conceitual:

- I. Avaliação de Impacto Ambiental (AIA): Desde a fase conceitual, é essencial conduzir uma AIA abrangente para identificar e avaliar os impactos ambientais potenciais do projeto, incluindo os associados à construção, operação e descomissionamento da barragem. Isso pode ajudar a informar decisões sobre o local, o design e as práticas operacionais da barragem, visando minimizar esses impactos desde o início.
- II. Engajamento das Partes Interessadas: Envolver as partes interessadas, incluindo comunidades locais, povos indígenas, ONGs ambientais e órgãos reguladores, desde a fase conceitual, permite que suas preocupações e perspectivas sejam consideradas na tomada de decisões. Isso pode ajudar a mitigar conflitos e minimizar os impactos sociais adversos do projeto.
- III. Análise de Viabilidade Técnica e Financeira: Durante a fase conceitual, é importante realizar uma análise abrangente da viabilidade técnica e financeira do projeto, incluindo os custos associados ao descomissionamento da barragem no final de sua vida útil. Isso permite que os desenvolvedores do projeto incorporem considerações de descomissionamento desde o início e planejem adequadamente os recursos necessários.
- IV. Design Inovador e Sustentável: Ao conceber o projeto da barragem, os engenheiros e projetistas devem buscar soluções inovadoras e sustentáveis que minimizem os impactos ambientais e maximizem a eficiência operacional. Isso pode incluir o uso de tecnologias de construção verde, materiais de construção sustentáveis e sistemas de gestão de água eficientes.
- V. Planejamento de Descomissionamento: Desde a fase conceitual, é crucial planejar o descomissionamento da barragem e considerar os requisitos regulatórios, os custos associados e os impactos ambientais e sociais potenciais. Integrar considerações de descomissionamento desde o início pode facilitar a transição suave para a fase de descomissionamento no final da vida útil da barragem.
- VI. Governança Corporativa e Ética: Incorporar princípios de governança corporativa e ética desde a fase conceitual do projeto ajuda a garantir a transparência, a responsabilidade e o cumprimento das melhores práticas em todas as etapas do ciclo de vida da barragem. Isso inclui garantir a conformidade com as regulamentações ambientais, respeitar os direitos das comunidades locais e promover o envolvimento das partes interessadas em todas as fases do projeto.

### Descomissionamento de barragens como prática ESG

O descomissionamento de barragens e práticas ESG (Ambiental, Social e Governança) estão interligados de diferentes formas, assim com as já citas práticas sustentáveis. A seguir são elencados os aspectos relacionados ao descomissionamento que se relacionam com os pilares do ESG. Sendo que o grande diferencial é abordagem quanto a governança.

- I. Aspecto Ambiental (E): O descomissionamento de barragens pode ter um grande impacto ambiental. Barragens obsoletas ou não utilizadas podem representar riscos significativos para os ecossistemas locais e a qualidade da água. Eventuais rupturas podem comprometer significativamente os ecossistemas eventualmente afetado. O descomissionamento adequado visa mitigar esses impactos, restaurando na medida do possível os cursos de água afetados, removendo estruturas perigosas e minimizando a liberação de resíduos.
- II. Aspecto Social (S): O descomissionamento de barragens também tem implicações sociais importantes. Muitas vezes, as comunidades locais dependem dos recursos hídricos e dos ecossistemas associados para seu sustento e estilo de vida. O descomissionamento deve ser realizado de forma a envolver e consultar essas comunidades, garantindo que suas preocupações sejam ouvidas e que medidas sejam tomadas para mitigar quaisquer impactos negativos em sua vida diária. Cabe considerar, que por vezes as comunidades locais podem vir a ser dependentes das barragens de mineração para sua segurança e regulação hídrica. Assim, ressalta-se a importância da participação das comunidades locais e de seus interesses no processo de descomissionamento e uso futura da área e estrutura.
- III. Aspecto de Governança (G): A governança eficaz desempenha um papel crucial no descomissionamento de barragens. Isso inclui a aplicação e o cumprimento de regulamentos e normas ambientais, bem como a transparência nas decisões relacionadas ao descomissionamento. Além disso, a governança eficaz envolve a responsabilização das partes envolvidas no processo de descomissionamento, garantindo que os interesses das comunidades locais e do meio ambiente sejam considerados de maneira justa. Assim, as partes responsáveis devem ser devidamente identificadas desde a concepção do projeto e no plano de descomissionamento, identificando as responsabilidades envolvidas no processo.





### Avaliação e métrica da integração ESG

No contexto ESG, uma das principais necessidades se refere a entender, medir e gerenciar suas esferas. Para tanto, é necessário que se estabeleça uma estrutura abrangente que organize e oriente a avaliação e a gestão dos aspectos ambientais, sociais e de governança relacionados ao processo de descomissionamento. Como base para este gerenciamento podemos citar o (i) estabelecimento de metas e objetivos, (ii) implementação de medidas práticas, (iii) monitoramento de progresso e (iv) divulgação dos resultados.

Este item compõe o que seria um escopo desejado para implementação e avaliação ESG em projetos. Dentre estes verifica-se a necessidade do estabelecimento de métricas dentre os aspectos relevantes, para o monitoramento e de medidas práticas e de sua divulgação. A Tabela 1, apresenta exemplos de métricas para o gerenciamento integração ESG de projeto de mineração.

É importante destacar que a depender do projeto as métricas de gerenciamento podem variar. Entretanto para ser considerado uma prática ESG é necessário que haja a abrangência das três esferas. Entretanto, é nítido que a esfera de Governança é a mais difícil de ser abordada previamente em projetos iniciais. Sendo a previsão de direcionamento de recursos para a governança uma possibilidade para projetos em fases iniciais.

**Tabela 1: Métricas ESG no descomissionamento de barragens**

<b>Esfera</b>	<b>Métrica</b>	<b>Medição</b>
Ambiental	Resíduos removidos e tratados	Metros cúbicos/tonelada
	Recuperação de áreas	Proporção de área recuperada por afetada
	Redução emissões de gases	Tonelada de dióxido de carbono equivalente
Social	Índice de satisfação das comunidades	Pesquisas e entrevistas
	Empregos gerados no descomissionamento	Nº de postos de trabalhos gerados
	Investimento em projetos locais e programas de compensação	Nº de ações /valores investidos
Governança	Transparência e prestação de contas	Relatórios públicos e mecanismos de consulta
	Taxa de conformidade com regulamentos ambientais e de segurança durante o processo de descomissionamento	Taxa de conformidade
	Eficiência dos mecanismos de monitoramento	Abrangência das informações fornecidas nos relatórios de monitoramento

### Considerações finais

O presente trabalho destaca a importância crítica de integrar práticas ambientais, sociais e de governança (ESG) desde as fases conceituais dos projetos de mineração, com foco específico no descomissionamento de barragens. Destacando-se que o descomissionamento de barragens vai além da simples remoção de estruturas; envolve abordagens sobre impactos ambientais, sociais e econômicos a longo prazo.

A revisão da literatura e a análise apresentadas neste artigo destacam a necessidade de uma abordagem que incorpore avaliação de impacto ambiental, engajamento das partes interessadas, análise de viabilidade técnica e financeira, design sustentável, planejamento adequado do descomissionamento e governança corporativa eficaz. Ainda da revisão, observa-se uma lacuna de abordagens que integrem práticas de sustentabilidade e ESG para com o descomissionamento de estruturas de mineração e principalmente de barragens. A experiência com o descomissionamento de estruturas de mineração, principalmente na disposição de rejeitos é relativamente nova. Ainda temos referências escassas de ações práticas realizadas, e mesmo no campo de projeto a inclusão de previsão do encerramento adequado da atividade é recente. Apenas na última década no Brasil se passou a ter uma maior cobrança quanto ao planejamento do fechamento de minas e consequentemente da disposição de rejeitos.

A proposta de uma avaliação ESG oferece uma oportunidade valiosa para entender, medir e gerenciar os impactos do descomissionamento de barragens em diversas áreas. Isso não apenas promove a transparência e a responsabilidade, mas também facilita a adoção de práticas sustentáveis e a mitigação de riscos associados. Em termos de avaliação de projetos a adoção de práticas ESG tendem a ser importante quesitos na aceitação e viabilização de projetos. Assim, é importante que modelos técnico-econômicos de concepção de projetos passem a incluir e considerar tais critérios.

No entanto, é importante reconhecer que a integração bem-sucedida de práticas ESG no descomissionamento de barragens requer compromisso, cooperação e colaboração de todas as partes interessadas, incluindo empresas de mineração, comunidades locais, governos e ONGs ambientais. Sendo fundamental a previsão desde a etapa de conceituação de projetos, do uso futura da área e principalmente das barragens de mineração.

Em última análise, destaca-se a necessidade urgente de uma abordagem mais responsável e sustentável para o descomissionamento de barragens de mineração, que não apenas proteja o meio ambiente e as comunidades locais, mas também promova o desenvolvimento sustentável e a resiliência a longo prazo. Um exemplo, seria no amplo debate e enumeração de usos futuros das áreas e estruturas. A incorporação de práticas ESG desde as fases iniciais dos projetos de mineração é essencial para



alcançar esse objetivo e garantir uma exequibilidade sustentável dos projetos. É impreterível que haja uma inclusão crescente das abordagens ESG referente a estruturas de disposição e rejeitos e seu fechamento após o fim da vida útil da exploração.

### Agradecimentos

Os Autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq; e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo apoio recebido.

### Referências Bibliográficas

Cardozo, F. A. C.; Petter, C. O.; Petter, R. A.; 2023. **Análise Multicritério e Abordagem ESG na Escolha de Acesso de Mina Subterrânea**. ABM Proceedings. **Anais...** Em: 22º SIMPÓSIO DE MINERAÇÃO. São Paulo: Editora Blucher. Disponível em: <<http://abmproceedings.com.br/ptbr/article/anlise-multicritrio-e-abordagem-esg-na-escolha-de-acesso-de-mina-subternea>>. Acesso em: 28 nov. 2023

Cardozo, F. A. C.; Ruver, C. A.; Gehling, W. Y. Y.; 2020. Considerações a riscos geotécnicos em barragens de rejeito. **Tecnológica**, v. 24, n. 1, p. 01–14.

Daré, L. F. F.; Leão, M.; 2022. **Estudo Sobre o Custo do Descomissionamento e Descaracterização de Barragens de Rejeito**. **Anais...** Em: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA.

Delgado-Ceballos, J. *et al.*; 2023. Connecting the Sustainable Development Goals to firm-level sustainability and ESG factors: The need for double materiality. **BRQ Business Research Quarterly**, v. 26, n. 1, p. 2–10.

Fernandes, R. B.; Silva, L. D. S. M. D.; Sieira, A. C. C. F.; 2020. **Estudo de caso: Descomissionamento e Descaracterização de barragens de água para fins de acumulação**. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. **Anais...** Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. ABMS. Disponível em: <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/cobramseg.2022.0150.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2024

Laurence, D.; 2011. Establishing a sustainable mining operation: an overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 2–3, p. 278–284.

Martins, M. A. K.; 2020. **Uso da dinâmica de sistemas em projetos de mineração: Estudo exploratório integrando aspectos técnicos e não técnicos**. Mestrado—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Massignan, R. S.; Sánchez, L. E.; 2022. O que significa descaracterizar barragens de rejeitos de mineração? Uma revisão sistemática da literatura. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 225–234.

Petter, C. O. *et al.*; 2022. **A quick evaluation tool for CAPEX and OPEX applied to mining operations and ESG mitigation**. Proceedings. **Anais...** Em: SME ANNUAL CONFERENCE AND EXPO. Salt Lake City: SME.

Schoenberger, E.; 2016. Environmentally sustainable mining: The case of tailings storage facilities. **Resources Policy**, v. 49, p. 119–128.



# AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE FERROVIAS SUBMETIDAS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL FEDERAL

1Mariana Meirelles Sá Andrade, 2Fernanda Aparecida Veronez

1 Instituto Federal do Espírito Santo, e-mail: marianameirelles2004@gmail.com; 2 Instituto Federal do Espírito Santo, e-mail: fveronez@ifes.edu.br

**Palavras-chave:** AIA; EIA; ferrovia.

## Resumo

Ainda que a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) tenha ganhado espaço no contexto brasileiro, ainda são raras as pesquisas dedicadas a avaliar a qualidade dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) apresentados no processo de licenciamento ambiental de projetos com potencial de causar impactos ambientais significativos. O que foi observado até o momento é que esses estudos carecem de informações adequadas, as quais são imprescindíveis para a efetividade do sistema de licenciamento. Desse modo, o presente trabalho busca contribuir com a melhoria desse processo por meio da avaliação da qualidade de EIAs brasileiros, com objetivo de identificar pontos a serem melhorados. Optou-se por estudar EIAs de projetos ferroviários cuja competência do licenciamento é do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Uma pesquisa documental identificou os EIAs submetidos ao licenciamento em um período de 10 anos (de 2013 a 2023). A pesquisa foi feita no repositório on-line do Ibama e identificou quatro estudos. A avaliação dos estudos foi realizada aplicando o modelo *Lee and Colley Review Package*, amplamente difundido na literatura internacional e nacional. A partir dos resultados obtidos, foram identificados diversos pontos insatisfatórios: a declaração de incertezas e de limites de confiança associados à identificação dos impactos e à linha de base, a identificação de impactos residuais, a previsão de magnitude dos impactos e a efetividade de medidas mitigadoras. Como ponto forte, é relevante destacar a descrição do empreendimento, a identificação dos impactos e a apresentação dos resultados, embora estes ainda sejam passíveis de melhorias. De forma geral, a análise realizada expõe a baixa qualidade dos estudos como um todo, fator que prejudica sua avaliação e a efetividade do sistema de licenciamento ambiental.

## Introdução

Criada no Estados Unidos da América em 1969, a lei federal nomeada *National Environmental Policy Act* (NEPA) foi a primeira a instituir a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), como instrumento de planejamento ambiental, exigindo uma elaboração de declaração específica acerca de impactos ambientais gerados por empreendimentos a serem iniciados (Sanchez, 2008). No Brasil, essa inserção da AIA ocorreu em 1981, por meio da Lei Federal nº 6938, a qual instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 1981). Entretanto, a obrigatoriedade da elaboração do Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e seu Relatório de Impacto Ambiental (Rima) entrou em vigor apenas em 1986, por meio da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) nº 1/86, que estabeleceu medidas técnicas e orientações gerais para a elaboração do EIA/Rima (Prado Filho; De Souza, 2004; Brasil, 1986).

Embora os sistemas de AIA tenham se aprimorado ao longo do tempo, pesquisas revelam a baixa qualidade de estudos ambientais devido à falta de informações fundamentais para que as decisões sejam efetuadas, afetando o procedimento de licenciamento ambiental (Almeida; Alvarenga; Cespedes, 2014). Nesse sentido, a qualidade dos EIA/Rimas é um indicativo essencial da efetividade do processo de AIA (Veronez; Montañó, 2017). Apesar dessa importância, poucas pesquisas se dedicaram a avaliar a qualidade de EIA/Rimas brasileiros, sobretudo aqueles voltados à projetos de ferrovias. Essa tipologia tem potencial de causar impactos ambientais significativos nos meios físico, biótico e socioeconômico e, portanto, seus EIA/Rimas devem ser analisados em busca de garantir a efetividade da AIA nessa área (De Almeida *et al.*, 2019).

Diante disto, objetivando trazer evidências sobre a qualidade de estudos de ferrovias e proporcionar a melhoria do processo de AIA, o presente trabalho apresenta os resultados da avaliação da análise da qualidade de EIA/Rimas de ferrovias submetidas ao licenciamento ambiental federal brasileiro.

## Material e Métodos

A seleção dos EIA/Rimas foi efetuada através do sistema federal cuja competência de licenciamento é do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Criado em 1989, o Ibama é uma entidade federal com personalidade jurídica pública, que possui autonomia administrativa e financeira, além de estar vinculado ao Ministério do Meio Ambiente. Dentre as suas atribuições, o Ibama é responsável pela avaliação de impactos, fiscalização, monitoramento e programas de educação no domínio ambiental federal (Brasil, 2018).

A pesquisa documental foi realizada no repositório do Ibama (<https://licenciamento.ibama.gov.br/>) no dia 28/10/2023. A identificação e a triagem dos estudos consideraram apenas os EIA/Rimas disponíveis de forma completa e submetidos ao licenciamento entre julho de 2013 até julho de 2023. Foram identificados quatro EIA/Rimas conforme apresentado no Quadro 1. Foi constatado que apenas 36% dos estudos listados no repositório do Ibama estavam disponíveis para acesso de forma completa e com a indicação desse período (2013 a 2023).



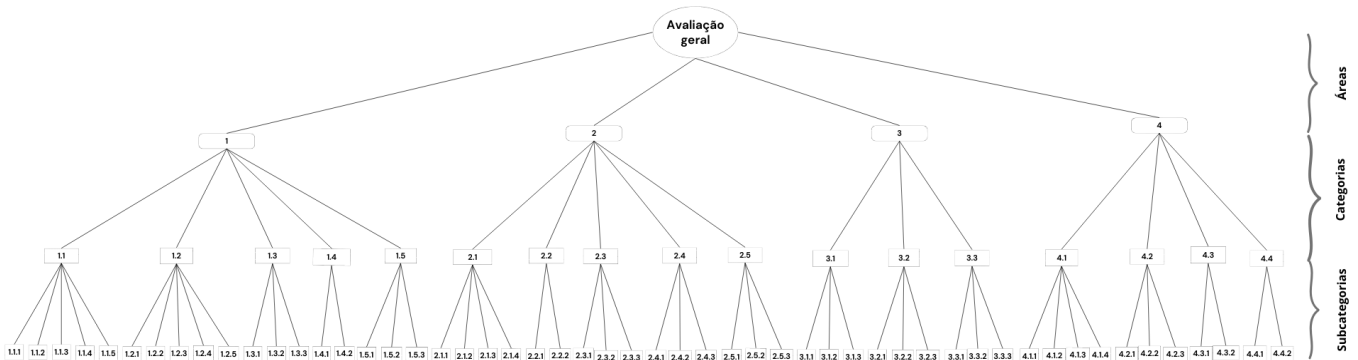


**Quadro 1: EIA/Rimas completos identificados no repositório do Ibama**

Ano	Nome do estudo
2013	Estudo de Impacto Ambiental do Projeto Mariana Itabiritos- Ligação Ferroviária- Pera de Carregamento
2014	Estudo de Impacto Ambiental - EIA Lotes 08 e 09 - Trecho Salgueiro/PE a Porto de Suape/PE
2020	Estudo de Impacto Ambiental (EIA) Licenciamento Ambiental das Obras de Implantação da Infraestrutura Ferroviária EF170 – Trecho Lucas do Rio Verde/MT – Itaituba/PA
2021	Estudo de Impacto Ambiental (EIA) Corredor Oeste de Exportação – Nova Ferroeste trecho: Maracaju (MS)- Paranaguá (PR) Ramal: Foz do Iguazu (PR) - Cascavel (PR)

Fonte: Elaborado pelas autoras

Para a avaliação de qualidade dos EIA/Rimas foi empregado o método de *Lee and Colley Review Package* (Lee; Colley, 1992), amplamente aplicado em pesquisas desse tipo (Sandham et al., 2013; Lee; Brown, 1992; Campagnaro; Faria; Candiani, 2023; Veronez; Montaña, 2017; Aversa; Montaña, 2018; Orique; Veronez, 2024). O método usa 52 critérios (chamados de subcategorias) que são baseados nas boas práticas internacionais e estruturados de maneira hierárquica, divididos em 4 áreas e 17 categorias, conforme ilustrado na Figura 1. As subcategorias, categorias e áreas são indicadas, respectivamente, por numeração de três, dois e um dígito



**Figura 1: Disposição hierárquica do Lee and Colley Review Package.**  
Fonte: Elaborado pelas autoras baseado em Lee e Colley (1992)

A avaliação se inicia pelas subcategorias, que se referem a informações esperadas em cada categoria (Quadro 2). Após esse processo, é realizada a avaliação de cada categoria, seguida pela área e, posteriormente, a avaliação geral. A avaliação é realizada utilizando conceitos com atribuição de notas (de A a F ou NA), de modo que a valoração é realizada de acordo com as definições expostas no Quadro 3. Alinhado a estes conceitos do método, utilizou-se a interpretação dos parâmetros utilizada por Veronez (2018) para uma maior precisão da análise das subcategorias, diminuindo a subjetividade gerada pela interpretação de cada caso.

Conforme indicado por Lee e Colley (1992), considerou-se como satisfatórios os pontos que receberam notas de A a C (A: muito satisfatório; B: satisfatório; C: apenas satisfatório) e insatisfatórios aqueles avaliados com notas de D a F (D: apenas insatisfatório; E: insatisfatório; F: muito insatisfatório). Para a identificação de pontos fortes e fracos, utilizou-se os parâmetros adotados por Sandham e Pretorius (2008) e por Sandham et al. (2013), chamando os critérios com mais de 50% das notas entre A-B e E-F como, respectivamente, pontos fortes e pontos fracos. Além disso, para a atribuição de notas de hierarquias superiores (categorias, áreas e avaliação geral) considerou-se que se uma parte não está adequada, o todo seguirá a mesma trajetória, de modo que as notas atribuídas a cada subcategoria influencia diretamente as categorias seguintes e conseqüentemente, a avaliação geral.



**Quadro 2: Divisão das áreas, categorias e subcategorias do pacote *Lee and Colley Review Package***

<p><b>1. Descrição do empreendimento, do ambiente e das condições da baseline</b></p> <p><u>1.1. Descrição do empreendimento.</u></p> <p>1.1.1. Finalidade do empreendimento.</p> <p>1.1.2. Design e tamanho do projeto.</p> <p>1.1.3. Presença física e aparência do empreendimento.</p> <p>1.1.4. Natureza dos processos e taxa de produção.</p> <p>1.1.5. Natureza e quantidade de matérias-primas.</p> <p><u>1.2. Descrição do local</u></p> <p>1.2.1. Definição e localização da área.</p> <p>1.2.2. Descrição e demarcação dos usos da terra.</p> <p>1.2.3. Duração das fases do projeto.</p> <p>1.2.4. Número de trabalhadores, acesso ao local e meios de transporte.</p> <p>1.2.5. Meios de transporte e quantidades de materiais.</p> <p><u>1.3. Resíduos</u></p> <p>1.3.1. Tipos e quantidades.</p> <p>1.3.2. Tratamento e disposição.</p> <p>1.3.3. Método para obtenção das quantidades obtidas, possíveis incertezas e limites de confiança.</p> <p><u>1.4. Descrição do ambiente</u></p> <p>1.4.1. Indicação do ambiente afetado.</p> <p>1.4.2. Área de influência indireta.</p> <p><u>1.5. Condições da baseline</u></p> <p>1.5.1. Descrição dos componentes importantes, métodos e incertezas.</p> <p>1.5.2. Fontes de dados existentes.</p> <p>1.5.3. Prognóstico do local sem o empreendimento.</p> <p><b>2. Identificação e avaliação dos principais impactos</b></p> <p><u>2.1. Definição dos impactos</u></p> <p>2.1.1. Descrição dos impactos (diretos, indiretos, secundários, cumulativos, a curto, médio e longo prazos, permanentes e temporários, positivos e negativos).</p> <p>2.1.2. Efeitos dos impactos e as interações entre eles.</p> <p>2.1.3. Impactos em situações anormais.</p> <p>2.1.4. Impactos com relação à baseline (diferença entre as condições futuras com e sem o empreendimento).</p> <p><u>2.2. Identificação dos impactos</u></p> <p>2.2.1. Métodos utilizados</p> <p>2.2.2. Descrição e justificativa para o uso dos métodos.</p> <p><u>2.3. Escopo</u></p> <p>2.3.1. Participação do público em geral e grupos de interesse.</p> <p>2.3.2. Métodos de coleta de opiniões.</p> <p>2.3.3. Investigação detalhada dos principais impactos, justificando as áreas não selecionadas para estudo detalhado.</p>	<p><u>2.4. Previsão da magnitude do impacto</u></p> <p>2.4.1. Identificação e justificativa dos dados, lacunas e incertezas da avaliação.</p> <p>2.4.2. Descrição e justificativa dos métodos.</p> <p>2.4.3. Definição e justificativa dos parâmetros de avaliação.</p> <p><u>2.5. Avaliação de significância dos impactos</u></p> <p>2.5.1. Significância do impacto para a comunidade e o ambiente afetado e descrição de impacto remanescente.</p> <p>2.5.2. Métodos utilizados.</p> <p>2.5.3. Justificativa de normas, suposições e sistemas de valores utilizados.</p> <p><b>3. Alternativas e mitigação</b></p> <p><u>3.1. Alternativas</u></p> <p>3.1.1. Vantagens e desvantagens de alternativas locais viáveis e justificativa para a escolha.</p> <p>3.1.2. Alternativas tecnológicas.</p> <p>3.1.3. Seleção de alternativas.</p> <p><u>3.2. Âmbito de aplicação e efetividade das medidas mitigadoras</u></p> <p>3.2.1. Medidas mitigadoras para os impactos adversos significativos. Descrição e justificativa para os impactos residuais.</p> <p>3.2.2. Consideração de mudanças no projeto, compensação, instalações alternativas e controle.</p> <p>3.2.3. Efetividade das medidas.</p> <p><u>3.3. Compromisso com a mitigação</u></p> <p>3.3.1. Detalhamento das medidas (como, quando e por quanto tempo).</p> <p>3.3.2. Sistema de monitoramento e ajuste das medidas.</p> <p><b>4. Comunicação dos resultados</b></p> <p><u>4.1. Layout</u></p> <p>4.1.1. Introdução: os objetivos do projeto e da avaliação ambiental.</p> <p>4.1.2. Apresentação lógica e organizada.</p> <p>4.1.3. Resumo dos capítulos.</p> <p>4.1.4. Referências.</p> <p><u>4.2. Apresentação</u></p> <p>4.2.1. Texto compreensível para não especialistas.</p> <p>4.2.2. Definição de termos técnicos.</p> <p>4.2.3. Texto contínuo e integrado.</p> <p><u>4.3. Ênfase</u></p> <p>4.3.1. Ênfase aos impactos significativos.</p> <p>4.3.2. Imparcialidade do texto.</p> <p><u>4.4. Resumo não técnico (RIMA)</u></p> <p>4.4.1. Linguagem não técnica.</p> <p>4.4.2. Principais questões do EIA e breve explicação sobre a confiabilidade dos métodos utilizados.</p>
---	---

**Fonte: Elaborado pelas autoras com informações do Lee e Colley (1992)**

Para diminuir a subjetividade da avaliação, a análise do primeiro EIA/Rima foi realizada separadamente por quadro avaliadores que puderam discutir a avaliação até chegar em um acordo. Os demais estudos foram avaliados por um único avaliador considerando os mesmos parâmetros da avaliação do primeiro estudo. Os EIA/Rimas foram avaliados em ordem



cronológica (do mais recente para o mais antigo), sempre revisando a avaliação das categorias dos EIA/Rimas já avaliados no decorrer do trabalho para assegurar mais confiança na atribuição das notas.

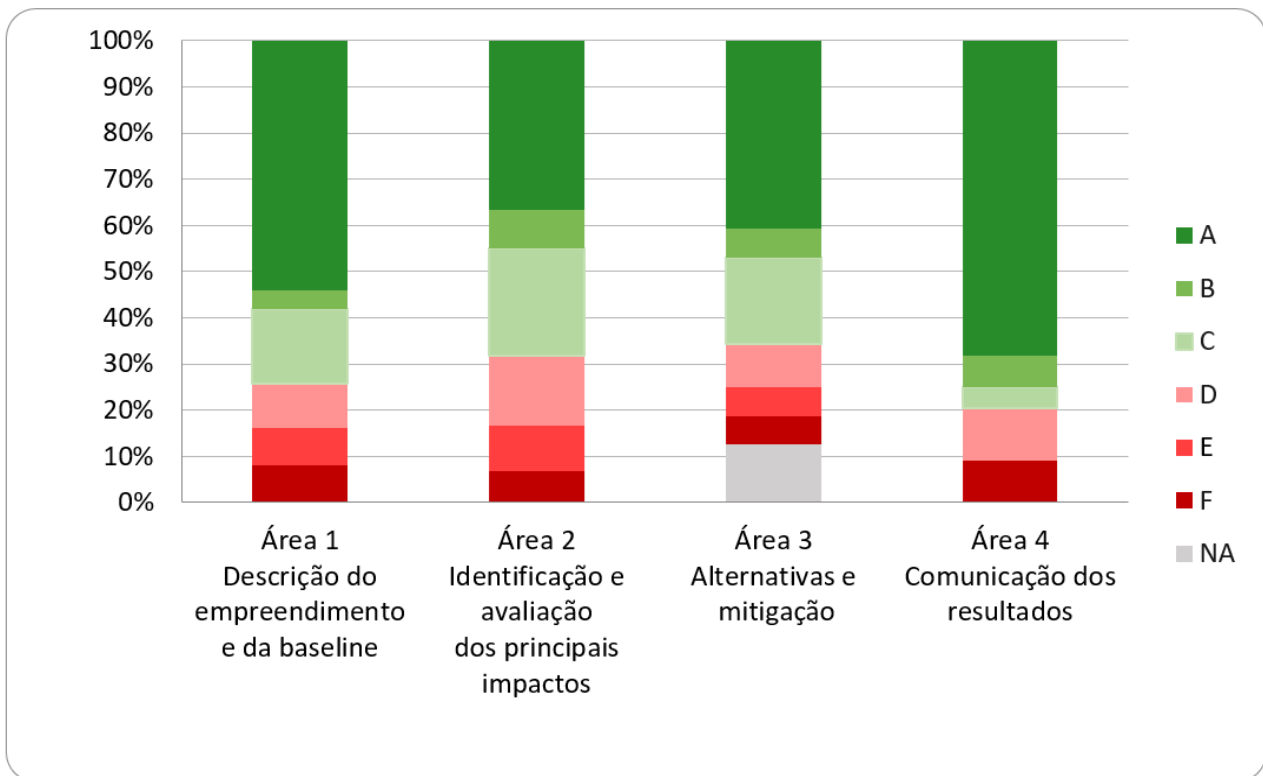
**Quadro 3: Conceitos de avaliação- Lee and Colley Review Package**

Conceito	Critério
A	Bem realizado, nenhuma tarefa importante incompleta
B	Geralmente satisfatório e completo, apenas omissões menores e poucos pontos inadequados.
C	Satisfatório, apesar de omissões ou pontos inadequados.
D	Insatisfatório, omissões ou pontos inadequados significativos.
E	Insatisfatório, omissões ou pontos inadequados significativos.
F	Muito Insatisfatório, tarefas importantes desempenhadas de modo inadequado ou deixadas de lado.
NA	Não aplicável

Fonte: Elaborado pelas autoras baseado em Lee e Colley (1992)

### Resultados e discussão

A avaliação geral indicou que todos os EIA/Rimas foram avaliados como insatisfatórios, com notas globais entre D e F. As piores notas são relacionadas à subcategorias da área 2, que se refere à identificação e avaliação dos impactos ambientais, enquanto a Área 4, a qual engloba a comunicação dos resultados, foi a que obteve mais notas satisfatórias (Figura 2). Pesquisas semelhantes realizadas em outros contextos também identificaram os piores e melhores resultados respectivamente nas áreas 2 e 4 (Sandham; Pretorius, 2008; Sandham et al., 2013; Veronez; Montañó, 2017; Orique; Veronez, 2024).



**Figura 2: Notas das subcategorias atribuídas por área dos estudos analisados.**

Fonte: Elaborado pelos autores





Para um melhor detalhamento dos pontos avaliados, optou-se por descrever e discutir os resultados no nível de subcategoria, cujas notas são apresentadas na Figura 3. Os pontos com resultado satisfatório (notas de A a C) são indicados em tons de verde e com resultado insatisfatório (notas de D a F) são indicadas em tons de vermelho. Pode-se observar que todos os EIA/Rimas apresentaram resultados semelhantes na maioria das áreas, com o predomínio de notas satisfatórias ou insatisfatórias nos mesmos pontos, não havendo grandes alterações com o decorrer dos anos.

O detalhamento do quantitativo das notas é apresentado na Tabela 1. Para a Área 1, foi constatado que sete subcategorias (1.1.5; 1.2.3; 1.2.4; 1.2.5; 1.3.1; 1.3.3; 1.5.1) não se classificam como pontos fortes (notas entre A-B > 50%). A falta de incertezas e limites de confiança (subcategoria 1.3.3) apresentou os piores resultados, uma vez que essa informação não está presente ou foi mal abordada nos estudos, deduzindo que há um baixo nível de divulgação e descrição desse conhecimento (Fonseca, 2022). Tal informação corresponde a uma grande lacuna no processo da AIA, já que em trabalhos semelhantes (Demori, 2019; Tonani, 2021; Orique; Veronez, 2024) este tópico também foi identificado como ponto fraco. Com relação às demais categorias, design e tamanho do projeto (subcategoria 1.1.3), presença física e aparência do empreendimento (subcategoria 1.1.4) e as fontes de dados (subcategoria 1.5.2) obtiveram o melhor desempenho (100% das notas entre A-B).

A Área 2 apontou os resultados menos favoráveis em relação às outras áreas, principalmente devido à carência de descrições quali e quantitativas e a falta de dados sobre a magnitude do impacto, subcategorias 2.4.3 e 2.4.1, respectivamente, as quais foram consideradas como pontos fracos (notas entre D-E > 50%). A primeira subcategoria citada também foi considerada um ponto fraco para Demori (2019) e Tonani (2021). Também observou-se que nenhum dos estudos avaliados apresentou informações sobre os impactos residuais, diminuindo a nota da subcategoria 2.5.1. Essa ausência de indicação de impactos residuais também foi observada por Veronez e Montaña (2017). Apesar das notas dessa área variarem entre D e F para os EIA/Rimas, as definições do impacto (subcategorias 2.1.1; 2.1.2; 2.1.3; 2.1.4) e os métodos utilizados (subcategoria 2.2.1) foram consideradas pontos fortes.

Na Área 3, foram identificados apenas três pontos fortes (subcategoria 3.1.1; 3.2.2; 3.3.1), com destaque a consideração de possíveis mudanças no projeto (subcategoria 3.2.2), obtendo a maior nota em todos os EIA/Rimas. Como insatisfatório pode se destacar as alternativas tecnológicas (subcategoria 3.1.2), visto que dois dos estudos não trataram do tema, resultando nota F e a efetividade de medidas mitigadoras (subcategoria 3.2.3), resultado também observado na pesquisa de Veronez e Montaña (2017). Contudo, nenhum EIA apresentou nota satisfatória nessa área.

O melhor resultado da análise foi o da Área 4. Nessa área, apenas três subcategorias presentes não foram classificadas como pontos fortes (4.1.3; 4.1.4; 4.4.2), de modo que não foi apresentado nos quatro estudos os resumos de cada capítulo (subcategoria 4.1.3), desse modo sendo avaliado como ponto fraco. Ademais, como os estudos não apresentam os impactos residuais e sua metodologia, conseqüentemente o Rima também não apresentava essa informação, obtendo classificação insatisfatória na subcategoria 4.4.2. Essa lacuna também foi observada em outras pesquisas como de Sandham, Hoffmann e Retief (2008). Entretanto, sete subcategorias receberam nota máxima em todos os estudos (4.1.1; 4.1.2; 4.2.1; 4.2.2; 4.2.3; 4.3.2; 4.4.1), avaliadas como pontos fortes.

De forma geral, a avaliação revela que, apesar dos EIA/Rimas apresentarem pontos fortes em diversas subcategorias, seus resultados gerais expõem a necessidade de melhoria da informação apresentada nos estudos. Essa necessidade se torna mais evidente quando os resultados são comparados com pesquisas semelhantes realizadas no contexto internacional, onde grande parte dos estudos avaliados utilizando a mesma metodologia são considerados satisfatórios (Sandham *et al.*, 2013; Lee; Brown, 1992; Mounir, 2015).



EIA		2013	2014	2020	2021
		EIA 1	EIA 2	EIA 3	EIA 4
Área 1 Descrição do empreendimento e da baseline	1.1.1	A	C	A	A
	1.1.2	C	A	A	B
	1.1.3	A	A	A	A
	1.1.4	A	A	A	A
	1.1.5	D	F	E	D
	1.2.1	D	A	A	A
	1.2.2	A	C	A	A
	1.2.3	C	E	A	A
	1.2.4	D	E	D	E
	1.2.5	B	C	D	A
	1.3.1	A	A	D	C
	1.3.2	A	A	A	C
	1.3.3	F	F	F	F
	1.4.1	A	E	A	A
	1.4.2	A	C	A	A
	1.5.1	C	A	C	C
	1.5.2	A	A	A	A
	1.5.3	B	F	A	A
Área 2 Identificação e avaliação dos principais impactos	2.1.1	A	D	A	B
	2.1.2	A	A	A	A
	2.1.3	D	A	A	A
	2.1.4	A	A	A	A
	2.2.1	A	A	A	A
	2.2.2	A	C	C	C
	2.3.1	B	E	A	C
	2.3.2	A	B	C	C
	2.3.3	B	C	C	A
	2.4.1	D	D	E	C
	2.4.2	D	E	C	A
	2.4.3	E	F	E	F
	2.5.1	D	D	D	D
	2.5.2	C	C	E	B
2.5.3	C	F	F	C	
Área 3 Alternativas e mitigação	3.1.1	A	A	C	A
	3.1.2	F	F	A	A
	3.1.3	NA	NA	NA	NA
	3.2.1	C	C	C	C
	3.2.2	A	A	A	A
	3.2.3	C	A	E	E
	3.3.1	A	B	D	B
3.3.2	A	A	D	D	
Área 4 Comunicação dos resultados	4.1.1	A	A	A	A
	4.1.2	A	A	A	A
	4.1.3	F	F	F	F
	4.1.4	A	C	C	A
	4.2.1	A	A	A	A
	4.2.2	A	A	A	A
	4.2.3	A	A	B	A
	4.3.1	B	B	D	A
	4.3.2	A	A	A	A
	4.4.1	A	A	A	A
4.4.2	D	D	D	D	

Figura 3: Notas atribuídas às subcategorias dos estudos analisados.

Fonte: Elaborado pelos autores



**Tabela 1: Resultado da avaliação para as subcategorias dos estudos analisados**

Subcategorias	A	B	C	D	E	F	N/A	A-C	D-F	A-B	C-D	E-F
								(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1.1.1. Finalidade do empreendimento.	3	0	1	0	0	0	0	100	0	75	25	0
1.1.2. Design e tamanho do projeto.	2	1	1	0	0	0	0	100	0	75	25	0
1.1.3. Presença física e aparência do empreendimento.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
1.1.4. Natureza dos processos e taxa de produção.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
1.1.5. Natureza e quantidade de matérias-primas.	0	0	0	2	1	1	0	0	100	0	50	50
1.2.1. Definição e localização da área.	3	0	0	1	0	0	0	75	25	75	25	0
1.2.2. Descrição e demarcação dos usos da terra.	3	0	1	0	0	0	0	100	0	75	25	0
1.2.3. Duração das fases do projeto.	2	0	1	0	1	0	0	75	25	50	25	25
1.2.4. Número de trabalhadores, acesso ao local e meios de transporte.	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	50	50
1.2.5. Meios de transporte e quantidades de materiais.	1	1	1	1	0	0	0	75	25	50	50	0
1.3.1. Tipos e quantidades.	2	0	1	1	0	0	0	75	25	50	50	0
1.3.2. Tratamento e disposição.	3	0	1	0	0	0	0	100	0	75	25	0
1.3.3. Método para obtenção das quantidades obtidas, possíveis incertezas e limites de confiança.	0	0	0	0	0	4	0	0	100	0	0	100
1.4.1. Indicação do ambiente afetado.	3	0	0	0	1	0	0	75	25	75	0	25
1.4.2. Área de influência indireta.	3	0	1	0	0	0	0	100	0	75	25	0
1.5.1. Descrição dos componentes importantes, métodos e incertezas.	1	0	3	0	0	0	0	100	0	25	75	0
1.5.2. Fontes de dados existentes.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
1.5.3. Prognóstico do local sem o empreendimento.	2	1	1	0	0	1	0	75	25	75	0	25
2.1.1. Descrição dos impactos (diretos, indiretos, secundários, cumulativos, a curto, médio e longo prazos, permanentes e temporários, positivos e negativos).	2	1	1	1	0	0	0	75	25	75	25	0
2.1.2. Efeitos dos impactos e as interações entre eles.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
2.1.3. Impactos em situações anormais.	3	0	0	1	0	0	0	75	25	75	25	0
2.1.4. Impactos com relação à baseline (diferença entre as condições futuras com e sem o empreendimento).	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
2.2.1. Métodos utilizados.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
2.2.2. Descrição e justificativa para o uso dos métodos.	1	0	3	0	0	0	0	100	0	25	75	0
2.3.1. Participação do público em geral e grupos de interesse.	1	1	1	0	1	0	0	75	25	50	25	25
2.3.2. Métodos de coleta de opiniões.	1	1	2	0	0	0	0	100	0	50	50	0
2.3.3. Investigação detalhada dos principais impactos, justificando as áreas não selecionadas para estudo detalhado.	1	1	2	0	0	0	0	100	0	50	50	0
2.4.1. Identificação e justificativa dos dados, lacunas e incertezas da avaliação.	0	0	1	2	1	0	0	25	75	0	75	25
2.4.2. Descrição e justificativa dos métodos.	1	0	1	1	1	0	0	50	50	25	50	25
2.4.3. Definição e justificativa dos parâmetros de avaliação.	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	100





2.5.1. Significância do impacto para a comunidade e o ambiente afetado e descrição de impacto remanescente.	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	100	0
2.5.2. Métodos utilizados.	0	1	2	0	1	0	0	75	25	25	50	25
2.5.3. Justificativa de normas, suposições e sistemas de valores utilizados.	0	0	2	0	0	2	0	50	50	0	50	50
3.1.1. Vantagens e desvantagens de alternativas locais viáveis e justificativa para a escolha.	3	0	1	0	0	0	0	100	0	75	25	0
3.1.2. Alternativas tecnológicas.	2	0	0	0	0	2	0	50	50	50	0	50
3.1.3. Seleção de alternativas.	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
3.2.1. Medidas mitigadoras para os impactos adversos significativos. Descrição e justificativa para os impactos residuais.	0	0	4	0	0	0	0	100	0	0	100	0
3.2.2. Consideração de mudanças no projeto, compensação, instalações alternativas e controle.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
3.2.3. Efetividade das medidas.	1	0	1	0	2	0	0	50	50	25	25	50
3.3.1. Detalhamento das medidas (como, quando e por quanto tempo).	1	2	0	1	0	0	0	75	25	75	25	0
3.3.2. Sistema de monitoramento e ajuste das medidas.	2	0	0	2	0	0	0	50	50	50	50	0
4.1.1. Introdução: os objetivos do projeto e da avaliação ambiental.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
4.1.2. Apresentação lógica e organizada.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
4.1.3. Resumo dos capítulos.	0	0	0	0	0	4	0	0	100	0	0	100
4.1.4. Referências.	2	0	2	0	0	0	0	100	0	50	50	0
4.2.1. Texto compreensível para não especialistas.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
4.2.2. Definição de termos técnicos.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
4.2.3. Texto contínuo e integrado.	3	1	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
4.3.1. Ênfase aos impactos significativos.	1	2	0	1	0	0	0	75	25	75	25	0
4.3.2. Imparcialidade do texto.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
4.4.1. Linguagem não técnica.	4	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0
4.4.2. Principais questões do EIA e breve explicação sobre a confiabilidade dos métodos utilizados.	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	100	0

Fonte: Elaborado pelas autoras

### Comentários finais

Através dos resultados presentes no trabalho, foi possível avaliar a qualidade dos EIA/Rimas de ferrovias submetidos ao licenciamento ambiental federal brasileiro. A análise dos resultados revela lacunas de informação, principalmente em relação às incertezas, impactos remanescentes, previsão de magnitude e a efetividade de medidas mitigatórias. Esses resultados apresentam pontos significativos a serem aprimorados para produzir um EIA/Rimas com informações adequadas e alinhadas com as boas práticas em AIA. Como pontos positivos, destacam-se a descrição do empreendimento, a identificação dos impactos e a apresentação dos resultados, ainda que tenham sido identificadas algumas lacunas.

De forma geral, nenhum estudo avaliado foi considerado satisfatório e foram identificados pontos fracos em todas as quatro áreas avaliadas, com destaque para a análise de impactos que apresentou o pior desempenho. Esse resultado impacta negativamente a efetividade da AIA e licenciamento ambiental.

Cabe destacar que essa pesquisa se limitou a avaliar os estudos disponíveis para consulta pública no repositório do Ibama e não foram considerados possíveis documentos complementares que não estavam disponíveis no repositório. Nesse sentido, a pequena quantidade de estudos disponíveis de forma completa no repositório do Ibama revela uma carência de transparência que prejudica a efetividade da AIA no processo de licenciamento e limita as pesquisas científicas sobre o tema.

### Agradecimentos

Os Autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Espírito Santo e ao Instituto Federal do Espírito Santo pelo auxílio recebido.



### Referências Bibliográficas

Almeida, M.R.R.; Alvarenga, M.I.N.; Cespedes, J.G. 2014. Avaliação da Qualidade de Estudos Ambientais em Processos de Licenciamento. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 33, n. 1, p.106-118.

Aversa, I. de C.; Montañó, M. 2018. Evidências de Boas Práticas na AIA de Projetos de Geração de Energia Eólica no Estado do Ceará. Anais do Congresso Brasileiro de Avaliação de Impacto, v.3.

Brasil. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986.

Brasil. IBAMA. Sobre o Ibama. 12 de jan. de 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/sobre-o-ibama> . Acesso em: 26 de abr. de 2024

Brasil. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências [...]. Brasília, DF, 1981. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,aplica%C3%A7%C3%A3o%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,aplica%C3%A7%C3%A3o%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias). Acesso em: 08 jun. 2024.

Campagnaro, V. H.; Farias, L. A.; Candiani, G. 2023. Qualidade de um estudo de impacto ambiental, por meio da aplicação do método de análise de Lee & Colley. Revista ENIAC Pesquisa, v.12, n.1.

Cremones, F.E.; Cremones, P.A.; Feroldi, M.; De Camargo, M.P.; Klajn, F.F.; Feiden, A. 2014. Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil. Revista Monografias Ambientais - REMOA, v.13, n.5, p.3821-3830.

De Almeida, A. N; Rodrigues, N. G; Vieira, L.C.G; Couto Junior, A.F. 2019. Problemas nos estudos de impacto ambiental de rodovias e ferrovias. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v.6, n.12, p.129-136.

Demori, V. A. 2019. Efetividade Transativa do Sistema de AIA Federal de Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Fonseca, A. 2022. Handbook of Environmental Impact Assessment. Edward Elgar Publishing, cap. 12.

Lee, N.; Brown, D. 1992. Quality control in environmental assessment. Project Appraisal, v. 7, p. 41-45.

Lee, N.; Colley, R. 1992. Reviewing the quality of environmental statements. Occasional ed. Manchester: EIA Center. Department of Planning and Landscape. University of Manchester.

Mounir, Z. M. 2015. Evaluation of the quality of environmental impact assessment reports using Lee and Colley package in Niger Republic. Modern Applied Science, v.9, p.89-95.

Orique, S.R; Veronez, F.A. 2024. Avaliação da Qualidade dos Estudos de Impacto Ambiental de Projetos de Linhas de Transmissão submetidos ao Licenciamento Ambiental Federal (2018-2022). Revista Eletrônica do curso de Geografia Graduação e Pós-Graduação Jataí-GO, n.48.

Prado Filho, J.F.; De Souza, M.P. 2004. O Licenciamento Ambiental da Mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais - Uma análise da implementação de medidas de controle ambiental formulados em EIAs/RIMASs. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, vol.9, p. 343-349.

Sanchez, L. E. 2008. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, p. 38.

Sandham, L. A.; Hoffmann, A. R.; Retief, F. P. 2008. Reflections on the quality of mining EIA reports in South Africa. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, v. 108, n. 11, p. 701–706.

Sandham, L. A.; Pretorius, H. M. 2008. A review of EIA report quality in the North West province of South Africa. Environmental Impact Assessment Review, v. 28 (4-5), p. 229-240.

Sandham, L. A.; van Heerden, A. J. ; Jones, C. E. ; Retief, F. P. ; Morrison-Saunders, A. N. 2013. Does enhanced regulation improve EIA report quality? Lessons from South Africa. Environmental Impact Assessment Review, v.38, p.155-162.



Tonani, K. M. 2021. Análise de qualidade de Estudos de Impacto Ambiental de Gasodutos brasileiros. Monografia (Bacharelado) – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo, p. 71.

Veronez, F.; Montañó, M. 2017. Análise da qualidade dos estudos de impacto ambiental no estado do Espírito Santo (2007-2013). Desenvolvimento e Meio Ambiente, Edição Especial: Avaliação de Impacto Ambiental, v. 43, p. 6-21.

Veronez, F. A. 2018. Efetividade da avaliação de impacto ambiental de projetos no Estado do Espírito Santo. 214 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.





# QUALIDADE DOS EIAs DE PORTOS SUBMETIDOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL FEDERAL BRASILEIRO

1Gabriela Barros Garcia, 2Fernanda Aparecida Veronez

1 Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), e-mail:barrosqb20@gmail.com; 2 Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), e-mail:fveronez@ifes.edu.br

**Palavras-chave:** AIA; Impactos Ambientais; EIA.

## Resumo

Os portos desempenham um papel importante na economia e na logística do Brasil, afetando diretamente o desenvolvimento econômico do país. No entanto, devido ao seu potencial de gerar impactos ambientais significativos, os projetos portuários precisam passar pelos processos de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e Licenciamento Ambiental. A AIA desempenha um papel fundamental na análise de viabilidade ambiental desses projetos, levando informação para o processo de Licenciamento Ambiental. Dentre as etapas do processo de AIA, a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu Relatório de Impacto Ambiental (Rima) constitui uma etapa essencial, sendo considerada a principal informação da AIA relacionada à decisão da viabilidade ambiental dos projetos no âmbito do Licenciamento Ambiental. Este trabalho apresenta uma avaliação da qualidade dos EIAs de projetos portuários brasileiros com o objetivo de identificar pontos fracos e oportunidades de melhoria desses estudos. Para isso, foram avaliados os quatro EIAs disponíveis de forma completa no repositório do órgão ambiental federal. A avaliação foi realizada utilizando o protocolo *Lee and Colley Review Package*, que oferece uma estrutura sistemática para avaliar a qualidade desses estudos. Constatou-se que os principais pontos fracos dos estudos se concentram na previsão da magnitude e na avaliação da significância dos impactos ambientais dos projetos. A apresentação do Rima também foi considerada um ponto fraco. Além disso, os EIAs avaliados também apresentaram lacunas relevantes na abordagem das incertezas e na definição dos limites de confiança das informações apresentadas. Esses resultados revelam deficiências significativas na informação apresentada pelos EIAs, comprometendo a efetividade da AIA desses projetos.

## Introdução

Os empreendimentos portuários contribuem significativamente para a indústria e para a logística brasileira, estando intrinsecamente ligados à intermodalidade, transporte de cargas e fortalecimento do setor logístico no mercado internacional (Cecatto, 2002; ANTAQ, 2024). No entanto, apesar de suas contribuições econômicas, os projetos portuários podem causar impactos ambientais negativos significativos (Veçozzi; Carvalho, 2013) e por isso estão sujeitos ao Licenciamento Ambiental com a necessidade de passar pelo processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) (Brasil, 1981).

O Licenciamento Ambiental e a AIA são instrumentos de política ambiental, estabelecidos pela Política Nacional de Meio Ambiente por meio da Lei nº 6.938/1981 (Brasil, 1981). O Licenciamento Ambiental é um instrumento que autoriza a implantação e operação de atividades potencialmente poluidoras e a AIA, por sua vez, leva informação sobre a viabilidade ambiental dos projetos para o processo de Licenciamento Ambiental. Nesse contexto, a principal informação apresentada pela AIA está no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e em seu respectivo Relatórios de Impacto Ambiental (Rima). Por esse motivo, o EIA é amplamente reconhecido como o documento central no processo de AIA, influenciando a decisão relacionada à viabilidade ambiental do projeto e à necessidade de medidas mitigadoras (Sánchez, 2020).

Assim, a qualidade da informação apresentada nos EIAs é fundamental para a efetividade da AIA, influenciando decisões que afetam o meio ambiente e a sociedade. Portanto, é essencial que os EIAs sejam completos, metodologicamente rigorosos e imparciais para garantir uma avaliação precisa dos impactos ambientais significativos (Sánchez, 2013). O conteúdo mínimo dos EIAs e as diretrizes para sua elaboração são estabelecidos pela Resolução nº 1/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, e a especificação detalhada de seu escopo é definido pelo órgão licenciador responsável pelo Licenciamento Ambiental (Conama, 1986; 1997).

Apesar da importância da informação apresentada nos EIAs, poucos trabalhos brasileiros têm se dedicado a avaliar a qualidade dessa informação, sendo desconhecidos trabalhos dedicados a avaliar a qualidade de EIAs de projetos portuários. Recentemente, pesquisas similares, elaboradas no contexto brasileiro para outras tipologias, identificaram lacunas relevantes na qualidade da informação apresentada nos EIAs avaliados (Orique; Veronez, 2024; Veronez; Montaña, 2024).

Este estudo apresenta a avaliação da qualidade dos EIAs de empreendimentos portuários brasileiros submetidos ao Licenciamento Ambiental Federal, apontando os principais pontos fracos e as oportunidades de melhoria. Espera-se que a avaliação contribua para aprimorar a elaboração de estudos futuros e fortalecer a efetividade da AIA no contexto estudado.

## Materiais e Métodos

A pesquisa qualitativa adotou como objeto de estudo o Sistema de Licenciamento Ambiental Federal, cujo órgão responsável é o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). A identificação dos estudos foi realizada por meio de busca no repositório do Ibama (<https://licenciamento.ibama.gov.br/Porto/>) no dia 23/10/2023. Os critérios adotados para a identificação dos estudos foram: (i) EIA realizado entre outubro de 2013 e outubro de 2023 e (ii) EIA



disponível de forma completa no repositório, incluindo o respectivo Rima. Dessa forma, apenas quatro EIAs atenderam aos critérios de inclusão utilizados nesta pesquisa e foram avaliados. As características dos estudos avaliados são apresentadas no Quadro 1.

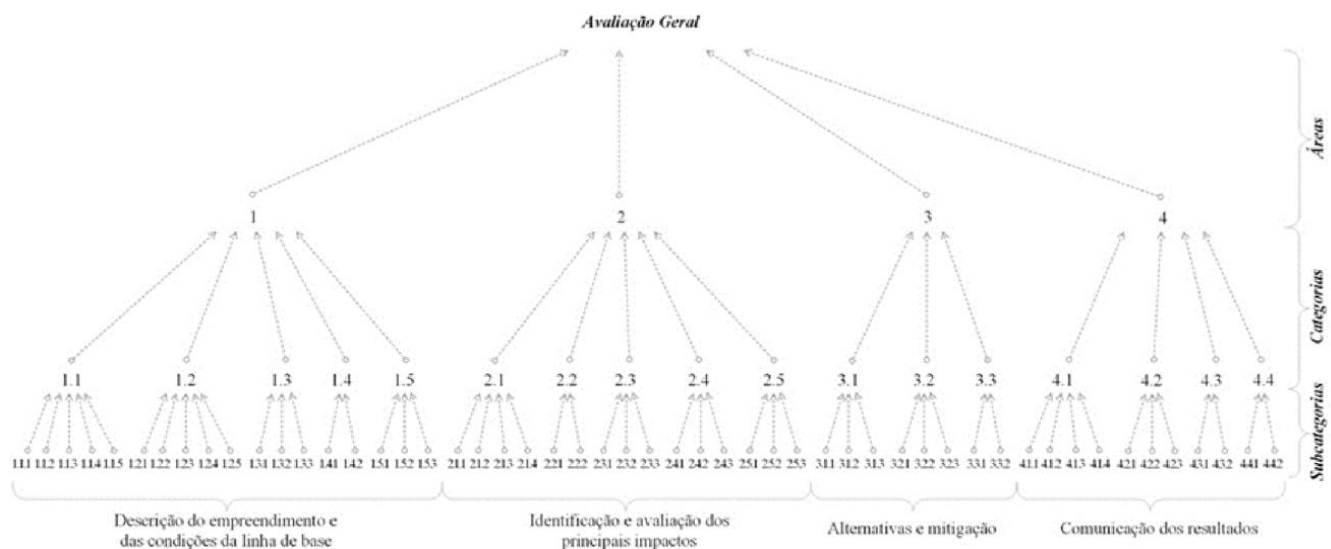
**Quadro 1: EIAs avaliados**

EIA	Ano do estudo	Nome do projeto portuário	Número de páginas
1	2014	Porto de São Francisco do Sul S.A	3003
2	2016	Terminal da Braskem	2170
3	2019	Terminal de Uso Privativo de Urussuquara e Complexo Termelétrico Petrocity	2293
4	2022	EIA Porto Guará	3529

Fonte: Elaborado pelas autoras

Conforme apresentado no **Quadro 1**, o menor EIA possui 2170 páginas e o maior EIA 3529 páginas. Para a avaliação da qualidade da informação apresentada nos EIAs, foi adotado o protocolo *Lee and Colley Review Package* (Lee; Colley 1992). Esse protocolo foi escolhido pois é internacionalmente utilizado para esse tipo de pesquisa (Anifowose, 2016; Veronez; Montañó, 2024) e oferece uma estrutura sistemática e abrangente para avaliar a qualidade dos estudos. Conforme ilustrado na **Figura 1**, o protocolo segue uma avaliação hierárquica, iniciando pelas 52 subcategorias. Cada subcategoria representa critérios específicos que avalia uma informação apresentada no EIA, conforme indicado na **Figura 2**. Após a avaliação das subcategorias, as notas são agrupadas em 17 categorias e 4 áreas até uma avaliação geral, conforme proposto por Lee e Colley (1992) e indicado na **Figura 1**.

A avaliação de cada critério (subcategoria, categoria, área e avaliação geral) é feita utilizando notas que variam de A a F, aplicando os conceitos apresentados no **Quadro 2**. Além disso, a avaliação também inclui um resumo destacando os principais pontos fortes e fracos do EIA e apontando deficiências relevantes que requerem correção para alcançar uma condição satisfatória (Lee; Colley, 1992). Conforme Lee e Colley (1992), são considerados satisfatórios os critérios avaliados com notas entre A e C e insatisfatórios aqueles que receberam notas entre D e F. Além disso, considerou-se como pontos fortes e fracos, respectivamente, os pontos avaliados com mais de 50% de notas entre A e B e entre E e F, conforme sugerido por Sandham e Pretorius (2008).



**Figura 1: Estrutura de análise hierárquica.**

Fonte: Veronez e Montañó (2017, p. 11)



<p><b>1. Descrição do projeto e da linha de base<sup>1</sup></b></p> <p>1.1. <u>Descrição do projeto</u></p> <p>1.1.1. <i>Objetivos do projeto.</i></p> <p>1.1.2. <i>Design e tamanho do projeto.</i></p> <p>1.1.3. <i>Presença física do projeto no meio ambiente.</i></p> <p>1.1.4. <i>Natureza dos processos e taxa de produção.</i></p> <p>1.1.5. <i>Natureza e quantidade de matérias-primas.</i></p> <p>1.2. <u>Descrição do local</u></p> <p>1.2.1. <i>Descrição e localização da área.</i></p> <p>1.2.2. <i>Descrição e localização dos usos da terra.</i></p> <p>1.2.3. <i>Duração das fases do projeto.</i></p> <p>1.2.4. <i>Número de trabalhadores e meios de transporte.</i></p> <p>1.2.5. <i>Meios de transporte e quantidades de materiais.</i></p> <p>1.3. <u>Resíduos</u></p> <p>1.3.1. <i>Tipos e quantidades.</i></p> <p>1.3.2. <i>Tratamento e disposição.</i></p> <p>1.3.3. <i>Método de cálculo da estimativa de geração, possíveis incertezas e limites de confiança.</i></p> <p>1.4. <u>Descrição do ambiente</u></p> <p>1.4.1. <i>Indicação do ambiente afetado.</i></p> <p>1.4.2. <i>Área de influência indireta.</i></p> <p>1.5. <u>Condições da linha de base</u></p> <p>1.5.1. <i>Descrição dos componentes importantes, métodos e incertezas.</i></p> <p>1.5.2. <i>Fontes de dados existentes.</i></p> <p>1.5.3. <i>Prognóstico do local sem o empreendimento.</i></p> <p><b>2. Identificação e avaliação dos principais impactos</b></p> <p>2.1. <u>Definição dos impactos</u></p> <p>2.1.1. <i>Tipos de impacto (diretos, indiretos, secundários, cumulativos, a curto, médio e longo prazos, permanentes e temporários, positivos e negativos).</i></p> <p>2.1.2. <i>Efeitos dos impactos e as interações entre eles.</i></p> <p>2.1.3. <i>Impactos de situações anormais.</i></p> <p>2.1.4. <i>Impactos com relação à linha de base (diferença entre as condições futuras com e sem o empreendimento).</i></p> <p>2.2. <u>Identificação dos impactos</u></p> <p>2.2.1. <i>Métodos utilizados</i></p> <p>2.2.2. <i>Justificativa de uso dos métodos.</i></p> <p>2.3. <u>Escopo</u></p> <p>2.3.1. <i>Participação do público em geral e grupos de interesse.</i></p> <p>2.3.2. <i>Métodos de coleta de opiniões.</i></p> <p>2.3.3. <i>Investigação detalhada dos principais impactos. Justificativa das áreas não selecionadas para estudo detalhado.</i></p>	<p>2.4. <u>Previsão da magnitude do impacto</u></p> <p>2.4.1. <i>Identificação e justificativa dos dados, lacunas e incertezas da avaliação.</i></p> <p>2.4.2. <i>Descrição e justificativa dos métodos.</i></p> <p>2.4.3. <i>Definição e justificativa dos parâmetros de avaliação.</i></p> <p>2.5. <u>Avaliação de significância dos impactos</u></p> <p>2.5.1. <i>Significância do impacto para a comunidade e o ambiente afetado.</i></p> <p>2.5.2. <i>Métodos utilizados.</i></p> <p>2.5.3. <i>Justificativa de normas, suposições e parâmetros utilizados.</i></p> <p><b>3. Alternativas e mitigação</b></p> <p>3.1. <u>Alternativas</u></p> <p>3.1.1. <i>Vantagens e desvantagens de alternativas locais viáveis e justificativa para a escolhida.</i></p> <p>3.1.2. <i>Alternativas tecnológicas.</i></p> <p>3.1.3. <i>Seleção de alternativas.</i></p> <p>3.2. <u>Escopo e efetividade das medidas mitigadoras</u></p> <p>3.2.1. <i>Medidas mitigadoras para os impactos adversos significativos. Descrição e justificativa para os impactos residuais.</i></p> <p>3.2.2. <i>Consideração de mudanças no projeto, compensação, instalações alternativas e controle.</i></p> <p>3.2.3. <i>Efetividade das medidas.</i></p> <p>3.3. <u>Compromisso com a mitigação</u></p> <p>3.3.1. <i>Detalhamento das medidas.</i></p> <p>3.3.2. <i>Sistema de monitoramento e ajuste das medidas.</i></p> <p><b>4. Comunicação dos resultados</b></p> <p>4.1. <u>Layout</u></p> <p>4.1.1. <i>Introdução: os objetivos do projeto e da avaliação ambiental.</i></p> <p>4.1.2. <i>Apresentação lógica e organizada.</i></p> <p>4.1.3. <i>Resumo dos capítulos.</i></p> <p>4.1.4. <i>Referências.</i></p> <p>4.2. <u>Apresentação</u></p> <p>4.2.1. <i>Texto compreensível para não especialistas.</i></p> <p>4.2.2. <i>Definição de termos técnicos.</i></p> <p>4.2.3. <i>Texto contínuo e integrado.</i></p> <p>4.3. <u>Ênfase</u></p> <p>4.3.1. <i>Ênfase aos impactos significativos.</i></p> <p>4.3.2. <i>Imparcialidade do texto.</i></p> <p>4.4. <u>Resumo não técnico (RIMA)</u></p> <p>4.3.3. <i>Linguagem não técnica.</i></p> <p>4.3.4. <i>Principais questões do EIA e breve explicação sobre a confiabilidade dos métodos utilizados.</i></p>
---	--

**Figura 2: Critérios de análise (subcategorias, categorias, áreas).**  
**Fonte: Veronez e Montañó (2017, p. 11)**





**Quadro 2: Conceitos de avaliação do Lee and Colley Review Package**

Conceito	Significado dos conceitos de avaliação
A	Tarefas relevantes bem executadas, nenhuma tarefa importante incompleta.
B	Geralmente satisfatório e completo, apenas pequenas omissões e inadequações.
C	Pode ser considerado apenas satisfatório apesar de omissões e/ou inadequações.
D	Apresenta partes satisfatórias, mas como um todo, é considerado insatisfatório devido a omissões ou inadequações relevantes.
E	Insatisfatório, omissões ou inadequações significativas.
F	Muito insatisfatório, tarefas importantes mal executadas ou não executadas.
NA	Não aplicável ou irrelevante.

Fonte: Lee e Colley (1992, p. 53, parte B, tradução realizada pelos Autores)

## Resultados e Discussão

Em virtude da limitação de espaço, optou-se por apresentar os resultados detalhados a nível de subcategorias. Essa abordagem permite uma análise mais detalhada em pontos específicos dos EIAs (Veronez; Montañó, 2024). O resultado da avaliação das subcategorias é apresentado na **Figura 2**. Para uma melhor visualização do caráter satisfatório ou insatisfatório, os itens avaliados foram indicados em cores para cada nota, onde as notas satisfatórias (entre A e C) foram destacadas em tons de verde e as notas insatisfatórias (entre D e F), em tons de vermelho. Pode-se observar que os estudos avaliados possuem fraquezas em pontos semelhantes (notas em vermelho), sendo os melhores resultados nos itens relacionados à comunicação dos resultados (área 4) e os piores resultados na identificação e avaliação dos impactos (área 2). Esses resultados são semelhantes aos identificados no contexto brasileiro por Veronez e Montañó (2024) e por Orique e Veronez (2024). No contexto internacional a área 4 também é indicada como a mais fraca no estudo realizado por Sandham e Pretorius (2008). Também é possível observar que muitas subcategorias receberam notas no limite da classificação de satisfatório/insatisfatório (notas entre C e D).

As **Tabelas de 1 a 4** apresentam os resultados e a porcentagem de notas, indicando os pontos satisfatórios (A-C) e não satisfatórios (D-F) identificados nas três áreas analisadas. Também são apresentados os pontos fortes (notas > 50% de A-B) e os pontos fracos (notas > 50% de E-F). Observa-se que duas categorias da área 1 foram consideradas pontos fortes, sendo elas a 1.1 (descrição do empreendimento) onde 95% das notas são A e B; e a 1.4 (descrição do ambiente) onde 100% das notas são A e B. Esse resultado é semelhante ao obtido na África do Sul por Sandham e Pretorius (2008) e no Brasil por Veronez e Montañó (2024) e por Orique e Veronez (2024). Além disso, todas as subcategorias presentes nas categorias 1.1 e 1.4 foram consideradas pontos fortes. Nenhuma categoria ou subcategoria apresentou pontos fracos na área 1. Sandham e Pretorius (2008) e Veronez e Montañó (2024) também identificaram ausência de pontos fracos nessa área.

Por outro lado, a área 2 não apresentou pontos fortes em nenhuma categoria ou subcategoria. Essa característica também foi observada por outros autores, a exemplo de Sandham e Pretorius (2008) e Veronez e Montañó (2024). Nessa área, foram identificados como pontos fracos as categorias 2.4 (previsão da magnitude dos impactos) e 2.5 (avaliação de significância dos impactos), ambas categorias apresentaram 58% das notas entre E e F). Essas categorias representam os principais pontos fracos identificados nos EIAs avaliados: ausência de descrição dos métodos utilizados para a previsão de magnitude e determinação da significância dos impactos ambientais. Em estudo semelhante realizado no Brasil, Orique e Veronez (2024) também identificaram essas categorias como pontos fracos. Em relação às subcategorias, a 2.4.3 (faixas de medição e/ou limites de confiança para magnitude); e a 2.5.1 (significância do impacto para a comunidade e ambiente afetado), também foram consideradas pontos fracos e receberam 75% e 100% de notas entre E e F, respectivamente. Grande parte dos EIAs não apresentou informações sobre os métodos de análise da significância e declaração das incertezas.

Na área 3, a categoria 3.1 (que avalia o estudo de alternativas) obteve 67% das notas entre A e B, sendo considerado um ponto forte. Em relação às subcategorias, foram identificados quatro pontos fortes: 3.1.1 (alternativas locais), 3.1.2 (alternativas tecnológicas), 3.2.2 (medidas mitigadoras) e a 3.3.1 (Compromisso para implementação das medidas mitigadoras). De forma semelhante, nessa área, Veronez e Montañó (2024) e Orique e Veronez (2024) identificaram a subcategoria 3.3.1 como ponto forte. Por outro lado, de forma semelhante ao identificado na área 1, nenhuma categoria ou subcategoria dessa área apresentou ponto fraco. Esses resultados são diferentes dos identificados por Veronez e Montañó (2024), que identificaram a subcategoria 3.2.3 como ponto fraco.

A área 4 apresentou três das suas quatro categorias como pontos fortes, sendo elas: a 4.1 (layout do projeto), com 81% das notas entre A e B; a 4.2 (apresentação do EIA), com 75% das notas entre A e B; e a 4.3 (ênfase do EIA), com 75% das notas entre A e B. As subcategorias 4.1.1 (introdução do EIA), 4.1.2 (organização lógica), 4.1.4 (fontes e referências), 4.2.1



(linguagem adequada), 4.2.2 (definição dos termos técnicos e siglas), 4.3.2 (imparcialidade do EIA) e a 4.4.1 (Rima com os principais resultados e conclusões do EIA em linguagem acessível para a população) foram avaliadas como pontos fortes. Em estudos anteriores Sandham e Pretorius (2008), Veronez e Montañó (2024) e Orique e Veronez (2024), foram identificados resultados semelhantes. A área 4 não apresentou pontos fracos em relação às categorias, porém a subcategoria 4.4.2 (que avalia a qualidade do Rima) apresentou 100% das notas entre E e F, sendo considerada um ponto fraco. Esse também foi considerado um dos principais pontos fracos dos EIAs avaliados, pois os Rimas não apresentam claramente as informações sobre os principais impactos significativos dos projetos.

		2014	2016	2019	2022	
		1	2	3	4	
Área 1	Descrição do empreendimento e da baseline	1.1.1	A	A	A	A
		1.1.2	A	A	A	A
		1.1.3	B	A	A	A
		1.1.4	A	B	B	A
		1.1.5	E	A	B	B
		1.2.1	A	C	B	A
		1.2.2	A	B	A	A
		1.2.3	D	C	D	D
		1.2.4	C	D	A	C
		1.2.5	E	D	D	B
		1.3.1	A	C	A	B
		1.3.2	C	C	A	C
		1.3.3	C	C	C	D
		1.4.1	A	A	A	A
		1.4.2	A	A	A	A
		1.5.1	C	C	C	C
		1.5.2	B	C	D	A
		1.5.3	C	C	B	D
Área 2	Identificação e avaliação dos principais impactos	2.1.1	C	C	D	D
		2.1.2	C	C	C	C
		2.1.3	B	C	C	A
		2.1.4	D	E	C	A
		2.2.1	C	C	C	D
		2.2.2	C	D	B	A
		2.3.1	B	C	C	C
		2.3.2	A	F	D	A
		2.3.3	A	C	B	D
		2.4.1	D	C	E	E
		2.4.2	E	B	D	E
		2.4.3	E	E	E	C
		2.5.1	D	E	E	D
2.5.2	E	D	E	E		
2.5.3	E	D	C	F		
Área 3	Alternativas e mitigação	3.1.1	A	B	A	A
		3.1.2	A	B	A	A
		3.1.3	NA	NA	NA	NA
		3.2.1	C	C	C	C
		3.2.2	C	A	B	A
		3.2.3	D	E	B	B
		3.3.1	A	C	B	A
3.3.2	C	C	D	C		
Área 4	Comunicação dos resultados	4.1.1	A	A	A	C
		4.1.2	A	A	B	A
		4.1.3	A	D	A	C
		4.1.4	A	A	B	A
		4.2.1	A	A	A	B
		4.2.2	C	A	A	B
		4.2.3	C	B	C	A
		4.3.1	A	D	A	D
		4.3.2	B	A	A	A
		4.4.1	C	A	A	A
		4.4.2	E	E	E	E

Figura 3: Resultado da avaliação das subcategorias.

Fonte: Elaborado pelas autoras



**Tabela 1: Resultados da avaliação da área 1**

	A	B	C	D	E	F	NA	A-C (%)	D-F (%)	A-B (%)	C-D (%)	E-F (%)
1.1.1 Finalidade do projeto	4	0	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
1.1.2 Descrição e tamanho do projeto	4	0	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
1.1.3 Presença física e aparência do projeto	3	1	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
1.1.4 Natureza dos processos e taxas esperada de produção	2	2	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
1.1.5 Natureza das quantidades de matéria-prima	1	2	0	0	0	1	0	75%	25%	75%	0%	25%
<b>1.1 Descrição do empreendimento</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>95%</b>	<b>5%</b>	<b>95%</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>
1.2.1 Área de terra ocupada e localização do projeto	2	1	1	0	0	0	0	100%	0%	75%	25%	0%
1.2.2 Descrição e demarcação dos usos da terra	3	1	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
1.2.3 Duração das fases do projeto	0	0	1	3	0	0	0	25%	75%	0%	100%	0%
1.2.4 Número de trabalhadores e meio de transporte	1	0	2	1	0	0	0	75%	25%	25%	75%	0%
1.2.5 Meios de transporte e as quantidades de matérias-primas e produtos	0	1	0	2	1	0	0	25%	75%	25%	50%	25%
<b>1.2 Descrição do local</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>65%</b>	<b>35%</b>	<b>45%</b>	<b>50%</b>	<b>5%</b>
1.3.1 Tipos, quantidades e taxa de produção de resíduos	2	1	1	0	0	0	0	100%	0%	75%	25%	0%
1.3.2 Tratamento e disposição de resíduos	1	0	3	0	0	0	0	100%	0%	25%	75%	0%
1.3.3 Métodos pelos quais as quantidades de resíduos foram obtidas, incertezas e intervalos de confiança	0	0	3	1	0	0	0	75%	25%	0%	75%	0%
<b>1.3 Resíduos</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>92%</b>	<b>8%</b>	<b>33%</b>	<b>67%</b>	<b>0%</b>
1.4.1 Indicação do ambiente afetado pelo projeto	4	0	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
1.4.2 Definição da área de influência	4	0	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
<b>1.4 Descrição do ambiente</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
1.5.1 Descrição dos componentes importantes afetados com indicação dos métodos e incertezas	0	0	4	0	0	0	0	100%	0%	0%	100%	0%
1.5.2 Fonte de dados	1	1	1	1	0	0	0	75%	25%	50%	50%	0%
1.5.3 Prognóstico sem o projeto	0	1	2	1	0	0	0	75%	25%	25%	75%	0%
<b>1.5 Condições da linha de base</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>83%</b>	<b>17%</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>	<b>0%</b>





**Tabela 2: Resultados da avaliação da área 2**

	A	B	C	D	E	F	NA	A-C (%)	D-F (%)	A-B (%)	C-D (%)	E-F (%)
2.1.1 Descrição dos impactos diretos e indiretos, secundários, cumulativos, a curto, médio e longo prazo, permanentes e temporários, positivos e negativos	0	0	2	2	0	0	0	50%	50%	0%	100%	0%
2.1.2 Efeito dos impactos e as interações entre eles	0	0	4	0	0	0	0	100%	0%	0%	100%	0%
2.1.3 Impactos em condições operacionais anormais e devido a acidentes	1	1	2	0	0	0	0	100%	0%	50%	50%	0%
2.1.4 Impactos em condições futuras com e sem a implantação do projeto	1	0	1	1	1	0	0	50%	50%	25%	50%	25%
<b>2.1 Definição dos Impactos</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>75%</b>	<b>25%</b>	<b>19%</b>	<b>75%</b>	<b>6%</b>
2.2.1 Identificação dos impactos com metodologia sistemática	0	0	3	1	0	0	0	75%	25%	0%	75%	25%
2.2.2 Descrição e justificativa dos métodos utilizados para identificação dos impactos	1	1	1	1	0	0	0	75%	25%	50%	50%	0%
<b>2.2 Identificação dos impactos</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>75%</b>	<b>42%</b>	<b>50%</b>	<b>8%</b>	<b>42%</b>
2.3.1 Participação do público em geral e grupos de especial interesse para avaliar o projeto e duas implicações	0	1	3	0	0	0	0	100%	0%	25%	75%	0%
2.3.2 Método de coleta de opiniões	2	0	0	1	0	1	0	50%	50%	50%	25%	25%
2.3.3 Identificação e seleção dos principais impactos para uma investigação mais detalhada	1	1	0	1	1	0	0	50%	50%	50%	25%	25%
<b>2.3 Escopo</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>75%</b>	<b>25%</b>	<b>42%</b>	<b>50%</b>	<b>8%</b>
2.4.1 Dados e fontes usados para estimativa da magnitude dos impactos	0	0	1	1	2	0	0	25%	75%	0%	50%	50%
2.4.2 Métodos utilizados para prever a magnitude dos impactos	0	1	0	1	2	0	0	25%	75%	25%	25%	50%
2.4.3 Faixas de medição e/ou limites de confiança para magnitude	0	0	1	0	3	0	0	25%	75%	0%	25%	75%
<b>2.4 Previsão da magnitude do impacto</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>	<b>8%</b>	<b>33%</b>	<b>58%</b>
2.5.1 A significância do impacto para a comunidade e ambiente afetado	0	0	0	2	2	0	0	0%	100%	0%	0%	100%
2.5.2 Significância de um impacto considerando as normas nacionais e internacionais em conjunto com os valores sociais nacionais e locais	0	0	0	2	2	0	0	0%	100%	0%	0%	0%
2.5.3 Justificativa de normas, suposições e sistemas de valores utilizados para avaliar a significância	0	0	1	1	1	1	0	25%	75%	0%	50%	50%
<b>2.5. Avaliação de significância de impactos</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>8%</b>	<b>92%</b>	<b>0%</b>	<b>42%</b>	<b>58%</b>



**Tabela 3: Resultados da avaliação da área 3**

	A	B	C	D	E	F	NA	A-C (%)	D-F (%)	A-B (%)	C-D (%)	E-F (%)
3.1.1 Alternativas locacionais possíveis e viáveis suas vantagens e desvantagens	3	1	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
3.1.2 Alternativas tecnológicas e diferentes formas e condições de operação	3	1	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
3.1.3 Avaliação de alternativas em virtude de impactos adversos graves	0	0	0	0	0	0	4	0%	0%	0%	0%	0%
<b>3.1 Alternativas</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>67%</b>	<b>0%</b>	<b>67%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
3.2.1 Medidas mitigadoras para os impactos significativos	0	0	4	0	0	0	0	100%	0%	0%	100%	0%
3.2.2 As medidas mitigadoras consideradas devem incluir a modificação do projeto, a compensação e a utilização de instalações alternativas, bem como o controle da poluição	2	1	1	0	0	0	0	100%	0%	75%	25%	0%
3.2.3 Efetividade das medidas mitigadoras	0	2	0	1	1	0	0	50%	50%	50%	25%	25%
<b>3.2 Âmbito de aplicação e efetividade das medidas mitigadoras</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>83%</b>	<b>17%</b>	<b>42%</b>	<b>50%</b>	<b>8%</b>
3.3.1 Compromisso para implementação das medidas mitigadoras	2	1	1	0	0	0	0	100%	0%	75%	25%	0%
3.3.2 Sistema de monitoramento e ajuste das medidas	0	0	3	1	0	0	0	75%	0%	0%	100%	0%
<b>3.3 Compromisso a mitigação</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>88%</b>	<b>13%</b>	<b>38%</b>	<b>63%</b>	<b>0%</b>



**Tabela 4: Resultados da avaliação da área 4**

	A	B	C	D	E	F	NA	A-C (%)	D-F (%)	A-B (%)	C-D (%)	E-F (%)
4.1.1 Introdução descrevendo o projeto, os objetivos da avaliação ambiental e como esses objetivos são atendidos	3	0	1	0	0	0	0	100%	0%	75%	25%	0%
4.1.2 Informações organizadas de forma lógica	3	1	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
4.1.3 Resumos dos capítulos longos descrevendo os principais resultados de cada fase de investigação	2	0	1	1	0	0	0	75%	25%	50%	50%	0%
4.1.4 Fonte/Referência usadas	3	1	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
<b>4.1 Layout</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>94%</b>	<b>6%</b>	<b>81%</b>	<b>19%</b>	<b>0%</b>
4.2.1 Informação compreensível para os não especialistas	3	1	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
4.2.2 Definição dos termos técnicos e siglas	2	1	1	0	0	0	0	100%	0%	75%	25%	0%
4.2.3 EIA apresentado de forma integrada	1	1	2	0	0	0	0	100%	0%	50%	50%	0%
<b>4.2 Apresentação</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>75%</b>	<b>25%</b>	<b>0%</b>
4.3.1 Destaque e ênfase aos impactos adversos potencialmente graves e impactos ambientais potencialmente favoráveis	2	0	0	2	0	0	0	50%	50%	50%	50%	0%
4.3.2 Imparcialidade do EIA	3	1	0	0	0	0	0	100%	0%	100%	0%	0%
<b>4.3 Ênfase</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>75%</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>	<b>25%</b>	<b>0%</b>
4.4.1 Rima com os principais resultados e conclusões do EIA em linguagem acessível para a população	3	0	1	0	0	0	0	100%	0%	75%	25%	0%
4.4.2 Rima deve abranger todas as principais questões discutidas no EIA e conter pelo menos: uma breve descrição do projeto e do ambiente, um relato das principais medidas de mitigação e uma descrição de quaisquer impactos residuais significativos. Também devem ser incluídos: uma breve explicação sobre os métodos pelos quais esses dados foram obtidos e uma indicação da confiança que pode ser depositada neles	0	0	0	0	4	0	0	0%	100%	0%	0%	100%
<b>4.4 Resumo não técnico (Rima)</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>	<b>38%</b>	<b>13%</b>	<b>50%</b>

Para a realização de uma análise mais detalhada, também foram comparados os pontos fortes e fracos (por subcategoria) de cada um dos quatro EIAs separadamente. Essa análise foi realizada utilizando o mesmo critério aplicado anteriormente, onde subcategorias com notas entre A e B são consideradas pontos fortes e subcategorias com notas entre E e F, são considerados pontos fracos (**Quadro 3**). Todos os quatro EIAs apresentaram melhores resultados nas subcategorias da área 1, especialmente as subcategorias relacionadas à descrição do empreendimento. As subcategorias da área 4 também apresentaram desempenho satisfatório nos quatro estudos, destacando-se pelas subcategorias relacionadas a apresentação da estrutura física do estudo (layout). No entanto, os estudos apresentaram lacunas consideráveis, principalmente nas subcategorias relacionadas a magnitude e significância dos impactos. Em grande parte, essas lacunas estavam relacionadas à ausência de informações sobre a significância dos impactos e sobre os métodos utilizados. A qualidade do Rima também foi um ponto fraco em todos os estudos, e sua principais fraquezas estavam relacionadas à ausência de informação sobre a confiança dos métodos utilizados.





**Quadro 3: Apresentação dos pontos fortes e fracos por subcategoria para cada EIA**

Estudos	EIA 1	EIA 2	EIA 3	EIA 4
<b>Pontos fortes por subcategorias</b>	Área 1	Área 1	Área 1	Área 1
	1.1.1; 1.1.2; 1.1.3; 1.1.4; 1.2.1; 1.2.2; 1.3.1; 1.4.1; 1.4.2; 1.5.2	1.1.1; 1.1.2; 1.1.3; 1.1.4; 1.1.5; 1.2.2; 1.4.1; 1.4.2	1.1.1; 1.1.2; 1.1.3; 1.1.4; 1.1.5; 1.2.1; 1.2.2; 1.2.4; 1.3.1; 1.3.2; 1.4.1; 1.4.2; 1.5.3	1.1.1; 1.1.2; 1.1.3; 1.1.4; 1.1.5; 1.2.1; 1.2.2; 1.2.5; 1.3.1; 1.4.1; 1.4.2; 1.5.2
	Área 2	Área 2	Área 2	Área 2
	2.1.3; 2.3.1; 2.3.2; 2.3.3	2.4.2	2.2.2; 2.3.3	2.1.3; 2.1.4; 2.2.2; 2.3.2
	Área 3	Área 3	Área 3	Área 3
	3.1.1; 3.1.2; 3.3.1	3.1.1; 3.1.2; 3.2.2	3.1.1; 3.1.2; 3.2.2; 3.2.3; 3.3.1	3.1.1; 3.1.2; 3.2.2; 3.2.3; 3.3.1
	Área 4	Área 4	Área 4	Área 4
	4.1.1; 4.1.2; 4.1.3; 4.1.4; 4.2.1; 4.3.1; 4.3.2	4.1.1; 4.1.2; 4.1.4; 4.2.1; 4.2.2; 4.2.3; 4.3.2; 4.4.1	4.1.1; 4.1.2; 4.1.3; 4.1.4; 4.2.1; 4.2.2; 4.3.1; 4.3.2; 4.4.1	4.1.2; 4.1.4; 4.2.1; 4.2.2; 4.2.3; 4.3.2; 4.4.1
<b>Pontos fracos por subcategorias</b>	Área 2	Área 2	Área 2	Área 2
	2.4.2; 2.4.3; 2.5.2; 2.5.3	2.1.4; 2.3.2; 2.4.2; 2.4.3; 2.5.1	2.4.1; 2.4.3; 2.5.1; 2.5.2	2.4.1; 2.4.2; 2.5.2; 2.5.3
	Área 4	Área 3	Área 4	Área 4
	4.4.2	3.2.3	4.4.2	4.4.2
	Área 4			
	4.4.2			

Na avaliação geral, nenhum EIA foi considerado satisfatório (nota geral entre A e C) e apresentaram significativas em informações importantes. Esse resultado negativo também foi identificado nas pesquisas de Veronez e Montañó (2024) e Orique e Veronez (2024).

### Considerações Finais

A avaliação dos EIAs de portos estudados revelou deficiências significativas, especialmente na área relacionada à avaliação dos impactos ambientais. Os principais pontos fracos dos EIAs estão relacionados à previsão da magnitude, na análise da significância dos impactos e na apresentação do Rima. Além disso, há lacunas relevantes na abordagem das incertezas e na definição dos limites de confiança nos estudos. A linguagem técnica utilizada nos EIAs é muitas vezes vaga e pouco objetiva. Essas deficiências têm um impacto direto na qualidade da informação que o EIA leva aos processos de licenciamento desses projetos e comprometem a efetividade dos sistemas de AIA e do Licenciamento Ambiental Federal.

Por outro lado, destaca-se positivamente a apresentação da estrutura física dos estudos e a descrição do projeto e do ambiente. Cabe destacar que a pesquisa se limitou a avaliar os estudos disponíveis no repositório do Ibama e não foram considerados eventuais documentos complementares aos estudos ambientais.

Espera-se que esses resultados contribuam para a melhoria da qualidade de estudos futuros dessa tipologia.

### Agradecimentos

As autoras agradecem ao Instituto Federal do Espírito Santo pelo suporte financeiro.



### Referências Bibliográficas

Anifowose, B. et al; 2016. A systematic quality assessment of Environmental Impact Statements in the oil and gas industry. *Science of The Total Environment*, v. 572, pp. 570–585.

Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ); 2024. Relatório Anual 2023. Brasília.

Brasil; 1981. LEI No 6.938 DE 1981 Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*.

Cecatto, C; 2002. A Importância do Transporte Marítimo no Brasil. *ECIVIL, Revista EngWhere*, nº23.

CONAMA; 1986. Resolução no 1 de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. *Diário Oficial da União*, 1986.

CONAMA; 1997. Resolução N° 237 de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. *Diário Oficial da União*.

Lee, N.; Colley, R; 1992. Reviewing the quality of environmental statements. Em *EIA Centre (Org.)*, occasional paper number 24. Department of Planning and Landscape. University of Manchester.

Oriue, S.R; Veronez, F. A; 2024. Avaliação da Qualidade dos Estudos de Impacto Ambiental de Projetos de Linhas de Transmissão Submetidos ao Licenciamento Ambiental Federal (2018-2022). Universidade Federal de Jataí. *Revista Eletrônica do curso de Geografia Graduação e Pós-Graduação Jataí-GO*, n. 48.

Sánchez, L. E; 2013. Development of Environmental Impact Assessment in Brazil. *UVP Report*, 27, pp. 193-200.

Sánchez, L. E; 2020. *Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos*. São Paulo: Oficina de textos.

Sandham, L. A.; Hoffmann, A. R.; Retief, F. P; 2008. Reflections on the quality of mining EIA reports in South Africa. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, v. 108, n. 11, pp. 701–706.

Veronez, F. A; Montañó, M; 2024. Comprehensive framework for analysis of EIA effectiveness: Evidence from Espírito Santo State, Brazil, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 108.

Veçozzi, T. A.; Carvalho, A. C; 2013. O licenciamento ambiental nas operações portuárias: estudo de caso aplicado aos operadores do terminal Porto Novo no porto organizado do Rio Grande, RS, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, pp. 343–352.



# AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICAS DE INCENTIVO E PENALIDADES SOBRE A MUDANÇA DE COMPORTAMENTO DE GERADORES DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

1Carolina Ozorio Carriço, 2Juliana Salomão das Neves, 3Fernanda Bonfim Rocha, 4Katarina da Silva Couto, 5Dayane Valentina Brumatti, 6Lorena Miossi Alves Cabral, 7Renato Ribeiro Siman, 8Luciana Harue Yamane

1 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: carolinaozori@gmail.com; 2 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: juliana\_1401@yahoo.com.br; 3 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: fernandabonfim7@gmail.com; 4 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: Katarinasilvacouto@gmail.com; 5 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: dayane.brumatti@edu.ufes.br; 6 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: lorenamiossi@gmail.com; 7 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: renato.siman@ufes.br; 8 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: luciana.yamane@ufes.br

**Palavras-chave:** Gerenciamento de resíduos; Despejo ilegal; Economia Circular.

## Resumo

O projeto apresentado é uma revisão de literatura que explora o gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e a aplicação de políticas de incentivo e penalidade para alterar o comportamento dos geradores desses resíduos. Este estudo examina os impactos ambientais, econômicos e sociais resultantes do manejo inadequado dos RCD e destaca a importância da economia circular na reintegração desses resíduos na indústria da construção civil para minimizar a exploração de recursos naturais não renováveis. A revisão aborda diversos desafios associados ao gerenciamento eficaz dos RCD, incluindo a segregação na fonte, os custos de coleta e transporte, e a necessidade de políticas governamentais efetivas que incentivem práticas sustentáveis. Também discute os métodos comuns de disposição dos RCD, como aterros e bota-foras, e o problema crescente dos despejos ilegais, particularmente em países em desenvolvimento. Além disso, o projeto investiga o potencial de reciclagem e reutilização dos RCD, a importância de sua segregação na origem, e explora políticas econômicas que poderiam incentivar práticas adequadas de manejo. Ele propõe identificar os fatores que influenciam a decisão dos geradores de RCD em adotar práticas sustentáveis. O objetivo principal deste estudo de revisão é avaliar o impacto das políticas de incentivo e penalidade no comportamento dos geradores de RCD, com foco na redução dos custos e da quantidade de resíduos despejados ilegalmente, por meio da segregação e entrega voluntária dos resíduos em pontos designados.

## Introdução

A construção civil é um dos setores de maior importância para a economia mundial, pois promove desenvolvimento econômico, aumento de renda e oferta de emprego (BAO; LU, 2020; SEROGINA; PUSHKAR; ZHOVTIAK, 2022). Entretanto, os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) gerados pelas atividades de construção, reforma e demolição são considerados o principal quantitativo de resíduos gerados entre todos os tipos descartados pela sociedade moderna (GÁLVEZ-MARTOS et al., 2018; ZHANG et al., 2022).

O gerenciamento adequado de RCD é considerado um desafio global devido aos impactos ambientais, econômicos e sociais inerentes à sua inevitável geração (LI; LI; SANG, 2022; LÓPEZ RUIZ; ROCA RAMÓN; GASSÓ DOMINGO, 2020). Percebe-se danos aos equipamentos públicos em núcleos populacionais, tais como obstruções da rede de drenagem, das vias públicas, contaminação de cursos d'água, além de proliferação de vetores e doenças quando o seu gerenciamento é inadequado (ESGUÍCERO et al., 2021; ISLAM et al., 2019).

Nesse sentido, a economia circular promove a reinserção dos RCD na indústria de construção civil, possibilitando a redução da exploração de recursos naturais não renováveis e dos impactos negativos causados pela extração e gerenciamento inadequado desses resíduos (ELSHABOURY et al., 2022; BAO; LU, 2020; KABIRIFAR et al., 2020; YU et al., 2022). Entretanto, variáveis relativas à: segregação na fonte, custos de coleta e transporte, destinação e ou disposição final, além da incidência de políticas de incentivo e penalidades sobre os geradores de RCD podem ser barreiras para a implementação da economia circular (SORMUNEN; KÄRKI, 2019; RONDINEL-OVIEDO, 2021; KIM, 2021; MAK et al., 2019).

Embora haja um potencial para reciclagem e reutilização dos RCD, os métodos mais comuns e de baixo custo para sua destinação são o uso de bota-foras e aterros de construção e demolição (JAHANGIRI et al., 2022; MAH; FUJIWARA; HO, 2018). Além destes, o crescimento dos pontos de despejo ilegal é preocupante em muitos países, principalmente nos subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, sendo necessário impulsionar a reciclagem como uma etapa do gerenciamento (LI; LI; SANG, 2022). Entretanto, para qualquer estratégia de valorização dos RCD, é importante antes promover sua segregação ainda na fonte geradora (DU et al., 2020).

De acordo com Nawaz et al. (2022), em termos de custos associados à coleta e transporte de RCD, é mais econômico reciclar os RCD diretamente no canteiro de obras do que separá-los e transportá-los para um aterro específico. A coleta de RCD





pode ser realizada pelo município, empresas terceirizadas devidamente licenciadas ou pelos próprios geradores dos resíduos (ESGUÍCERO et al. 2021). É responsabilidade do órgão público competente inspecionar o transporte, a fim de evitar o descarte ilegal (BLAISI, 2019).

Para as estratégias de destinação, práticas como a reutilização no canteiro de obras ou a reciclagem podem ser adotadas para reduzir o quantitativo de resíduos enviados para aterro. A reciclagem de resíduos na indústria da construção utiliza equipamentos de trituração para transformar os resíduos em materiais reaproveitáveis (KIM, 2021; BARBUDO et al., 2020). A disposição final adequada dos RCD não reciclados ocorre em aterro de resíduos da construção civil, que são estruturas projetadas para minimizar os impactos negativos no solo, ar e água (KAMALAN et al., 2011).

Incentivos econômicos governamentais podem influenciar positivamente o gerenciamento adequado, com destaque para a reciclagem de RCD (ZHANG et al., 2022; WANG et al., 2022a; HAO et al., 2020; MAK et al., 2019). As políticas de incentivos e penalidades e outras variáveis correlatas tais como possibilidade de recebimento de benefícios, redução de custos, mudanças legislativas e consciência ambiental podem contribuir para alterar o comportamento dos geradores para gerenciar adequadamente os RCD (JAIN et al., 2019).

Instrumentos como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) já aplicados para resíduos plásticos, papel, alumínio e vidros (AMANTAYEVA et al., 2021; PELONERO et al., 2020; ESMAEILIAN et al., 2018) podem vir a ser aplicados para recompensar a segregação dos RCD diretamente na fonte.

Estudos realizados apontam a necessidade de examinar a possibilidade de mudança de comportamento dos geradores de RCD por meio de políticas de incentivos e penalidades (ELSHABOURY et al., 2022; JIA; LIU; YAN, 2018). Ademais, ainda é necessário avaliar políticas governamentais que sejam economicamente sustentáveis a longo prazo e considerar os efeitos da diversidade de ferramentas reguladoras empregadas no gerenciamento dos RCD (CHENG et al., 2022). Portanto, avaliar os elementos que promovem o vínculo dos geradores com a possibilidade da mudança de comportamento que favoreça a segregação, reutilização e reciclagem dos RCD ainda é uma lacuna a ser preenchida (LI, LI, SANG, 2022).

Diante do apresentado, este trabalho revisará a literatura sobre a influência de incentivos e penalidades na mudança de comportamento dos geradores de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) ao longo do tempo. Analisaremos como essas políticas podem estimular a segregação e a entrega voluntária dos resíduos em pontos específicos de um município brasileiro, visando reduzir tanto os custos associados quanto a quantidade de RCD despejada ilegalmente.

### Material e Métodos

A revisão sistemática da literatura é uma análise de fontes bibliográficas, com objetivo de sistematizar dados secundários a partir do levantamento de muitos estudos (BIROCHI, 2015; CLARK et al., 2021; PRODANOV, 2013). A revisão de literatura é considerada primordial para fundamentar pesquisas, coletando e sintetizando estudos realizados e dados disponibilizados (XIAO; WATSON, 2019; SNYDER, 2019).

A pesquisa bibliográfica possui como objetivo atualizar e aprimorar o conhecimento teórico sobre o tema em foco, utilizando a leitura e análise de documentos científicos publicados tais como livros, artigos científicos, teses, dissertações, leis e outros tipos de fontes escritas para constituir a base da pesquisa (SEVERINO, 2007; GIL, 2008). Inicialmente para que se realize a pesquisa bibliográfica é necessário delimitar o tema da pesquisa para que a partir de trabalhos publicados em bases de dados se obtenha o levantamento bibliográfico (SOUSA et al., 2021; LAKATOS E MARCONI, 2003). A pesquisa prossegue por meio de seleção, leitura, fichamento, análise, interpretação dos textos selecionados e escrita do trabalho pesquisado (LAKATOS E MARCONI, 2011).

Dessa forma, a pesquisa bibliográfica satisfaz a necessidade de aquisição de conhecimentos sobre o tema de pesquisa (SILVA et al., 2021; KRIPKA et al., 2015).

A pesquisa bibliográfica foi elaborada a partir de material já publicado na literatura científica, após, foi realizada a leitura, exclusão e seleção manual dos materiais com maior relevância para o estudo. As bases de dados *Scopus e o Web of Science* foram utilizadas para busca da literatura, mediante inserção dos termos de buscas apresentados no Quadro 1 seguido dos operadores booleanos *AND* e *OR*.

**Quadro 1: Detalhamento da pesquisa bibliográfica e documental**

Ferramenta	Base de dados	Termos de busca	Lapso temporal
Pesquisa bibliográfica	<i>Scopus e Web of Science</i>	<i>“construction and demolition waste”, “construction waste”, “CDW”, “generation”, “source segregation”, “collect”, “transport”, “destination”, “final disposition”, “recycling”, “management”, “waste management”, “management costs”, “deployment of technologies”, “economic incentives”, “economic penalties”, “willingness to pay”, “stakeholders”, “illegal dumping”, “costs”, “expenses”, “economics”, “economic analysis”, “incentive policies”, “penalty policies”, “public policy”, “laws and legislation”, “economic incentives”, “economic penalties”</i>	2018 - 2023

Fonte: Autoria própria



### Resultados e Discussão

#### Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição

A produção de resíduos no setor de construção civil está vinculada a diversas etapas da atividade de construção, demolição, manutenção ou desconstrução (ZHANG et al., 2022; GÁLVEZ-MARTOS et al., 2018), sendo gerada na entrega do material e no armazenamento (MERCADER-MOYANO et al., 2022). No entanto, é na etapa de execução da obra que os resíduos são gerados em grandes quantidades devido ao manuseio, sobras, perdas e erros de projeto, ocorrendo em obras de grandes ou pequenas dimensões (MERCADER-MOYANO et al., 2022; ESGUÍCERO et al. 2021). De acordo com Rondinel-Oviedo (2021), obras de grande porte possuem fontes menores de geração de RCD relacionados a erros de projeto, entretanto, em obras menores que 500 m<sup>2</sup>, a informalidade pode influenciar na elevada geração e descarte inadequado dos resíduos.

Os RCD são compostos por concreto, tijolo, argamassa, cerâmica, asfalto, metais, vidro, madeira, plástico, papel, orgânicos e uma pequena parcela de elementos perigosos (DOS REIS et al., 2021; WU et al. 2020; RODRÍGUEZ-ROBLES et al., 2015). Segundo os autores, elementos qualitativos e quantitativos podem variar de acordo com a região geradora. A fração inorgânica de RCD é denominada de inerte devido ao comportamento físico-químico e biológico das partículas quando em contato com a água (GÁLVEZ-MARTOS et al., 2018).

O manejo de RCD pode passar pelas etapas de segregação, acondicionamento, reaproveitamento ou reciclagem na obra, coleta, transporte, beneficiamento e reciclagem em unidades externas, bem como a disposição final de rejeitos em aterros (KIM, 2021; ESGUÍCERO et al. 2021; LIN et al., 2020; DU et al., 2020; BLAISI, 2019). Segundo os autores, para a gestão efetiva desses resíduos, há que se investir em treinamento, fiscalização e a criação de condições para viabilidade econômica de manejo adequado.

A segregação na fonte não só do RCD, mas como de qualquer outro resíduo, é uma etapa primordial para que estes possam ser reciclados (SORMUNEN; KÄRKI, 2019; DU et al., 2020). Para que tal atividade ocorra, o canteiro de obras deve reservar espaço para a triagem de resíduos e caçambas para a disposição de cada tipo de material (NAWAZ et al., 2023). Para maior valorização, os resíduos além de segregados, devem ser armazenados em locais que não fiquem expostos às condições climáticas, sendo necessário treinamento sobre sua segregação (SORMUNEN; KÄRKI, 2019; GÁLVEZ-MARTOS et al., 2018; PURCHASE et al., 2022; NAWAZ et al., 2023).

A coleta dos RCD pode ser realizada pelo município, empresas terceirizadas ou pelos próprios geradores dos resíduos (ESGUÍCERO et al. 2021). O transporte dos RCD deve ser realizado por empresas ambientalmente licenciadas e que utilizem ferramentas para quantificar os resíduos. Cabe ao órgão público responsável inspecionar o transporte, verificando a ocorrência de despejo ilegal (BLAISI, 2019).

A fiscalização das destinações dadas aos RCD recai sobre o órgão público, desde que possua regulamentações para tais ações (ESGUÍCERO et al. 2021). Para Zhao (2021) o governo tem a responsabilidade de proporcionar os meios regulatórios, aplicados por meio de legislações e regulamentos, e assim realizar a fiscalização. A ausência de capacidade técnica governamental para realizar a fiscalização pode incentivar comportamentos ambientalmente inadequados, visto a noção de impunidade (RAMOS; MARTINHO, 2021; BLAISI, 2019).

A reutilização dos RCD é a ação ou prática de reutilizar os materiais gerados por meio da atividade de construção, inserindo-os na mesma finalidade já utilizada ou em uma outra função (CONDOTTA; ZATTA, 2021; HUANG et al., 2018). Já a reciclagem consiste na remanufatura dos RCD, e é composta por práticas de que permitem que os resíduos sejam beneficiados (triturados) no próprio canteiro de obras, por meio de equipamentos trituradores móveis ou em usinas de beneficiamento (HUA et al., 2023; KIM, 2021; BARBUDO et al., 2020).

A reciclagem dos RCD é influenciada pelas condições na qual o material se encontra no fim de vida, função dos materiais, disponibilidade, venda de materiais secundários e eficiência do processo de beneficiamento (ZHANG et al., 2022; DU et al., 2020). Os principais empecilhos para a reciclagem são o gerenciamento ineficiente, heterogeneidade dos materiais, tecnologias ainda em desenvolvimento e mercado insuficiente (HUANG et al., 2018; GALÁN et al., 2019; LIU et al., 2019).

As usinas de beneficiamento de RCD possuem como característica processos e operações unitárias que impulsionam o reaproveitamento ou reciclagem de maior quantitativo de material, tais como a separação inicial de metais, madeiras e resíduos que porventura cheguem misturados e o processo de beneficiamento, trituração em equipamentos fixos e/ou móveis, carregadeiras, correias transportadoras, classificadores em peneiras, sempre permitindo a obtenção de agregados com diferentes granulometrias (GALÁN et al., 2019; BAO, 2020).

Mesmo que o agregado reciclável tenha propriedades físicas e mecânicas diferentes do agregado natural, os mesmos podem ser utilizados como substitutos viáveis para utilização em atividades de construção (CARIMAN, 2022; DOS REIS et al., 2021). No entanto, a eficiência das unidades de beneficiamento pode variar conforme o grau de segregação do RCD, quanto menor a segregação maior será o esforço de reciclagem e os rejeitos (XU; SHI; ZHAO, 2019).

A disposição final ambientalmente adequada do rejeito de RCD (não reciclado, reaproveitado ou beneficiado), ocorre em aterros de resíduos de construção ou em estruturas projetadas para mitigar impactos negativos significativos ao solo, ar e água como aterros de resíduos de construção ou em aterros sanitários (KAMALAN et al., 2011). Aproximadamente 85% do RCD gerado no mundo é destinado para aterros (PNUMA, 2015).

A atividade de construção civil necessita seguir as práticas de economia circular para garantir o seu desenvolvimento econômico em consonância com a defesa do meio ambiente (ALMEIDA, 2022; PURCHASE et al., 2022; YU et al., 2022; SHOOSHARIAN et al., 2022; ELSHABOURY et al., 2022; KABIRIFAR et al., 2020). No entanto, gerar e gerenciar RCD possui diversos fatores de interferência que dificultam ou beneficiam a implementação da economia circular. O crescimento





populacional, grau de urbanização, PIB e ações governamentais são variáveis importantes e que influenciam a qualidade do manejo dos RCD (LI; LI; SANG, 2022; ASLAM; HUANG; CUI, 2020; LÓPEZ RUIZ; ROCA RAMÓN; GASSÓ DOMINGO, 2020).

A economia circular possui como premissa a reorganização das etapas do gerenciamento dos RCD, objetivando redução da geração e utilização dos resíduos gerados, empregando a reutilização e reciclagem (ELSHABOURY et al., 2022; BAO; LU, 2020; KABIRIFAR et al., 2020). Além de promover reduções na exploração de recursos naturais não renováveis e dos impactos negativos causados pelo gerenciamento inadequado deste resíduo (YU et al., 2022; SHOOSHTARIAN et al., 2022). Para Mahpour (2018) e Liu et al., (2021) a economia circular dos RCD requer a identificação, compreensão e superação de barreiras. Em contrapartida, a economia linear, modelo ainda mundialmente utilizado, possui como base a utilização desmedida dos recursos naturais, geração, transporte e descarte dos RCD gerados em aterros, sendo considerada ineficiente para o gerenciamento dos resíduos pois não possibilita formas de aproveitamento (OLULEYE; CHAN; OLAWUMI, 2022).

A China possui uma economia desenvolvida em relação ao gerenciamento de resíduos e com atenção intensiva à fiscalização dos RCD. No entanto, foi verificado que para atingir uma economia circular de RCD é necessária implementação de fortes intervenções governamentais, tanto benéficas como a disponibilização de incentivos para recicladoras, quanto de caráter punitivo (BAO, 2020). Na União Europeia, apesar dos esforços em aplicação de políticas que contribuam para o aumento do beneficiamento dos RCD, alguns países ainda encontram barreiras para atingir o mínimo de recuperação exigido (GALÁN et al., 2019).

Uma das principais barreiras identificadas que impede a transição da economia linear para a circular, está relacionada aos custos envolvidos no gerenciamento dos RCD (NAWAZ et al., 2023). A escolha entre dispor os resíduos em aterros ou pelo despejo ilegal, atua como medidor econômico da adequabilidade dos custos de coleta, transporte e disposição final. Atores responsáveis pelas atividades geradoras dos RCD escolhem como gerenciar os resíduos se baseando nos custos envolvidos e no lucro da obra (CHENG et al., 2022; DU et al., 2020).

Os custos com disposição em pontos irregulares são inexistentes para os geradores de RCD, caso não haja efetiva fiscalização e estrutura municipal que viabilize a aplicação de multas para tais práticas (KLEIN; GONÇALVES-DIAS, 2017). No entanto, os custos de limpeza dos pontos de despejo ilegal afetam significativamente o orçamento municipal. No município de São Paulo, os custos anuais relativos à limpeza de pontos de despejo irregular foram 54,4% maiores do que a manutenção dos Pontos de Entrega Voluntária (PEV) (SÃO PAULO, 2014). Em São Luís/MA, foram gastos R\$300.000,00 por mês para limpeza de pontos de despejo irregular (CARELLI; MIRANDA, 2013) onerando o poder público.

Os PEVs ou Ecopontos são locais apropriados, instalados pelo órgão público responsável, com equipamentos tais como: lixeiras, caçambas estacionárias, e outros recipientes para recolhimento de pequenas quantidades de RCD, volumosos, recicláveis e resíduos de logística reversa obrigatória (KLEIN; GONÇALVES-DIAS, 2017; ABNT, 2004). Nesse sentido, os PEVs podem diminuir os custos de limpeza dos locais com descarte irregular (PAZ, 2019). De acordo com estudos realizados por Klein e Gonçalves-Dias (2017), apesar de ser uma estratégia relevante, a oferta de PEVs para reduzir o descarte irregular frequentemente apresenta uma efetividade limitada. Portanto, é necessário desenvolver ferramentas que possam alterar o comportamento dos geradores de RCD, visando melhorar os resultados dessa abordagem.

A precificação da coleta de RCD ocorre em concomitância com o transporte, sendo definidos por meio de taxa, baseada em fatores sociais e ambientais, a fim de que atores responsáveis pelos RCD sejam cobrados e empresas de transporte sejam devidamente ressarcidas pela execução da atividade (KLEIN; GONÇALVES-DIAS, 2017). Nos municípios brasileiros, a coleta e o transporte dos RCDs são geralmente realizados pelo próprio município ou por meio de contratos com empresas especializadas. O município pode oferecer serviços de coleta diretamente aos pequenos geradores, disponibilizando caçambas estacionárias ou PEVs. Além disso, há a necessidade de lidar com a limpeza, coleta e transporte dos RCDs descartados de forma irregular, garantindo sua destinação adequada (ASSUMPCÃO, 2020).

Os custos de transporte de RCD são flutuantes e imprecisos (XU; SHI; ZHAO, 2019), entretanto, é possível calculá-lo considerando o consumo de diesel do veículo utilizado, a quilometragem percorrida até o PEV, usina de beneficiamento ou aterro sanitário, o custo do diesel e da prestação do serviço (CARIMAN, 2022).

### Políticas de Incentivo e Penalidades

Para se formular políticas governamentais é primordial entender quais são as barreiras enfrentadas para o gerenciamento dos RCD e após utilizar as políticas como ferramenta para lidar com a problemática envolvida (LI et al., 2020). Países desenvolvidos prezam por agregar valor aos RCD, empenhando-se no desenvolvimento de pesquisa científica, redução dos impactos dos RCD e políticas de incentivos e penalidades (SUN et al., 2022).

As políticas de penalidades são estratégias governamentais que visam coibir atitudes inadequadas de determinados atores, tais como a redução da quantidade dos RCD despejados ilegalmente (MHATRE; GEDAM; UNNIKRIISHNAN, 2021; LIU; HUA; CHEN, 2021) ou redução do RCD destinado para aterro (BLAISI, 2019; ROSADO; PENTEADO, 2020). Nawaz et al., (2022) identificaram a estimativa do custo de uma penalidade que obrigaria os geradores a utilizar práticas de redução da geração de resíduos e reciclagem no canteiro de obras, sendo a penalidade equivalente a 0,055% do custo total da obra.

Taxas aplicadas para o descarte de RCD em aterros, podem contribuir para o aumento e desvio de massa de RCD para a reciclagem, tal como o evidenciado na Dinamarca, onde a aplicação de uma taxa de aterro por tonelada de RCD de R\$243,93 (US\$51/ton) reduziu o quantitativo dessa opção de destinação final (Integrated Skills LTD, 2004). Já Véliz; Ramírez-Rodríguez; Ossio (2022) identificaram que os valores cobrados no Chile para coleta e destinação final de RCD estão até 20% maiores do





que os valores que os geradores afirmaram estar dispostos a pagar pela prestação destes serviços, evidenciando a inflexibilidade dos geradores por uma gestão de RCD adequada.

Políticas de incentivos possuem como base o subsídio ou recompensa para os atores envolvidos pelas decisões tomadas, tais como, reciclagem (SUN et al., 2022; MHATRE; GEDAM; UNNIKRIISHNAN, 2021; CRISTIANO et al., 2021), inclusão de práticas sustentáveis de gerenciamento de RCD no canteiro de obras (ALMEIDA, 2022; CHENG et al., 2022) como o beneficiamento dos RCD (MHATRE; GEDAM; UNNIKRIISHNAN, 2021; HAO et al., 2020). Políticas de incentivo podem ser implementadas para desviar a quantidade de RCD destinados aos aterros por meio da redução da geração, reutilização e reciclagem desses materiais (ROSADO; PENTEADO, 2020).

Na Holanda, uma política de incentivo à reciclagem tem como meta reduzir o uso dos agregados naturais em 50% até 2030. Os autores indicam que a reciclagem dos RCD pode suprir até 41% da demanda, não atendendo totalmente à meta estabelecida por motivos de um descompasso entre a oferta e demanda de RCD (VERHAGEN et al., 2021).

Estratégias de combinação de políticas de penalidades e incentivos são benéficas não só para reduzir os transtornos vinculados ao gerenciamento inadequado de RCD como também para promover gestão adequada e sustentável (JIA; LIU; YAN, 2018). Entretanto, autores indicaram que o aumento da aplicação de penalidades, principalmente sobre as taxas de aterro, sem fiscalização, pode favorecer o seu despejo ilegal (CHEN; HUA; LIU, 2019; JIA et al., 2017). Hua et al., (2022) encontraram o valor adequado da taxa de penalidade aplicada para cada tonelada de resíduo descartado irregularmente, sendo de cerca de R\$53,3 (80 yuans/ton). Segundo os autores, caso o valor da penalidade continue aumentando, a quantidade de RCD irregular não reduzirá significativamente. Ou seja, altas penalidades podem lentamente diminuir a quantidade de resíduos despejados ilegalmente (JIA, et al., 2017). No entanto, o aumento da eficácia da implantação das políticas de gerenciamento de RCD só será significativo se todas as partes envolvidas estiverem empenhadas em suas responsabilidades (PALANTA; ARETOULIS; PALANTAS, 2018).

Incentivos e penalidades governamentais sempre se fizeram necessários para compensação ambiental (GAO et al., 2019; KANASHIRO, 2020; VERDE SELVA et al., 2019) e utilização de tecnologias verdes (CHALMARDI; CAMACHO-VALLEJO, 2019). Andersson; Bruser (2022) identificaram como as regulamentações de gerenciamento de RCD afetam a reação de empreiteiros na Suécia. Os autores constataram que tais atores reconhecem a problemática sobre RCD e sabem quais comportamentos tomar para alterá-la. No entanto, ainda não o fazem por preferirem o modelo tradicional já praticado, além de constatarem insegurança relacionada a competição de mercado e flexibilidade das regulamentações do país.

Incentivos financeiros vinculados a redução de impostos, empréstimos para modernização das atividades de reciclagem de RCD, aquisição de produtos recicláveis por órgãos públicos, são exemplos de como fomentar a economia circular dos RCD (ZHANG et al., 2022; MHATRE; GEDAM; UNNIKRIISHNAN, 2021). Assume-se que incentivos financeiros podem estimular os atores envolvidos a reciclar RCD (MAK et al., 2019).

### **Atores e Comportamento no Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição**

Os atores envolvidos no gerenciamento de RCD incluem aqueles externos tais como governos, especialistas e público em geral, e atores internos vinculados diretamente à atividade de construção ou demolição, sendo eles proprietários da obra, engenheiros e projetistas, empreiteiros e empresas de destinação final destes resíduos (ZHAO, 2021; PARK; TUCKER, 2017). Segundo Zhao (2021) os atores envolvidos no gerenciamento de RCD devem estar cientes das suas responsabilidades legais e seu comportamento na tomada de decisões.

As atitudes e valores de cada ator envolvido sobre as mudanças de gestão de RCD devem ser levadas em consideração, visto que inseguranças podem atrapalhar a aceitação e a economia circular de RCD (SHAHBAZI et al., 2016; OLULEYE et al., 2022). Além do mais, o reconhecimento do RCD como um material que pode ser beneficiado, reutilizado e reciclado, também é importante para fortalecer o seu gerenciamento (ALMEIDA et al., 2022; BLAISI, 2019).

Shen; Peng; Guo (2018) utilizaram a ferramenta de jogo evolutivo para entender as atitudes relacionadas à reciclagem de RCD de empreiteiros e fabricantes de agregados reciclados. Uma das descobertas foi que, custo de produção, benefícios da reciclagem, benefícios por participarem do processo de reciclagem, subsídios governamentais e penalidades sobre despejo ilegal, influenciam positivamente o comportamento de participação dos atores (SHEN; PENG; GUO, 2018).

Políticas de incentivo ou recompensas podem incentivar geradores de resíduos a praticar a segregação e descarte correto de resíduos, como é o caso de resíduos domiciliares (RATHORE; SARMAH, 2021). Instrumentos como PSA como os já aplicados para resíduos plásticos, papel, alumínio e vidros (AMANTAYEVA et al., 2021; PELONERO; FORNAIA; TRAMONTANA, 2020; ESMAELIAN et al., 2018) podem vir a ser aplicados para recompensar a segregação do RCD gerado. Recompensas foram analisadas para aplicação de acordo com o peso e tipologia do resíduo para aumentar a participação da comunidade em práticas de reciclagem de resíduos domiciliares (ALWIS et al., 2022; PATURI et al., 2021). Máquinas de compra de resíduos ou máquinas de reciclagem (*Reverse Vending Machine*) como garrafas plásticas e latas de alumínio, estão sendo implantadas em diversos países da Europa, Estados Unidos e China (KOKOULIN; KIRYANOV, 2019). O sistema possui tecnologia para recompensar seus usuários assim que o material reciclável é inserido na máquina (PATURI et al., 2021).

No Brasil algumas empresas e startups implantaram máquinas de entrega de recicláveis. A Triciclo Soluções Sustentáveis instalou os equipamentos em locais de grande circulação no município de São Paulo, como recompensa da entrega das embalagens os participantes podem receber créditos de transporte ou desconto na conta de energia elétrica (G1, 2016). A startup Molécoola recebe além de embalagens recicláveis, resíduos eletrônicos, eletrodomésticos, pilhas e lâmpadas, em troca os participantes recebem produtos de limpeza, higiene pessoal, desconto em supermercados, entre outros (CICLOVIVO, 2021).



As políticas de incentivo são amplamente empregadas na gestão de resíduos (HUA et al., 2022). Quando aplicadas a geradores de RCD podem melhorar atitudes favoráveis à reciclagem (YANG et al., 2021), além de instituir comportamentos alinhados ao desenvolvimento sustentável (MAHPOUR; MORTAHEB, 2018). Entretanto, políticas de recompensação pelo descarte adequado de RCD ainda são pouco exploradas, apesar dos exemplos positivos relacionados aos secos recicláveis.

### Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma revisão de literatura abrangente sobre o gerenciamento de RCD e a aplicação de políticas de incentivo e penalidade para alterar o comportamento dos geradores desses resíduos. A revisão destacou a importância da economia circular na reintegração dos RCD na indústria da construção civil, promovendo a redução da exploração de recursos naturais não renováveis e mitigando os impactos ambientais, econômicos e sociais resultantes do manejo inadequado desses resíduos.

Os desafios associados ao gerenciamento eficaz dos RCD incluem a segregação na fonte, os custos de coleta e transporte, e a necessidade de políticas governamentais efetivas que incentivem práticas sustentáveis. O estudo também discutiu os métodos comuns de disposição dos RCD, como aterros e bota-foras, e o problema crescente dos despejos ilegais, particularmente em países em desenvolvimento.

A investigação do potencial de reciclagem e reutilização dos RCD revelou a importância da segregação na origem e a necessidade de políticas econômicas que incentivem práticas adequadas de manejo.

O objetivo principal deste estudo foi avaliar o impacto das políticas de incentivo e penalidade no comportamento dos geradores de RCD, com foco na redução dos custos e da quantidade de resíduos despejados ilegalmente, através da segregação e entrega voluntária dos resíduos em pontos designados. A revisão identificou padrões de geração e manejo de RCD, além das despesas associadas a essas atividades em municípios brasileiros, contribuindo para a formulação de políticas governamentais mais eficazes e economicamente sustentáveis.

Conclui-se que a implementação de incentivos e penalidades pode ser uma estratégia eficaz para promover o gerenciamento adequado dos RCD. No entanto, é crucial considerar as particularidades regionais e os diferentes comportamentos dos atores envolvidos. A combinação de políticas de incentivo e penalidades, aliada a uma fiscalização eficaz e ao suporte técnico e financeiro, pode resultar em uma gestão mais sustentável e eficiente dos resíduos, beneficiando o meio ambiente e a sociedade como um todo.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPES - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, pela concessão da bolsa de mestrado; e à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pelo inestimável apoio técnico fornecido durante o estudo.

### Referências Bibliográficas

- Almeida, F.; Vieira, C.; Carneiro, J. R.; Lopes, M. d.L. (2022). Drawing a Path towards Circular Construction: An Approach to Engage Stakeholders. *Sustainability (Switzerland)*, v. 14, n. 9.
- Amantayeva, A.; Alkuatova, A.; Kanafin, I.; Tokbolat, S.; Shehabl, E. (2021). A systems engineering study of integration reverse vending machines into the waste management system of Kazakhstan. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 23, n. 3, p. 872–884.
- Aslam, M. S.; Huang, B.; Cui, L. (2020). Review of construction and demolition waste management in China and USA. *Journal of Environmental Management*, 15 jun.
- Bao, Z.; Lu, W. (2020). Developing efficient circularity for construction and demolition waste management in fast emerging economies: Lessons learned from Shenzhen, China. *Science of the Total Environment*, v. 724, 1 jul.
- Bao, Z. (2020). Recommendations for the management of construction and demolition waste in treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 1, p. 125–132.
- Barbudo, A.; Ayuso, J.; Lozano, A.; Cabrera, M.; López-Uceda, A. (2020). Recommendations for the management of construction and demolition waste in treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 1, p. 125–132.
- Blaisi, N. I. (2019). Construction and demolition waste management in Saudi Arabia: Current practice and roadmap for sustainable management. *Journal of Cleaner Production*, v. 221, p. 167–175.
- Cariman, B. I. (2022). Análise da viabilidade financeira para usinas de beneficiamento de resíduos de construção e demolição. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Vitória, p. 77.
- Carelli, E.; Miranda, L. (2013). Apostila do curso de Gestão Integrada de Resíduos da Construção Civil e operação de usina de reciclagem de entulho. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição e Instituto Nova Ágora. São Paulo.



- Chalardi, K. M.; Camacho-Vallejo, J. F. (2019). A bi-level programming model for sustainable supply chain network design that considers incentives for using cleaner technologies. *Journal of Cleaner Production*, v. 213, p. 1035–1050.
- Cheng, B.; Huang, J.; Li, J.; Chen, S.; Chen, H. (2022). Improving Contractors' Participation of Resource Utilization in Construction and Demolition Waste through Government Incentives and Punishments. *Environmental Management*, v. 70, p. 666–680.
- Cheng, B.; Huang, J.; Li, J.; Chen, S.; Chen, H. (2022); Du, L.; Feng, Y.; Lu, W.; Kong, L.; Yang, Z. (2020). Evolutionary game analysis of stakeholders' decision-making behaviours in construction and demolition waste management. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 84, 1 set.
- CicloVivo. (2021). Aplicativo troca recicláveis por desconto em supermercado.
- Condotta, M.; Zatta, E. (2021). Reuse of building elements in the architectural practice and the European regulatory context: Inconsistencies and possible improvements. *Journal of Cleaner Production*, v. 318, 10 out.
- Cristiano, S.; D'Agostino, D.; Ghirardelli, L.; Villani, M.; Gorgoglione, A. (2021). Construction and demolition waste in the Metropolitan City of Naples, Italy: State of the art, circular design, and sustainable planning opportunities. *Journal of Cleaner Production*, v. 293, 15 abr.
- Dos Reis, G. S.; Quattrone, M.; Ambrós, W. M.; Cazacliu, B. G.; Sampaio, C. H. (2021). Current applications of recycled aggregates from construction and demolition: A review. *Materials*, 1 abr.
- Du, L.; Feng, Y.; Lu, W.; Kong, L.; Yang, Z. (2020). Evolutionary game analysis of stakeholders' decision-making behaviours in construction and demolition waste management. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 84, 1 set.
- Elshaboury, N.; Al-Sakkaf, A.; Abdelkader, E. M.; Alfalah, G. (2022). Construction and Demolition Waste Management Research: A Science Mapping Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8 abr.
- Esmacilian, B.; Wang, B.; Lewis, K.; Duarte, F.; Ratti, C.; Behdad, S. (2018). The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper. *Waste Management*, 1 nov.
- Esguícero, F. J.; Deus, R. M.; Battistelle, R.; Martins, B. L.; Bezerra, B. S. (2021). Construction and demolition waste management process modeling: a framework for the Brazilian context. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 23, n. 5, p. 2037–2050.
- Gao, X.; Shen, J.; He, W.; Sun, F.; Zhang, Z.; Zhang, X.; Zhang, C.; Kong, Y.; An, M.; Yuan, L.; Xu, X. (2019). Changes in ecosystem services value and establishment of watershed ecological compensation standards. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, n. 16, 2 ago.
- Galán, B.; Viguri, J. R.; Cifrian, E.; Dosal, E.; Andres, A. (2019). Influence of input streams on the construction and demolition waste (CDW) recycling performance of basic and advanced treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, 236.
- Gálvez-Martos, J. L.; Styles, D.; Schoenberger, H.; Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 136, p. 166–178.
- Gebreyesus, M. A. (2018). Urban dwellers and solid waste management plans: A case study of selected towns in Afar regional state, Ethiopia. *Cogent Environmental Science*, v. 4, n. 1.
- G1. (2016). Máquina troca embalagens vazias por créditos ou descontos ao consumidor. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/pme/pequenas-empresas-grandes-negocios/noticia/2016/10/maquina-troca-embalagens-vazias-por-creditos-ou-descontos-ao-consumidor.html>. Acesso em: 24 abr. 2023.
- Hao, J.; Yuan, H.; Liu, J.; Chin, C.; Lu, W. (2020). A model for assessing the economic performance of construction waste reduction. *Journal of Cleaner Production*, v. 232, p. 427–440.
- Huang, B.; Wang, X.; Kua, H.; Geng, Y.; Bleischwitz, R.; Ren, J. (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 129, p. 36–44, 1 fev.
- Hua, C.; Liu, C.; Chen, J.; Yang, C.; Chen, L. (2022). Promoting construction and demolition waste recycling by using incentive policies in China. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, n. 35, p. 53844–53859, 1 jul.
- Hua, Chunxiang et al. (2023). Technology adoption path of construction and demolition waste recycling under governmental subsidy: a theoretical model. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Integrated Skills LTD. (2004). An Assessment of Options for Recycling Landfill Tax Revenue.





- Islam, R.; Nazifa, T. H.; Yuniarto, A.; Shanawaz U. A. S. M.; Salmiati, S.; Shahid, S. (2019). An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. *Waste Management*, v. 95, p. 10–21, 15 jul.
- Jain, S.; Singhal, S.; Jain, N. K.; Bhaskar, K. (2019). Construction and demolition waste recycling: Investigating the role of theory of planned behavior, institutional pressures and environmental consciousness. *Journal of Cleaner Production*, v. 263, 1 ago.
- Jia, S.; Liu, X.; Yan, G. (2018). Dynamic analysis of construction and demolition waste management model based on system dynamics and grey model approach. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 20, p. 2089–2107.
- Jia, S.; Yan, G.; Shen, A.; Zheng, J. (2017). Dynamic simulation analysis of a construction and demolition waste management model under penalty and subsidy mechanisms. *Journal of Cleaner Production*, 147:531–545, 25 jan.
- Kabirifar, K.; Mojtahedi, M.; Wang, C.; Tam, V. W. Y. (2020). Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. *Journal of Cleaner Production*, v. 274.
- Kamalan, H.; Sabour, M.; Shariatmadari, N. (2011). A Review on Available Landfill Gas Models. *Journal of Environmental Science and Technology*, v. 4, p. 79–92.
- Kanashiro, P. (2020). Can environmental governance lower toxic emissions? A panel study of U.S. high-polluting industries. *Business Strategy and the Environment*, v. 29, n. 4, p. 1634–1646
- Kim, J. (2021). Construction and demolition waste management in Korea: recycled aggregate and its application. *Clean Technologies and Environmental Policy*
- Klein, F. B.; Gonçalves-Dias, S. L. F. (2017). A deposição irregular de resíduos da construção civil no município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas públicas ambientais. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 40.
- Kokoulin, A. N.; Kiryanov, D. A. (2019). The Optical Subsystem for the Empty Containers Recognition and Sorting in a Reverse Vending Machine. *Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*.
- Lakatos, E. M.; Marconi, M. A. (2003). Fundamentos de metodologia científica. São Paulo: Atlas.
- Lakatos, E. M.; Marconi, M. A. (2011). Metodologia científica. São Paulo: Atlas.
- Li, J.; Zuo, J.; Guo, H.; He, G.; Liu, H. (2018). Willingness to pay for higher construction waste landfill charge: A comparative study in Shenzhen and Qingdao, China. *Waste Management*, v. 81, p. 226–233
- Li, J.; Zuo, J.; Jiang, W.; Zhong, J.; Li, J.; Pan, Y. (2020). Policy instrument choice for construction and demolition waste management: the case study of Shenzhen, China. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 27, n. 6, p. 1283–1297
- Li, Y.; Li, M.; Sang, P. (2022). A bibliometric review of studies on construction and demolition waste management by using CiteSpace. *Energy and Buildings*, v. 258, p. 111822, 1 mar.
- Li, Y.; Li, M.; Sang, P. (2022). A bibliometric review of studies on construction and demolition waste management by using CiteSpace. *Energy and Buildings*, v. 258, p. 111822, 1 mar.
- Liu, J.; Gong, E.; Wang, X. (2022). Economic benefits of construction waste recycling enterprises under tax incentive policies. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29.
- Liu, J.; Wu, P.; Jiang, Y.; Wang, X. (2021). Explore potential barriers of applying circular economy in construction and demolition waste recycling. *Journal of Cleaner Production*, v. 326, 1 dez.
- Lin, Z.; Xie, Q.; Feng, Y.; Zhang, P.; Yao, P. (2020). Towards a robust facility location model for construction and demolition waste transfer stations under uncertain environment: The case of Chongqing. *Waste Management*, v. 105, p. 73–83.
- Liu, J.; Zhuang, M.; Li, S.; Zhao, S.; Huang, B. (2019). System Dynamic Analysis of Disposal Policy of Construction and Demolition Waste in Urban Village. *Ekoloji*, 28(107).
- Liu, C.; Hua, C.; Chen, J. (2021). Efficient supervision strategy for illegal dumping of construction and demolition waste: A networked game theory decision-making model. *Waste Management & Research*, v. 40, p. 754–764.
- López Ruiz, L. A.; Roca Ramón, X.; Gassó Domingo, S. (2020). The circular economy in the construction and demolition waste sector – A review and an integrative model approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 248, p. 119238, 1 mar.



- Mah, C. M.; Fujiwara, T.; Ho, C. S. (2018). Life cycle assessment and life cycle costing toward eco-efficiency concrete waste management in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 3415–3427, 20 jan.
- Mahpour, A. (2018). Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 134, p. 216–227, 1 jul.
- Mak, T. M. W.; Chen, P. C.; Wang, L.; Tsang, D. C. W.; Hsu, S. C.; Poon, C. S. (2019). A system dynamics approach to determine construction waste disposal charge in Hong Kong. *Journal of Cleaner Production*, v. 241, p. 118309, 20 dez.
- Mercader-Moyano, P.; Camporeale, P. E.; López-López, J. (2022). A construction and demolition waste management model applied to social housing to trigger post-pandemic economic recovery in Mexico. *Waste Management and Research*, v. 40, n. 7, p. 1027–1038, 1 jul.
- Mhatre, P.; Gedam, V. V.; Unnikrishnan, S. (2021). Material circularity potential for construction materials – The case of transportation infrastructure in India. *Resources Policy*, v. 74, 1 dez.
- Mhatre, P.; Gedam, V. V.; Unnikrishnan, S. (2021). Material circularity potential for construction materials – The case of transportation infrastructure in India. *Resources Policy*, v. 74, 1 dez.
- Nawaz, A.; Chen, J.; Su, X.; Hassan, H. M. Z. (2022). Material Based Penalty-Cost Quantification Model for Construction Projects Influencing Waste Management. *Frontiers in Environmental Science*, v. 10, 25 fev.
- Nawaz, A.; Chen, J.; Su, X. (2023). Factors in critical management practices for construction projects waste predictors to C&DW minimization and maximization. *Journal of King Saud University - Science*, v. 35, n. 2.
- Oluleye, B. I.; Chan, D. W. M.; Olawumi, T. O. (2022). Circular economy research on building construction and demolition waste: A review of current trends and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, v. 357, p. 131927, 10 jul.
- Palanta, I.; Aretoulis, G.; Palantas, P. (2018). Facilitating decision making on construction and demolition waste management in Greece through dynamic system modelling. *International Journal of Management and Decision Making*, v. 17, p. 199.
- Park, J.; Tucker, R. (2017). Overcoming barriers to the reuse of construction waste material in Australia: a review of the literature. *International Journal of Construction Management*, v. 17, n. 3, p. 228–237, 3 jul.
- Patience, M.; Puvvada, S.; Ponnuru, B. S.; Simhadri, M.; Egala, B. S.; Pradhan, A. K. (2021). Smart Solid Waste Management System Using Blockchain and IoT for Smart Cities. *Proceedings - 2021 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems, iSES 2021*.
- Pelonero, L.; Fornaia, A.; Tramontana, E. (2020). From Smart City to Smart Citizen: Rewarding Waste Recycle by Designing a Data-Centric IoT based Garbage Collection Service. *Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP 2020*.
- PNUMA; ISWA. (2015). *Perspectiva Global de Gestão de Resíduos; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente: Viena, Áustria*.
- Procter, A.; Bassi, A.; Kolling, J.; Cox, L.; Flanders, N.; Tanners, N.; Araujo, R. (2017). The effectiveness of Light Rail transit in achieving regional CO2 emissions targets is linked to building energy use: insights from system dynamics modeling. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 19, n. 5, p. 1459-1474.
- Purchase, C. K.; Al Zulayq, D. M.; O'Brien, B. T.; Kowalewski, M. J.; Berenjian, A.; Tarighaleslami, A. H.; Seifan, M. (2022). Circular economy of construction and demolition waste: A literature review on lessons, challenges, and benefits. *Materials*, v. 15.
- Ramos, M.; Martinho, G. (2021). Influence of construction company size on the determining factors for construction and demolition waste management. *Waste Management*, v. 136, p. 295–302, 1 dez.
- Rathore, P.; Sarmah, S. P. (2021). Modeling and identification of suitable motivational mechanism in the collection system of municipal solid waste supply chain. *Waste Management*, v. 129, p. 76–84, 15 jun.
- Rodríguez-Robles, D.; García-Gonzalez, J.; Juan-Valdés, A.; Moran-Del Pozo, J. M.; Guerra-Romero, M. I. (2015). Overview regarding construction and demolition waste in Spain. *Environmental Technology*, v. 36, p. 3060-3070.
- Rosado, L. P.; Penteado, C. S. G. (2020). Municipal management of construction and demolition waste: influence of disposal fees. *Ambiente e Sociedade*, v. 23, p. 1–19.
- Rondinel-Oviedo, D. R. (2021). Construction and demolition waste management in developing countries: a diagnosis from 265



construction sites in the Lima Metropolitan Area. *International Journal of Construction Management*.

São Paulo (Município). (2014). Comitê Intersecretarial para a Política Municipal de Resíduos Sólidos. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de São Paulo.

Serogina, D.; Pushkar, T.; Zhovtiak, H. (2022). The Impact of the Construction Industry on the Social and Economic Development of Territories. *Scientific Bulletin of the National Academy of Statistics, Accounting and Audit*, p. 59–65, 18 jan.

Shen, H.; Peng, Y.; Guo, C. (2018). Analysis of the evolution game of construction and demolition waste recycling behavior based on prospect theory under environmental regulation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 7, 18 jul.

Shoosharian, S.; Maqsood, T.; Caldera, S.; Ryley, T. (2022). Transformation towards a circular economy in the Australian construction and demolition waste management system. *Sustainable Production and Consumption*, 1 mar.

Sormunen, P.; Kärki, T. (2019). Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing. *Journal of Building Engineering*, v. 24.

Sun, H.; Liu, H.; Tian, J.; Guo, R.; Xu, Q.; Yao, L.; Hong, W.; Li, H.; Zhu, C. (2022). Modelling and Optimizing Resource Management and Environmental Benefit of Construction and Demolition Waste: A Case Study in China. *Buildings*, v. 12, n. 9, 1 set.

Snyders, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, v. 104, p. 333–339, 1 nov.

Triciclo Soluções Sustentáveis. (2016). Máquina troca embalagens vazias por créditos ou descontos ao consumidor. Disponível em: <https://triciclo.eco.br/produtos/machina/>.

Verhagen, T. J.; Sauer, M. L.; Der Voet, E.; Sprecher, B. (2021). Matching demolition and construction material flows, an urban mining case study. *Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 2, p. 1–14, 2 jan.

Verde Selva, G.; Pauli, N.; Kim, M. K.; Clifton, J. (2019). Can environmental compensation contribute to socially equitable conservation? The case of an ecological fiscal transfer in the Brazilian Atlantic forest. *Local Environment*, v. 24, n. 10, p. 931–948, 3 out.

Veliz, K. D.; Ramírez-Rodríguez, G.; Ossio, F. (2022). Willingness to pay for construction and demolition waste from buildings in Chile. *Waste Management*, v. 137, p. 222–230, 1 jan.

Wang, J.; Song, Y.; Wang, W.; Wang, S.; Guo, F.; Lu, J. (2022). Marine Construction Waste Recycling Mechanism Considering Public Participation and Carbon Trading: A Study on Dynamic Modeling and Simulation Based on Sustainability Policy. *Sustainability (Switzerland)*, v. 14, n. 16, 1 ago.

Wu, Z.; Yu, A. T. W.; Poon, C. S. (2020). Promoting effective construction and demolition waste management towards sustainable development: A case study of Hong Kong. *Sustainable Development*, v. 28, n. 6, p. 1713–1724, 1 nov.

Xiao, Y.; Watson, M. (2019). Guidance on Conducting a Systematic Literature Review. *Journal of Planning Education and Research*, 1 mar.

Xu, J.; Shi, Y.; Zhao, S. (2019). Reverse Logistics Network-Based Multiperiod Optimization for Construction and Demolition Waste Disposal. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 145, n. 2, fev.

Yang, J.; et al. (2021). Incentive or Punitive Measure? Analysis of Environmental Regulations in Construction and Demolition Waste Recycling. *Mathematical Problems in Engineering*.

Yu, Y.; Junjan, V.; Yazan, D. M.; Iacob, M. E. (2022). A systematic literature review on Circular Economy implementation in the construction industry: a policy-making perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 183, p. 106359, 1 ago.

Zhang, C.; Hu, M.; Maio, F. D.; Sprecher, B.; Yang, X.; Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of The Total Environment*, v. 803, p. 149892, 10 jan.





# QUALIDADE DE ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE ATERROS SANITÁRIOS LICENCIADOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

1Érik Lacerda Barboza, 2Fernanda Aparecida Veronez

1 Instituto Federal do Espírito Santo, e-mail: eriklacerda2003lbz@gmail.com; 2 Instituto Federal do Espírito Santo, e-mail: fveronez@ifes.edu.br

**Palavras-chave:** Lee e Colley, licenciamento, AIA.

## Resumo

A qualidade dos estudos ambientais é um fator importante para o processo de Licenciamento Ambiental de projetos com potencial de causar impactos ambientais significativos. Este trabalho avalia a qualidade de Estudos de Impacto Ambiental (EIAs) e seus respectivos Relatórios de Impacto Ambiental (Rimas) de projetos de aterros sanitários submetidos ao Licenciamento Ambiental no estado do Rio de Janeiro. Foram avaliados todos os cinco EIA/Rimas submetidos ao Licenciamento Ambiental no período de 10 anos (entre 2014 e 2023), que estavam disponíveis para *download* no site do órgão ambiental estadual. A avaliação foi realizada utilizando o método *Lee and Colley Review Package*, internacionalmente aplicado para esse tipo de pesquisa. Os resultados indicam pontos satisfatórios e insatisfatórios em todas as quatro áreas analisadas e os piores resultados estão relacionados à identificação e avaliação dos impactos, estudos de alternativas e propostas de mitigação. Conclui-se que os EIA/Rimas analisados apresentaram deficiências significativas podendo comprometer a qualidade da tomada de decisão sobre a viabilidade ambiental e o acompanhamento desses projetos.

## Introdução

O Licenciamento Ambiental e a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) desempenham papéis importantes na gestão ambiental e na busca pela sustentabilidade. O Licenciamento Ambiental é um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) e consiste em um processo administrativo que assegura o controle de impactos ambientais de projetos, respeitando padrões ambientais e promovendo a conservação dos ecossistemas (Brasil, 1981; IBAMA, 2024). Por sua vez, a AIA, outro instrumento da PNMA, é um processo que identifica, prevê e avalia os efeitos de projetos, propondo medidas para evitar, mitigar e compensar os impactos negativos. Dessa forma, o principal objetivo da AIA é informar o Licenciamento Ambiental sobre a viabilidade ambiental do projeto (Brasil, 1981).

Nesse sentido, a AIA assume um papel significativo, antecipando as consequências ambientais de projetos e fornecendo as informações necessárias para a tomada de decisão no processo de Licenciamento Ambiental (Sánchez, 2006). A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) nº 01/1986 estabelece critérios básicos e diretrizes para a AIA, incluindo o conteúdo do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu Relatório de Impacto Ambiental (Rima). O EIA fornece informações técnicas essenciais para o órgão ambiental, enquanto o Rima apresenta essas informações de forma acessível e adequada à população, destacando os potenciais impactos do projeto (Sánchez, 2006). Assim, a qualidade do EIA/Rima influencia diretamente a tomada de decisões sobre a viabilidade ambiental dos projetos (Sandham; Pretorius, 2008).

Aterros sanitários são exemplos de projetos que necessitam de EIA/Rima devido aos seus potenciais impactos ambientais e sociais (BRASIL, 1986). Isso ocorre pois, embora os aterros sanitários sejam uma solução para o tratamento de resíduos sólidos urbanos, eles também podem acarretar diversos impactos ambientais negativos, como a contaminação do solo e dos lençóis freáticos, além de emitirem gases poluentes, como o metano (Silva; Medeiros, 2019).

Considerando a importância de analisar a qualidade dos EIA/Rima (Sánchez, 2006), e levando em conta a escassez de trabalhos relacionados à qualidade de estudos ambientais de aterros sanitários, sobretudo no estado do Rio de Janeiro, este estudo apresenta uma avaliação dos EIA/Rimas submetidos ao Licenciamento Ambiental no estado do Rio de Janeiro entre 2014 e 2023.

## Material e Métodos

O trabalho partiu de uma pesquisa para identificar os EIA/Rimas de projetos de aterros sanitários licenciados pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA). Para tanto, foi realizada uma pesquisa no *website* do INEA (<https://www.inea.rj.gov.br/publicacoes/consulta-eia-rima/>), no dia 18 de dezembro de 2023. Dessa forma, foram identificados e analisados todos os cinco EIA/Rimas de projetos apresentados ao INEA nos últimos 10 anos (entre 2014 e 2023). Como pode ser observado no Quadro 1, o EIA/Rima mais recente foi submetido ao licenciamento em 2022 e o número de páginas dos estudos variou entre 829 e 1915 páginas.



**Quadro 1: EIA/Rimas analisados**

Ano	Estudos identificados entre 2014 e 2023	Nº de páginas (EIA + Rima)
2014	EIA/Rima do Aterro Sanitário de São Pedro da Aldeia	1555
2014	EIA/Rima do Aterro Sanitário de Macaé Aterro Sanitário Zadar	829
2014	EIA/Rima do Aterro Sanitário Volta Redonda Aterro Sanitário Classe II	1915
2016	EIA/Rima do Aterro Sanitário CTR Barra Mansa - Classe 1	1022
2022	EIA/Rima do Aterro Sanitário Miracema	1832

**Fonte: Elaborado pelos autores**

Para a avaliação de qualidade dos EIA/Rimas foi empregado o método de *Lee and Colley Review Package* (Lee; Colley, 1992). Esse método utiliza critérios de análise estruturados em 4 áreas, 17 categorias e 52 subcategorias. Cada subcategoria é um critério específico que orienta a análise da qualidade da informação apresentada nos estudos, conforme detalhado na Figura 1. As áreas são classificadas em: descrição do empreendimento do ambiente e das condições da linha de base (área 1), identificação e avaliação dos principais impactos (área 2), alternativas e mitigação (área 3), e comunicação dos resultados (área 4).

Os critérios são ordenados em uma estrutura piramidal, conforme ilustrado na Figura 2. A avaliação se inicia na base da pirâmide, com a avaliação do atendimento de cada subcategoria. Após a avaliação das subcategorias, o revisor avança gradualmente para as categorias e áreas até a avaliação global do EIA/Rima. A avaliação de cada critério é efetuada utilizando os conceitos (notas de A a F ou NA), conforme descrito no Quadro 2. Ao final, a avaliação é acompanhada de um texto que destaca os principais pontos fortes e fracos dos estudos, indicando quaisquer deficiências importantes que precisam de correção para trazê-lo até uma condição satisfatória (C ou superior) (Lee; Colley, 1992). Para a avaliação dos critérios de hierarquia superior (categorias, áreas e nota global), considerou-se a premissa de que se parte do todo não é satisfatório, logo provavelmente o todo não será satisfatório, por exemplo: quando uma categoria apresentava uma ou mais subcategorias insatisfatórias, a categoria provavelmente seria insatisfatória. A nota, no entanto, não necessariamente seria semelhante, pois depende da especificidade de cada subcategoria em relação à categoria.

Para a identificação dos pontos fortes e fracos de cada estudo foi seguido o procedimento adotado por Sandham, Hoffmann e Retief (2008), considerando como ponto forte os itens com 50% de notas entre A e B e como ponto fraco os itens com 50% de notas entre E e F.



<p><b>1. Descrição do projeto e da linha de base<sup>1</sup></b></p> <p>1.1. <u>Descrição do projeto</u></p> <p>1.1.1. <i>Objetivos do projeto.</i></p> <p>1.1.2. <i>Design e tamanho do projeto.</i></p> <p>1.1.3. <i>Presença física do projeto no meio ambiente.</i></p> <p>1.1.4. <i>Natureza dos processos e taxa de produção.</i></p> <p>1.1.5. <i>Natureza e quantidade de matérias-primas.</i></p> <p>1.2. <u>Descrição do local</u></p> <p>1.2.1. <i>Descrição e localização da área.</i></p> <p>1.2.2. <i>Descrição e localização dos usos da terra.</i></p> <p>1.2.3. <i>Duração das fases do projeto.</i></p> <p>1.2.4. <i>Número de trabalhadores e meios de transporte.</i></p> <p>1.2.5. <i>Meios de transporte e quantidades de materiais.</i></p> <p>1.3. <u>Resíduos</u></p> <p>1.3.1. <i>Tipos e quantidades.</i></p> <p>1.3.2. <i>Tratamento e disposição.</i></p> <p>1.3.3. <i>Método de cálculo da estimativa de geração, possíveis incertezas e limites de confiança.</i></p> <p>1.4. <u>Descrição do ambiente</u></p> <p>1.4.1. <i>Indicação do ambiente afetado.</i></p> <p>1.4.2. <i>Área de influência indireta.</i></p> <p>1.5. <u>Condições da linha de base</u></p> <p>1.5.1. <i>Descrição dos componentes importantes, métodos e incertezas.</i></p> <p>1.5.2. <i>Fontes de dados existentes.</i></p> <p>1.5.3. <i>Prognóstico do local sem o empreendimento.</i></p> <p><b>2. Identificação e avaliação dos principais impactos</b></p> <p>2.1. <u>Definição dos impactos</u></p> <p>2.1.1. <i>Tipos de impacto (diretos, indiretos, secundários, cumulativos, a curto, médio e longo prazos, permanentes e temporários, positivos e negativos).</i></p> <p>2.1.2. <i>Efeitos dos impactos e as interações entre eles.</i></p> <p>2.1.3. <i>Impactos de situações anormais.</i></p> <p>2.1.4. <i>Impactos com relação à linha de base (diferença entre as condições futuras com e sem o empreendimento).</i></p> <p>2.2. <u>Identificação dos impactos</u></p> <p>2.2.1. <i>Métodos utilizados</i></p> <p>2.2.2. <i>Justificativa de uso dos métodos.</i></p> <p>2.3. <u>Escopo</u></p> <p>2.3.1. <i>Participação do público em geral e grupos de interesse.</i></p> <p>2.3.2. <i>Métodos de coleta de opiniões.</i></p> <p>2.3.3. <i>Investigação detalhada dos principais impactos. Justificativa das áreas não selecionadas para estudo detalhado.</i></p>	<p>2.4. <u>Previsão da magnitude do impacto</u></p> <p>2.4.1. <i>Identificação e justificativa dos dados, lacunas e incertezas da avaliação.</i></p> <p>2.4.2. <i>Descrição e justificativa dos métodos.</i></p> <p>2.4.3. <i>Definição e justificativa dos parâmetros de avaliação.</i></p> <p>2.5. <u>Avaliação de significância dos impactos</u></p> <p>2.5.1. <i>Significância do impacto para a comunidade e o ambiente afetado.</i></p> <p>2.5.2. <i>Métodos utilizados.</i></p> <p>2.5.3. <i>Justificativa de normas, suposições e parâmetros utilizados.</i></p> <p><b>3. Alternativas e mitigação</b></p> <p>3.1. <u>Alternativas</u></p> <p>3.1.1. <i>Vantagens e desvantagens de alternativas locais viáveis e justificativa para a escolhida.</i></p> <p>3.1.2. <i>Alternativas tecnológicas.</i></p> <p>3.1.3. <i>Seleção de alternativas.</i></p> <p>3.2. <u>Escopo e efetividade das medidas mitigadoras</u></p> <p>3.2.1. <i>Medidas mitigadoras para os impactos adversos significativos. Descrição e justificativa para os impactos residuais.</i></p> <p>3.2.2. <i>Consideração de mudanças no projeto, compensação, instalações alternativas e controle.</i></p> <p>3.2.3. <i>Efetividade das medidas.</i></p> <p>3.3. <u>Compromisso com a mitigação</u></p> <p>3.3.1. <i>Detalhamento das medidas.</i></p> <p>3.3.2. <i>Sistema de monitoramento e ajuste das medidas.</i></p> <p><b>4. Comunicação dos resultados</b></p> <p>4.1. <u>Layout</u></p> <p>4.1.1. <i>Introdução: os objetivos do projeto e da avaliação ambiental.</i></p> <p>4.1.2. <i>Apresentação lógica e organizada.</i></p> <p>4.1.3. <i>Resumo dos capítulos.</i></p> <p>4.1.4. <i>Referências.</i></p> <p>4.2. <u>Apresentação</u></p> <p>4.2.1. <i>Texto compreensível para não especialistas.</i></p> <p>4.2.2. <i>Definição de termos técnicos.</i></p> <p>4.2.3. <i>Texto contínuo e integrado.</i></p> <p>4.3. <u>Ênfase</u></p> <p>4.3.1. <i>Ênfase aos impactos significativos.</i></p> <p>4.3.2. <i>Imparcialidade do texto.</i></p> <p>4.4. <u>Resumo não técnico (RIMA)</u></p> <p>4.3.3. <i>Linguagem não técnica.</i></p> <p>4.3.4. <i>Principais questões do EIA e breve explicação sobre a confiabilidade dos métodos utilizados.</i></p>
---	--

**Figura 1: Áreas, categorias e subcategorias do modelo Lee and Colley Review Package.**  
**Fonte: Veronez e Montaña (2017, p. 10)**



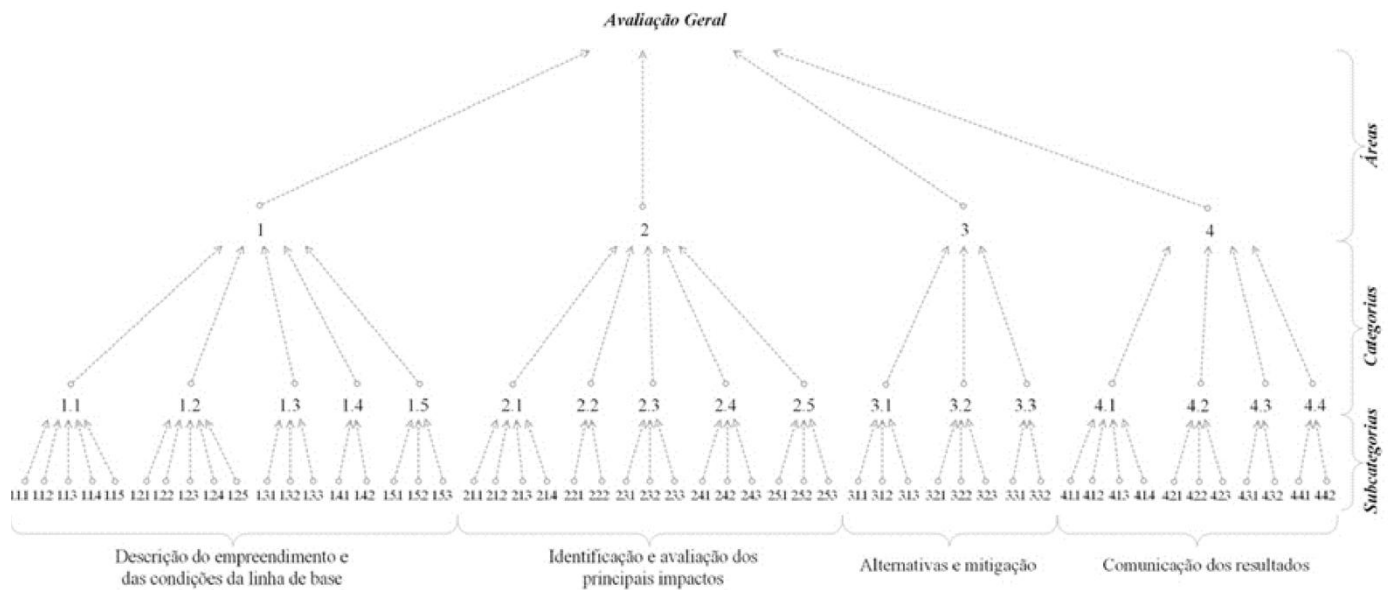


Figura 2: Disposição hierárquica das áreas, categorias e subcategorias do modelo *Lee and Colley Review Package*.  
Fonte: Veronez e Montaño (2017, p.11)

Conceito	Critério
A	Bem realizado, nenhuma tarefa importante incompleta.
B	Geralmente satisfatório e completo, apenas omissões menores e poucos pontos inadequados.
C	Satisfatório, apesar de omissões ou pontos inadequados.
D	Contém partes satisfatórias, mas o conjunto é considerado insatisfatório devido a omissões importantes ou pontos inadequados.
E	Insatisfatório, omissões ou pontos inadequados significativos.
F	Muito insatisfatório, tarefas importantes desempenhadas de modo inadequado ou deixadas de lado.
NA	Não aplicável.

Quadro 2: Conceitos de avaliação.  
Fonte: Adaptado de Lee e Colley (1992)

### Resultados e Discussão

Os resultados da avaliação por subcategoria, que indicam uma análise mais detalhada, são apresentados na Figura 3. É possível observar uma semelhança entre os pontos de qualidade satisfatórios e pontos de qualidade insatisfatórios, os quais são representados, respectivamente, em cores em tons de verde (entre A e C) e vermelha (entre D e E). Isso indica que os EIA/Rimas avaliados possuem lacunas em alguns pontos semelhantes.

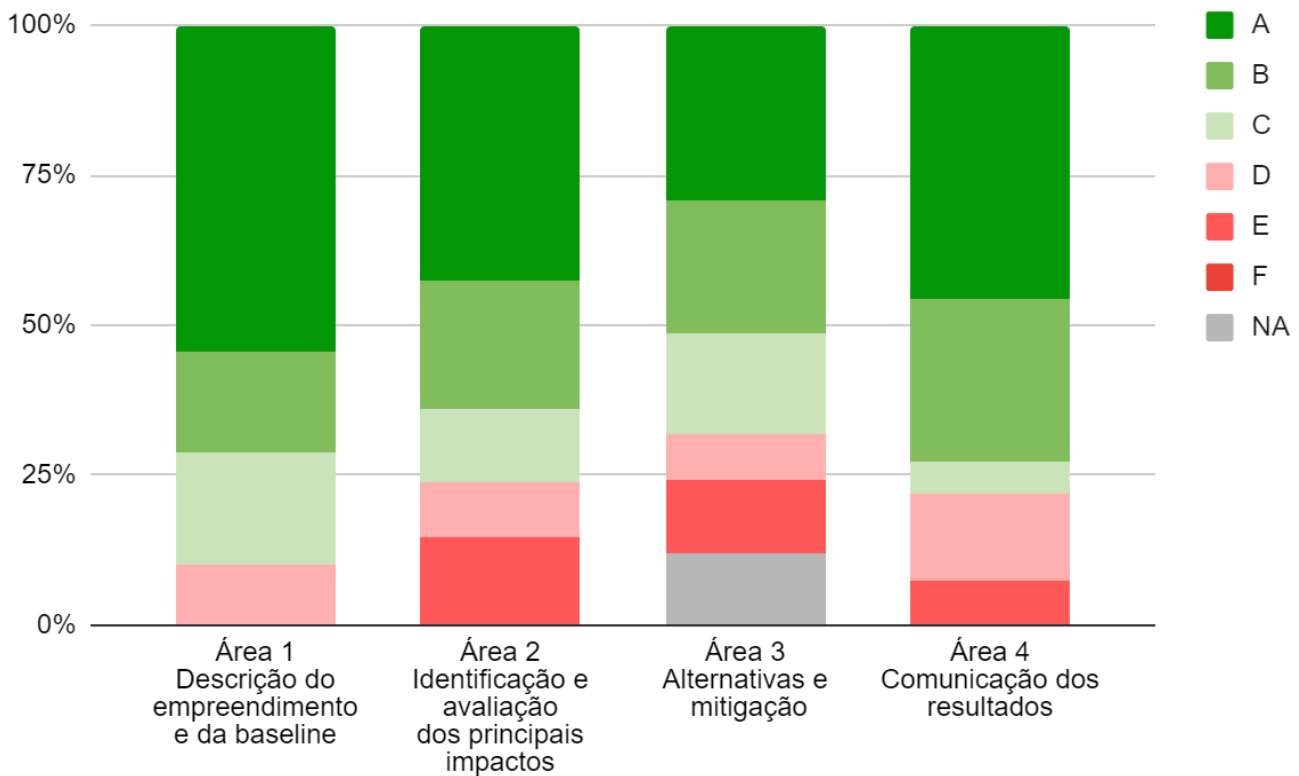
A distribuição das notas das subcategorias para cada área avaliada é apresentada na Figura 4. Conforme pode ser observado nas Figuras 3 e 4, as principais fraquezas estão vinculadas às áreas 2 e 3, que correspondem respectivamente, à identificação e avaliação dos principais impactos e à análise de alternativas e mitigação. Esse resultado é semelhante ao observado por Veronez e Montaño (2024).



Categoria	Subcategoria	EIA 1	EIA 2	EIA 3	EIA 4	EIA 5	
Descrição de empreendimento, do ambiente e das condições da bacia	Descrição do projeto	1.1.1	A	A	A	A	A
		1.1.2	A	C	A	A	A
		1.1.3	A	A	A	A	A
		1.1.4	C	A	A	A	A
		1.1.5	D	C	D	B	D
		1.1	D	C	D	B	D
	Descrição do local	1.2.1	A	B	A	C	A
		1.2.2	C	C	A	D	A
		1.2.3	B	C	A	B	A
		1.2.4	B	A	D	A	D
		1.2.5	B	A	B	B	B
		1.2	C	C	D	D	D
	Resíduos	1.3.1	B	A	A	C	A
		1.3.2	B	C	A	B	A
		1.3.3	C	D	C	D	C
		1.3	C	D	C	D	C
	Considerações da base de dados	1.4.1	A	A	A	A	A
		1.4.2	A	C	A	A	A
		1.4	A	C	A	A	A
		1.5.1	C	B	D	C	C
1.5.2		A	C	A	A	A	
1.5.3		B	B	A	A	A	
1.5		C	C	D	C	A	
Área 1			D	D	D	D	D
Identificação e avaliação dos principais impactos	Definição dos impactos	2.1.1	A	A	A	A	A
		2.1.2	A	A	A	A	A
		2.1.3	C	D	A	E	A
		2.1.4	A	B	B	E	B
		2.1	C	D	B	E	B
	Identificação dos impactos	2.2.1	B	A	A	B	A
		2.2.2	B	B	C	B	C
		2.2	B	B	C	B	C
	Escala	2.3.1	A	C	A	B	A
		2.3.2	C	B	A	B	A
		2.3.3	A	A	A	B	A
	2.3	C	C	A	B	A	
	Previsão da magnitude do impacto	2.4.1	A	B	E	A	E
		2.4.2	A	A	E	B	E
		2.4.3	A	B	E	A	E
		2.4	A	B	E	B	E
	Avaliação de significância dos impactos	2.5.1	C	D	D	C	D
		2.5.2	D	B	E	E	E
		2.5.3	C	C	D	A	D
		2.5	D	D	E	E	E
Área 2			D	D	E	E	E
Alternativas e mitigação	Alternativas	3.1.1	C	B	A	C	A
		3.1.2	A	B	A	C	A
		3.1.3	NA	NA	NA	NA	NA
	Ambito de aplicação e eficiência das medidas	3.1	C	B	A	C	A
		3.2.1	A	B	E	E	E
		3.2.2	A	B	C	D	C
		3.2.3	B	A	E	C	E
	3.2	B	B	E	E	E	
	Compromisso com a aplicação e mitigação	3.3.1	B	A	A	A	A
		3.3.2	C	B	D	B	D
3.3		B	B	D	B	D	
Área 3		C	B	E	E	E	
Comunicação dos resultados	Layout	4.1.1	B	A	A	A	A
		4.1.2	B	A	D	B	D
		4.1.3	B	A	E	A	E
		4.1.4	B	A	E	D	E
		4.1	B	A	E	D	E
	Apresentação	4.2.1	A	B	D	A	D
		4.2.2	A	B	A	A	D
		4.2.3	B	B	A	A	C
		4.2	B	B	D	A	D
	Ênfase	4.3.1	C	A	A	B	A
		4.3.2	B	C	A	A	A
		4.3	C	C	A	B	A
	Forma	4.4.1	B	A	B	A	B
		4.4.2	B	A	D	A	D
		4.4	C	A	D	A	D
		Área 4		C	C	E	D

Figura 3: Notas atribuídas aos EIAs analisados.

Fonte: Elaborado pelos autores.



**Figura 4: Distribuição das notas das subcategorias avaliadas.**

Fonte: Elaborado pelos autores

Foi possível identificar que as melhores notas estão relacionadas à descrição do projeto e da linha de base (área 1). Nessa área, a descrição do projeto (categoria 1.1) e do ambiente (categoria 1.4) foram bem avaliadas, sendo que três subcategorias receberam nota máxima (A): a descrição do objetivo do projeto (subcategoria 1.1.1) e sua presença física no ambiente (subcategoria 1.1.3), e a indicação do ambiente afetado (subcategoria 1.1.3). No entanto, nessa área também foram identificados pontos fracos tanto na descrição do projeto (categoria 1.1) quanto na descrição do local (categoria 1.2) e na descrição dos resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) produzidos no processo. Tais pontos fracos se referem, respectivamente, à descrição da natureza e quantidade das matérias primas (subcategoria 1.1.5), a indicação do número de trabalhadores e meio de transporte previsto (subcategoria 1.2.4) e a indicação dos métodos utilizados para a previsão dos resíduos, suas incertezas e limites de confiança (subcategoria 1.3.3). Esses resultados assemelham-se aos de outras pesquisas que avaliaram EIAs/Rimas brasileiros em outros contextos. Pesquisas realizadas no estado do Espírito Santo por Veronez e Montaña (2017), e no Licenciamento Ambiental Federal por Tonani (2021), e Demori e Montaña (2024) também identificaram pontos fortes em categorias semelhantes.

Na área 2, a maioria das subcategorias dos itens “Definição de Impactos”, “Identificação dos Impactos” e “Escopo” apresentaram notas de qualidade satisfatória. Destacaram-se como pontos fortes as subcategorias 2.1.1, 2.1.2, 2.2.1 e 2.3.3. Por outro lado, os pontos fracos estão associados às subcategorias 2.4.3, 2.5.1, 2.5.2 e 2.5.3. Estudos anteriores, como os de Veronez (2018), Demori (2019) e Tonani (2021), também identificaram esses itens como pontos fracos, especialmente nas categorias 2.4 (Previsão da Magnitude do Impacto) e 2.5 (Avaliação de Significância dos Impactos).

Já os resultados analisados da área 3 apontam que os pontos fortes estão vinculados às subcategorias 3.1.1, 3.1.2 e 3.3.1. Por outro lado, os pontos fracos estão vinculados às subcategorias 3.2.1, 3.2.3 e 3.3.2. Esses resultados se assemelham aos encontrados em outros estudos, como os de Veronez e Montaña (2017), Tonani (2021) e Demori e Montaña (2024).

Na avaliação da área 4, a qualidade foi considerada satisfatória, o que está alinhado com análises anteriores de Veronez (2018), Demori (2019) e Tonani (2021), os quais identificaram diversas subcategorias como pontos fortes. As subcategorias 4.3.1 e 4.3.2, relacionadas à apresentação dos resultados, foram avaliadas como pontos de qualidade satisfatória em todos os EIAs analisados. Entretanto, mesmo sendo considerada uma área de ponto forte, a categoria de “Layout” (4.1) apresenta lacunas, pois os EIAs mais recentes não forneceram informações e referências adequadas, conforme observado também por Veronez e Montaña (2017).

De forma geral, os EIAs avaliados apresentaram pontos de qualidade insatisfatórios em todas as áreas examinadas. Além disso, observou-se que, com o passar dos anos, a qualidade da informação apresentada nos estudos parece não melhorar. A avaliação geral revelou que nenhum dos cinco EIAs/Rimas analisados alcançou o nível satisfatório (notas globais entre A e C). Isso indica que a tomada de decisão pelo órgão ambiental pode ter sido prejudicada pelas lacunas de informação apresentadas nos estudos.





### Considerações Finais

Conclui-se que os EIA/Rimas analisados apresentam deficiências significativas em áreas importantes para a análise de viabilidade ambiental, podendo impactar negativamente a tomada de decisão adequada por parte do órgão ambiental. As maiores lacunas estão relacionadas a informações importantes como a identificação e avaliação de impactos do projeto, ao estudo de alternativas e a proposição de medidas de mitigação.

Como limitação do trabalho, destaca-se que foram avaliados apenas os estudos apresentados no repositório do INEA e não foram consideradas possíveis complementações posteriores.

Espera-se que este estudo possa contribuir para uma melhoria dos futuros EIA/Rimas de aterro sanitário no Rio de Janeiro, colaborando para a melhoria da efetividade dos processos de AIA e Licenciamento Ambiental desta tipologia. Sugere-se que avaliações dessa natureza sejam realizadas nos demais estados brasileiros.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e ao Instituto Federal do Espírito Santo pelo auxílio financeiro.

### Referências

Brasil.; 1981. Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

CONAMA.; 1986. Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

Demori, V.; Montañó, M. 2024. Opportunities to Improve the Quality of Environmental Reports and the Effectiveness of Environmental Impact Assessment: A Case of Electric Power Transmission Systems in Brazil. *Journal of Environmental Protection*, v. 15, p. 124-140.

IBAMA. Ano desconhecido. Sistema Informatizado de Licenciamento Ambiental. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

Sandham, L. A.; Pretorius, H. M.; 2008. Environmental Impact Assessment Review. A review of EIA report quality in the North West province of South Africa.

Sandham, L. A. Hoffmann, A. R. Retief, F. P. Reflections on the quality of mining EIA reports in South Africa. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, v. 108, n. 11, p. 701–706, 2008.

Sánchez, L. E.; 2006. Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos. 1 Ed. Oficina de Texto.

Silva, Renan C.; Medeiros, Gerson A.; 2019. Análise dos critérios para a determinação do nível de significância em EIA/RIMA de aterros sanitários. IBEAS (Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais).

Tonani, K. M.; 2021. Análise de qualidade de Estudos de Impacto Ambiental de Gasodutos brasileiros. Monografia (Bacharelado) – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, p. 71.

Veronez, F.; Montañó, M.; 2017. Análise da qualidade dos estudos de impacto ambiental no estado do Espírito Santo (2007-2013). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 43, p. 6-21.

Veronez, F. A. 2018. Efetividade da avaliação de impacto ambiental de projetos no estado do Espírito Santo. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Veronez, F.; Montañó, M. 2024. Comprehensive framework for analysis of EIA effectiveness: Evidence from Espírito Santo State, Brazil. *ELSEVIER, Environmental Impact Assessment Review*, v. 108.



# AVALIAÇÃO DA DISPOSIÇÃO A PAGAR DOS GRANDES GERADORES PELO MANEJO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS: UM ESTUDO DE CASO EM VITÓRIA-ES

**1Juliana Salomão das Neves, 2Luciana Harue Yamane, 3Lorena Miossi Alves Cabral, 4Dayane Valentina Brumatti, 5Fernanda Bonfim Rocha, 6Katarina da Silva Couto, 7Carolina Ozorio Carricho, 8Renato Ribeiro Siman**

*1 UFES, e-mail: juliana\_1401@yahoo.com.br; 2 UFES e CETEM, e-mail lucianayamane@gmail.com; 3 UFES, e-mail lorenamisossi@gmail.com; 4 UFES, e-mail: dayane.brumatti@edu.ufes.br; 5 UFES, e-mail: fernandabonfim7@gmail.com;*

*6 UFES, e-mail: katarinasilvacouto@gmail.com; 7 UFES, e-mail: carolinaozori@gmail.com; 8 UFES, e-mail: renato.siman@ufes.br*

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos Comerciais, Disposição a Pagar, Método de Valoração Contingente.

## Resumo

O gerenciamento de resíduos sólidos municipais normalmente é bastante dispendioso para o poder público. Por isso, a identificação de Grandes Geradores comerciais e prestadores de serviço, bem como a proposição de políticas de cobrança adequadas à sociedade são importantes para a sustentabilidade financeira do serviço. Buscando avaliar a disposição a pagar (DAP) pelo manejo dos resíduos desses empreendimentos privados, foi aplicado o método de valoração contingente e utilizada a cidade de Vitória/ES como estudo de caso. Percebeu-se que somente um terço dos entrevistados se mostraram dispostos a pagar pelo manejo de seus resíduos, descrevendo DAP maior que o praticado pelo município de Vitória/ES, com média de R\$0,10 por litro de resíduo sólido manejado. Pela baixa adesão dos entrevistados, percebe-se a importância de se identificar os principais fatores que influenciam na DAP. Como trabalho futuro, sugere-se a construção de um modelo econométrico representativo, que permita não só calcular a DAP em diversos cenários, como o de desoneração do poder público ao transferir a titularidade do manejo aos Grandes Geradores de resíduos sólidos.

## Introdução

A gestão de resíduos sólidos municipais é um tema central para a administração pública no Brasil, especialmente em termos de sustentabilidade e eficiência econômica. Em 2020, a despesa per capita anual com manejo de resíduos sólidos no Brasil foi de R\$ 141,22, acumulando um total de 25,25 bilhões de reais, com valores mais altos na região Sudeste, alcançando R\$ 156,71 por ano devido à maior densidade populacional (SNIS, 2022). Parte significativa desses resíduos provém de empreendimentos comerciais e de prestação de serviços, que, quando geram resíduos não equiparáveis aos domésticos pela sua natureza ou volume, são classificados como Grandes Geradores, conforme o § 2º do Art. 27 da Lei Federal nº12.305/2010.

A sustentabilidade econômico-financeira dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (SLUMRS) é garantida pelo Decreto Federal nº10.936/2022, que prevê a cobrança dos usuários pelo município (BRASIL, 2022). Em Vitória/ES, a legislação municipal estabelece que os estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço que geram 200 litros ou mais de resíduos sólidos por dia são responsáveis pelo seu gerenciamento, podendo optar por contratar os serviços da prefeitura por uma taxa de R\$ 0,08 por litro (VITÓRIA, 2017).

Para entender a disposição a pagar (DAP) dos usuários por esses serviços, aplica-se o método de valoração contingente (MVC), que avalia quanto os usuários estão dispostos a desembolsar para a manutenção ou melhoria do manejo dos resíduos, criando cenários hipotéticos (FARIA, R. C.; NOGUEIRA, 2000). Este estudo visa obter dados de DAP dos estabelecimentos comerciais classificados como Grandes Geradores em Vitória/ES, permitindo desenvolver uma estimativa de quanto esses empreendimentos estão dispostos a pagar por litro de resíduo gerado. Assim, é possível verificar se o valor cobrado pela prefeitura está alinhado com as expectativas e possibilidades dos comerciantes, promovendo uma política de cobrança mais eficaz e bem aceita.

## Material e Métodos

Para a coleta de dados primários um questionário foi desenvolvido e aplicado para o público-alvo composto pelos Grandes Geradores de resíduos sólidos cadastrados junto à Secretaria de Serviços da Prefeitura de Vitória/ES (Aprovação do Comitê de Ética nº 63183322.0.0000.5542). Após exclusões de empresas que não estavam com situação cadastral apta ou não se enquadravam como estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, chegou-se a uma população de 90 empresas. O questionário foi aplicado a 47 empresas cadastradas como Grandes Geradores representando 95% de significância em relação ao total de empreendimentos cadastrados como Grandes Geradores em Vitória/ES.

O questionário abordava perguntas sobre a tipologia comercial do estabelecimento, a geração diária de resíduos sólidos (em litros), o número de dias de funcionamento por mês. Os entrevistados também foram inquiridos de modo a se



criar um perfil do público-alvo quanto ao cargo ocupado e o tempo de experiência no mesmo, por exemplo. Além disso, foram feitas perguntas acerca da disposição a pagar (DAP) pelo manejo de resíduos sólidos. A DAP é uma estimativa do valor que o respondente desembolsaria por algum serviço, como a coleta seletiva (FEITOSA *et al.*, 2018), a disposição de resíduos de construção e demolição (VÉLIZ; RAMÍREZ-RODRÍGUEZ; OSSIO, 2022), entre outros benefícios, principalmente ambientais, que seriam realizados em prol da população. Para avaliar a DAP pelo manejo de resíduos sólidos, o método de valoração contingente (MVC) foi utilizado para criar um mercado hipotético, para o qual não se possui valores de mercado (FARIA; NOGUEIRA, 2000).

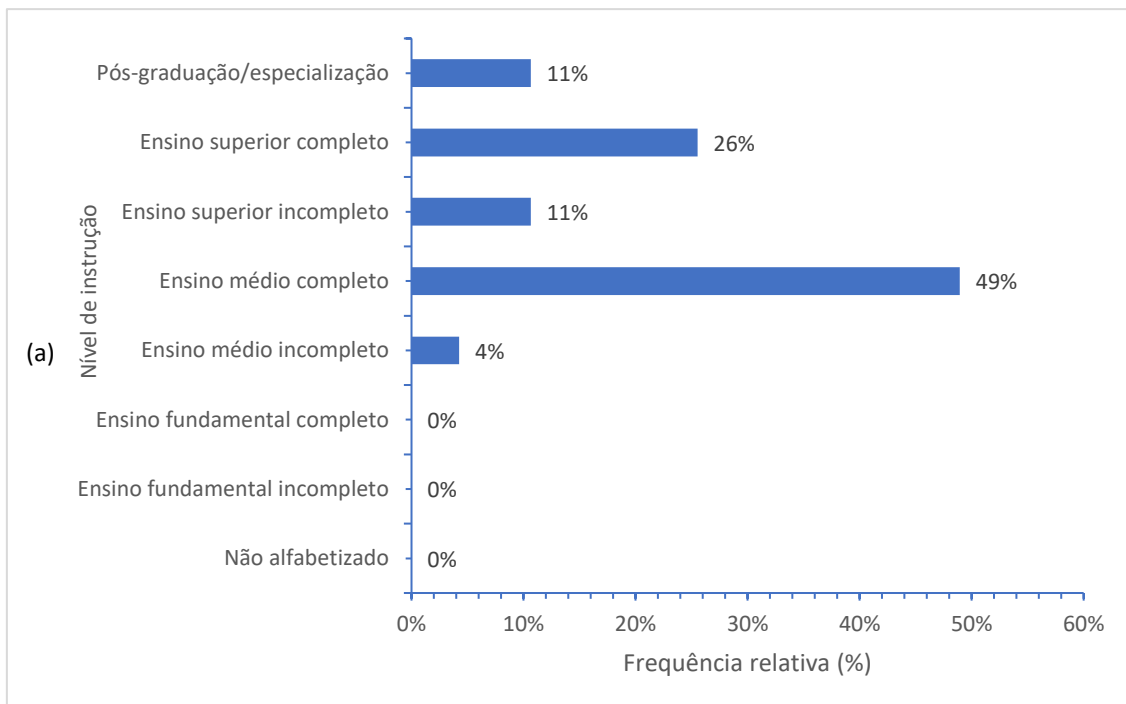
Esta metodologia foi aplicada mesmo com a Prefeitura de Vitória/ES tendo estipulado um preço para o manejo por litro de resíduo sólido e as empresas privadas calcularem o valor a ser cobrado com base na massa de resíduo coletada no estabelecimento. Utilizou-se o MVC para identificar o valor cobrado pela melhoria do serviço de manejo dos resíduos sólidos, além do respondente poder expor o valor que acha justo para tal serviço, não ficando condicionado ao preço estipulado pela prefeitura e pelas empresas privadas. Além disso, o MVC é um método direto para saber a opinião dos respondentes (AFROZ; HANAKI; HASEGAWA-KURISU, 2009).

Os entrevistados responderam sobre a DAP para manter o serviço de manejo de resíduos sólidos como está, seja ele oferecido pela prefeitura ou por empresa privada. Os respondentes também foram inquiridos sobre a DAP para melhorar o serviço de manejo, cenário possível utilizando o MVC. A DAP nos três casos foi perguntada por mês, de forma discursiva e podiam obter como resposta “não soube informar” e valores nulos.

Em seguida, realizou-se o quociente entre a DAP respondida e a geração mensal de RS (geração diária multiplicada pela quantidade de dias que a empresa funciona por mês), para determinar a DAP por litro de resíduo sólido gerado. Na sequência, calculou-se a DAP média por litro de RS, realizando a média aritmética entre os valores respondidos pelos entrevistados quando a DAP fosse maior que zero ( $DAP > 0$ ). Este procedimento foi realizado também para a DAP para melhorar o serviço e a DAP obtida através da pergunta motivada.

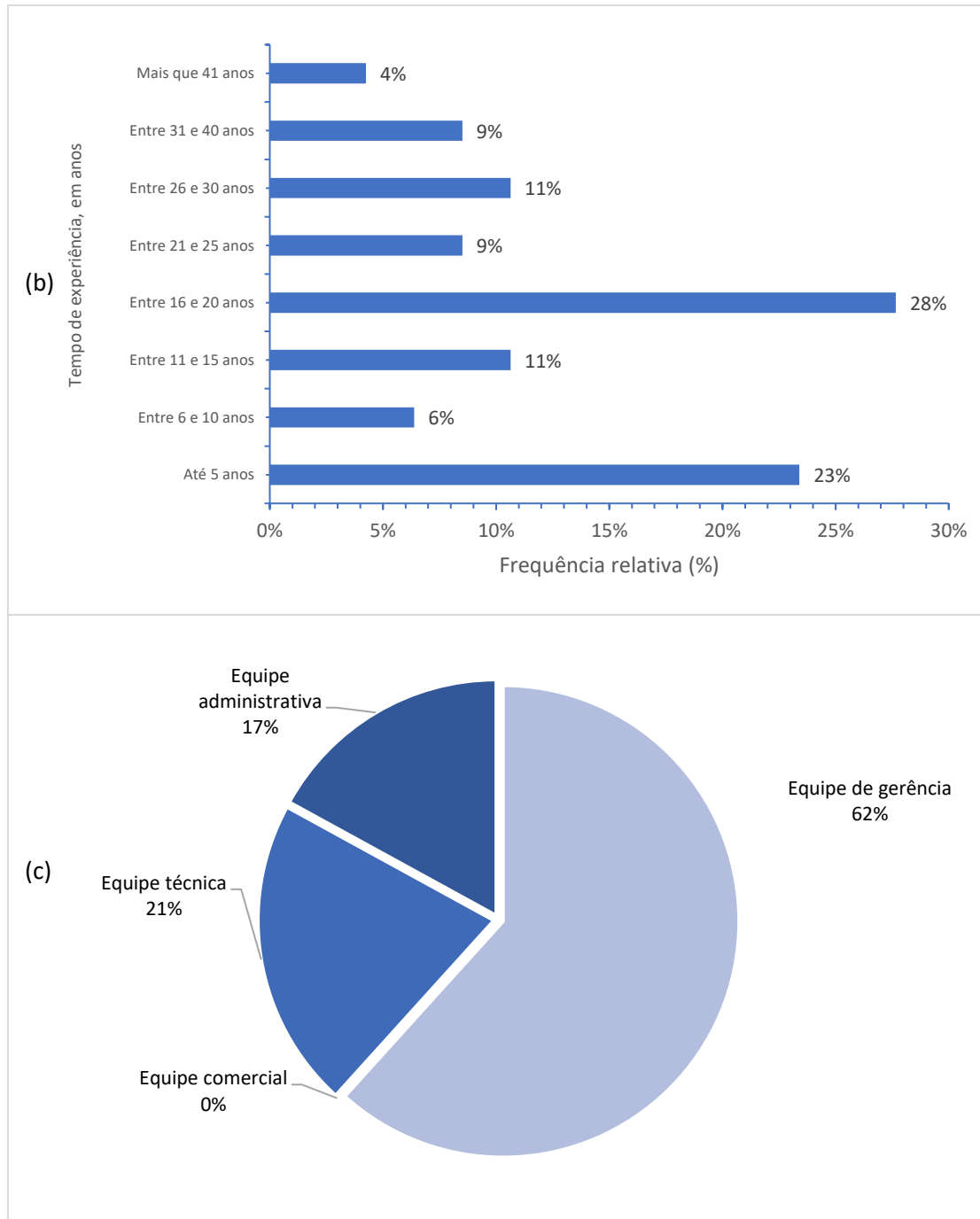
### Resultados e Discussão

Inicialmente, realizou-se a análise do perfil dos respondentes do questionário. A Figura 1 apresenta as respostas quanto ao nível de instrução dos entrevistados, o tempo de experiência, em anos, na empresa e a qual equipe o entrevistado pertence.



**Figura 1: Perfil dos entrevistados em relação ao nível de instrução (a), tempo de experiência em anos (b) e tipo de equipe (c).**

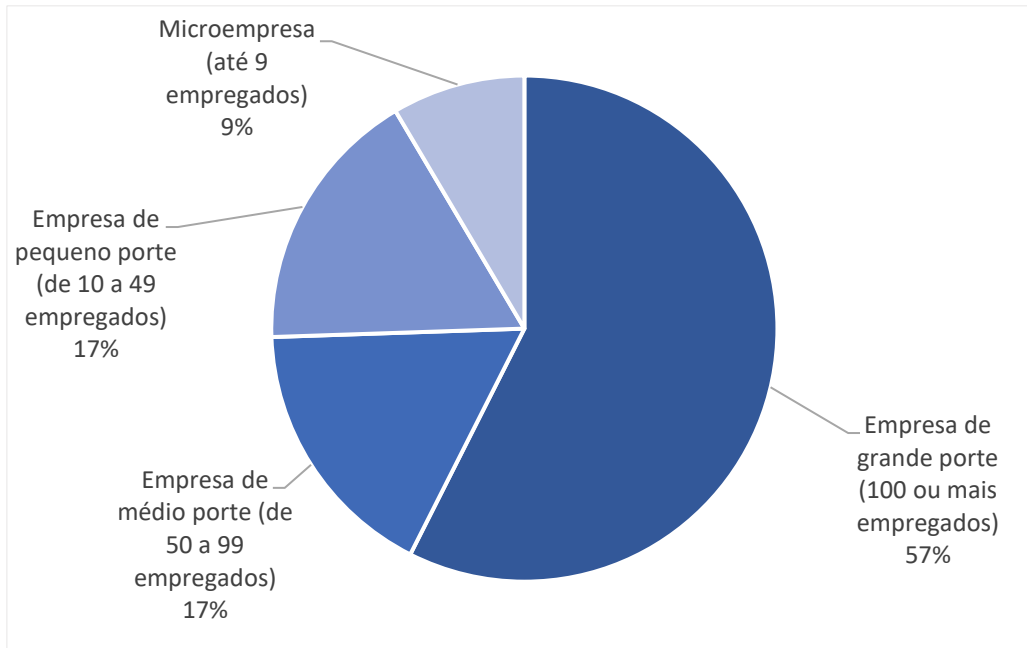




**Figura 1: Perfil dos entrevistados em relação ao nível de instrução (a), tempo de experiência em anos (b) e tipo de equipe (c) (continuação).**

Observa-se na Figura 1 (a) que mais da metade dos respondentes possui ensino médio completo ou ensino superior, sendo seguidos pelos que possuem pós-graduação/especialização ou ensino superior incompleto. Isto corrobora com a estratégia de aplicação do questionário, visto que buscou-se entrevistar pessoas com conhecimento elevado em relação ao empreendimento para a obtenção de respostas mais assertivas.

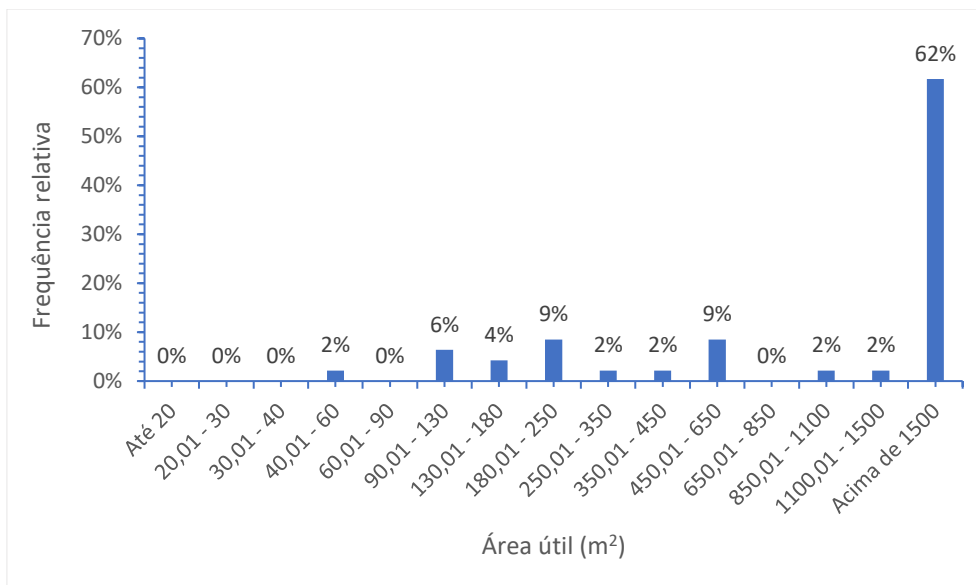
Sobre o tempo de experiência no cargo na empresa entrevistada, em anos, a Figura 1 (b) mostra que 61% dos entrevistados ocupam o mesmo cargo há pelo menos 16 anos, indicando elevado conhecimento dos processos internos e de tomada de decisão da organização analisada. A Figura 1 (c) reforça esta hipótese, visto que 62% dos entrevistados ocupam cargos na equipe de gerência. Dessa forma, pode-se concluir que os respondentes do questionário eram adequados à participação na pesquisa, possuindo acesso às informações de gestão dos estabelecimentos. Já em relação à caracterização dos estabelecimentos em relação ao porte e número de funcionários, os resultados são apresentados na Figura 2.



**Figura 2: Porte da empresa, em número de funcionários.**

Cerca de 57% das organizações entrevistadas são classificadas como empresas de grande porte, ou seja, possuindo 100 ou mais empregados, como pode-se inferir a partir da Figura 2. Esse resultado inclui os condomínios comerciais, identificados como prestadores de serviço de acordo com o CNAE principal dos mesmos, sendo constituídos por diversos escritórios, consultórios médicos e outras atividades comerciais. Este tipo de estabelecimento é responsável pela gestão e manutenção das salas comerciais e do condomínio como um todo e são normalmente cadastrados como “grandes geradores” na cidade de Vitória/ES devido ao elevado quantitativo de resíduos sólidos gerados diariamente pelo estabelecimento como um todo. Do mesmo modo, o número de empregados dos condomínios comerciais não se restringe somente aos colaboradores que tem vínculo direto com a administração do condomínio, mas abrange todos os funcionários que trabalham nas salas comerciais, visto que estes também contribuem para a geração de resíduos sólidos, assim como os clientes de tais estabelecimentos.

Observa-se também, a partir da Figura 2, que 9% das empresas entrevistadas são classificadas como microempresas. Este resultado engloba principalmente restaurantes, que foram categorizados como serviços de alimentação. Esta tipologia comercial, apesar de contar com um pequeno número de funcionários, possui elevado quantitativo de resíduos sólidos gerados, principalmente resíduos orgânicos, vidro, papel/papelão e plástico (TATANO *et al.*, 2017). Avaliando o espaço geográfico no qual ocorre a geração de resíduos sólidos dentro de uma organização, construiu-se um gráfico da área útil das empresas, como mostrado pela Figura 3.

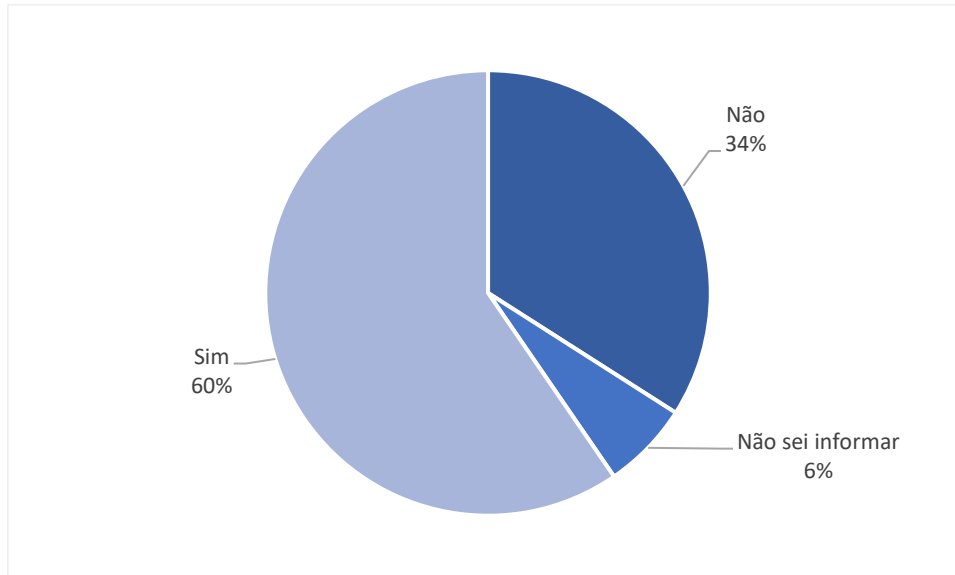


**Figura 3: Área útil das empresas entrevistadas.**



Na Figura 3 observa-se que 62% apresentam mais de 1.500 metros quadrados, como é o caso dos condomínios comerciais e dos mercados. A partir dos dados de geração diária de resíduos sólidos e da área útil do empreendimento foi possível elaborar indicadores de geração para as tipologias comerciais com unidades de área. Este tipo de indicador pode ter bastante utilidade para a previsão da geração de RS em estabelecimentos similares, a partir do conhecimento da área útil da empresa, além de facilitar a comparação da geração de resíduos por diversas tipologias comerciais.

Durante a aplicação dos questionários, também foi realizado um levantamento dos estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço entrevistados que possuíam Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) ou outro procedimento interno documentado relativo ao manejo de resíduos sólidos, como mostra a Figura 4.



**Figura 4: Existência de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) ou outro procedimento interno documentado de manejo.**

Dos entrevistados, 60% apresentaram resposta positiva à presença de PGRS ou outro procedimento de manejo documentado (vide Figura 4). É importante salientar que, de acordo com o Art. 20 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010), os estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço que “gerem resíduos que, mesmo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não sejam equiparados aos resíduos municipais pelo poder público municipal” estão sujeitos à elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), indo na contramão dos 34% dos estabelecimentos entrevistados que não possuem PGRS.

Esse percentual de organizações sem o plano de gerenciamento pode estar relacionado ao fato da legislação dos “grandes geradores” de resíduos sólidos de Vitória/ES, que definiu o limite de volume de RS gerados que invalida a equiparação com os resíduos municipais, ter sido regulamentada no ano de 2017, ou seja, ser relativamente atual. Além disso, observou-se que alguns estabelecimentos comerciais entrevistados alegaram não produzir 100 litros de resíduos sólidos por dia, o que pode ocorrer devido à desatualização do cadastro de “grandes geradores” de Vitória/ES. Dessa forma, apesar de estarem cadastrados como “grandes geradores” junto à prefeitura da municipalidade estudada, tais estabelecimentos produzem menos resíduos do que o limitado pela legislação municipal, não sendo obrigados a elaborar PGRS.

Para os 28 empreendimentos que responderam possuir o PGRS ou outro procedimento interno documentado de manejo de RS, foram realizados questionamentos sobre o conhecimento e o acesso dos colaboradores e gestores a tais documentos. O total destes entrevistados disseram que os gestores possuem conhecimento da documentação e 24 dos 28 estabelecimentos responderam que os colaboradores também têm este acesso, correspondendo a uma taxa de 86% do total de entrevistados que declararam anteriormente possuir Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) ou outro procedimento interno documentado de manejo.

Apesar de 60% ter declarado possuir PGRS e, ainda desse total, 86% declararem ter conhecimento sobre os procedimentos, pouco mais que a metade do total de entrevistados respondeu realizar o registro da quantidade de resíduos sólidos gerados. Isso demonstra que, na prática, estas empresas não se atentam à quantidade de resíduos produzidos, o que implica na ausência de políticas de redução e segregação na fonte, que poderiam estar atreladas ao incentivo à reciclagem. Além disso, algumas empresas relataram que a cobrança pelo serviço oferecido pela terceirizada se dá por um valor mensal, não sendo por quantidade de RS coletada, o que acarreta ainda mais no descaso com a redução da geração de resíduos. Este registro das informações, segundo os respondentes, se dá através de relatório enviado pelas empresas terceirizadas que fazem a coleta dos resíduos ou por controle interno, com auxílio de planilhas e do arquivamento de Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR).

Cabe ressaltar que, no Espírito Santo, o sistema MTR passou a ser obrigatório a partir de 18 de julho de 2022, devido ao Decreto Estadual nº 5.177-R, de 15 de julho de 2022. Além disso, a Instrução Normativa nº 003-N, de 31 de janeiro de 2023,





dispõe sobre os procedimentos para uso do Sistema no Estado. Este sistema é obrigatório para todos os geradores de resíduos sujeitos à elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (ESPÍRITO SANTO, 2022), que é o caso dos “grandes geradores”, o que não foi constatado com a pesquisa de campo, visto que nem todos os entrevistados registram a quantidade de resíduos gerados.

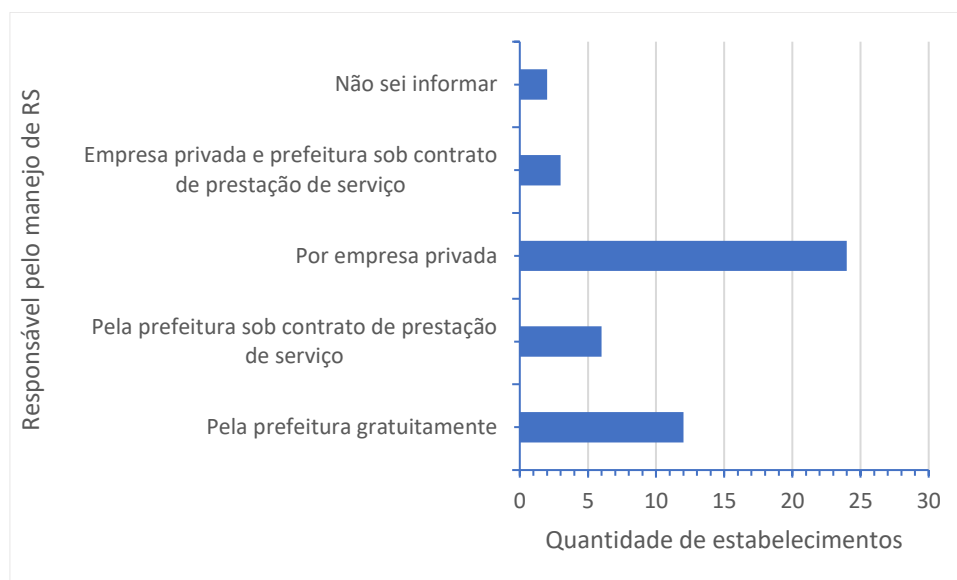
Os entrevistados também foram inquiridos quanto ao tipo de treinamento sobre gerenciamento de resíduos obtidos no ato de admissão no cargo em que ocupam atualmente. 24 dos 47 entrevistados responderam não ter recebido nenhum tipo de treinamento sobre gerenciamento de resíduos sólidos. Entre os 23 respondentes que obtiveram treinamento na admissão, 22 foram treinados quanto à coleta seletiva e 20 quanto à segregação na fonte. Em outras palavras, apenas metade dos entrevistados foram treinados para uma destinação mais adequada em termos ambientais. Isto vai de encontro aos poucos entrevistados que disseram registrar à quantidade de resíduos sólidos, pois, assim, sem saber o quantitativo gerado de RS, não fomentam estratégias como o treinamento dos funcionários para uma melhor segregação na fonte e conseqüente maior destinação dos resíduos à reciclagem.

Dos 60% dos entrevistados que disseram possuir PGRS, apenas 53,6% responderam ter recebido algum tipo de treinamento, o que é um percentual inconsistente, visto que dentre as metas de um PGRS deve constar a minimização da geração de resíduos sólidos e a reutilização e reciclagem dos mesmos (BRASIL, 2010). Para confrontar com esta última informação, foi realizada uma pergunta sobre a existência de algum programa interno voltado à redução de perdas, não-geração de resíduos ou ao incentivo do reuso e reciclagem. Dos 47 entrevistados, 33 responderam positivamente e 16 desses disseram que são efetuadas a separação de resíduos secos e úmidos e doação dos secos para catadores de materiais recicláveis.

Os resultados indicam que apenas um terço dos estabelecimentos entrevistados demonstram preocupação em realizar a separação entre resíduos secos e úmidos ou rejeitos e a doação para os catadores de materiais recicláveis. Outra estratégia que poderia ser adotada seria a venda dos materiais recicláveis pela própria empresa para aproveitamento de terceiros, obtendo lucro e deixando de arcar com o manejo de tais resíduos.

Porém, se faz presente como instrumento da PNRS, “o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis” (BRASIL, 2010). Além disso, os resíduos sólidos provenientes de “grandes geradores” costumam ser mais homogêneos e com menos rejeito que o RSM, sendo de grande valia para as organizações de catadores de materiais recicláveis (OCMR). Dessa forma, o incentivo à reciclagem por meio da segregação na fonte e da destinação dos resíduos secos recicláveis às OCMRs deve ser uma ação recorrente a ser praticadas pelos “grandes geradores”, visto que os catadores tem papel fundamental na economia circular no que tange à inserção de materiais recicláveis no ciclo produtivo (UDDIN *et al.*, 2020).

Por fim, os entrevistados responderam sobre os responsáveis pelo manejo dos resíduos sólidos gerados em seu estabelecimento, conforme apresentado na Figura 5.



**Figura 5: Responsável pelo manejo de resíduos sólidos do estabelecimento.**  
**Legenda: RS – resíduos sólidos**

Com base na Figura 5, tem-se que metade dos estabelecimentos comerciais contratam empresas terceirizadas para realizar o manejo de seus resíduos, como permite o Decreto Municipal nº 17.060/2017. Outras 6 empresas preferem a contratação do serviço prestado pela prefeitura, mas é necessário se destacar a quantidade de estabelecimentos comerciais que tem o manejo de seus resíduos sólidos realizado gratuitamente pela prefeitura, ou seja, sem contrato de prestação de serviço. Isso pode acontecer devido à lista de “grandes geradores” de RSM de Vitória estar desatualizada – foi obtida em janeiro de 2022 – e a quantidade de resíduos gerados pelas empresas ter diminuído, não sendo estas mais enquadradas como “grandes geradores”.



A respostas obtidas em relação a DAP para manter o serviço de manejo de resíduos sólidos como está, para melhorar o serviço de manejo e a partir de uma pergunta motivada são apresentadas na Tabela 1. Somente 15 empresas responderam um valor de DAP maior que zero ou diferente de “não sei informar”, sendo estas empresas duas instituições de ensino, nove prestadores de serviço, dois serviços de alimentação e dois escritórios. A DAP para manter o serviço de manejo de RS como ele se encontra atualmente (privado ou público) obteve valor médio de R\$ 0,10 por litro de resíduo, valor maior do que o cobrado pela Prefeitura de Vitória/ES, que é de R\$ 0,08 por litro (VITÓRIA, 2017). Porém, os valores observados variaram entre R\$ 0,01 e R\$ 0,38, com um desvio padrão de R\$ 0,10, mostrando a discrepância entre as DAP informadas pelos entrevistados.

A pergunta de DAP para melhorar o serviço foi efetuada apenas para três empreendimentos, visto que os outros se disseram satisfeitos com o gerenciamento atual de seus resíduos sólidos. A média encontrada neste cenário foi de R\$ 0,14 por litro de RS, com os valores variando entre R\$ 0,04 e R\$ 0,34. Dois prestadores de serviço responderam valores bastante discrepantes para a DAP para melhorar o serviço, sendo estes valores R\$ 0,04 e R\$ 0,34. O nível de instrução do entrevistado era diferente para os dois empreendimentos. De acordo com Feitosa *et al.* (2018), Tassie e Endalew (2020) e Trang, Toan e Hanh (2017), o nível de instrução interfere na DAP e poderia explicar esta diferença entre as DAPs informadas.

**Tabela 1: Valores da disposição a pagar para manter, para melhorar o serviço e disposição a pagar motivada**

	DAP pra manter (R\$/litro)	DAP para melhorar (R\$/litro)	DAP motivada (R\$/litro)
Média	0,10	0,14	0,11
Desvio Padrão	0,10	0,17	0,11
Máximo	0,38	0,34	0,38
Mínimo	0,01	0,04	0,01

Já no cenário onde os respondentes foram motivados com informações sobre o peso que os estabelecimentos comerciais têm para a geração de RS dos municípios e o valor cobrado pelo manejo do litro de RS em Vitória/ES, a média encontrada foi de R\$ 0,11 por litro, também mais elevada em relação ao praticado pela prefeitura do município estudado. O fato de os respondentes terem sido motivados causou impacto na DAP, visto o aumento do valor da mesma. Porém, os respondentes comentaram, durante a aplicação dos questionários, que não pagariam um valor muito mais elevado do que o cobrado pela prefeitura de Vitória/ES pelo fato de já pagarem muitos impostos.

### Considerações Finais

Com a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a transferência de responsabilidade pelo manejo para os “grandes geradores” de resíduos sólidos se tornou realidade e os municípios começaram a desenvolver políticas de responsabilização e cobrança. É o caso do município de Vitória/ES, que classifica os estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço que gerem acima de 200 litros de resíduo por dia como “grandes geradores”. Estes devem gerenciar os seus resíduos, contratando o poder público ou uma empresa terceirizada.

Buscando avaliar a DAP pelo manejo de resíduos sólidos gerados pelos estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço cadastrados como “grandes geradores”, um questionário foi aplicado. Três cenários foram investigados: DAP para manter o serviço como está, DAP para melhorar o serviço (caso a empresa não esteja satisfeita com o mesmo) e DAP a partir de uma pergunta motivada.

Percebe-se que nos três casos, o valor da DAP é maior que o praticado pelo município de Vitória/ES, mas que 67% dos entrevistados não souberam informar a DAP para manter o serviço ou disseram não ter interesse em pagar pelo manejo de seus resíduos. Observou-se também que empresas da mesma tipologia comercial, enquadradas no mesmo número de funcionários e área útil do empreendimento tiveram valores bem discrepantes para a DAP, podendo esta estar relacionada ao nível de instrução e ao tempo de experiência no cargo do respondente ou à despesa que o estabelecimento tem com o manejo de resíduos sólidos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio econômico essencial para a realização desta pesquisa.

### Referências Bibliográficas

AFROZ, R.; HANAKI, K.; HASEGAWA-KURISU, K. Willingness to pay for waste management improvement in Dhaka city, Bangladesh. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 1, p. 492–503, jan. 2009.

BRASIL. Decreto 10936/2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. p. 1–21, 2022.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, [s. l.], p. 1–21, 2010. Disponível em:



[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm).

ESPÍRITO SANTO. Decreto Estadual nº 5.177-R, de 15 de julho de 2022. Institui o Sistema Estadual On-line de Manifesto de Transporte de Resíduos Sólidos no Espírito Santo. Disponível em: <<https://leisestaduais.com.br/es/decreto-n-5177-2022-espirito-santo-institui-o-sistema-estadual-on-line-de-manifesto-de-transporte-de-residuos-solidos-no-espirito-santo-sistema-mtr-es>>.

FARIA, R. C.; NOGUEIRA, J. M. Métodos de valoração contingente: aspectos teóricos e testes empíricos. **Anais do 52a Reunião Anual da SBPC**, 2000.

FEITOSA, A. K. et al. Economic valuation in selective solid waste collection. p. 171–184, [s.d.].

SNIS. Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos: Gestão Administrativa e Financeira. p. 49, 2022.

TASSIE, K.; ENDALEW, B. Willingness to pay for improved solid waste management services and associated factors among urban households: One and one half bounded contingent valuation study in Bahir Dar city, Ethiopia. **Cogent Environmental Science**, v. 6, n. 1, 2020.

TATÀNO, Fabio *et al.* Generation and collection of restaurant waste: Characterization and evaluation at a case study in Italy. **Waste Management**, [s. l.], v. 61, p. 423–442, 2017.

TRANG, P. T. T.; TOAN, D. Q.; HANH, N. T. X. Estimating Household Willingness to Pay for Improved Solid Waste Management: A Case Study of Thu Dau Mot City, Binh Duong. **MATEC Web of Conferences**, v. 95, 9 fev. 2017.

UDDIN, S. M. N., GUTBERLET, J., RAMEZANI, A., & NASIRUDDIN, S. M. Experiencing the Everyday of Waste Pickers: A Sustainable Livelihoods and Health Assessment in Dhaka City, Bangladesh. **Journal of International Development**, [s. l.], v. 32, 2020.

VÉLIZ, K. D.; RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, G.; OSSIO, F. Willingness to pay for construction and demolition waste from buildings in Chile. **Waste Management**, v. 137, p. 222–230, 1 jan. 2022.

VITÓRIA. Decreto nº 17.060 de 19/05/2017. Regulamenta a Lei nº 8.971, de 16 de junho de 2016, que dispõe sobre a prestação de serviços de coleta, transporte e disposição final de resíduos sólidos produzidos por grandes geradores, nos termos da Lei Federal nº 12.305, de 2010, bem como o correspondente preço público. 2017.





## CAPACIDADE DE SUPORTE DE CIFUENTES E NBV APLICADAS NO PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA, MG, BRASIL

**1Wesley Badoco do Vale, 2Cézar Henrique Barra Rocha, 3Carla Medeiros Langoni, 4Olívia Rosa Gomes, 5Hiago Dalia Oliveira, 6Rafael Lima Hensel, 7Diogo Parreira Lapa, 8Guilherme Matoso Mendonça**  
1 Universidade federal de Juiz de Fora, e-mail: wesley.vale@engenharia.ufff.br; 2 Universidade federal de Juiz de Fora, e-mail: cezar.barra@ufff.br; 3 Universidade federal de Juiz de Fora, e-mail: carla.langoni@engenharia.ufff.br; 4 Universidade federal de Juiz de Fora, e-mail: olivia.rosa@engenharia.ufff.br; 5 Universidade federal de Juiz de Fora, e-mail: hiago.oliveira@estudante.ufff.br; 6 Universidade federal de Juiz de Fora, e-mail: rafaellima.hensel@estudante.ufff.br; 7 Universidade federal de Juiz de Fora, e-mail: diogo.parreira@ich.ufff.br; 8 UFJF, e-mail: guilherme.mendonca@estudante.ufff.br

**Palavras-chave:** Monitoramento Ambiental. Impactos. Trilhas.

### Resumo

Os sistemas de Áreas Naturais Protegidas (ANP) têm na categoria “Parques” a mais ilustrativa e reconhecida devido à possibilidade de educação ambiental e uso público, o que não é possível nas outras unidades da tipologia proteção integral, conforme o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC - Lei Federal 9.985/2000. Assim sendo, encontram-se como um desafio conciliar a visitação com a sua conservação, assegurada pela legislação que originou o Parque Estadual do Ibitipoca (PEIb), o mais visitado de Minas Gerais. Tal local, é ímpar e frágil por suas formações em quartzito, evidenciado ainda mais a necessidade de monitoramento. Dessa forma, pesquisas que contemplam o planejamento e o manejo das atividades turísticas se tornam de suma importância. Cerca de 65% dos estudos de capacidade de carga aplicaram a metodologia de Cifuentes (1992), enquanto que a metodologia do NBV proposta pelo ICMBio, foi utilizada pelo Instituto Estadual de Florestas no “Adendo ao Plano de Manejo do Parque Estadual do Ibitipoca”. Dito isso, este trabalho propõe aplicar a adaptação da metodologia de Cifuentes (1992) no Circuito das Águas do PEIb, em comparação com a metodologia do NBV proposta pelo ICMBio. Para tanto, foram percorridas as trilhas do circuito de interesse em novembro de 2022, no qual foi feita a coleta de dados com receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de navegação. Nas trilhas, foram mapeadas as ocorrências envolvendo acessibilidade, alagamentos, erosão, raízes expostas e trechos com cobertura vegetal, para que através dos fatores de correção seja possível obter um resultado mais próximo à realidade encontrada no local. A aplicação da metodologia de Cifuentes (1992) apontou um total de 87 a 146 visitantes para o Circuito das Águas, se algumas condicionantes citadas forem manejadas. Por outro lado, a aplicação do NBV resultou 852 visitantes para o mesmo circuito. O 1º método trabalha com uma lógica linear, considerando os comprimentos das trilhas e circuitos e aplicando os fatores de correção que funcionam como uma atenuação das ocorrências encontradas ao longo das trilhas. A lógica do 2º método é baseada na área do atrativo dividida pelo espaço ocupado por um turista. Não há fatores de correção, ou seja, ignora-se o relevo acentuado do PEIb com seus declives e aclives contínuos, as erosões e alagamentos oriundos da geologia frágil de quartzito e dos problemas de drenagem, enfim, considera-se uma situação ideal que não condiz com a realidade do PEIb. Outro aspecto complexo refere-se à escolha de indicadores que deveriam ser monitorados pelo menos uma vez por ano. Isso leva a necessidade de equipes de especialistas dentro do corpo técnico de gestão dos parques, algo nem sempre possível. Portanto, fica o desafio de encontrar uma metodologia que consiga mesclar as vantagens das duas metodologias, ou seja, considerando as trilhas, circuitos e atrativos com as suas rugosidades. Por exemplo, ao calcular a área de um atrativo possível de ser ocupada, há necessidade de quantificar a parte plana e estável geologicamente, onde haja segurança para essa estadia, sem riscos de escorregamentos ou de ter que ficar dentro da água nos períodos de chuvas intensas. A experiência de um turista em áreas naturais deve ser segura sem ter que enfrentar filas ou ficar esperando a liberação de um lugar para conseguir se sentar ou se banhar. Um parque natural não deveria ser tratado como um parque urbano, às vezes, com saturação do número de visitantes, levando a riscos indesejáveis e uma experiência nada natural.

### Introdução

Os centros urbanos, caracterizados pelo predomínio de tecnologias de concreto e pavimentação asfáltica, são modelos artificiais de urbanismo predominantes na sociedade. Dado a escassez de áreas verdes nessas regiões, é crescente a busca por ambientes naturais para atividades como ecoturismo, dito que proporcionam benefícios à saúde física e mental (Silva, 2020). Com isso, a pressão sobre áreas naturais, dado a falta de planejamento e a ausência de orientação aos visitantes, podem causar degradações ao ambiente natural devido ao uso intenso (Fontoura; Simiqueli, 2006). Diante deste cenário, pesquisas que contemplem o planejamento e manejo das atividades turísticas em ambientes naturais se tornam de suma importância para as Áreas Naturais Protegidas (ANP) (Rocha et. al., 2020a, 2020b). As ANPs são denominadas Unidades de Conservação (UC), apresentadas como ricas em biodiversidade com fins de preservação, há ainda a possibilidade do uso público relacionado ao ecoturismo, efetivando a categoria “Parques” como a mais ilustrativa e reconhecida UC no Brasil (Brasil, 2000; Silva, 2020).

Diversas são as metodologias criadas e adaptadas objetivando estabelecer o número máximo de visitantes que podem frequentar determinada área sem maiores impactos ao ambiente natural, a chamada Capacidade de Carga (Fontoura; Simiqueli, 2006). Segundo Rocha et. al. (2021) várias metodologias foram abordadas nos parques brasileiros, entre elas, o Número



Balizador de Visitação (NBV), criada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) em 2011. Ela tem como objetivo expressar, em números, a quantidade de visitantes que uma área natural pode receber, levando em conta as condições de manejo existentes (Minas Gerais, 2014). O NBV busca minimizar os impactos negativos da utilização pública de áreas naturais, em contraponto com a maximização da qualidade da experiência do visitante, de acordo com o ICMBio (2011). A metodologia NBV pode chegar a um número de visitantes maior conforme Almeida (2015), havendo a necessidade de comparações com outras metodologias. A metodologia proposta por Cifuentes (1992) é a mais conhecida e mais utilizada para o cálculo da Capacidade de Carga, pois apresenta limitadores ambientais particulares de cada UC, trilha ou atrativo (Almeida, 2015). Já a metodologia desenvolvida pelo ICMBio considera somente os limitadores físicos de área do atrativo, considerando o Tempo Oferecido, o Tempo Necessário, o Tempo de Deslocamento e o Tempo de Permanência na Atração (Omena, 2014). Determinar o NBV considerando os atrativos apenas como áreas planas, sendo essa uma metodologia que não faz aplicação de nenhum fator de correção, tem como resultado valores superestimados para o número de visitantes.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo aplicar a adaptação da metodologia de Cifuentes (1992) proposta por Rocha et. al. (2021), a partir da comparação com a metodologia do NBV difundida pelo ICMBio (2011), na trilha do Circuito das Águas do Parque Estadual do Ibitipoca (MG).

### Área de Estudo

O Parque Estadual do Ibitipoca (PEIb) abrange 1.488 hectares e está localizado nos municípios de Lima Duarte-MG e Santa Rita do Ibitipoca-MG, com altitude variando de 1.050 a 1.784 metros. É o parque mais visitado de Minas Gerais, recebendo em média 77 mil visitantes por ano entre 2011 e 2018 (Sanches-Pivoto, 2020; Minas Gerais, 2022).

Localizado na Serra do Ibitipoca, dentro do Bioma Mata Atlântica, o parque possui escarpas, colinas, paredões e grutas, sendo conhecido desde os séculos XVII e XVIII como a Rota do Contrabando (CETEC, 1983; Fundação João Pinheiro, 2000; Neto, 2007). As formações em quartzito tornam o local ímpar e frágil, necessitando de monitoramento contínuo quanto aos impactos das visitas (Rocha et al., 2020a). O PEIb oferece três roteiros principais: Circuito das Águas, Circuito Janela do Céu e Circuito do Pião, com diversas atrações como cachoeiras, lagos e grutas (Minas Gerais, 2014).

### Material e Métodos

O presente estudo consiste em um Estudo de Caso de caráter Explicativo, segundo Gil (2002), uma vez que se espera ao final deste, chegar a uma conclusão acerca do uso da metodologia de Rocha et al. (2021) e ICMBio (2011) com aplicação em UC's de pequeno porte. E ainda, por se tratar de um estudo específico, de uma abordagem in loco com diversas variáveis, buscando a compreensão e posterior extrapolação dos resultados aqui obtidos para situações semelhantes.

Para tanto, inicialmente fez-se uma revisão bibliográfica acerca dos estudos da Capacidade de Carga em Áreas Naturais Protegidas sobre diferentes abordagens e metodologias, elencando pontos favoráveis e desfavoráveis quando da aplicação destas. O histórico de metodologias aplicadas no Parque Estadual do Ibitipoca e seus resultados, bem como o número de visitantes anual dos últimos anos, também foi considerado. Durante o desenvolvimento deste trabalho, esteve disponível para consulta o histórico de pesquisas e estudos do Núcleo de Análise Geo-Ambiental (NAGEA), da Faculdade de Engenharia, no referido Parque.

### Metodologia NBV

A metodologia NBV foi desenvolvida pelo Instituto Chico Mendes (ICMBio) em 2011, visando o manejo de impactos da visitação em ambientes naturais protegidos. As metodologias Limite Aceitável de Câmbio (LAC) e Rango de Oportunidades para Visitantes em Áreas Protegidas (ROVAP) foram tomadas como referência (ICMBio, 2011). O NBV tem como princípio o manejo da visitação como uma ferramenta de apoio à gestão da UC, a fim de que o seu uso público se torne saudável, justificando a criação das áreas de preservação. O manejo dos impactos da visitação faz o controle das alterações nos recursos naturais e culturais, evidenciando o planejamento e o monitoramento dinâmicos e contínuos como fundamentais nesse processo (ICMBio, 2011). Para isso, são estabelecidas cinco etapas, podendo cada uma delas ser ajustada às particularidades de cada UC (ICMBio, 2011; Minas Gerais, 2014; Almeida, 2015).

A Etapa 1 envolve a organização e planejamento do manejo de impactos da visitação em uma Unidade de Conservação (UC). Nessa fase, uma equipe capacitada é formada e informações documentais sobre a visitação são coletadas, incluindo Plano de Manejo, Programa de Uso Público, mapas, zoneamento, estudos acadêmicos e relatórios técnicos. Também é definida uma agenda de atividades, detalhando as tarefas, participantes, duração e datas estimadas (ICMBio, 2011).

Na Etapa 2, são descritas e priorizadas as atividades e locais de visitação na Unidade de Conservação (UC) com base em sua importância para o manejo. Envolve a consulta aos atores sociais para identificar áreas menos frequentadas pelos gestores, como grutas e trilhas longas. A etapa inclui uma análise qualitativa para priorizar atividades, considerando: quais atividades de visitação existem, quantas pessoas as praticam diariamente e mensalmente, e quais locais apresentam os maiores impactos ambientais e na qualidade de experiência. As atividades são listadas e priorizadas, considerando três critérios: intensidade da demanda, impactos evidentes e a zona em que a atividade está inserida (ICMBio, 2011).

Na Etapa 3, é calculado o Número Balizador da Visitação (NBV) após identificar as condições de manejo existentes. O NBV leva em consideração a disponibilidade (D) do local (em área, metros lineares ou quantidade); a necessidade (N) por pessoa ou grupo de pessoa (em área, metros lineares ou quantidade) e o número de vezes (NV) em que um grupo ou uma pessoa teria condições de visitar determinado lugar em um dia (ICMBio, 2011). O NV é determinado pelo Tempo Oferecido (TO) dividido pelo Tempo Necessário (TN). O Tempo Necessário (TN) para realizar a atividade em um dia será determinado pela soma do



Tempo de Deslocamento (TD) com o Tempo de Permanência (TP) na atração (ICMBio, 2011). Alguns critérios são citados em ICMBio (2011) para auxiliar no cálculo do NBV, tais como:

- uma pessoa requer 2 (dois) m<sup>2</sup> para mover-se livremente em trilhas;
  - em áreas abertas, como praias, lagos, cachoeiras, piscinas, o espaço requerido por uma pessoa é de 4m<sup>2</sup>;
  - em cavernas, o espaço requerido por uma pessoa nas áreas de salões é de 2 (dois) m<sup>2</sup>.
- Assim, o NBV é calculado como sendo:

$$NBV = (D \div N) \times NV \quad (1)$$

Onde: *D* é a disponibilidade do local (em área, metros quadrados), *N* a necessidade por pessoa ou grupo (em área, metros quadrados) e *NV* o número de vezes que uma pessoa ou grupo teria condições de visitar o lugar no dia. Depende dos tempos somados e do número de horas que a UC fica aberta. Seria uma divisão simples do 2º fator pelo 1º.

Na Etapa 4, realiza-se o monitoramento dos impactos da visitação por meio de indicadores que irão permitir mensurar as mudanças na qualidade ambiental e na experiência do visitante. Tais indicadores podem ser sociais ou de qualidade ambiental, em que o social demonstra impactos da visitação da UC no seu entorno social, enquanto que o de qualidade ambiental demonstra a influência da visitação dessas no ambiente da UC (ICMBio, 2011). Os indicadores são estabelecidos a partir da literatura científica, opinião dos visitantes e gestores, e verificação do Plano de Manejo e do Plano de Uso Público. Com base nessa definição, são analisadas as condições máximas e mínimas aceitáveis na avaliação de cada um dos indicadores, denominada especificação de critérios. Por fim, elabora-se uma Matriz de Monitoramento de Impactos, uma ferramenta para registrar os indicadores, estabelecendo uma estratégia de monitoramento (ICMBio, 2011).

A seguir, na Etapa 5 avaliam-se os indicadores monitorados e planejam-se ações de manejo. São coletadas informações sobre o nível e tipo de impactos do uso público da UC, sendo recomendado realizar essa avaliação pelo menos uma vez por ano. Se os indicadores estiverem abaixo do padrão estabelecido, propõem-se ações de manejo, identificando as causas para solucionar os problemas corretamente (ICMBio, 2011).

### Metodologia de Cifuentes e os Fatores Limitantes

A abordagem de Cifuentes quantifica informações sobre a Capacidade de Carga Física (CCF), a Capacidade de Carga Real (CCR) e a Capacidade de Carga Efetiva (CCE) do local em questão, baseado nas condições físicas, biológicas e de manejo (CIFUENTES, 1992). Como resultado, são apresentados o número de visitas diárias e anuais que determinada UC poderá receber. Os níveis de capacidade de carga mencionados possuem a seguinte relação:

$$CCF \geq CCR \geq CCE \quad (2)$$

A CCF refere-se apenas ao espaço ocupado por uma pessoa, ao comprimento da trilha, ao horário de visitação e ao tempo necessário para percorrer o percurso. É usual considerar o espaço ocupado por uma pessoa igual a 1m<sup>2</sup>.

$$CCF = (S \div SP) \times Nv \quad (3)$$

Onde: *S* é a superfície disponível em metros (comprimento da trilha), *SP* a superfície utilizada por cada pessoa em metros, *Nv* o número de vezes que é possível fazer visitas em um determinado dia respeitando dentro do horário de funcionamento;

Assim, o *Nv* equivale à:

$$Nv = Hv \div Tv \quad (4)$$

Onde: *Hv* refere-se ao horário de visitação do local e *Tv* o tempo necessário para cada visita.

A seguir, à CCF são aplicados fatores de correção específicos para cada trilha, adaptando a capacidade de suporte à realidade da Área Natural Protegida (ANP), resultando em um número reduzido de visitantes, denominado CCR. Esses fatores de correção operam com base em uma relação estabelecida entre a magnitude limitante e a magnitude total:

$$FC = 1 - (ML \div MT) \quad (5)$$

Onde: *FC* é o Fator de correção, *ML* a magnitude limitante e *MT* a magnitude total.

Em seguida, a CCR é ajustada com base em uma Capacidade de Manejo (CM), levando em conta variáveis como número de pessoas, disponibilidade de equipamentos e infraestrutura, resultando na CCE. Por fim, com base na CCE, é determinado o número de visitantes diários e anuais. Em Cifuentes (1992), os fatores de correção utilizados são: Fator de correção social (FCsoc), Fator de correção acessibilidade (FCac), Fator de correção erosão (FCero), Fator de correção precipitação (FCpre),





Fator de correção brilho solar (FCsol), Fator de correção alagamento (FCalag) e Fator de correção fechamento eventual (FCeven). Já que esses fatores de correção são específicos para cada trilha, eles operam reduzindo proporcionalmente o número de visitantes de acordo com os problemas identificados, ajustando assim a capacidade de suporte à realidade encontrada (Silva, 2020). A metodologia desenvolvida por Cifuentes não leva em consideração o perfil do visitante nem as atividades por eles realizadas, tampouco sua percepção da qualidade da experiência, ao contrário das abordagens qualitativas. No entanto, essa metodologia é especialmente adequada para áreas de pequena extensão, como trilhas, e situações em que há limitações de capital e recursos humanos disponíveis para a execução do trabalho (Pires, 2005).

### A Metodologia Adaptada de Cifuentes (1992)

Rocha et al. (2021) e Rocha et al. (2020a) argumentam a favor da adoção de uma metodologia de capacidade de suporte de baixo custo, menos subjetiva e que possa ser implementada pelos próprios funcionários das unidades, para auxiliar os gestores de áreas protegidas no manejo sustentável das áreas de conservação. Assim, os autores destacaram a busca por resultados mais realistas das condições encontradas in loco através dessas alterações (Rocha et al., 2021; Rocha et al., 2020a).

Considerando a praticidade da Metodologia de Cifuentes, propuseram a inclusão do fator de correção Raízes Expostas (FCraiz) nesse método, já que esse fator visa considerar a ameaça de danos às árvores e o risco de quedas para os visitantes. Os critérios de mapeamento de campo do fator Cobertura Vegetal também foram revisados, agora, não apenas o dossel é levado em consideração, mas também a vegetação lateral que proporciona proteção solar aos visitantes durante as trilhas. Ademais, foram propostas alterações nos critérios de inclinação das rampas no fator Acessibilidade, sugerindo que rampas com inclinação de até 12% sejam consideradas leves, levando em conta parâmetros relacionados à erosão do solo decorrente da velocidade de escoamento da água. Também, foi proposta a conversão das ocorrências pontuais em ocorrências lineares, utilizando um valor de 1 metro, uma vez que uma erosão pontual, se não corrigida, tende a se tornar linear ao longo do tempo. Por fim, foi sugerida a mudança das distâncias horizontais para distâncias inclinadas, levando em conta a diferença entre elas, sendo que a distância inclinada sempre é maior (Rocha et al., 2020a).

### Fatores de correção propostos por Rocha et. al. (2021)

Considerando os fatores de correção anteriormente citados, Rocha et. al. (2021) sugere alterações nos fatores de acessibilidade e raízes expostas. Assim, os demais fatores seguem o procedimento de Cifuentes (1992). Para as raízes expostas, foram registrados os trechos em que elas atravessam o percurso das trilhas, causando potencial impedimento ou dificuldade para os turistas. Em relação à vegetação, o critério foi observar os trechos de trilha onde havia vegetação suficiente ao redor para proporcionar sombra ao longo do percurso, pois nesses trechos, os turistas têm maior conforto em comparação àqueles onde o sol incide diretamente. A acessibilidade foi avaliada com base no perfil longitudinal das trilhas, utilizando os seguintes critérios: rampas com inclinação de até 12% são consideradas leves; rampas com inclinação entre 12% e 20% são classificadas como médias; e rampas com inclinação superior a 20% são dadas como ruins. Também, foram marcados pontos de referência em situações onde o turista encontra notória dificuldade em percorrer as trilhas devido a aclives, declives ou outras irregularidades na superfície.

Além disso, a metodologia proposta por Cifuentes (1992) recomenda o gerenciamento da visita considerando grupos de até 10 pessoas nas trilhas, com uma distância mínima de 50 metros entre os grupos. Isso visa garantir um maior controle do fluxo de visitantes e a satisfação dos mesmos. Supondo que cada pessoa ocupe um metro linear na trilha, e levando em conta a distância entre os grupos, seria necessário um espaço de 60 metros para acomodar um grupo. Então, o cálculo do número de grupos (*Ngrupos*) em uma trilha é:

$$N_{grupos} = S \div 60 \quad (6)$$

Onde: *S* é o comprimento da trilha.

Com isso, o número de pessoas (*Np*) em uma trilha é calculado por:

$$Np = N_{grupos} \times 10 \quad (7)$$

Logo, o **Fator de Correção Social** é calculado por:

$$FC_{soc} = 1 - (ML \div MT) \quad (8)$$

Onde: *ML* é a diferença entre o comprimento (*S*) e o número de pessoas (*Np*) e *MT* é o comprimento total da trilha (*S*).

Para o **Fator Acessibilidade**, as rampas consideradas como Leve não entram no cálculo, as classificadas como Média têm peso 1,0 e as de acessibilidade Ruim tem peso 1,5. Dessa forma, tem-se:

$$FC_{ac} = 1 - (M_{AR} \times 1,5 + M_{AM} \times 1,0) \div MT \quad (9)$$

Onde: *M<sub>AR</sub>* é a metragem da trilha com acessibilidade ruim, *M<sub>AM</sub>* é a metragem da trilha com acessibilidade média, *MT* é o comprimento total da trilha (*S*);



O **Fator de Correção Erosão** de acordo com Rocha et. al. (2021) destaca a diferença entre erosão e erodibilidade, já que nesse caso não é avaliado a erodibilidade dos solos, pois dependeria de equipamentos e um tempo maior de monitoramento. Assim, foram observados apenas os trechos com algum tipo de erosão pontual ou linear, então:

$$FCero = 1 - (MPE \div MT) \quad (10)$$

Onde: *MPE* é a metragem total da trilha com problemas de erosão e *MT* o comprimento da trilha (*S*);

Para o **Fator de Correção Precipitação** considera-se que a chuva prejudica o visitante no deslocamento nas trilhas, com riscos de escorregamentos e raios. Para isso, é dado um período chuvoso de novembro a março, com um total de 151 dias, precipitação média de 5h/dia e horário de funcionamento do parque de 10h/dia (Cifuentes, 1992 e Rocha ET. AL., 2021).

$$FCprec = 1 - (HL \div HT) \quad (11)$$

Onde: *HL* são as horas de chuva por ano (755h) e *HT* as horas totais em que o parque está aberto por ano (3650h);

O **Fator de Correção Brilho Solar** está diretamente relacionado à qualidade da experiência do turista durante a visitação, já que onde há atenuação do brilho solar a visitação é mais prazerosa, enquanto em trilhas abertas, o turista enfrentará mais dificuldades devido à exposição direta ao sol. Para esse artigo será considerado como trecho com cobertura vegetal a soma da cobertura do dossel e da vegetação lateral das trilhas.

$$FCsol = 1 - (HSL \div HT) \times (MS \div MT) \quad (12)$$

Onde: *HT* são as horas totais em que o parque está aberto por ano (3650h), *MS* a metragem de trilha sem cobertura vegetal, *MT* o comprimento total da trilha (*S*), *HSL* as horas limitantes de sol por ano.

Para calcularmos *HSL* são consideradas 5h de maior incidência solar na estiagem e na época das chuvas apenas 2h. Com 151 dias de período chuvoso e 214 dias no período de estiagem tem-se 1372h (Rocha et al., 2021).

O **Fator de Correção Alagamento** sugere que o acúmulo de água nas trilhas prejudica o deslocamento, forçando um desvio ou trazendo riscos. Esses trechos com alagamento são associados a falhas de drenagem ou áreas onde a água tende a estagnar.

$$FCalag = 1 - (MA \div MT) \quad (13)$$

Onde: *MA* é a metragem da trilha com problemas de alagamento, *MT* o comprimento total da trilha (*S*).

Para o **Fator de Correção Fechamento Eventual** considera-se os períodos em que a visitação é impedida, como para fins de manutenção.

$$FCeven = 1 - (HC \div HT) \quad (14)$$

Onde: *HC* são as horas por ano em que o parque estará fechado e *HT* as horas totais de um ano;

O Fator de Correção Raízes Expostas se dá por:

$$FCraiz = 1 - (MR \div MT) \quad (15)$$

Onde: *MR* é a metragem total da trilha com raízes expostas e *MT* é o comprimento total da trilha (*S*).

Outra proposição de Rocha et al. (2021) foi converter ocorrências pontuais em lineares, considerando cada pontual com 1 metro. A justificativa é que uma erosão, alagamento ou outro aspecto pontual pode se tornar linear se não houver manejo.

Portanto, a **Capacidade de Carga Real** é encontrada conforme a equação abaixo:

$$CCR = CCF (FCsoc \times FCac \times FCero \times FCal \times FCprec \times FCsol \times FCeven \times FCraiz) \quad (16)$$

Para a **Capacidade de Manejo** a metodologia de Cifuentes (1992) considera as variáveis pessoas (funcionários), equipamentos (utilizados nas atividades de manejo) e infraestrutura (intervenções antrópicas – pontes, corrimãos, abrigos, entre outros) para cálculo através da equação abaixo. É classificado como insatisfatório (0), pouco satisfatório (0,25), satisfação média



(0,5), satisfatório (0,75) e muito satisfatório (1). No caso do Parque Estadual do Ibitipoca, foram adotadas essas variáveis como muito satisfatórias (ROCHA et. al., 2021).

$$CM = (Pessoal + Infraestrutura + Equipamentos) \div 3 \times 100 \quad (17)$$

De acordo com Cifuentes (1992) a **Capacidade de Carga Efetiva** representa o número máximo de visitas por dia através da equação:

$$CCE = CCR \times CM \quad (18)$$

Por fim, tem-se o valor para **Visitantes Diários (VD)** e **Anuais (VA)** conforme equações estabelecidas por Cifuentes (1992):

$$VD = CCE / Nv \quad (19)$$

$$VA = VD \times 365 \quad (20)$$

### Trabalho de Campo e Processamento de Dados

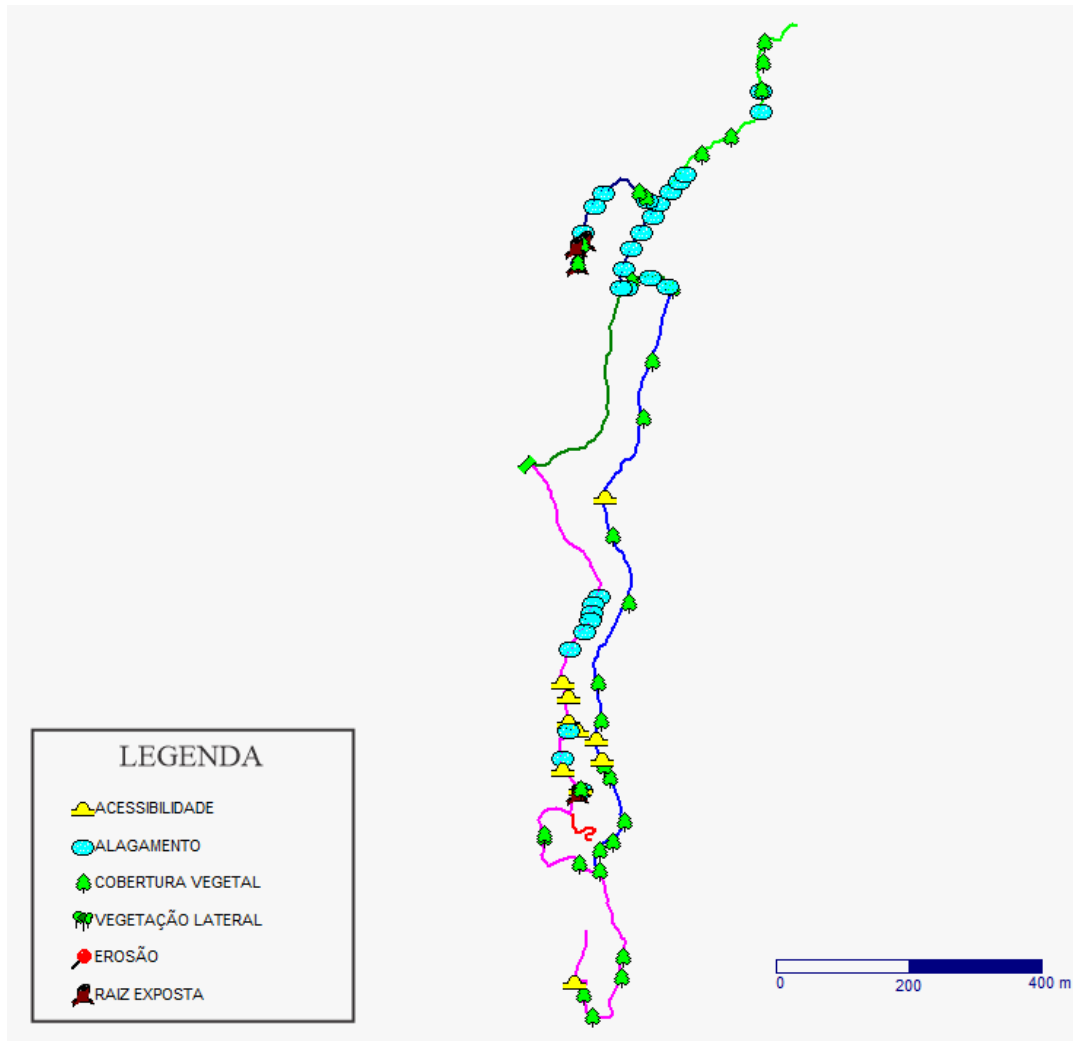
Em novembro de 2022, o Núcleo de Análise Geo Ambiental (NAGEA) realizou um trabalho de campo no Parque Estadual do Ibitipoca, explorando integralmente o Circuito das Águas, incluindo suas trilhas e atrativos, como demonstra a Figura 1. Durante o campo, foram utilizados aparelhos de navegação GPS Garmin GPSMap 76CSx para mapear as trilhas e marcar pontos de interesse, identificando possíveis impactos ao longo do percurso. Foram registrados alguns impactos como erosão, alagamento, vegetação próxima às trilhas e raízes expostas. Os dados coletados foram transferidos para o computador e processados com o auxílio do software GPS TrackMaker. Para as ocorrências lineares, o comprimento é medido diretamente no software utilizando a ferramenta "Calcular Comprimento" considerando os pontos registrados. Para as ocorrências pontuais, adota-se 1 metro linear para cada ponto registrado. Após o processamento, a soma das ocorrências pontuais convertidas e das ocorrências lineares da mesma categoria fornece a magnitude total em metros. Para os perfis longitudinais, foram utilizados os dados fornecidos pela equipe NAGEA, conforme publicado por Silva (2020), que mapeou os circuitos do Parque utilizando GPS Geodésico Ashtech Promark 2. É importante destacar que este trabalho feito com receptores GNSS, considera a distância inclinada nos cálculos. Na prática, do ponto de vista técnico, essa é a distância efetivamente percorrida, ao contrário da distância horizontal medida pelos métodos tradicionais de topografia, que podem resultar em diferenças significativas em áreas de relevo acidentado (VALE, 2022). O traçado das trilhas mapeadas nesse trabalho pode ser visualizadas na Figura 1.

### Resultados e Discussão

As abordagens de capacidade de carga são empregadas para orientar os gestores no manejo da ANP (Silva, 2020). Em geral, recomenda-se o uso da metodologia de Cifuentes para trilhas e atrativos localizados ao longo dessas trilhas (Paganelli et al., 2012). Além disso, uma pesquisa conduzida por Silva (2020) revelou que, desde o ano 2000, 65% dos estudos de capacidade de carga utilizaram a metodologia proposta por Cifuentes (1992). Acredita-se que as metodologias de viés qualitativo, como o NBV, não foram tão amplamente adotadas nos estudos de capacidade de carga, possivelmente devido às dificuldades de implementação e às etapas mais complexas (Souza e Padovan, 2006; Limberger e Pires, 2014).

No decorrer das trilhas no Circuito da Águas foram mapeadas ocorrências de acordo com os fatores de correção para que a análise se aproximasse da realidade local, como demonstra a Figura 1. Como destaque, é possível observar que no Circuito das Águas se mostraram mais evidentes os alagamentos em trechos próximos ao Lago Negro e Lago dos Espelhos e a acessibilidade difícil principalmente próximo ao Lago das Miragens. Sobre a cobertura vegetal, é mais perceptível nos arredores dos atrativos Lago dos Espelhos, Ponte de Pedra e Cachoeira dos Macacos.





**Figura 1. Ocorrências no circuito das águas.**

Fonte: Vale (2022)

Na aplicação da metodologia do NBV explicitado, em seu trabalho, Silva (2020) leva em consideração três roteiros para esse circuito, assim como Rocha et. al. (2021): Trilha do Lago dos Espelhos, Trilha Cachoeira dos Macacos Ida (saindo do Restaurante) e Trilha Cachoeira dos Macacos Volta (retorno pelo Paredão de Santo Antônio). A ressalva está na atração Prainha das Elfas, que se refere a uma das áreas de atração no Circuito das Águas. A adaptação de Rocha et al (2021), considera que o Circuito das Águas é constituído de três principais vertentes: a trilha Cachoeira dos Macacos - Ida, a trilha Cachoeira dos Macacos - Volta e agrupamento das trilhas Lago dos Espelhos e Lago Negro.

**Tabela 1: Dados obtidos após aplicação de cada metodologia**

Trechos	CIFUENTES (Rocha et al, 2021)	CIFUENTES Simulado	NBV (Silva, 2020)
Cachoeira dos Macacos (Ida e volta)	41	61	520
Lago dos Espelhos	46	85	127
Prainha das Elfas	*		205
TOTAL	87	146	852

Fonte: Os autores (2024)

Conforme apresentado na Tabela 1, a adaptação de Rocha et al. (2021) revela um número máximo de 87 visitantes diários para o Circuito das Águas do Parque Estadual do Ibitipoca, enquanto Silva (2020), em seu trabalho, aplicou a metodologia NBV neste mesmo Circuito e obteve como resultado 852 visitas/dia, um número elevado, cerca de 10 vezes superior ao encontrado pela adaptação de Rocha et al. (2021). Numa situação ideal sem ocorrências de erosão, alagamentos e raízes expostas, o valor iria para 146 visitantes, ainda cerca de 6 vezes menor que o NBV. Os fatores de correção social, acessibilidade (função

do relevo e rampas do Parque), brilho solar (necessidade de programas de revegetação ou reflorestamento), precipitação (agravados pelas mudanças climáticas) e fechamento eventual são mais difíceis de manejar devido às características intrínsecas do PEIb e variáveis de difícil controle.

Na Figura 2 tem-se exemplos de ocorrências encontradas ao longo das trilhas do PEIb e as possibilidades de manejo que reduziriam as limitações de capacidade de suporte. Pontos de alagamentos (2A) podem ser manejados com drenagem adequada como os bueiros de greide (2C). Pontos de raízes expostas (2B) ou alagados podem receber uma passarela suspensa que evitaria injúria ao indivíduo arbóreo e risco de acidentes para os turistas conforme a Figura 2D.



**Figura 2: Ponto de alagamento (A); Ponto de raiz exposta (B); Intervenção de drenagem (C) e Intervenção de acessibilidade (D).**

**Fonte: Vale (2022)**

Já a Figura 3 mostra o registro do equívoco no cálculo seguindo os padrões da NBV, onde visivelmente não é possível a cachoeira (considerando a área de pedras ao redor do espelho d'água) comportar as 520 pessoas que o método aponta, devido às suas dimensões e no conforto para os visitantes no local, sendo isso mais uma constatação do equívoco percebido no cálculo e utilização da metodologia NBV.



**Figura 3: Registro do número de visitantes na Cachoeira dos Macacos na última visita de campo.**

**Fonte: Vale (2022)**

### Considerações Finais

O uso público das Unidades de Conservação é frequentemente controverso, pois é necessário equilibrar o direito ao meio ambiente equilibrado com a promoção da visitação em áreas de preservação. No Parque Estadual do Ibitipoca, as características ambientais indicam que um fluxo turístico desordenado pode acelerar os impactos nas trilhas, levando a processos erosivos e possíveis acidentes, especialmente durante a temporada de chuvas.

Segundo ParqueTur (2024), atualmente, com o objetivo de garantir uma experiência de excelência aos visitantes, foi fixado um limite diário de até 1.000 pessoas. Para o popular Circuito Janela do Céu, em particular, o limite é ainda mais restrito, permitindo a entrada de até 240 visitantes por dia, a fim de preservar a integridade do local e o bem-estar.

As metodologias que priorizam a qualidade da experiência dos visitantes, como o NBV, exigem um planejamento prévio bem estruturado para serem eficazes. Por outro lado, as metodologias quantitativas, como a adaptação proposta por Rocha et al. (2021), servem como ponto de partida para a gestão e planejamento do uso público de Unidades de Conservação, devendo ser complementadas por programas de monitoramento e educação ambiental (Silva, 2020).

De fato, inicialmente é necessário estabelecer um número de visitantes como referência. Em seguida, os gestores devem



iniciar a gestão propriamente dita, por meio de monitoramento, sinalização, manejo e atividades educativas com a comunidade, a fim de avaliar o nível de impacto admissível.

Questões como o grau de dificuldade das trilhas – considerando distância e perfil do terreno – bem como a avaliação da experiência do visitante e sua percepção do ambiente devem ser levantadas. Schutte (2009) sugere a aplicação conjunta de metodologias quantitativas e qualitativas para fundamentar as decisões dos gestores das UC's.

Uma metodologia de capacidade de suporte de baixo custo, que possa ser aplicada pelos próprios funcionários das unidades, pode ajudar os gestores de áreas protegidas a manejar suas trilhas de forma sustentável. Além disso, o levantamento dos impactos antrópicos, das raízes expostas, da cobertura vegetal, da erosão e do alagamento, feito por meio de receptores GNSS e complementado pela avaliação da acessibilidade através de rampas, permite criar um inventário detalhado de cada trilha.

O NBV, com seus números “expressivos” de capacidade de suporte, mostra-se inadequado para Unidades de Conservação de pequeno porte, como o PEIb. Implementar as sugestões baseadas nesses números implica operar com uma capacidade de carga superior ao que é considerado “saudável” para o ambiente natural e para a qualidade da experiência de visitação.

Em UCs de pequena extensão, a adaptação de Rocha et al. (2021) tem se mostrado mais indicada, pois os fatores ambientais e a grande demanda de visitação exigem um caráter mais conservador na definição do número máximo de visitantes diários. Por outro lado, a metodologia NBV é mais adequada para UCs de grandes extensões ou locais abertos, como o Parque Nacional do Iguaçu, onde não há trilhas com uma sucessão de atrativos de dimensões desiguais.

Ademais, desde que foram criadas, as metodologias de capacidade de suporte têm se apresentado como instrumentos essenciais para o ordenamento e planejamento do uso público de áreas naturais. Diversas metodologias foram e continuam sendo desenvolvidas a partir de adaptações, e, portanto, nenhuma metodologia é mais importante ou prevalece sobre as outras. O que deve ser proposto é um estudo detalhado das características físicas e sociais da UC, com o objetivo de estabelecer a metodologia que mais se adequa aos atributos específicos encontrados.

Nenhuma metodologia de capacidade de carga é totalmente capaz de abordar a complexidade dos ecossistemas. O monitoramento deve ser contínuo e regular, pois é por meio dele que os gestores poderão determinar se o valor estabelecido para a capacidade de carga precisa ser ajustado ao longo do tempo. É importante realizar um acompanhamento dos impactos na água, através de análises físico-químicas e biológicas em locais de maior frequência de turistas, bem como monitorar a vegetação para verificar se há regeneração. Além disso, é essencial observar o impacto na fauna que habita essas áreas. O objetivo principal é manter a resiliência das áreas protegidas e garantir que estejam em harmonia com a visitação.

### Agradecimentos

O presente artigo foi realizado com o apoio da Universidade Federal de Juiz de Fora, por meio do projeto de extensão “MONITORAMENTO DOS IMPACTOS EM ÁREAS PROTEGIDAS” e do Projeto de Pesquisa “MONITORAMENTO DOS IMPACTOS NO PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA (MG)”. Agradecemos também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela bolsa de mestrado do Diogo. Agradecemos aos funcionários (as) do PEIb. Por fim, agradecemos ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído (PROAC) e ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO) da UFJF.

### Referências Bibliográficas

- Almeida, M. P. de. 2015. Avaliação do Manejo da Visitação no Parque Nacional do Caparaó-MG. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 62p.
- Brasil. 2000. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. Brasília, Diário Oficial da União, 2000.
- CETEC. 1983. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Diagnóstico ambiental de Minas Gerais. Belo Horizonte, 158p.
- Cifuentes, M. 1992. Determinación de Capacidad de Carga Turística en Áreas Protegidas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Fontoura, L. M.; Simiqueli, R. F. 2006. Análise da capacidade de carga antrópica nas trilhas do Circuito das Águas do Parque Estadual do Ibitipoca, MG. Monografia (especialização), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 80p.
- Fundação João Pinheiro. 2000. Plano Diretor de Organização Territorial e Desenvolvimento do Turismo em Conceição de Ibitipoca. Belo Horizonte. 325p.
- Gil, A. C. 2002. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas.
- ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Ministério de Meio Ambiente. 2011. Roteiro Metodológico para Manejo de Impactos de Visitação: com Enfoque na Experiência do Visitante e na Proteção dos Recursos Naturais e Culturais. Brasília: ICMBio, 88 p.
- Neto, L. M. et al. 2007. Orchidaceae do Parque Estadual de Ibitipoca, MG, Brasil. Acta Botanica Brasilica [online], v. 21, n.





3, pp. 687-696. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-33062007000300015>>. Acesso em: 17 Dezembro 2022.

Minas Gerais. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. 2014. Adendo ao Plano de Manejo do Parque Estadual do Ibitipoca: Atualização do estudo de capacidade de carga contido no Programa de Visitação - Encarte 2. Belo Horizonte: IEF, 67p.

Minas Gerais. Secretaria-Geral. Agência Minas. Parque Estadual do Ibitipoca amplia número de visitantes diários. Disponível em: <<https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/parque-estadual-do-ibitipoca-amplia-numero-de-visitantes-diarios>> . Acesso em: 17 Dezembro 2022.

Omena, M. T. R. N. de. 2014. Parque Nacional de São Joaquim: Do papel à realidade: Uma proposta para a gestão do uso público. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 164p.

Parquetur. Parque Estadual do Ibitipoca. 2024. Disponível em: <<https://parquetur.com.br/>>. Acesso em: 5 jun. 2024.

Rocha, C. H. B.; Vale, W. B.; Castro, L. F. S.; Paravidino, J. M.; Silva, A. L. F.; Prado, T. O.; Silveira, F. J. 2020a. Resiliência e Capacidade de Suporte do Parque Estadual do Ibitipoca (MG). *Principia*, Juiz de Fora, v. 20, n. 1, p. 12-23.

Rocha, C. H. B.; Castro, L. F. P.; Vale, W. B. 2020b. Em busca de uma metodologia de capacidade de suporte em trilhas: aplicação no Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. In: Poletto, C. et. al. (Org.). Congresso Internacional de Engenharia Ambiental e 10ª Reunião de Estudos Ambientais, 2020, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Editora GFM, p. 270-289.

Rocha, C. H. B.; Fontoura, L. M.; Vale, W. B. D.; Castro, L. F. D. P.; Da Silva, A. L. F.; Prado, T. D. O.; Da Silveira, F. J. 2021. Carrying capacity and impact indicators: analysis and suggestions for sustainable tourism in protected areas—Brazil. *World Leisure Journal*, v. 63, n. 1, p. 73-97. <https://doi.org/10.1080/16078055.2021.1888000>

Sanches-Pivoto, A.; Alves, A.F.; Dias, V.N. Efeitos e transformações gerados pelo turismo no contexto territorial do parque estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, São Paulo, v. 14, n.2, p. 46-63, maio/ago. <http://dx.doi.org/10.7784/rbtur.v14i2.1751>

Schutte, M. de S. 2009. Pedra do Sino: impacto sobre a biota e capacidade de carga turística de uma trilha no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ.. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 147 f.

Silva, A.L.F. 2020. Levantamento do estado da arte das metodologias de capacidade de suporte com aplicação no Circuito das Águas, Parque Estadual do Ibitipoca, MG, Brasil. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 161p.

Vale, W. B. 2022. Aplicação da Adaptação da Metodologia de Capacidade de Suporte de Cifuentes em comparação com a Metodologia NBV: Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. 87f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2022.



# MUDANÇAS NOS USOS DA TERRA (1992 - 2022) EM BACIA HIDROGRÁFICA DE REGIÃO METROPOLITANA: UMA ABORDAGEM SOCIOECOLÓGICA BASEADA NA HEMEROBIA

1Fabio Leandro da Silva, 2Gabriel Vanzo, 3Elza Luli Miyasaka, 4Ângela Terumi Fushita,  
5Denise Balestrero Menezes

1 Universidade Federal de São Carlos, e-mail: [fabioleandro@alumni.usp.br](mailto:fabioleandro@alumni.usp.br); 2 Universidade Federal de São Carlos, e-mail: [gabrielvanzo@estudante.ufscar.br](mailto:gabrielvanzo@estudante.ufscar.br); 3 Universidade Federal de São Carlos, e-mail: [elza.miyasaka@ufscar.br](mailto:elza.miyasaka@ufscar.br); 4 Universidade Federal do ABC, e-mail: [angela.fushita@ufabc.edu.br](mailto:angela.fushita@ufabc.edu.br); 5 Universidade Federal de São Carlos, e-mail: [denisebm@ufscar.br](mailto:denisebm@ufscar.br)

**Palavras-chave:** Unidade de Planejamento; Naturalidade da paisagem; Sistemas socioecológicos.

## Resumo

Na atualidade, as regiões metropolitanas abrigam um grande contingente populacional e uma ampla gama de atividades econômicas. Estes sistemas acabam impactando negativamente as bacias hidrográficas, que são unidades de planejamento, por levar a perda de naturalidade (aumento da hemerobia) e influenciar na provisão dos serviços ecossistêmicos. Diante do exposto, este estudo almejou empregar o indicador de estrutura da paisagem hemerobia para analisar a bacia hidrográfica do rio Sorocaba (BRS), inserida na Região Metropolitana de Sorocaba (RMS) - Estado de São Paulo, fazendo uso de uma abordagem socioecológica para qualificar os padrões de uso da terra. Foi realizado um levantamento das principais classes de uso da terra (ambientes aquáticos, antrópico agrícola, antrópico não-agrícola e vegetação nativa) através de *machine learning* no *Google Earth Engine* (GEE), para os anos de 1992, 2002, 2012 e 2022. Os graus de hemerobia foram classificados conforme o grau de interferência antrópica, dependência do manejo humano e capacidade de autorregulação dos ecótopos da paisagem. Através de *sensu* citação e dados da Fundação Seade do Estado de São Paulo, foi conduzida uma análise socioecológica considerando o Produto Interno Bruto (PIB), população (rural e urbana), taxa de urbanização e governança (internacional, nacional, estadual e aspectos econômicos), além da hemerobia. Constatou-se que a principal classe de uso da terra corresponde ao antrópico agrícola (> 63% do território). A vegetação nativa passou por um processo de perda (1992 - 2012), atualmente está em fase de recuperação e ocupou 24,11% do território em 2022. Os ecótopos euhemerobióticos predominam na paisagem, são marcados por estar associados ao agronegócio, apresentar grande interferência humana, comprometimento de sua capacidade de autorregulação e grande dependência tecnológica. A análise socioecológica possibilitou o estabelecimento de relações das mudanças da paisagem com o processo de urbanização da RMS, a expansão do setor sucroalcooleiro e das agroindústrias, bem como os incentivos e estratégias governamentais de nível estadual e nacional. A abordagem se demonstrou útil para a análise de bacias hidrográficas inseridas em regiões metropolitanas. Recomenda-se a implementação de estratégias que propiciem a melhoria da naturalidade da paisagem e o funcionamento e manutenção dos ecossistemas.

## Introdução

As bacias hidrográficas são sistemas naturais bem definidos no espaço físico, costumam ser formalmente utilizadas como unidades de planejamento em diversos contextos. Nas áreas metropolitanas (i.e. cidades e zonas pendulares densamente povoadas (> 50.000 pessoas e 1.500 habitantes/km<sup>2</sup>) e socioeconomicamente integradas à metrópole), estes sistemas fornecem uma gama de serviços ecossistêmicos como abastecimento público, entretanto, o desenvolvimento das atividades humanas contribui para a deterioração dos ecossistemas naturais e impactam negativamente as bacias hidrográficas (Pickett et al., 2001; Peng et al., 2017; Alves et al., 2023; OECD, 2024), comprometendo a sua dinâmica e integridade.

Por integridade de uma bacia hidrográfica, pode-se entender a sua capacidade de suportar os processos ecológicos e funções essenciais para a manutenção e funcionamento da biodiversidade, recursos e serviços ecossistêmicos à sociedade (Flotemersch et al., 2016). Torna-se necessário, que as análises a serem realizadas levem em consideração toda a cadeia de interações do meio ambiente, considerando as atividades humanas.

O planejamento urbano incipiente, aliado a implementação ineficiente de políticas sustentáveis e o foco governamental pautado no crescimento urbano e econômico, são elementos comuns em diversas cidades metropolitanas. Tais fatores conceberam algumas consequências ambientais que perduram até os dias atuais, como o rápido crescimento populacional, problemas socioeconômicos, a conversão de usos da terra e maior interferência antrópica nos ecossistemas naturais e bacias hidrográficas (Bodo, 2019).

Neste sentido, o indicador de estrutura da paisagem hemerobia emerge como uma forma de verificar os impactos antrópicos em bacias hidrográficas, ainda mais em regiões metropolitanas. A hemerobia classifica o grau de interferência humana em determinada parcela da paisagem, baseada no nível de naturalidade dos usos da terra e a capacidade de autorregulação do ambiente (Walz, 2014). Este indicador torna possível indicar se, ao longo do tempo, a área de interesse apresentou características mais próximas do natural (maior naturalidade) ou se tornou mais antropizada (maior artificialidade) (Almeida et al, 2018). Logo, a utilização da hemerobia como indicador de estrutura da paisagem, aliada aos dados socioecológicos, pode ser de grande valia para o planejamento ambiental em áreas metropolitanas, especialmente em investigações que adotem como recorte a bacia hidrográfica.



Pesquisas prévias (Silva et al., 2017; Silva et al., 2021; Couto et al., 2022) demonstraram a aplicação da hemerobia na análise da paisagem de bacias hidrográficas, sendo útil para identificar áreas com maior artificialidade e menor capacidade de autorregulação, além do gradiente de interferência antrópica. Entretanto, estes estudos carecem de uma abordagem aliada a uma análise socioecológica, considerando um recorte temporal.

Sendo assim, considerando o processo histórico de ocupação da paisagem do Estado de São Paulo (Caldarelli, Gilio, 2018; Oliveira et al., 2019) e a conversão dos biomas nativos em função da urbanização e avanço do agronegócio, torna-se indispensável a realização de investigações nas áreas metropolitanas, visando a elaboração de estratégias de manejo de a obtenção de informações mais detalhadas, auxiliando no planejamento e gestão dos recursos naturais em ambientes tão antropizados.

Este estudo teve como objetivo empregar a hemerobia para analisar uma bacia hidrográfica de região metropolitana, fazendo uso de uma abordagem socioecológica para qualificar os padrões de uso da terra e seus mecanismos de mudança. Para tanto, selecionamos a bacia hidrográfica do rio Sorocaba (BRS), inserida em uma região metropolitana no Estado de São Paulo. A verificação das mudanças do solo e implicações socioecológicas fornecem base para o planejamento urbano e gestão sustentável dos recursos naturais em áreas metropolitanas, auxiliando na gestão ambiental.

## Material e Métodos

### Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Sorocaba (BRS) tem uma área aproximada de 5.250,9 km<sup>2</sup>, está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sorocaba-Médio Tietê 10 (UGRHI-10) e abrange parte da Região Metropolitana de Sorocaba – RMS (Figura 1). A área é marcada pela sua vocação econômica industrial (CETESB, 2023). O seu principal afluente é o rio Sorocaba, que possui aproximadamente 230 km e percorre vários municípios até desaguar no rio Tietê, no município de Laranjal Paulista - SP. Quanto à fitofisionomia, predominam na região remanescentes de Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual (Comitê Sorocaba Médio Tietê, 2013).

Tal unidade possui sua economia caracterizada pelas atividades industriais de ampla abrangência (e.g. setor automobilístico), produção de alumínio, cultivo de gêneros alimentícios, além de atividades ligadas à pecuária e monoculturas, como o plantio de citrus e cana-de-açúcar (Comitê Sorocaba-Médio Tietê, 2023). Cabe salientar que a criação da RMS ocorreu através da Lei Complementar nº 1.241/2014, com o intuito de promover o planejamento regional e utilização racional do território (São Paulo, 2014). Vivem na região mais de 2 milhões de habitantes, na referida unidade metropolitana ocorre a geração de 4,25% do Produto Interno Bruto (PIB) paulista (Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado, 2024). A RMS apresenta um grau de urbanização de 88,9%, uma densidade demográfica de 148,71 habitantes/km<sup>2</sup> e um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de 0,762 (alto desenvolvimento) em 2010 (Ipea, 2017)

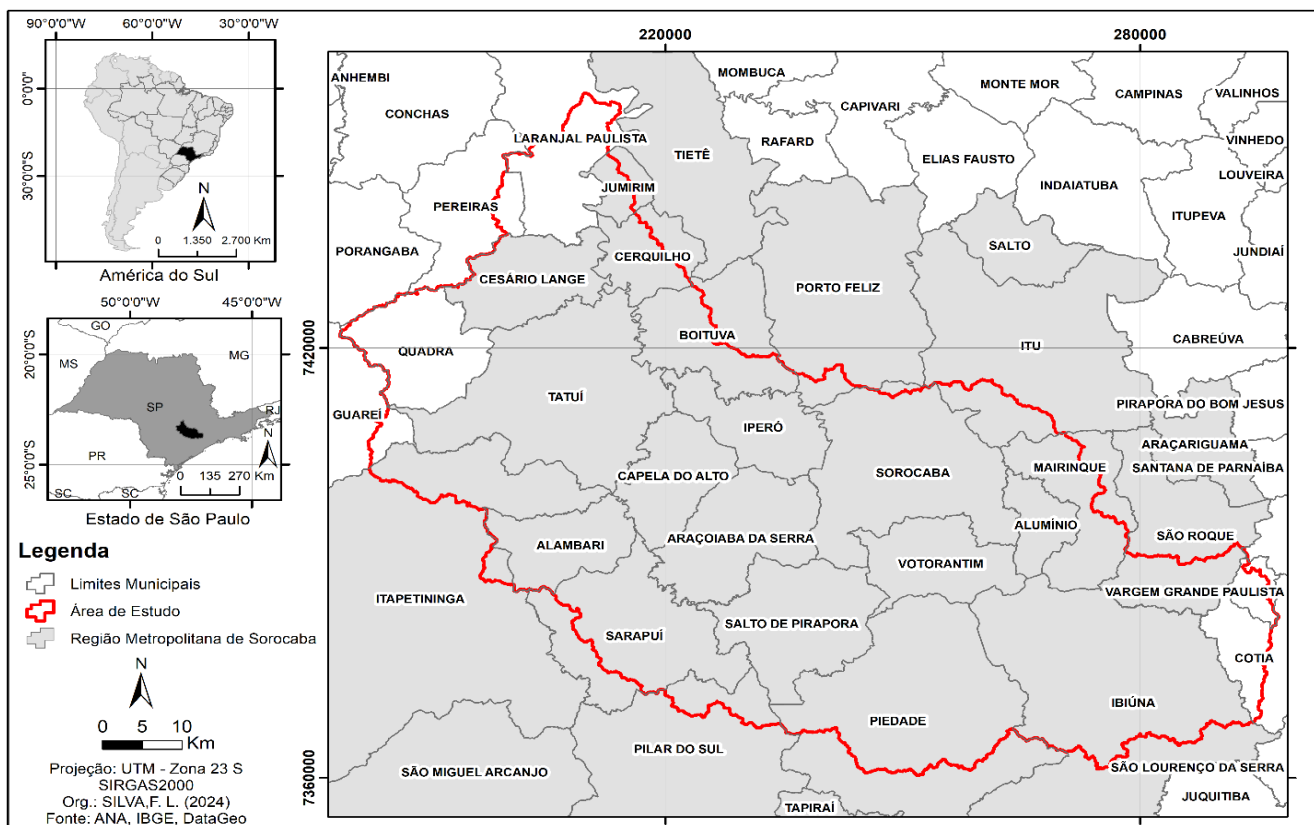


Figura 1: Localização da área de estudo e a abrangência de parte da RMS.





### Série temporal dos usos da terra

Para a obtenção dos padrões de usos da área de estudo, foram utilizadas imagens sínteses de satélites da missão LandSat 5(TM)/8 (OLI), com 30 metros de resolução, para um período de 30 anos (1992 a 2022). O processamento ocorreu no *Google Earth Engine* (GEE) utilizando composição falsa cor (5R4G3B ou 6R5G4B), a Projeção Universal Transversa de Mercator (Fuso 23 Sul), o datum SIRGAS 2000 e o *software* ArcGIS 10.2.

A classificação dos usos da terra da bacia hidrográfica ocorreu através de *machine learning* e do classificador *random forest*. Em cada intervalo (i.e. 1992, 2002, 2012, 2022) foram selecionadas 800 amostras totais, considerando o sistema de classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2013). Para tanto, foi utilizado o nível I de classificação: (i) áreas antrópicas não agrícolas (área urbanizada); (ii) áreas antrópicas agrícolas (cultura temporária, pastagem, silvicultura); (iii) área de vegetação natural (florestal), (iv) água (corpo d'água continental) e (v) outras áreas (área descoberta).

### Hemerobia

Trata-se de um indicador de estrutura da paisagem que reflete a naturalidade. Para tanto, é adotado um gradiente de influência antrópica baseada na literatura (Quadro 1). Conforme realizado por Silva et al. (2021), os usos da terra foram reclassificados no ArcGIS 10.2, considerando a interferência humana nos ecótopos da paisagem.

**Quadro 1. Graus de hemerobia e a sua respectiva descrição**

Graus	Naturalidade	Descrição
Ahemerobiótico	Natural	Sistema natural que apresenta nenhuma alteração ou mínima alteração em decorrência de processos globais, apresenta grande capacidade de autorregulação, bem como sofre nenhuma/baixa interferência antrópica, além de apresentar nenhuma ou baixíssima dependência tecnológica.
Oligohemerobiótico	Próximo ao Natural	Sistema semelhante ao anterior, já que a estrutura e o metabolismo dos ecossistemas demonstram padrões esperados, entretanto, existe um maior grau de influência antrópica e dependência tecnológica.
Mesohemerobiótico	Seminatural	Não é observada a ocorrência dos ecossistemas naturais característicos, novos ecossistemas foram formados em função das ações humanas, o que levou a uma artificialização parcial, dependência tecnológica baixa e uma capacidade de autorregulação limitada
Euhemerobiótico	Alterado	Sistema marcado pelo predomínio de atividades ligadas ao agronegócio e grande modificação, apresentam dependência do manejo humano, forte dependência tecnológica, moderada a forte interferência antrópica e comprometimento de sua capacidade de autorregulação.
Polihemerobiótico	Cultural	Sistema composto por áreas de transição entre o rural e o urbano, regiões periurbanas e áreas de mineração. Nota-se a redução dos ambientes naturais, forte dependência de manejo e influência antrópica, além de grande dependência tecnológica.
Metahemerobiótico	Artificial	Caracterizado por ser artificial, produzido pelos seres humanos, selamento do solo > 30% e completa destruição das biocenoses. Está sujeito a forte interferência antrópica, apresenta uma alta dependência tecnológica e é dependente do manejo humano.

Fonte: Blume e Sukopp (1976), Rüdissler et al. (2012), Walz e Stein (2014), Silva et al. (2021)

### Abordagem Qualitativa

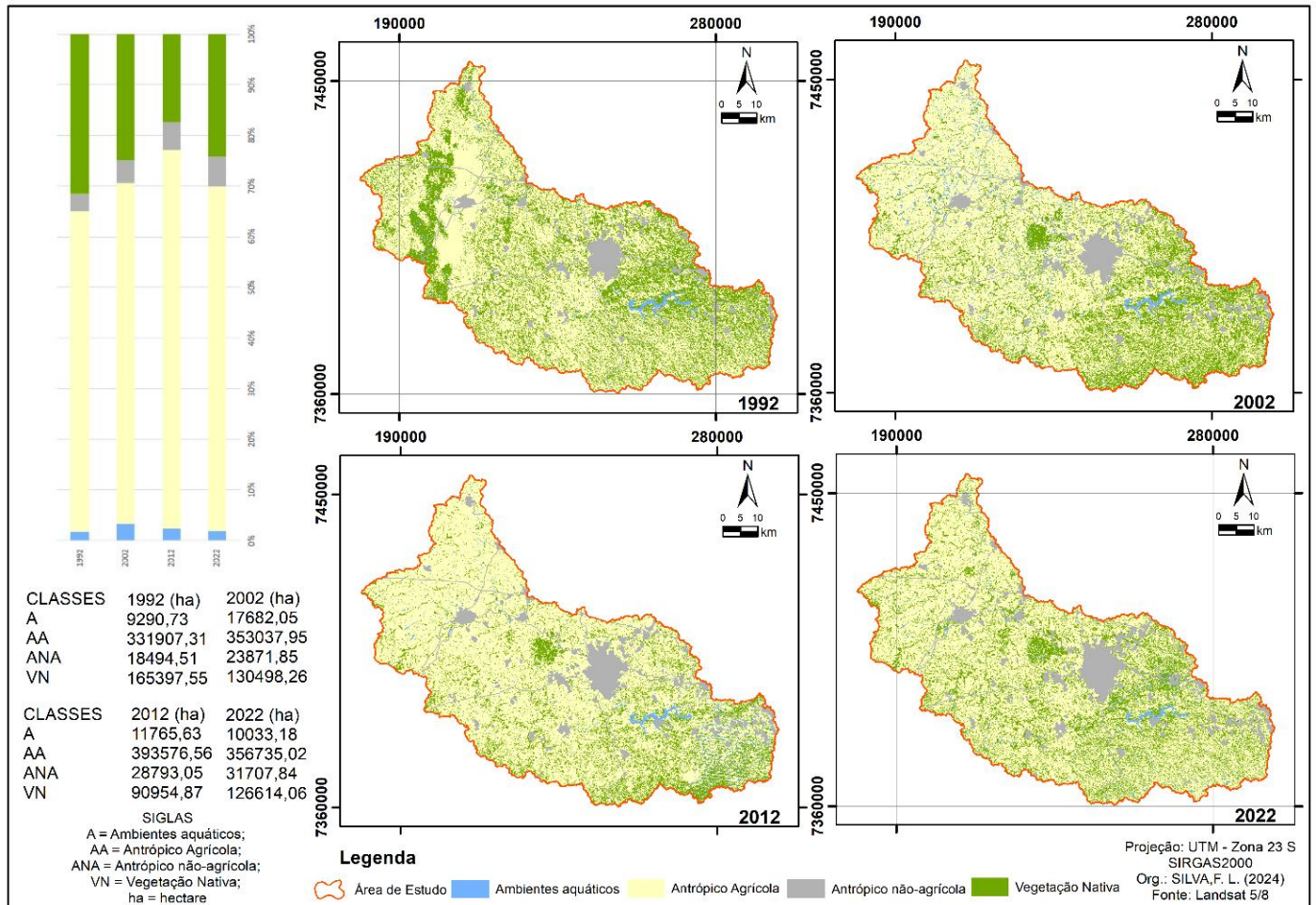
Uma abordagem qualitativa foi adotada, visando qualificar os achados quantitativos. A interdependência entre o sistema ecológico e o sistema socioeconômico foi abordado por meio da descrição dos elementos que interferem de forma direta na relação existentes entre tais dimensões, cuja identificação foi possível mediante a construção de uma linha do tempo, que abrangeu aspectos socioeconômicos e ambientais (Niedertscheider et al., 2012), considerando aspectos de governança (relações internacionais e políticas estaduais e nacionais). Em caráter complementar, foram obtidos dados do Produto Interno Bruto (PIB), taxa de urbanização, população (rural e urbana). Semelhante a Abreu e Tornello (2018), realizamos o levantamento de dados dos municípios que possuem sede inserida na área de estudo: Alambari, Alumínio, Araçoiaba da Serra, Boituva, Capela do Alto, Cerquilha, Cesário Lange, Ibiúna, Iperó, Jumarim, Laranjal Paulista, Mairinque, Piedade, Quadra, Salto de Pirapora, Sarapuí, Sorocaba, Tatuí, Vargem Grande Paulista e Votorantim. As informações foram coletadas na Fundação Seade (2024) do Estado de São Paulo, entre os anos de 2000 e 2021. No caso dos dados populacionais, foi utilizada a previsão linear do Excel, pois estavam disponíveis apenas para os anos de 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2025.

### Resultados e Discussão

Na Figura 2, é possível observar a dinâmica das classes de uso e ocupação da terra na BRS. Em relação a classe água, observa-se o maior valor em 2002 (3,36%), enquanto nos demais períodos manteve-se relativamente constante e com baixa variação. Se tratando da classe agrícola, observa-se a presença em toda a área de estudo, especialmente no curso baixo,



demonstrando maior valor em termos de área no ano de 2012 (74,96%). Quanto à classe não-agrícola, estão presentes no curso médio e baixo da bacia, apresentam tendência de aumento ao longo dos anos, praticamente tendo dobrado de área (1992 = 3,52%; 2022 = 6,04%). Por sua vez, a vegetação nativa demonstra-se fragmentada por toda a BRS, sendo suprimida com maior intensidade no curso baixo. Nota-se uma redução dos remanescentes florestais entre 1992 e 2022, passando de 31,5% para 24,11%, apesar da melhora entre 2012 e 2022.



**Figura 2: Classes de uso e ocupação da terra na BRS. Onde: A = ambientes aquáticos, AA = antrópico agrícola, ANA = antrópico não-agrícola, VN = vegetação nativa, ha = hectare.**

Cabe salientar que, na área de estudo, tem se observado a ocorrência de precipitação abaixo do esperado (CETESB, 2023). Tal situação pode estar relacionada com as variações no volume de chuva, remoção da vegetação nativa e mudanças climáticas.

Na literatura, entre o período de 2000 e 2015, foi constatada a expansão da cultura canavieira no Estado de São Paulo, através da substituição de outras atividades do setor primário (i.e. pastagens, culturas permanentes e outras culturas temporárias), afetando a matriz de uso da terra (Caldarelli; Gilio, 2018). Logo, as variações observadas podem estar relacionadas com a mudança da matriz de uso da terra e influência econômica.

Ademais, é conhecido que políticas econômicas pautadas na expansão/melhoria da malha viária e parques industriais funcionam como diretores de crescimento populacional, o que implica na expansão das manchas urbanas (Daunt; Sanna, 2019). A expansão das áreas urbanizadas pode estar atrelada com estes processos, já que por ser uma área metropolitana, apresenta uma grande densidade populacional. As bacias hidrográficas da RMS são diversas em termos de indicadores socioeconômicos e ambientais, os cursos alto e médio da BRS são mais urbanizados e adensadas (Leinfelder et al., 2023).

Quanto a vegetação nativa, no Estado de São Paulo, foi observada um crescimento líquido de 4,9% entre 2010 e 2020 (São Paulo, 2020). Por outro lado, as oscilações e perda de vegetação nativa observadas entre 1992 e 2012 podem estar associadas com a expansão de atividades agrícolas e exploração da terra (Ronquim et al., 2024). A cobertura vegetal encontrada em 2022 na BRS é próxima da observada na UGRHI Sorocaba - Médio Tietê (23,4%) em 2020 (São Paulo, 2020).

Foram identificados apenas três graus de hemerobia na área de estudo: (i) oligohemerobiótico, (ii) euhemerobiótico e (iii) metahemerobiótico (Figura 3). A classe mais representativa ao longo do tempo é euhemerobiótico, correspondente a mais de 60% do território é caracterizado pelo predomínio de atividades agropecuárias, forte dependência tecnológica e humana, além do comprometimento da capacidade de regulação e acentuada interferência dos seres humanos.

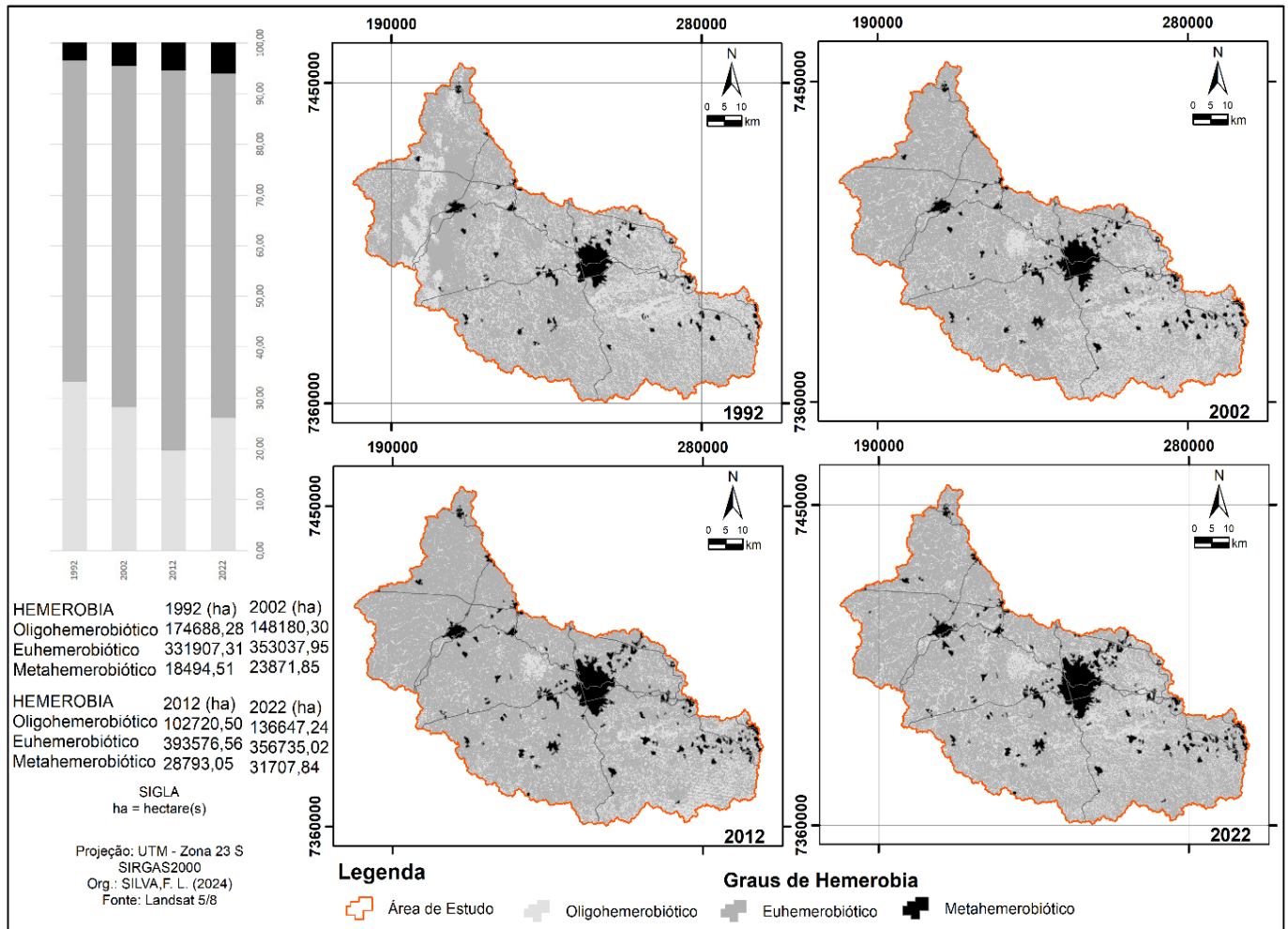




Na sequência, nota-se o predomínio de unidades oligohemerobiótico que são correspondentes aos fragmentos de vegetação nativa e ambientes aquáticos presentes no território, caracterizados por sofrer alguma interferência antrópica e dependência tecnológica. Ao longo do tempo, estas unidades corresponderam a menos de 33,5% da BRS.

Por fim, o grau metahemerobiótico é correspondente a unidades da paisagem marcadas pela presença de elementos artificiais e impermeabilização, bem como forte dependência tecnológica, forte interferência humana e ausência de autorregulação. Estas áreas correspondem às manchas urbanas dos municípios, sendo a maior observada a cidade de Sorocaba - SP, no curso médio da BRS.

Ao analisar os graus de hemerobia no período avaliado (1992 - 2022), é evidente a expansão das áreas com o grau metahemerobiótico. Apesar da ligeira queda, as unidades classificadas como euhemerobióticas predominam na paisagem, indicando forte presença de áreas atreladas ao agronegócio. As unidades com grau de hemerobia oligohemerobiótico sofreram uma redução, apesar de uma melhora entre os anos de 2012 e 2022.



**Figura 3: Graus de hemerobia e a paisagem da BRS.**

A utilização da hemerobia na análise de bacias hidrográficas já foi reportada na literatura em regiões urbanizadas brasileiras (Mezzomo, Gasparini, 2016, Silva et al., 2017, Silva et al., 2021, Couto et al., 2022), refletindo a dependência tecnológica e interferência antrópica, além da importância dos espaços naturais para a manutenção do bem-estar humano. Neste estudo, de forma similar, nota-se o predomínio de áreas com maiores graus de hemerobia, demonstrando a alteração dos ecossistemas nativos, o que demanda ações de manejo almejando a manutenção dos serviços ecossistêmicos e homeostase da bacia hidrográfica. Nas regiões metropolitanas, os sistemas urbanos interagem fortemente com os ecossistemas existentes na área, levando a redução dos serviços ecossistêmicos conforme ocorre a intensificação da urbanização (Pickett et al., 2001, Peng et al., 2017).

A abordagem socioecológica é apresentada na Figura 4, compreende o período entre 1992 e 2022, salvo os dados socioeconômicos. O PIB apresenta uma tendência de aumento entre os anos de 2002 e 2021, porém oscilações foram observadas em 2009, 2016, 2018 e 2019. Este indicador econômico passou de R\$ 12.379.799.144,00 (em 2002) para R\$ 80.462.223.270,00, em 2021. Em relação a população, apresenta tendência de crescimento ao longo do tempo, sendo que a grande maioria reside nas áreas urbanas quando comparada aos residentes nas áreas rurais. A taxa de urbanização dos municípios, entre os anos de





2000 e 2022, passou de 74,43% para 77,07%. Nota-se um fenômeno de expansão da atividade industrial no interior paulista (100 km da capital), implicando na formação de uma rede urbana complexa e marcada pela densidade técnica e circulação de pessoas, situação que se acelerou com a construção da rodovia Santos Dumont (década de 1990), acelerando a expansão demográfica entre 1991 e 2016 (Santos Jr, Proença, 2020). Devido a infraestrutura existente, a forte influência de atividades industriais e agrícolas na economia dos municípios da região (Santana-Chaves et al., 2021), as atividades econômicas acabam se desenvolvendo e ocorre a logística necessária para o impulsionamento.

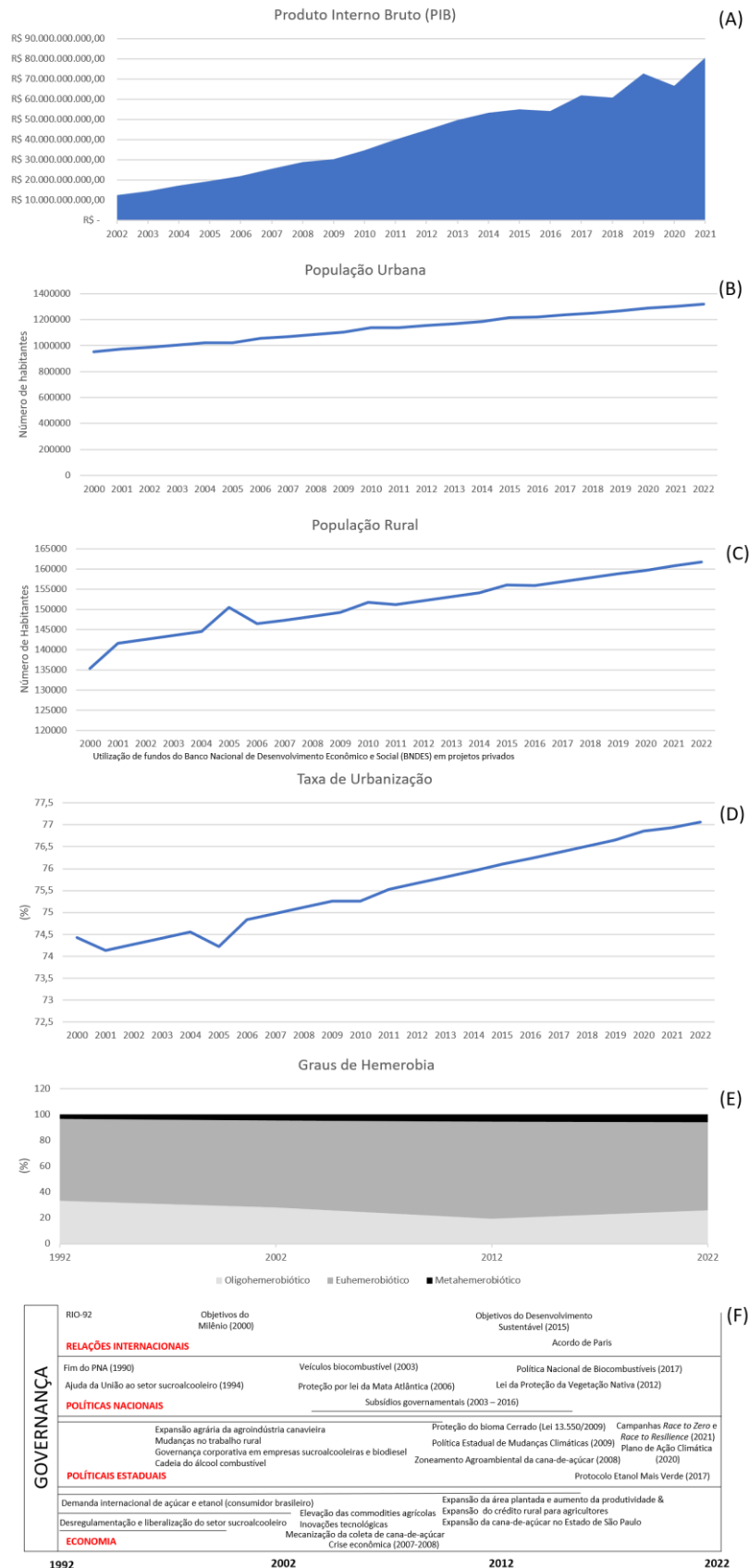
Considerando os graus de hemerobia (1992 - 2022) e a dinâmica da região alguns apontamentos podem ser realizados. O aumento de áreas metahemerobióticas é acompanhado do aumento populacional e taxa de urbanização. A RMS passou por mudanças em seus municípios (mais trabalhadores do setor terciário), além de grande crescimento populacional entre os anos 2000 e 2010, demonstrando uma dinâmica urbano-regional (Pasternak, Bógus, 2019).

Em relação ao PIB, nota-se que o aumento coincide com a redução da vegetação nativa (1992 - 2012) e várias políticas e estratégias governamentais. Apesar da influência de internacional da RIO-92 e os Objetivos do Milênio, a parte econômica pode ter influenciado neste sentido, visto a crescente demanda (inter)nacional por açúcar e etanol, a desregulamentação do setor sucroalcooleiro, o surgimento de inovações tecnológicas, a mecanização da coleta de cana-de-açúcar e a elevação dos preços das *commodities* agrícolas. Nacionalmente, ocorre o fim do Programa Nacional do Alcool – PNA (década de 1990), a provisão de auxílio da União para o setor sucroalcooleiro nos anos 2000, a venda de veículos biocombustíveis (2003) e subsídios governamentais ao longo do tempo. Quanto a políticas, merece destaque a proteção da Mata Atlântica - Lei nº 11.428/2006 (Brasil, 2006) e a Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012), que substituiu o Código Florestal de 1965 e dispõe sobre a vegetação nativa. Ao nível de Estado de São Paulo, ocorreu a expansão da agroindústria canavieira, modificações no setor agrícola, mudanças no trabalho rural, a elaboração de um Zoneamento Agroambiental da cana-de-açúcar (São Paulo, 2008), além de duas políticas importantes: a proteção do bioma Cerrado através da Lei Estadual 13.550/2009 (São Paulo, 2009a) e a Política Estadual de Mudanças Climáticas (São Paulo, 2009b).

Como resultados de políticas governamentais atreladas o sistema de produção e inovação sucroalcooleiro, inicia-se o motor de transformação que desencadeia transformações na produção agroindustrial a partir da década de 1930, incentivado pelo PNA, na década de 1970 (Dunham et al., 2011). Por ser rentável, a produção de etanol é economicamente viável e incentiva a produção canavieira no Estado de São Paulo, que é um grande produtor nacional, levando a substituição de culturas agrícolas e avanço dos canaviais no, ocasionando a estruturação do sistema de produção (Dunham et al., 2011; Camara, Caldarelli, 2016; Carvalho et al., 2023).

A substituição do Código Florestal pela Lei de Proteção da Vegetação Nativa foi uma decisão política justificada pela redução de irregularidades, entretanto, o atendimento a atual legislação vigente não difere do observado previamente e nota-se a permissividade acerca das áreas consolidadas e a incompatibilidade com regiões densamente povoadas (Issii et al., 2024). No caso do cenário observado, o incremento da vegetação pode estar relacionado com a influência dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e o Acordo de Paris (United Nations, 2024) nas agendas governamentais, ainda mais que o Brasil é um país signatário e deve se comprometer na concretização das metas. Cabe salientar que, os ODS e o Acordo de Paris influenciaram a Política Nacional de Biocombustíveis (Brasil, 2017) e as Campanhas *Race to Zero* e *Race to Resilience* (São Paulo, 2021), além do Plano de Ação Climática do Estado de São Paulo (São Paulo, 2024). De maneira geral, estes dispositivos normativos visam a sustentabilidade, a adaptação climática, gestão territorial e preocupação com a matriz energética, através da preservação ambiental e uso racional do território. Sabe-se que, a regularização de propriedades rurais também possui relação com a obtenção de crédito junto aos órgãos públicos.

A hemerobia e a análise socioecológica contribuíram para verificar a situação da BRS, além de contribuírem para o entendimento dos principais mecanismos associados com as mudanças dos usos da terra observadas na área de estudo, bem como traz implicações para a gestão de áreas metropolitanas.



**Figura 3: Dinâmica temporal do PIB (A), população urbana (B), população rural (C), taxa de urbanização (D), graus de hemerobia (E) e governança (F).**

Baseado em: Dunham et al. (2011), Camara e Caldarelli (2016), Carvalho et al. (2023), Instituto de Economia Agrícola (2024) e Seade (2024)



### Conclusão

Neste estudo foi empregado o indicador hemerobia para a análise de uma bacia hidrográfica de região metropolitana, mediante uso de uma abordagem socioecológica baseada na composição da paisagem, dados populacionais, PIB, taxa de urbanização e aspectos governamentais. No caso da BRS (1992 - 2022), inserida na RMS, nota-se que a principal classe de uso da terra corresponde ao antrópico agrícola (> 63% do território). A vegetação nativa apresentou uma redução entre 1992 e 2012, porém na última década vem apresentando recuperação. Como reflexo, predominam na paisagem ecótopos que refletem grande dependência do manejo humano, dependência tecnológica e comprometimento na capacidade de autorregulação (i.e unidades euhemerobióticas e metahemerobióticas), marcadas por alterações no funcionamento e metabolismo dos ecossistemas, bem como comprometem a continuidade de provisão dos serviços ecossistêmicos. A análise socioecológica possibilitou o estabelecimento de relações entre o aumento do PIB, crescimento populacional, aumento das atividades industriais e das taxas de urbanização da BRS. Outrossim, tal análise possibilitou a vinculação da perda de vegetação nativa com a expansão do setor sucroalcooleiro a agroindústrias na região, possíveis em função de políticas governamentais estaduais e nacionais, o que levou a valorização da *commodity* agrícola. Por outro lado, a forte agenda ambiental internacional, pautada nos ODS e Acordo de Paris, tem influenciado os dispositivos nacionais e contribuído para a recuperação da vegetação nativa. Diante do exposto, recomenda-se aos gestores da RMS, a adoção de estratégias que contribuam para a implementação de práticas agrícolas ambientalmente amigáveis, a continuidade da recuperação e conexão dos fragmentos ambientais, além do estabelecimento de estratégias que visem a manutenção e funcionamento dos sistemas naturais, contribuindo para o incremento de unidades com menor grau de hemerobia. A abordagem se mostrou útil para a análise de bacias hidrográficas inseridas em regiões metropolitanas.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (Bolsa PIBIT/CNPq UFSCar - Processo: 139085/2023-8) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

### Referências Bibliográficas

- Abreu, M. C.; Tonello, K. C.; 2018. Disponibilidade e demanda hídrica na bacia do rio Sorocaba, Brasil: um alerta à gestão dos recursos hídricos. *Sociedade & Natureza*, 30(3), p. 209-232.
- Almeida, D.; Andre, M.; Scariot, E. C.; Fushita, A. T.; Santos, J. E.; Bogaert, J.; 2018. Temporal change of Distance to Nature index for anthropogenic influence monitoring in a protected area and its buffer zone. *Ecological indicators*, v. 91, p. 189-194.
- Alves, R. N.; Mariz Jr; C. F.; Melo Alves; M. K.; Silva, A. S. X.; Zanardi-Lamardo, E.; Carvalho, P. S.; 2023. Zebrafish as a biological model for assessing water quality along tropical hydrographic river basins in Northeast Brazil. *Ecotoxicology*, v. 32(7), p. 908-925.
- Blume, P.; Sukopp, H.; 1976. Ökologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen. - *Schriftenr. f. Vegetationsk.* v. 10, p. 75-89.
- Bodo, T.; 2019. Rapid urbanization: theories, causes, consequences and coping strategies. *Annals of Geographical Studies*, v. 2, n. 3, p. 32-45.
- Brasil; 2006. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/11428.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/11428.htm)
- Brasil; 2012. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)
- Caldarelli, C. E.; Gilio, L.; 2018. Expansion of the sugarcane industry and its effects on land use in São Paulo: Analysis from 2000 through 2015. *Land Use Policy*, v. 76, p. 264-274.
- Camara, M. R. G. D.; Caldarelli, C. E.; 2016. Expansão canavieira e o uso da terra no estado de São Paulo. *Estudos Avançados*, v. 30, p. 93-116.
- Carvalho, L.; Bueno, R. C.; Carvalho, M.; Favoreto, A. L.; Godoy, A. F.; 2013. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. *Enciclopedia Biosfera*, v. 9(16), p. 530-543.
- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo); 2023. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2022. CETESB, São Paulo, 299p.
- Comitê Sorocaba Médio Tietê. Relatório de situação dos recursos hídricos 2013. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/deliberation/%5C6205/rs-06-01-13.pdf>.





- Comitê Sorocaba Médio Tietê. Relatório de situação dos recursos hídricos na bacia SMT 2023-2022. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/cbhsmt/documentos>.
- Couto, J. P. B.; Nucci, J. C.; Liberti, E.; 2022. Hemerobia como indicador de qualidade ambiental na Bacia do Ribeirão dos Padilhas, Curitiba-Paraná-Brasil. *Acta Geográfica*, v. 16(41), p. 189-210.
- Daunt, A. B. P.; Silva, T. S. F.; 2019. Beyond the park and city dichotomy: Land use and land cover change in the northern coast of São Paulo (Brazil). *Landscape and Urban Planning*, v. 189, 352–361.
- Dunham, F. B.; Bomtempo, J. V.; Fleck, D. L.; 2011. A estruturação do sistema de produção e inovação sucroalcooleiro como base para o Proálcool. *Revista Brasileira de Inovação*, 10(1), p. 35-72.
- Flotemersch, J. E.; Leibowitz, S. G.; Hill, R. A.; Stoddard, J. L.; Thoms, M. C.; Tharme, R. E.; 2016. A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *River Research and Applications*, v. 32(7), 1654-1671.
- Fundação Sead. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Disponível em: <https://www.seade.gov.br>.
- Instituto de Economia Agrícola; 2024. Informações econômicas. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/arquivoAN2.php?codTipo=16&ano=2001>
- Ipea (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada); 2017. Atlas do desenvolvimento humano nas regiões metropolitanas brasileiras. Brasília: IPEA: PNUD: FJP, 54p.
- Issii, T. M.; Pereira-Silva, E. F. L.; Galvanin, E. A. S.; Attanasio Jr, M. R.; Hardt, E.; 2024. Ecological effects of changes on Brazilian native vegetation protection law in an urban area. *Environment, Development and Sustainability*, v. 26, p. 1371–1389.
- Leinfelder, F. M. S. U.; Correa, C. J. P.; Leal, M. S.; Tonello, K. C.; 2023. Indicadores socioambientais na gestão integrada das sub bacias da região metropolitana de Sorocaba, SP. *Sociedade & Natureza*, v. 31, p. e38708.
- Mezzomo, M. M.; Gasparini, G. S.; 2016. Estudo da alteração antrópica (hemerobia) da bacia hidrográfica do rio Mourão - PR. *Ra'e Ga*, v. 36, p. 280-301.
- OECD; 2024. Metropolitan areas in the world. Disponível em: <https://www.oecd.org/regional/regional-statistics/metropolitan-areas.htm>
- Oliveira, T. G.; 2019. Uma análise dos reflexos deixados pela degradação ambiental dos períodos econômicos do século XVIII e XIX em Silva Jardim, RJ. *Revista Tamoios*, v. 15(2), p. 100-111.
- Pasternak, S.; Bógus, L. M.; 2019. Macrometrópole paulista: estrutura sócio-ocupacional e tipologia dos municípios-Mudanças na primeira década dos anos 2000. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 21, p. 431-450.
- Peng, J.; Tian, L.; Liu, Y.; Zhao, M.; Wu, J.; 2017. Ecosystem services response to urbanization in metropolitan areas: Thresholds identification. *Science of the Total Environment*, v. 607, p. 706-714.
- Pickett, S. T.; Cadenasso, M. L.; Grove, J. M.; Nilon, C. H.; Pouyat, R. V.; Zipperer, W. C.; Costanza, R.; 2001. Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual review of ecology and systematics*, v. 32(1), p. 127-157.
- Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado. Região Mteropolitana de Sorocaba (RMS). Disponível em: [https://rms.pdui.sp.gov.br/?page\\_id=127](https://rms.pdui.sp.gov.br/?page_id=127)
- Ronquim, C. C.; Rodrigues, C. A. G.; Fonseca, M. F.; Nogueira Júnior, L. R.; 2024. Dynamics of the natural regeneration of forest remnants in the state of São Paulo, Brazil. *Sustainability in Debate*, v. 15, p. 204-205
- Rüdisser, J.; Tasser, E.; Tappeiner, U.; 2012. Distance to nature - a new biodiversity relevant environmental indicator set at the landscape level. *Ecological Indicators*, 15(1), p. 208-216.
- Santana-Chaves, I. M.; Leonel, A. L., Anjos, L. A. P.; Momm, S.; Catelan, M. J.; Frey, K.; 2021. Apontamentos sobre governança e planejamento na Região Metropolitana de Sorocaba (São Paulo-Brasil). *Cadernos de Campo: Revista de Ciências Sociais*, (31), 177-206.



Santos Jr, W. R.; Proença, A. D.; 2020. A infraestrutura rodoviária e a urbanização regional contemporânea no território paulista: o caso do corredor urbano Campinas-Sorocaba, Brasil. EURE (Santiago), v. 46(138), p. 235-256.

São Paulo; 2008. Zoneamento agroambiental para o setor sucroalcooleiro - 2008. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/etanolverde/zoneamento-agroambiental/>

São Paulo; 2009a. Lei Estadual nº 13.550, de 02 de junho de 2009. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/original-lei-13550-02.06.2009.html>

São Paulo; 2009b. Lei nº 13.798, de 09 de novembro de 2009. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13798-09.11.2009.html>

São Paulo. Lei Complementar nº 1.241, de 08 de maio de 2014. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei.complementar/2014/lei.complementar-1241-08.05.2014.html>

São Paulo; 2020. Inventário Florestal do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2020/07/inventarioflorestal2020.pdf>

São Paulo; 2021. Decreto nº 65.881, de 20 de julho de 2021. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2021/decreto-65881-20.07.2021.html>

São Paulo; 2024. Plano de Ação Climática e desenvolvimento sustentável para São Paulo. Disponível em: [https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2022/11/pac-sp-2050-final-site\\_30\\_12\\_22.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2022/11/pac-sp-2050-final-site_30_12_22.pdf)

Silva, F. L.; Fushita, Â. T.; Cunha-Santino, M. B.; Bianchini Jr, I.; 2021. Estudo limnológico e hemerobia de uma microbacia hidrográfica urbana. Formação, v. 28(53), p. 765 -782.

Silva, F. L.; Silva, G. C.; Fushita, Â. T.; Bianchini Junior, I.; Cunha-Santino, M. B.; 2017. Qualidade das águas e hemerobia da bacia do córrego do Mineirinho, São Carlos, SP. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10(6), p. 1921-1933.

United Nations; 2024. The 17 goals. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>

Walz, U.; Stein, C.; 2014. Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. Journal for Nature Conservation, 22(3), p. 279-289.



## SEGURANÇA DO TURISTA EM ÁREAS PROTEGIDAS: O CASO DO PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA, MINAS GERAIS, BRASIL

1Cezar Henrique Barra Rocha, 2Wesley Badoco do Vale, 3Carla Medeiros Langoni, 4Olívia Rosa Gomes, 5Meir de Jesus Gomes 6Diogo Parreira Lapa, 7Rafael Lima Hensel, 8Crislaine da Silva Ramos

1 Universidade Federal de Juiz de Fora e-mail: [cezar.barra@ufff.br](mailto:cezar.barra@ufff.br); 2 UFJF, e-mail: [wesley.vale@engenharia.ufff.br](mailto:wesley.vale@engenharia.ufff.br); 3 UFJF, e-mail: [carla.langoni@engenharia.ufff.br](mailto:carla.langoni@engenharia.ufff.br); 4 UFJF, e-mail: [olivia.rosa@engenharia.ufff.br](mailto:olivia.rosa@engenharia.ufff.br); 5 UFJF, e-mail: [meir.gomes@estudante.ufff.br](mailto:meir.gomes@estudante.ufff.br); 6 UFJF, e-mail: [diogo.parreira@ich.ufff.br](mailto:diogo.parreira@ich.ufff.br); 7 UFJF, e-mail: [rafaellima.hensel@estudante.ufff.br](mailto:rafaellima.hensel@estudante.ufff.br); 8 UFJF, e-mail: [crislaine.amos@estudante.ufff.br](mailto:crislaine.amos@estudante.ufff.br)

**Palavras-chave:** Riscos em áreas naturais; Ecoturismo; Parque Estadual de Ibitipoca.

### Resumo

Sempre que chegamos numa área protegida, existe muita expectativa de explorar os atrativos e a ansiedade pode prejudicar essa experiência. Material informativo como mapas com as distâncias, perfis e graus de dificuldade de cada trilha/atrativo podem apoiar as decisões do visitante. Placas também podem cumprir esse papel. Em algumas situações, existem vídeos institucionais que explicam as possibilidades. O fato é que o turista e a estrutura do local precisam estar preparados para não frustrar essa experiência. Há necessidade de dispositivos físicos que evitem acidentes, além de um bom sistema de comunicação que funcione no caso de alguma eventualidade. O objetivo desse artigo é propor medidas mitigadoras para evitar acidentes utilizando como estudo de caso o Parque Estadual do Ibitipoca (PEIb) em Minas Gerais, Brasil. A metodologia utilizada baseou-se em revisão bibliográfica e trabalhos de campo em novembro de 2022 procurando identificar os locais que ofereciam algum tipo de risco aos visitantes. O Circuito das Águas é o mais frequentado devido à proximidade com a Portaria e existência de um restaurante. Foram percorridas todas as trilhas do Parque registrando com GPS de Navegação trechos com acessibilidade ruim, erosão, alagamentos, raízes expostas, falta de cobertura vegetal e principalmente locais com risco geológico devido a possíveis movimentos de massa como quedas de blocos e escorregamentos. Essa última ocorrência é a mais preocupante devido ao relevo acidentado do Paredão de Santo Antônio e de diversas cachoeiras contidas no Parque. Existem registros de acidentes, mas não existe uma política de prevenção. Frequentemente são encontrados turistas sentados na beirada desse Paredão rochoso ou fazendo fotografias, colocando suas vidas em risco. Turistas que praticam esportes radicais costumam usar o termo “direito ao risco”. Entretanto, crianças e idosos não podem ficar expostos a situações que podem causar prejuízos a sua integridade física, talvez induzidos por falta de dispositivos de proteção. Como resultados do ensaio em 2022, antes da entrada da Concessão no PEIb pela Empresa Parquetur, foram encontrados trechos que apresentam as ocorrências antes citadas, sendo algumas mais frequentes como os alagamentos, que prejudicam o deslocamento adequado do visitante. Em todo o trecho de acesso a Cachoeira dos Macacos pelo Paredão de Santo Antônio, foram encontradas proteções como barreiras físicas apenas nos mirantes. Recomenda-se o manejo de todas essas ocorrências de forma a mitigar os riscos aos turistas. Em vários trechos de acesso às cachoeiras e em todo o perímetro do Paredão de Santo Antônio é recomendada a colocação de guarda-corpo a uma distância de segurança da beirada, impedindo que o visitante chegue nesse extremo. Outro agravante é que o quartzito sofre com ação das intempéries, desprendendo-se placas inteiras que podem surpreender quem está sobre essas placas e também as pessoas que estiverem abaixo dentro do rio do Salto, nos diversos trechos de praias e lagos propícios ao banho. A implantação de sistema de câmeras e de comunicação podem auxiliar num eventual socorro às vítimas. Há necessidade de armazenamento de soro anti-otídico e a presença de uma equipe de primeiros socorros com instrumentos como desfibriladores na sede do PEIb. A distância de Lima Duarte e Juiz de Fora inviabiliza o atendimento de casos mais urgentes, principalmente devido à precariedade das estradas para deslocamento com veículos dentro do Parque. Se antecipar a essas ocorrências através de planejamento de uma estrutura mínima de atendimento de saúde, além do monitoramento e manejo frequente das trilhas e atrativos, evitarão problemas para a Concessionária e para o Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais.

### Introdução

Entende-se como turismo de natureza toda atividade turística realizada em ambientes naturais (sejam eles protegidos ou não), onde a paisagem é tida como principal atrativo, e essa prática acontece independentemente das estruturas formais nela existentes. O interesse do mercado é o que mais movimentou o turismo de natureza, e ele ocorre sem que haja necessariamente uma preocupação ambiental e social, expõe Martins e Da Silva (2018).

Pires (1998) vai dizer que a partir do estabelecimento dessa condição do turismo voltada para a natureza, surgem outros condicionantes para a prática da atividade como é o caso da educação ambiental, a participação das comunidades locais, do mínimo impacto e da sustentabilidade, e a partir dessa prática, esse turismo na natureza passa a se tornar ecoturismo. Então, pode-se dizer que “ecoturismo supõe, antes de tudo, o turismo na natureza, a natureza elevada à condição de motivadora primordial da iniciativa turística, em seu estado natural sem alterações humanas significativas” (PIRES, 1998).

Martins e Da Silva (2018) também complementam esses conceitos dizendo que o ecoturismo obrigatoriamente envolve os princípios conservacionistas e sustentáveis, incluindo aspectos relacionados à educação ambiental para contribuir na conservação e preservação das áreas naturais onde ocorre a atividade turística. O turismo de natureza é delimitado a partir da





motivação apenas “pelos aspectos da natureza (seja para descansar, retornar às origens, contemplar e/ou realizar atividades que gerem adrenalina, risco ou apenas sejam realizadas em meio natural) e que certamente geram determinados impactos ambientais e sociais que nem sempre são percebidos ou considerados pelos turistas e pelo mercado” (MARTINS E DA SILVA, 2018).

Neste enquadramento, é possível observar áreas naturais sendo cada vez mais utilizadas na realização de atividades de lazer, educação ambiental e turismo. As trilhas, por exemplo, destacam-se como principais instrumentos de uso público nos parques, pois proporcionam um contato direto entre o homem e a natureza, permitindo a interpretação de aspectos como clima, solo, relevo, vegetação e ecossistemas. Nesse contexto, o ecoturismo e o turismo ecológico surgem como atividades fortemente associadas ao uso público das Unidades de Conservação (UCs), sendo inicialmente consideradas atividades “limpas”, portanto, com impacto ambiental reduzido. Contudo, os impactos negativos do uso público dentro de Unidades de Conservação (UCs) estão associados à massificação da atividade turística sem o devido planejamento, resultando na queda dos índices de biodiversidade e na degradação do patrimônio ambiental, relata Silva (2020).

O território brasileiro se destaca por sua rica geodiversidade e biodiversidade e nesse contexto o coloca como o país mais atrativo para as atividades de ecoturismo no mundo, ocupando o 1º lugar no ranking mundial segundo uma pesquisa feita pela revista internacional Forbes Advisor em 2023. O país recebeu uma nota de 94,9 de 100 e os critérios avaliativos foram justamente com base no número de espécies animais e vegetais por 10 km<sup>2</sup> encontrados no país. Além disso, considerou-se a percentagem da massa terrestre do país protegida e o número de Sítios do Patrimônio Natural da UNESCO.

O parque por sua vez, possui muitas visitas durante o ano, de acordo com um balanço feito pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA) em 2023 o Parque do Ibitipoca foi a 4ª Unidade de Conservação mais visitada do Estado de Minas Gerais, foram 89.469 visitantes contabilizados para o ano. Já em 2024, já foram 30.665 visitas registradas até o mês de abril, ocupando até o momento a 3ª posição de Unidade de conservação do estado de Minas Gerais com mais visitantes.

E pensando nesse contexto de grande atratividade turística para o PEIb é que a atenção para a segurança dos turistas durante a visita do parque deve ser planejada, e as atividades de gestão de riscos devem ser efetivadas com mais rigor. E para além da segurança dos visitantes, aspectos como a fragilidade ambiental do parque também é um aspecto a se atentar sobre a capacidade de tolerância que aquela área tem frente às atividades antrópicas exercidas no local. A falta de planejamento e de controle sobre o número de visitantes, assim como a falta de orientação ao público, tem ocasionado degradação ambiental devido ao uso intenso das trilhas (FONTOURA & SIMIQUELI, 2006; PECCATIELLO, 2007; ROCHA *et al.*, 2006a; ROCHA *et al.*, 2006b; ROCHA *et al.*, 2007a; VIANA, 2008).

Contextualizando, o Parque Estadual do Ibitipoca é formado pelos circuitos das Águas, Pico do Pião e Janela do Céu, conforme mostra a Figura 1.



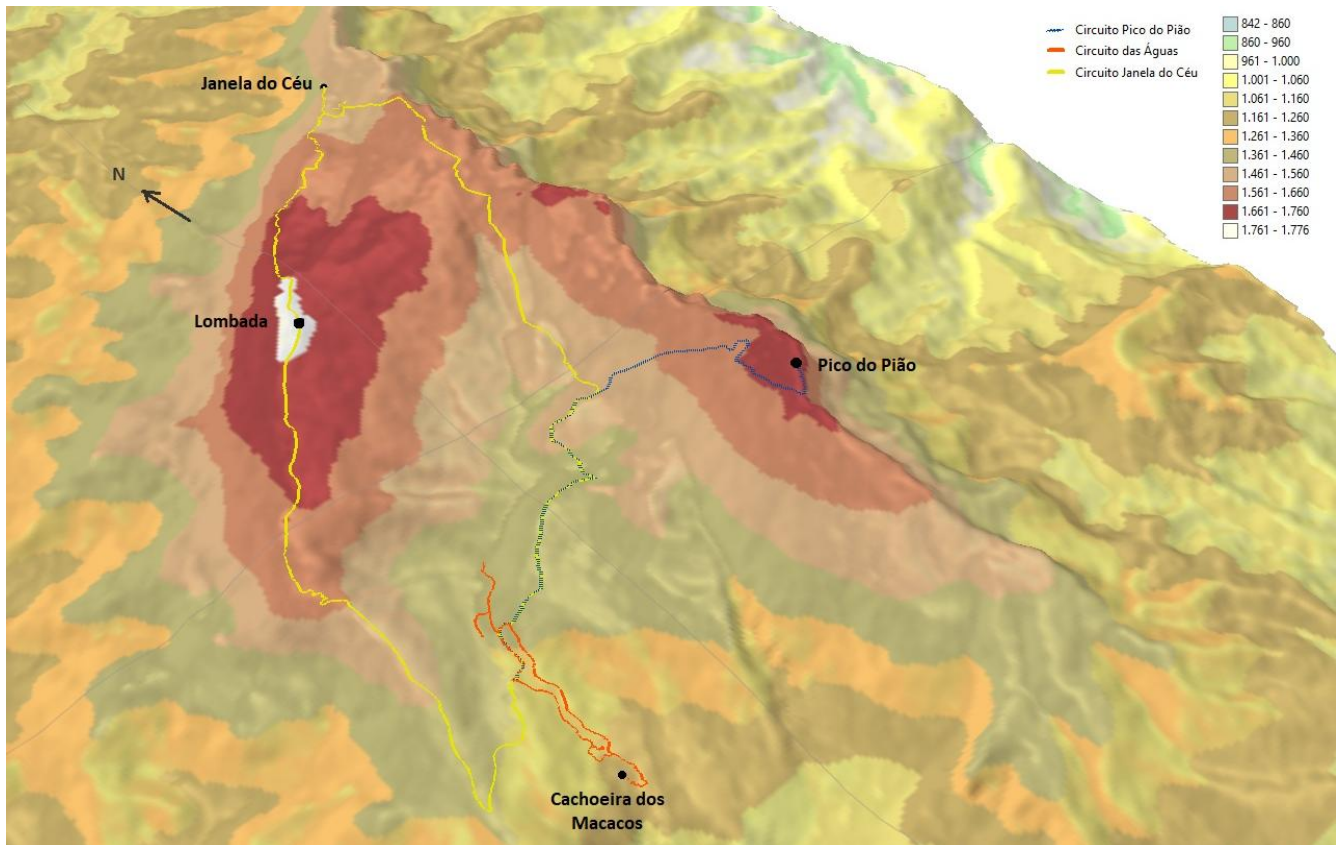
**Figura 1: Circuitos do Parque Estadual do Ibitipoca, MG.**

Fonte: Os autores, 2024

O Circuito das Águas possui os seus 4,67 km de extensão e abriga uma série de atrações, incluindo o Lago dos Espelhos, a Prainha, o Lago das Miragens e a Cachoeira dos Macacos, conforme a Figura 1. Nessas trilhas existem vários atrativos que são visitados pelos turistas. Por ser o Circuito mais próximo a Sede do Parque, ele costuma ter uma demanda maior de visitantes, algo ainda muito discutido e que começou a ser contabilizado recentemente com o início de controle da visitação por circuito.

O PEIb fica na parte alta da chamada Serra do Ibitipoca, em altitudes que variam de 1.050 a 1.784 m, contrastando de

forma contundente com o seu entorno, parecendo até emergir da paisagem conforme a Figura 2. As vistas nos seus extremos tanto na Trilha da Lombada quanto na Trilha do Pico do Pião são de tirar o fôlego. As formas de relevo encontradas nesta área estão intimamente ligadas aos processos de erosão e sedimentação. No caso do Circuito das Águas, um aspecto relevante a se destacar é a declividade do terreno, fazendo com que o circuito apresente um grau de dificuldade significativo, devido às rampas com inclinação superior a 10%. Este percurso é o mais frequentado pelos visitantes, devido à sua proximidade com o centro de visitantes do parque. No entanto, essa alta visitação, combinada com os geoambientes frágeis que compõem o circuito e a presença de solos arenosos, pode contribuir para processos erosivos nas trilhas, especialmente devido à interferência humana causada pelo pisoteio e ao esforço necessário para caminhar em terrenos íngremes (SILVA, 2020).



**Figura 2: Relevo, trilhas e limites do Parque Estadual do Ibitipoca.**

**Fonte: Rocha et. al. (2021)**

Os impactos negativos do uso público em Unidades de Conservação (UCs) estão associados à massificação da atividade turística sem o devido planejamento, resultando na queda dos índices de biodiversidade e na degradação do patrimônio ambiental. Dessa forma, ferramentas de gestão para o uso público das trilhas do PEIb devem ser implementadas para minimizar a degradação ambiental. Isso inclui metodologias de monitoramento de impactos, manejo da visitação, cálculos de capacidade de carga, e estudos qualitativos sobre o perfil e percepção ambiental dos visitantes, além do uso de indicadores ecológicos. Especificamente nas trilhas do Circuito das Águas, a massificação do turismo pode causar uma série de impactos relacionados principalmente à queda de blocos como ocorreu em Capitólio (MG), gerando acidentes e situações indesejáveis.

Portanto, o objetivo deste artigo é identificar e analisar as questões de segurança para a experiência dos visitantes nas trilhas do Parque Estadual do Ibitipoca (PEIb), destacando o Circuito das Águas. Através da aplicação de ferramentas de gestão e metodologias de monitoramento, busca-se compreender como a massificação do turismo e a falta de planejamento adequado impactam o meio ambiente e a experiência dos visitantes. Ao examinar parâmetros como a capacidade de carga, a percepção ambiental dos turistas e indicadores ecológicos, o estudo visa fornecer diretrizes para minimizar a degradação ambiental e melhorar a qualidade/ segurança da visitação, garantindo a preservação da UC, a sustentabilidade através do ecoturismo e a integridade física dos visitantes.

### Material e Métodos

A obtenção inicial dos dados foi realizada durante trabalhos de campo do Núcleo de Análise Geo Ambiental (NAGEA) nas trilhas do Circuito das Águas do PEIb de 15 a 18/11/2022. Para cada parte das trilhas foi realizado o levantamento de locais com risco geológico, problemas de acessibilidade, erosão, alagamento, raízes expostas e falta de cobertura vegetal. Essas ocorrências visam abranger possíveis questões que contribuem negativamente na experiência do visitante, conforme demonstra





a tabela 1. Esse campo chamou a atenção para locais com risco de queda ou escorregamento com relação às pesquisas anteriores. O encontro com turistas sentados na beirada do Paredão de Santo Antônio chamou a atenção da equipe. Para a marcação destes pontos no início e no final das ocorrências citadas foram utilizados receptores Garmin GPSMap 76CSx. Os níveis de acessibilidade foram obtidos por meio dos perfis de cada parte das trilhas, gerados através dos dados armazenados no GPS. Foram feitos registros fotográficos para ajudar na interpretação e nos relatórios.

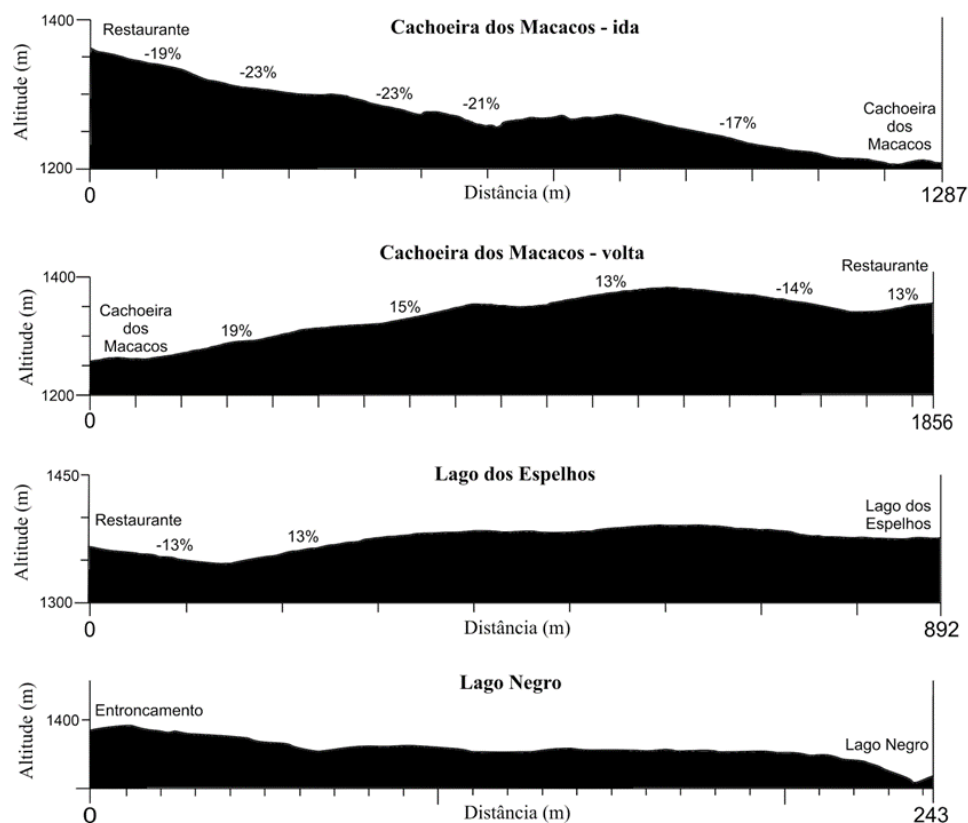
**Tabela 1: Impacto das ocorrências na experiência do visitante**

Ocorrência	Impacto
Acessibilidade	Áreas inclinadas, com terreno rochoso e escorregadias que atrapalham a caminhada
Erosão	Processos erosivos pontuais ou lineares
Alagamento	Áreas alagadas devido a falhas de drenagem causam escorregamento do turista ou molham os seus calçados
Raízes expostas	As raízes expostas são obstáculos para crianças e idosos exigindo manejo através de trilhas suspensas
Cobertura vegetal/vegetação lateral	A cobertura vegetal auxilia na redução da incidência solar que pode causar insolação e desidratação
Risco geológico (queda ou escorregamento)	Áreas que necessitam de maior cuidado para evitar riscos relacionados à queda ou escorregamento do visitante, muitas das vezes com alto risco de fatalidade

Fonte: Os autores, 2024

### Resultados e Discussão

O percurso total contabilizado no odômetro foi 4,67 km. Os perfis dessas trilhas estão ilustrados na Figura 3 mostrando ser um Circuito com grau de dificuldade devido as rampas maiores que 10%. Esse fator é limitador porque exige investimento em infraestrutura com corrimãos nas áreas mais íngremes, evitando acidentes na época das chuvas.



**Figura 3: Perfis das trilhas do Circuito das Águas.**

Fonte: Os autores, 2024



Com os dados obtidos, foi possível verificar a quantidade de ocorrências na extensão das trilhas de todo o parque, como demonstra a Tabela 2. Também foram feitos registros fotográficos de locais que poderiam apresentar algum tipo de risco. É importante destacar neste trabalho uma observação feita ainda em campo que se faz necessário trazer ao debate e propor recomendações de soluções aos gestores deste Parque.

Considerando as ocorrências verificadas foram observadas em campo poucas áreas com raízes expostas e nenhuma classificada como erosão para o Circuito das águas, sendo pontos positivos para a experiência do visitante, somados a uma cobertura vegetal distribuída na maior parte no trecho da Cachoeira dos Macacos (volta) e do Lago dos espelhos. No caminho que se refere a Cachoeira dos Macacos (ida) o visitante receberá mais incidência solar do que nos outros trechos, dificultando seu trajeto. O plantio de mudas nativas seria uma forma de melhorar essa cobertura vegetal através do seu dossel. Sendo que a vegetação lateral também consegue cumprir esse papel. Além disso, deve-se atentar para as áreas com problemas de acessibilidade principalmente no caminho da Cachoeira dos Macacos (ida) e alagamentos em trechos do Lago dos Espelhos.

**Tabela 2. Ocorrências no Circuito das Águas.**

Trilha	Tipo de ocorrência	Nº de ocorrências
Circuito das águas	Acessibilidade	6
	Erosão	-
	Alagamento	16
	Raízes expostas	3
	Cobertura vegetal/vegetação lateral	15
Pico do Pião	Acessibilidade	5
	Erosão	13
	Alagamento	44
	Raízes expostas	9
	Cobertura vegetal/vegetação lateral	13
Janela do Céu	Acessibilidade	7
	Erosão	3
	Alagamento	52
	Raízes expostas	5
	Cobertura vegetal/vegetação lateral	33

**Fonte: NAGEA (2022);VALE (2022)**

No Pico do Pião são evidentes as ocorrências de alagamento, principalmente próximas à Gruta do Pião. Nesse trecho foram demarcadas mais áreas com erosão e menos vegetação lateral ou cobertura vegetal do que nos outros circuitos, o que

demonstra um trajeto em que o turista sofrerá mais com a luz solar e que necessita de maior atenção em relação às erosões pontuais ou lineares. É válido ressaltar que as áreas de acessibilidade ruim para o Pico do Pião foram registradas nos arredores da Cachoeira do Campari, o que também foi observado no mesmo local quando avaliado o Circuito Janela do Céu.

No Circuito Janela do Céu, os alagamentos também se destacaram em quantidade indicando uma atenção extra para as possíveis falhas na drenagem, em contrapartida foi o circuito que apresentou mais áreas de cobertura vegetal e vegetação lateral, possibilitando uma experiência mais confortável devido a menor incidência solar direta.

O Paredão de Santo Antônio é uma parede vertical rochosa em quartzito que pode ser avistada por praticamente todo o Circuito das Águas conforme a Figura 4. Tem no seu topo uma das trilhas de acesso a Cachoeira dos Macacos (perfil volta) e na base é acompanhado pelo curso das águas do rio do Salto que é o perfil de ida. Evidentemente que essa é uma escolha do visitante, podendo fazer esse circuito de forma invertida.

Pode ser considerado um dos atrativos mais famosos do Parque devido a sua imponência. Muitos visitantes se contentam em ficar no restaurante ou na laje de pedra próxima ao camping e estacionamento contemplando essa obra de arte. Entretanto, devido a formação geológica frágil, é possível avistar cores mais claras que indicam desprendimento de blocos ou placas de quartzito que caem sobre o rio do Salto. Como existem várias praias e enseadas acompanhando o leito desse rio, há necessidade de monitoramento constante dessas movimentações de rocha. O caso mais contundente ocorreu no Lago de Furnas na cidade de Capitólio (MG) quando um bloco se desprendeu e vitimou fatalmente as pessoas que ocupavam uma das lanchas. Evidentemente que esse processo dá avisos e precisa haver fiscalização rotineira de forma a provocar essas quedas de forma controlada e evitar esse tipo de acidente no horário com presença de turistas. Outra alternativa seria a contenção desses blocos com tirantes ou pinos. A presença de geólogos e geotécnicos monitorando essas ocorrências rotineiramente é uma necessidade.



**Figura 4: O Paredão de Santo Antônio.**

**Fonte: Vale (2022)**

Ao longo das trilhas sobre o Paredão, diversos são os mirantes instalados que fazem vista para os principais atrativos do Circuito das Águas. Esses mirantes, assim como alguns trechos no seu entorno contam com barreiras de proteção na forma de guarda-corpos. Estes por sua vez não apresentam continuidade, havendo alguns pontos em que simplesmente deixam de existir (Figura 5), deixando os visitantes expostos ao risco de queda de uma altura considerável.





**Figura 5 : Os riscos de queda no Paredão de Santo Antônio.**

**Fonte: Vale (2022)**

O Parque Estadual do Ibitipoca é de uma formação geológica muito frágil e quebradiça, sendo grande parte formada por rochas do tipo quartzito (ROCHA et. al., 2020a). Os visitantes ao caminharem muito próximos à borda do Paredão ou até mesmo sentarem na beirada (situação flagrada em campo), estão completamente expostos ao risco. As próximas figuras 6 e 7 expõem a situação mencionada como a descontinuidade do guarda-corpo, placas que se soltaram em algum momento e o atrativo Prainha, local onde muitos visitantes se banham ou se acomodam em contemplação.



**Figura 6: Guarda-corpo e os riscos do Paredão de Santo Antônio.**

**Fonte: Vale (2022)**

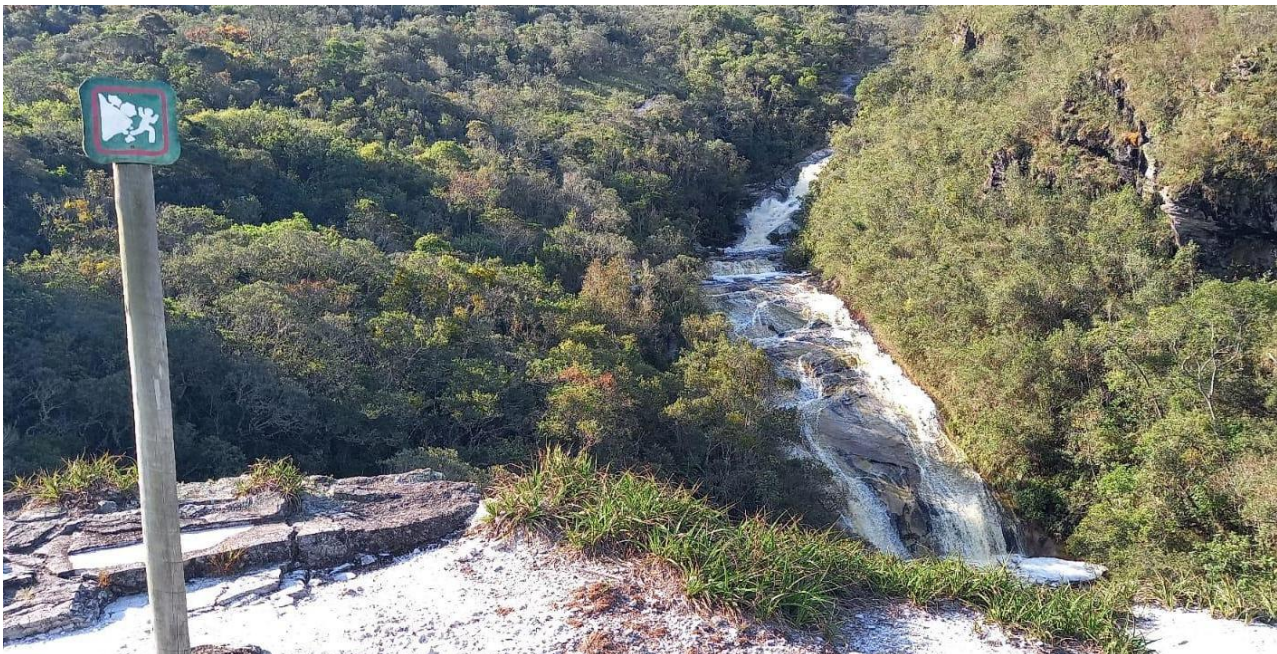




**Figura 7: Descontinuidade do guarda-corpo no Paredão de Santo Antônio.**

Fonte: Vale (2022)

O ideal, nesse caso, seria que o guarda-corpo acompanhasse toda a extensão do Paredão devido a sua constituição geológica ser quartzito. A sua erosão dá origem ao solo arenoso que aumenta o risco de escorregamentos principalmente no período chuvoso. Na Figura 8 é mostrada uma placa que sinaliza o risco de queda em mais um trecho de descontinuidade dos guarda-corpos que não impede o turista de se aproximar da borda para contemplação, fazer registro fotográfico ou até mesmo se sentar na região.



**Figura 8: Placa sinalizadora no Paredão de Santo Antônio.**

Fonte: Vale (2022)

### Considerações Finais

Com intuito de colaborar na redução dos riscos de desastres com turistas no PEIb, sugere-se logo na recepção aos turistas, conferir se estão com água, protetor solar, capas de chuva (verão) e calçados adequados para o circuito escolhido. O Circuito Janela do Céu com 16 km e muitas subidas e descidas é para pessoas com preparo físico adequado. Não é recomendado para grávidas ou sedentários que podem passar mal no trajeto. O Circuito Pico do Pião com cerca de 9 km tem cachoeiras e disponibilidade de água no caminho. De forma geral, é necessário trabalhar na melhoria da sinalização do Parque, indicando além das distâncias corretas, o perfil das trilhas, de forma a informar ao turista o grau de dificuldade que ele irá enfrentar.





Melhorar a infraestrutura em todos os circuitos com destaque para o Circuito das Águas, principalmente no trecho da Cachoeira dos Macacos. Existe risco real para crianças e idosos devido a falta de corrimãos, escadas, barreiras e demais dispositivos de proteção. Sugere-se guarda-corpos contínuos ao longo de todo o Paredão de Santo Antônio feitos com materiais resistentes. Isso acontece também no acesso a algumas cachoeiras e lagos para evitar a queda do visitante.

Investir em equipamentos como câmeras e dispositivos de comunicação para aumentar a segurança dos turistas. Nesse trabalho de campo em 2022, e campos anteriores em 2018 e 2019, só foram encontrados funcionários no Circuito das Águas, que é o mais próximo à sede. Existe dificuldade de comunicação nos extremos do Parque, principalmente no Circuito Janela do Céu, onde acidentes comuns como a torção de um pé podem gerar consequências drásticas. Um mal súbito vitimou um guia recentemente próximo a Cachoeirinha, onde nem a presença de profissionais de saúde foi suficiente. Houve a chegada de um funcionário de moto. Neste caso específico, faltou um desfibrilador e a remoção rápida para um hospital de emergência.

É necessário controlar a quantidade de turistas / circuito. Esse manejo dos turistas após passarem pela Portaria é necessário, pois se a maioria decidir ir para o Circuito das Águas, por exemplo, a capacidade irá exceder, trazendo impactos indesejáveis, desconforto e risco aos turistas. Monitorar a vegetação por Sensoriamento Remoto e trabalho de campo para saber como anda a regeneração das diversas fisionomias que protegem a fauna e fornecem alívio da incidência solar nos visitantes. Monitorar a fauna através de armadilhas fotográficas, indicadores de pegadas, fezes, etc. Monitorar os recursos hídricos para saber como anda a qualidade da água nos principais atrativos quanto a balneabilidade.

O NAGEA tem empreendido esforços em ampliar essas pesquisas para a Zona de Amortecimento do PEIb e para os distritos devido a pavimentação recente da estrada entre Lima Duarte e o Distrito de Conceição do Ibitipoca e a abertura da Portaria Norte em Santa Rita de Ibitipoca que mudarão a dinâmica neste entorno.

É preciso envolver a comunidade nesse esforço coletivo de preservação, criando assim uma ideia de coexistência ainda maior entre os moradores da região, os turistas e o PEIb como um todo, desde as trilhas até as águas, passando pela fauna e flora de todo esse entorno.

### Agradecimentos

O presente artigo foi realizado com o apoio da Universidade Federal de Juiz de Fora, por meio do projeto de extensão “MONITORAMENTO DOS IMPACTOS EM ÁREAS PROTEGIDAS” e do Projeto de Pesquisa “MONITORAMENTO DOS IMPACTOS NO PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA (MG)”. Agradecemos também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelas bolsas de mestrado de Crislaine e Diogo. Agradecemos aos funcionários (as) do PEIb. Por fim, agradecemos ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído (PROAC) e ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO) da UFJF.

### Referências Bibliográficas

- Fontoura, L. M.; Simiqueli, R. F. 2006. Análise da capacidade de carga antrópica nas trilhas do Circuito das Águas do Parque Estadual do Ibitipoca, MG. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 80p.
- Martins, P. C.; Da Silva, C. A. 2018. Turismo de Natureza ou na Natureza ou Ecoturismo? Reflexões e contribuições sobre um tema em constante debate. Revista Turismo em Análise, v. 29, n. 3, p. 487-505.
- Pires, P. dos S. 1998. A dimensão conceitual do ecoturismo. Turismo: visão e ação, p. 75-92.
- Rocha, C. H. B.; Fontoura, L. M.; Simiqueli, R. F.; Pereira, G. de M.; Manoel, J. da S. 2006a. Mapeamento e classificação de trilhas em parques florestais com uso do GPS: aplicação no Parque Estadual de Ibitipoca/MG. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário COBRAC. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Rocha, C. H. B.; Fontoura, L. M.; Simiqueli, R. F. 2006b. Proposta de classificação de trilhas em parques através do critério da rampa média: estudo de caso no Circuito das Águas – Ibitipoca/MG. I Congresso Nacional do Planejamento e Manejo de Trilhas, UERJ, Rio de Janeiro, Anais em CD.
- Rocha, C. H. B.; Fontoura, L. M.; Simiqueli, R. F.; Peccatiello, A. F. O. 2007a. Análise ambiental da capacidade de carga antrópica nas trilhas dos Circuitos das Águas e Pico do Pião - Parque Estadual do Ibitipoca, MG. II Encontro Interdisciplinar de Ecoturismo em Unidades de Conservação e I Congresso Nacional de Ecoturismo (CONECOTUR), Itatiaia, MG.
- Rocha, C. H. B.; Vale, W. B.; Castro, L. F. S.; Paravidino, J. M.; Silva, A. L. F.; Prado, T. O.; Silveira, F. J. 2020. Resiliência e Capacidade de Suporte do Parque Estadual do Ibitipoca (MG). Principia, Juiz de Fora, p. 12-23.
- Rocha, C. H. B.; Fontoura, L. M.; Vale, W. B. D.; Castro, L. F. D. P.; Da Silva, A. L. F.; Prado, T. D. O.; Da Silveira, F. J. 2021. Carrying capacity and impact indicators: analysis and suggestions for sustainable tourism in protected areas–Brazil. World Leisure Journal, v. 63, n. 1, p. 73-97. <https://doi.org/10.1080/16078055.2021.1888000>
- Silva, A. L. F. da. 2020. Capacidade de suporte do Circuito das Águas, Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.





SISEMA - Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; 2024. Painel de Indicadores SISEMA. Gerência de Criação e Manejo das Unidades de Conservação, Minas Gerais.

Vale, W. B. 2022. Aplicação da Adaptação da Metodologia de Capacidade de Suporte de Cifuentes em Comparação com a Metodologia NBV: Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.



# AVALIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO RIO DE JANEIRO COMO SUBSÍDIO ÀS POLÍTICAS PÚBLICAS DE MOBILIDADE SUSTENTÁVEL

1Pablo Vimercati Simas, 2Rafaela Naegele, 3Dalton Domingues, 4Augusto Ahn Ka, 5Ricardo Soares, 6Carlos Eduardo Canejo

1 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: pablovimercati@gmail.com; 2 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: rafaela.naegele@outlook.com; 3 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: daltondomingues63@gmail.com; 4 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: augustoka@live.com; 5 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: ricardo.soares@uva.br; 6 Observatório da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: carlos.pinheiro@uva.br

**Palavras-chave:** *Plugshare*; Veículos Elétricos; Eletropostos; Rio de Janeiro.

## Resumo

A importância crucial do setor de transportes na busca por práticas mais sustentáveis é evidente. Os veículos elétricos (VEs) surgem como uma solução promissora para essa transição, oferecendo uma alternativa mais limpa e eficiente. No entanto, apesar disso, a infraestrutura de recarga ainda enfrenta desafios significativos, especialmente em relação à sua distribuição equitativa. Atualmente, a infraestrutura de recarga concentra-se predominantemente nos grandes centros urbanos, deixando muitas regiões fora dessas áreas com acesso limitado a pontos de recarga. Essa disparidade na distribuição não apenas perpetua a desigualdade socioeconômica, mas também cria obstáculos para uma transição efetiva para uma mobilidade mais verde. Este estudo tem como objetivo avaliar os dados disponíveis no aplicativo internacional *PlugShare* para identificar a distribuição dos eletropostos no Estado do Rio de Janeiro (ERJ). Os resultados revelam uma concentração expressiva desses pontos de recarga na capital, onde 63% dos eletropostos estão localizados, enquanto os outros 91 municípios dividem os 37% restantes. Além disso, mais da metade desses municípios carece dessa infraestrutura de recarga, criando disparidades regionais significativas. Essa concentração excessiva de eletropostos na capital é particularmente preocupante considerando o aumento da oferta de VEs, incluindo opções mais acessíveis de montadoras chinesas. Isso cria um gargalo crítico para a adoção em larga escala desses veículos, uma vez que regiões fora da capital ficam desfavorecidas, dificultando o acesso à tecnologia sustentável. Portanto, a pesquisa enfatiza a urgente necessidade de políticas públicas que promovam uma expansão mais ampla e equitativa da rede de recarga. Tais políticas são essenciais não apenas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e combater as mudanças climáticas, mas também para impulsionar o desenvolvimento socioeconômico de todas as regiões do estado. Sem uma infraestrutura de recarga adequada e acessível, a adoção eficaz de VEs no Brasil pode ser comprometida.

## Introdução

A crescente pressão global para a adoção de práticas mais sustentáveis e de menor impacto ambiental tem impulsionado a indústria automobilística a buscar alternativas aos combustíveis fósseis. Esses combustíveis são os grandes responsáveis pela emissão de poluentes na atmosfera (Mello, Marx e Souza, 2013; Barassa, 2015; Volan *et al.*, 2019). No contexto da 21ª Conferência do Clima, realizada em Paris em 2015, o Brasil comprometeu-se a reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub> em 43% até 2030, tomando como referência os níveis de 2005. Em 2018, as emissões brasileiras totalizaram 2,03 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, com a meta de limitar esse número a 1,15 bilhões de toneladas até 2030, conforme estimativas recentes (Volan *et al.*, 2019). O setor de transportes, notoriamente um dos maiores emissores de gases de efeito estufa no Brasil, é central para alcançar essa meta. Dentro da matriz energética, é o setor que mais contribui para as emissões, segundo análises da FGV Energia (2017) e de outros pesquisadores (Volan *et al.*, 2019).

A emergência dos VEs como alternativa viável para reduzir essas emissões destaca-se como uma solução promissora para mitigar os efeitos negativos sobre os ecossistemas e a saúde humana (Vargas, 2016; Volan *et al.*, 2019). A eletrificação dos transportes é uma das trajetórias tecnológicas essenciais para enfrentar questões ambientais, como a crescente demanda por mobilidade urbana, mudanças climáticas, qualidade do ar e poluição sonora. A transição de veículos a combustão para elétricos é um desenvolvimento natural da tecnologia veicular, refletindo um avanço necessário para a sustentabilidade (FGV Energias, 2017). Além disso, a economia circular, conceito que ganhou força desde 1989, visa o reaproveitamento de materiais para aumentar a rentabilidade e a durabilidade dos produtos no mercado. Embora os VEs não se enquadrem diretamente como produtos recicláveis, eles estão alinhados com os princípios da sustentabilidade, base do conceito da economia circular (Blog Folha Vitória, 2020; Camargo Marin & Silva Faesarella, 2021). Contudo, a eficácia dos VEs depende de uma infraestrutura de recarga robusta, que atualmente está mal distribuída, refletindo a falta de investimento público e privado em áreas fora das capitais.

No entanto, Scherf e Wolter (2016) indicam que os motores a combustão interna já atingiram seu limite em termos



de eficiência e redução de poluentes. Portanto, para que o Brasil concretize uma visão de futuro em mobilidade elétrica, é imperativo conhecer e adaptar-se às condições atuais do país (Marques et al., 2021). Essa transição exige não apenas inovação tecnológica, mas também um investimento significativo em infraestrutura de recarga, que atualmente se concentra nos grandes centros urbanos, como o Município do Rio de Janeiro (MRJ), deixando outras regiões em desvantagem. Ademais, a pandemia de COVID-19, que emergiu em 2020, evidenciou a relação entre as atividades humanas e a poluição ambiental. As políticas de confinamento reduziram drasticamente a demanda por petróleo, levando a uma diminuição temporária das emissões e oferecendo uma oportunidade para quantificar os impactos das reduções de transporte nas concentrações de poluentes urbanos (Hudda et al., 2020; Muhammad, Long e Salman, 2020; Magri, 2022).

Apesar dos VEs apresentarem uma alternativa significativa para a redução dos impactos ambientais, a sua plena adoção enfrenta desafios tecnológicos, especialmente em relação ao desempenho das baterias (Shen et al., 2019; Pickett et al., 2021; Porchera et al., 2016; Magri, 2022). A recarga eficiente desses veículos depende de uma infraestrutura adequada, que requer investimentos substanciais e apoio de órgãos governamentais, concessionárias de energia elétrica e investidores do setor (Porchera et al., 2016; Magri, 2022). Assim, o presente estudo tem como objetivo identificar a distribuição geográfica dos eletropostos instalados no ERJ, com o intuito de fornecer subsídios para o desenvolvimento e implementação de políticas públicas de mobilidade mais eficazes e sustentáveis. A análise detalhada dessa infraestrutura permitirá identificar lacunas e desigualdades na disponibilidade de pontos de recarga, possibilitando uma abordagem mais direcionada e equitativa na promoção da mobilidade elétrica. Por meio dessa investigação, busca-se contribuir para um planejamento mais eficiente e inclusivo, que leve em consideração as necessidades de todas as regiões do estado.

## Material e Métodos

A primeira etapa metodológica deste projeto de pesquisa consistiu na realização de uma revisão bibliográfica com o objetivo de estabelecer um referencial teórico robusto. Esse referencial focou na busca de conceitos, legislações, normas, diretrizes e procedimentos relacionados aos eletropostos, tanto em âmbito nacional quanto internacional. Para garantir a consistência dos termos utilizados na pesquisa e na localização de dados, adotaram-se os descritores: "Carros Elétricos", "Eletropostos" e "Estado do Rio de Janeiro". As principais bases de dados consultadas incluíram a SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), ERIC (*Educational Resources Information Center*), Portal Periódicos Capes e Google Acadêmico.

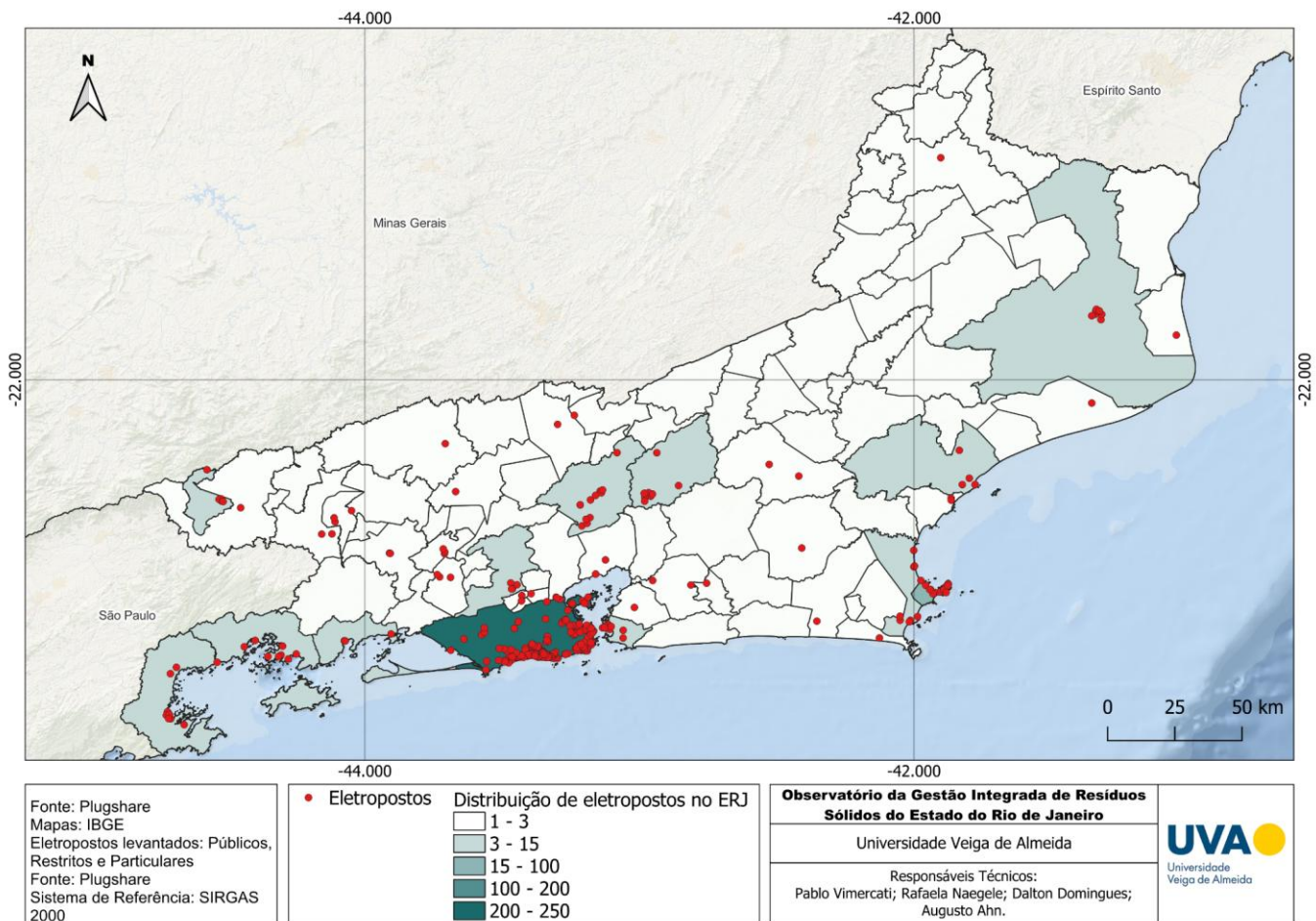
Na segunda etapa metodológica, as informações obtidas na revisão bibliográfica foram internalizadas e as referências consultadas foram compiladas, seguidas de uma análise crítica das informações coletadas. Para isso, utilizamos dados disponibilizados no aplicativo internacional *Plugshare*, uma ferramenta web interativa projetada para fornecer aos motoristas de VEs informações sobre a infraestrutura de carregamento disponível nas proximidades. Este serviço é baseado em um conjunto de dados de carregadores de VEs relatados por usuários, incluindo endereços, coordenadas espaciais, tipos de porta de carregamento, custos e avaliações dos usuários (Xu et al., 2021).

Na terceira e última etapa metodológica, foi realizada a identificação da quantidade e distribuição dos eletropostos nos 92 municípios do ERJ, categorizando-os por regiões e zonas. Para organizar essas informações, foi criado um Banco de Dados de Controle de Eletropostos no Estado, utilizando o *software* Excel. A pesquisa considerou eletropostos públicos, restritos e privados. Por fim, para facilitar a visualização da distribuição dos eletropostos no estado, foi realizado um mapeamento utilizando a ferramenta QGIS.

## Resultados e Discussão

A pesquisa revela que a cidade do Rio de Janeiro concentra 63% dos eletropostos do Estado, destacando a necessidade de expansão dessa infraestrutura para suportar a crescente demanda por VEs em outras regiões. Especificamente, a cidade do Rio de Janeiro lidera com 250 eletropostos, um valor 167% maior que a soma de todos os eletropostos situados nos demais 92 municípios do estado, conforme observado na figura 1. Tal desbalanceamento é crítico, pois a capital sozinha não pode atender à demanda de todo o estado, deixando muitos residentes sem acesso adequado a pontos de recarga. Municípios com potencial econômico e turístico, como Armação dos Búzios e Paraty, possuem 16 e 9 eletropostos respectivamente, mas ainda estão muito aquém da infraestrutura disponível na capital. Essa disparidade limita a adoção de VEs nessas regiões e coloca em risco o desenvolvimento sustentável e o crescimento econômico local, que poderiam ser impulsionados pela mobilidade elétrica.

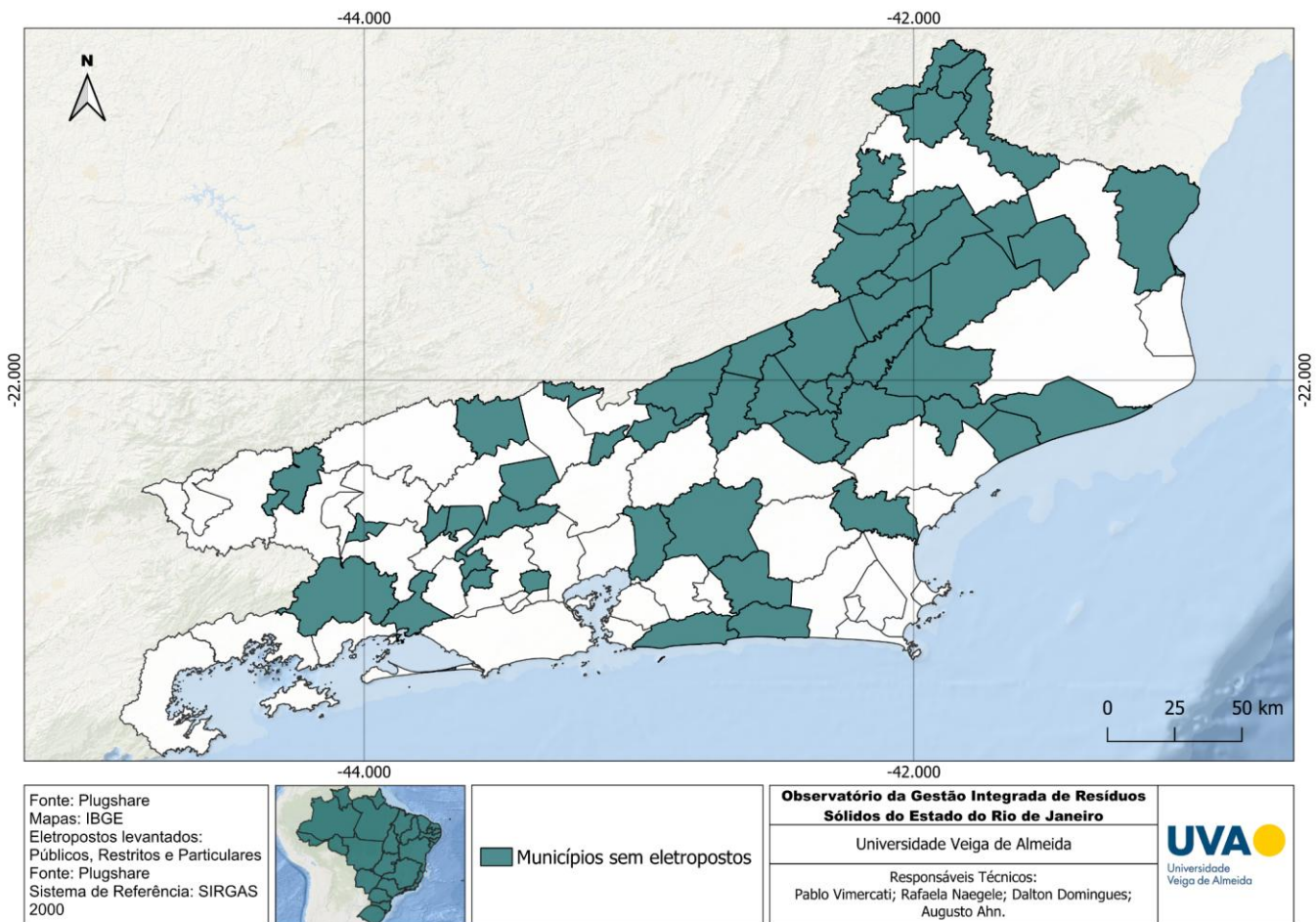




**Figura 1: Distribuição de Eletropostos no ERJ.**

Além disso, conforme demonstrado na figura 2, a ausência total de eletropostos em 51 dos 92 municípios do estado, incluindo áreas potencialmente beneficiadas como Belford Roxo, Itaguaí e São Gonçalo, que possuem populações consideráveis, acentua a disparidade regional. A falta de infraestrutura nesses locais implica que a transição para VEs está sendo promovida de maneira desigual, restringindo os benefícios ambientais e econômicos a uma parcela limitada da população. Sem uma distribuição mais equitativa de eletropostos, as iniciativas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade acabam concentradas em áreas já desenvolvidas, exacerbando as desigualdades socioeconômicas existentes. Portanto, uma política pública mais equilibrada é essencial para garantir que todas as regiões do estado possam participar e se beneficiar da revolução da mobilidade elétrica, contribuindo para um futuro mais justo e sustentável para todos os seus habitantes.

Cumprir destacar, também, que a infraestrutura inadequada nos municípios fora da capital é um obstáculo significativo para a expansão do uso de VEs. Sem a presença de eletropostos suficientes, os residentes dessas áreas são desencorajados a investir em VEs, devido à preocupação com a autonomia e a conveniência da recarga. Essa situação reflete a falta de uma política de investimentos abrangente que contemple não apenas as grandes cidades, mas também os municípios menores e rurais. A ausência de uma rede de recarga bem distribuída compromete os esforços para uma mobilidade mais sustentável e equitativa, uma vez que a transição para VEs deve ser acessível a toda a população para atingir seus objetivos ambientais e econômicos. A carência de investimentos públicos e privados em infraestrutura de recarga nos municípios do ERJ, fora da capital, aponta para uma necessidade urgente de revisão das políticas de desenvolvimento sustentável. O foco exclusivo na capital ignora as necessidades das demais regiões, que também têm o direito de acessar tecnologias mais limpas e eficientes. Para garantir uma transição justa e inclusiva para a mobilidade elétrica, é essencial que os investimentos sejam direcionados de forma mais equitativa, promovendo a instalação de eletropostos em todos os municípios.



**Figura 2: Municípios do ERJ sem Eletropostos.**

Observando a figura 3, ao considerar os 10 municípios com maior quantidade de eletropostos, nota-se uma predominância nas áreas metropolitanas do Estado, como Niterói, Petrópolis e Rio de Janeiro, ou em regiões limítrofes aos estados vizinhos da Região Sudeste, a exemplo de Angra dos Reis, Campos dos Goytacazes, Itatiaia, Paraty e Teresópolis, além de locais com forte apelo turístico, como Armação dos Búzios e Cabo Frio, na Região dos Lagos. No entanto, o MRJ é o principal beneficiário dos investimentos em infraestrutura de recarga de VEs, refletindo a maior demanda urbana e poder aquisitivo da capital. Ademais, tal concentração também revela uma significativa desigualdade em relação às outras regiões do estado. A concentração de quase 70% dos eletropostos públicos na região metropolitana aponta para um gargalo crítico na infraestrutura destinada a VEs. Com a crescente presença de montadoras chinesas no Brasil, que têm ampliado a oferta de VEs acessíveis, torna-se ainda mais urgente a necessidade de expansão dessa infraestrutura. Isso é essencial para acompanhar o crescimento da frota de VEs e incentivar a adoção dessa tecnologia sustentável em detrimento dos veículos movidos a combustíveis fósseis (Figura 3).

A implementação dessa tecnologia enfrenta desafios significativos, particularmente no que diz respeito à distribuição desigual de eletropostos. Como visto na figura 2, no MRJ, observa-se uma concentração substancial desses pontos de recarga, contrastando fortemente com a carência observada nos demais municípios do estado. Essa disparidade revela uma desigualdade no acesso às tecnologias sustentáveis, refletindo a falta de investimentos equilibrados que promovam uma transição justa para uma mobilidade mais verde. A concentração de eletropostos no MRJ evidencia a preferência por desenvolver infraestrutura em áreas já economicamente favorecidas. Enquanto a capital se beneficia de uma rede mais densa de pontos de recarga para VEs, outros municípios enfrentam uma significativa carência nesse aspecto. Essa disparidade é crítica, pois limita o acesso de uma parcela significativa da população às vantagens dos VEs, como a redução de emissões de gases poluentes e a diminuição da dependência de combustíveis fósseis. A falta de eletropostos fora da capital não apenas dificulta a adoção de VEs em regiões menos desenvolvidas, mas também perpetua um ciclo de desigualdade econômica e ambiental.





### TOP 10 Municípios com mais Eletropostos no Estado do Rio de Janeiro

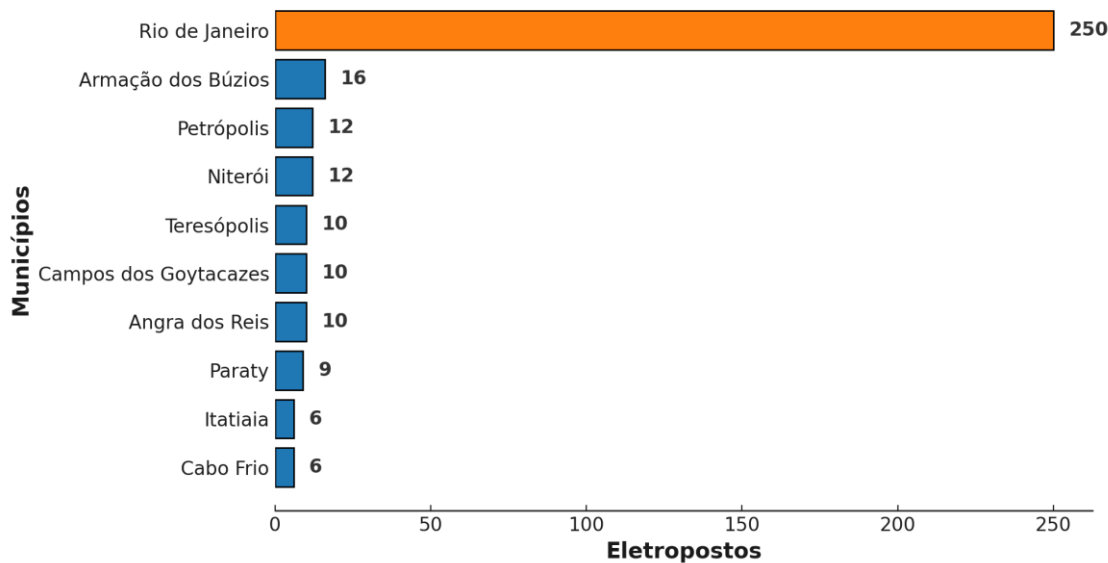


Figura 3: Top 10 Municípios no ERJ com mais Eletropostos.

A necessidade de políticas públicas e investimentos privados para expandir a rede de eletropostos além dos grandes centros urbanos, garantindo que a infraestrutura acompanhe o ritmo de crescimento dos VEs. Sem essa expansão, a adoção ampla e eficaz de VEs no Brasil pode enfrentar obstáculos, como o desencorajamento de futuros compradores que evitariam passar por um fenômeno já identificado como “ansiedade de recarga”, no qual temiam ficar sem acesso a uma fonte de abastecimento de eletricidade, resultando em uma “pane elétrica”, o atual correlato à “pane seca” dos veículos à combustão. Este estudo pode servir para embasar políticas públicas ambientais, em que sejam cadastrados e divulgados para a sociedade as fontes de infraestrutura que possuem eletropostos, aumentando a precisão e atualização dos dados para os donos de carros elétricos.

Por outro lado, nota-se que a situação é semelhante à observada nos Estados Unidos, onde estados como a Califórnia possuem uma maior densidade de eletropostos em cidades como São Francisco. Isso ressalta a necessidade urgente de políticas públicas que incentivem a expansão da infraestrutura de recarga para além dos grandes centros urbanos. A adoção de carros elétricos pode desempenhar um papel crucial na mitigação das emissões de gases de efeito estufa de origem veicular, sendo uma alternativa viável para combater as mudanças climáticas que já trazem impactos à sociedade, como pode ser visto nos recorrentes eventos climáticos extremos que assolam o sul do Brasil (Xu *et al.*, 2021).

No entanto, cumpre informar que essa desigual distribuição apresenta desafios consideráveis para os planejadores e formuladores de políticas. Um dos principais obstáculos é a falta de dados consistentes e abrangentes sobre a infraestrutura de carregamento, especialmente em locais de trabalho, residências e áreas públicas menos visíveis. Sem essas informações, é difícil determinar quantos carregadores são necessários e onde devem ser instalados para atender à crescente demanda por carregamento de VEs. Embora a infraestrutura de carregamento público receba muita atenção, o carregamento no local de trabalho é muitas vezes subestimado, embora seja amplamente utilizado. Esta forma de carregamento é particularmente crucial para aqueles que não têm acesso fácil ao carregamento em casa, como residentes de prédios multifamiliares ou locatários. Portanto, qualquer estratégia de alocação de infraestrutura de carregamento deve considerar a importância do carregamento no local de trabalho, garantindo que os proprietários de VEs tenham acesso conveniente ao carregamento durante o horário de trabalho. Para desenvolver políticas eficazes e planejar a infraestrutura de carregamento de forma estratégica, é essencial contar com dados confiáveis e abrangentes, não apenas sobre carregadores públicos, mas também sobre aqueles instalados em locais de trabalho e residências (Xu *et al.*, 2021).

Ao analisar os dados obtidos, nota-se que uma parte significativa dos pontos de recarga de VEs no ERJ está localizada em áreas de acesso privado ou restrito, conforme observado na plataforma *PlugShare*. A análise revela que aproximadamente 73% desses pontos de recarga não estão disponíveis para uso pelo público em geral, enquanto os restantes 27% são acessíveis ao público. Essa disparidade reflete não apenas a falta de infraestrutura pública, mas também a predominância de pontos de recarga instalados em ambientes privados, como condomínios, estabelecimentos comerciais ou instituições, onde o acesso pode ser restrito a residentes, clientes ou funcionários. A predominância desses pontos de recarga em locais privados representa um desafio adicional para a mobilidade elétrica, especialmente para aqueles que não têm acesso a essas áreas restritas. A dependência excessiva de pontos de recarga privados restringe a acessibilidade da infraestrutura de recarga, dificultando a adoção de veículos elétricos por uma parcela significativa da população. Diante desse cenário, torna-se imperativo estabelecer políticas que incentivem a instalação de pontos de recarga em espaços de acesso público, como ruas, estacionamentos municipais e postos de combustível, visando democratizar o acesso à infraestrutura de recarga. Além disso, é fundamental promover parcerias público-





privadas que facilitem a instalação de pontos de recarga em locais de grande circulação, assegurando que a mobilidade elétrica seja acessível a todos, independentemente de sua localização geográfica ou status socioeconômico

A disparidade da desigualdade socioeconômica impede o pleno desenvolvimento de um mercado de VEs sustentável e inclusivo. Municípios como Duque de Caxias e Nova Iguaçu, que possuem 3 e 5 eletropostos respectivamente, representam uma minoria significativa de áreas que deveriam estar melhor equipadas devido à sua densidade populacional e importância econômica. A falta de pontos de recarga nestas localidades limita severamente a viabilidade de adoção de VEs pelos seus moradores, resultando em uma dependência contínua de combustíveis fósseis e suas consequências ambientais adversas. Sem um investimento adequado, a expansão do mercado de VEs nessas áreas será obstaculizada, restringindo a abrangência dos benefícios ambientais e econômicos da mobilidade elétrica.

Outro aspecto crítico da desigualdade na distribuição de eletropostos é o impacto negativo nas iniciativas de turismo sustentável. Cidades turísticas como Cabo Frio e Paraty, que possuem 6 e 9 eletropostos respectivamente, são destinos populares e poderiam se beneficiar enormemente de uma infraestrutura de recarga robusta. No entanto, a insuficiência de eletropostos nesses locais limita a atração de turistas que utilizam VEs, reduzindo assim o potencial de crescimento do turismo sustentável. A falta de uma rede de recarga bem distribuída pode dissuadir visitantes preocupados com a sustentabilidade, comprometendo o desenvolvimento econômico das áreas turísticas e aumentando a pressão sobre os recursos naturais devido ao uso contínuo de veículos movidos a combustíveis fósseis.

A centralização dos eletropostos na capital também ressalta a necessidade de uma política pública mais inclusiva e estrategicamente direcionada no ERJ. Atualmente, o MRJ detém uma posição dominante que não reflete a realidade das necessidades de outras áreas do estado. Investir na descentralização e expansão dos pontos de recarga é essencial para promover a adoção de VEs em todas as regiões. Isso requer um compromisso significativo dos governos estadual e municipal, além da colaboração com o setor privado para desenvolver uma infraestrutura que suporte a transição para uma mobilidade mais sustentável. Sem uma abordagem integrada e equitativa, a meta de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e combater as mudanças climáticas ficará gravemente comprometida.

Por fim, a distribuição desigual de eletropostos tem implicações diretas na equidade social e na justiça ambiental. Regiões menos desenvolvidas e com menor renda tendem a ser as mais afetadas pela falta de infraestrutura de recarga, perpetuando um ciclo de exclusão que limita o acesso dessas comunidades aos benefícios dos avanços tecnológicos e ambientais. Ao não proporcionar uma rede de recarga adequada nessas áreas, a política pública falha em promover uma transição justa e inclusiva para a mobilidade elétrica. Garantir que todos os municípios tenham acesso equitativo aos eletropostos não é apenas uma questão de eficiência, mas também de justiça social, permitindo que todos os residentes, independentemente de sua localização geográfica ou condição socioeconômica, possam participar e se beneficiar das iniciativas de sustentabilidade ambiental.

## Comentários finais

Com base na análise minuciosa da distribuição de eletropostos no ERJ, é possível concluir que a concentração desses pontos de recarga na capital revela não apenas uma lacuna na infraestrutura de mobilidade elétrica, mas também expõe uma série de desigualdades socioeconômicas e ambientais que permeiam o Estado. A escassez de investimentos equilibrados em infraestrutura de recarga fora dos grandes centros urbanos representa um desafio significativo para a transição efetiva para uma mobilidade mais sustentável. Municípios com potencial econômico e turístico, como Armação dos Búzios, Paraty e Cabo Frio, enfrentam uma carência alarmante de eletropostos, o que não apenas limita a adoção de VEs, mas também contribui para o aprofundamento das disparidades regionais.

Essa situação ressalta a necessidade de políticas públicas mais abrangentes e estrategicamente direcionadas, que priorizem não apenas a expansão da infraestrutura de recarga, mas também a promoção da inclusão e equidade em todas as regiões do estado. Investimentos substanciais serão necessários, assim como uma colaboração estreita entre os setores público e privado, para garantir que a mobilidade elétrica seja acessível a todos os cidadãos, independentemente de sua localização geográfica ou condição socioeconômica. Além disso, é fundamental intensificar os esforços de conscientização sobre os benefícios ambientais e econômicos dos VEs, bem como implementar políticas de incentivo para estimular sua adoção. A educação pública sobre mobilidade elétrica e a criação de programas de subsídios e incentivos fiscais para os proprietários de VEs podem desempenhar um papel crucial nesse processo.

Portanto, para garantir uma transição justa e inclusiva para uma mobilidade elétrica no ERJ, é essencial que os investimentos em infraestrutura sejam mais equilibrados e voltados para atender às necessidades de todas as regiões. Somente assim poderemos construir um futuro mais sustentável, equitativo e próspero para todos os seus habitantes, promovendo não apenas a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também o desenvolvimento econômico e social de forma integrada e harmoniosa.

## Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Universidade Veiga de Almeida.

## Referências Bibliográficas

BARASSA, E. Trajetória tecnológica do veículo elétrico: atores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas – São Paulo, 2015.



BLOG FOLHA VITORIA. O que é economia circular. Vitoria: Folha Vitoria, 2020. Disponível em: <https://www.folhavitoria.com.br/economia/blogs/economia-circular/2020/12/28/o-que-e-economia-circular/#:~:text=%E2%80%9CEconomia%20circular%E2%80%9D%20%C3%A9%20um%20conceito,Pearce%20e%20R.%20Kerry%20Turner>. Acesso em: 04 de junho de 2024.

CAMARGO MARIN, Eduardo de; SILVA FAESARELLA, Annete. BRASIL E A CORRIDA TECNOLÓGICA: O DESAFIO DOS CARROS ELÉTRICOS E A DISTRIBUIÇÃO DOS ELETROPOSTOS. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 2, n. 7, p. e27558, 2021. DOI: 10.47820/recima21.v2i7.558.

CASTRO, T. S. Análise Econômica e Ambiental de Sistemas de Geração Alternativa para Suprimento Energético de Carros Elétricos. 2018. 143F. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, SP, Brasil.

FGV ENERGIA – Fundação Getúlio Vargas. Carros Elétricos. Ano 4. N. 7. ISSN 2358-5277, maio de 2017.

HUDDA, N.; C. SIMONB, M. C.; PATTONC, A. P.; DURANT, J. L. Reductions in traffic- related black carbon and ultrafine particle number concentrations in an urban neighborhood during the COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment*, n. 742, 2020.

LEMME, R. F. F.; ARRUDA. E. F.; BAHIENSEB, L. Optimization model to assess electric vehicles as an alternative for fleet composition in station-based car sharing systems. *Transportation Research Part D*, n. 67, P. 173-196, 2019.

MAGRI, Raquel Teixeira Gomes. Diagnóstico e recomendações para implantação dos no Brasil. 2022. 1 recurso online (201 p.) Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP.

MARQUES, Gabrielle dos Santos et al. Desafios e Iniciativas para Inibir as Barreiras de Penetração de Veículos Elétricos no Mercado Brasileiro. *Revista Sodebras [on line]*, vol. 16, n. 190, Out./2021, p. 174-189. ISSN 1809-3957.

MELLO, A. M., MARX, R., SOUZA, A. Exploring scenarios for the possibility of developing design production competencies of electrical vehicles in Brazil. *Int. J. Automotive Technology and Management*, 13 (3), pp. 289-314, 2013.

MUHAMMAD, S.; LONG, X.; SALMAN, M. COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? *Science of the Total Environment*, n. 728, 2020.

PICKETT, L.; WINNETT, J.; CARVER, D.; BOLTON, P. Electric vehicles and infrastructure. *Commons Library Research Briefing*, n. CBP-7480, 2021.

PORCHERA, G. S. O.; LOSS, M. E. S; MIRANDA, P. H. R.; LEAL, E. A. S. Vantagens e barreiras à utilização de veículos elétricos. *Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, SEGet. Tema 2016: Desenvolvimento de Competências Frente ao Desafios do Amanhã. Associação Educacional Dom Bosco (AEDB)*, 2016.

SCHERF, C.; WOLTER, F. Eletromobilidade: Visão Geral, Exemplos, Abordagens. *Transporte Urbano Sustentável, Documento Técnico #15. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*, maio 2016.

SHEN, Z. J. M.; FENG, B.; CHAO MAOC, C.; RAN, L. Optimization models for electric vehicle service operations: A literature review. *Transportation Research, Part B*, n. 128, p. 462-477, 2019.

VARGAS, J. E. V. Análise da competitividade ambiental de veículos elétricos no Brasil no cenário atual e futuro. *Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas – São Paulo*, 2016.

VOLAN, Tainara; VAZ, Caroline R.; MALDONADO, Mauricio Uriona. Panorama do estado atual da difusão de veículos elétricos no Brasil. In: *XXII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais*. 2019.

XU, B., DAVIS, A.W., TAL, G. Estimating the total number of workplace and public electric vehicle chargers in california. In: *Transportation Research Record*, vol. 2675, Issue, 12. SAGE Publications Ltd., pp. 759–770, 2021. <https://doi.org/10.1177/03611981211031214>.



# CENÁRIOS E DESAFIOS DAS POLÍTICAS DE SANEAMENTO PARA OS POVOS INDÍGENAS NO BRASIL: UMA REVISÃO NARRATIVA

**1Fernanda Bonfim Rocha, 2Juliana Salomão das Neves, 3Carolina Ozorio Carriço, 4Katarina da Silva Couto, 5Lorena Miozzi Alves Cabral, 6Dayane Valentina Brumatti, 7Renato Ribeiro Siman.**

*1 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail:fernandabonfim7@gmail.com; 2 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: juliana\_1401@yahoo.com.br; 3 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: carolinaozori@gmail.com; 4 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: Katarinasilvacouto@gmail.com; 5 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: lorenamiossi@gmail.com; 6 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: dayane.brumatti@edu.ufes.br; 7 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: renato.siman@ufes.br*

**Palavras-chave:** Políticas Públicas; Saneamento básico; Povos Originários.

## Resumo

A presente revisão narrativa tem por objetivo analisar os cenários e desafios das políticas de saneamento para os povos indígenas. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados Scopus, Web of Science e Google Scholar, com a seguintes palavras-chave: Water, Sanitation, Hygiene; Indigenous People, Aboriginal People, First Nation; Policy Implementation, Governace, Public Policy. Apesar de representarem uma pequena parcela da população mundial, os povos indígenas estão entre os grupos mais pobres e marginalizados. Embora a cobertura dos serviços de saneamento tenha aumentado, os povos indígenas ainda enfrentam significativamente menos acesso à infraestrutura de saneamento. A universalização do acesso à água potável e ao saneamento adequado continua sendo um grande desafio para esse grupo. É fundamental adotar estratégias específicas que levem em consideração aspectos técnicos, científicos e culturais para enfrentar essas disparidades. A implementação de políticas públicas eficazes, justas e não discriminatórias na área de saneamento básico pode reduzir as desigualdades étnico-raciais. Ao compreender os desafios únicos enfrentados pelas comunidades indígenas, os formuladores de políticas podem desenvolver soluções mais inclusivas e sustentáveis, melhorando, assim, a saúde e as condições de vida dessas populações.

## Introdução

Com metas de redução da pobreza, promoção da saúde, educação e diminuição das disparidades (Niessen et al., 2018), os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) tem requerido a adoção de medidas que removam as barreiras no acesso aos serviços para grupos marginalizados (Durojaye, 2018). Populações menos favorecidas, por sua participação social limitada ou autossuficiência (Numans et al., 2021), como os povos indígenas (Durojaye, 2018), devem ser priorizadas na melhoria do acesso aos serviços prestados, pois muitas vezes são deixadas para trás (Cassivi et al., 2020).

Atualmente, a estimativa é de que existam 476 milhões de indígenas distribuídos por 90 países ao redor do mundo (ONU, 2021). A América Latina mostra grande heterogeneidade em seu perfil demográfico, com 800 povos indígenas distintos, sendo o Brasil o país de maior diversidade de grupos, com 305 etnias indígenas (CEPAL; FILAC, 2020).

Apesar de representarem aproximadamente 6 % da população mundial, os povos indígenas estão entre a parcela mais pobre da sociedade (Felipe Pérez; Tomaselli, 2021). Contudo, há um crescente reconhecimento das injustiças e da negação aos direitos deixados pelo legado das últimas décadas (Crook et al., 2018). Além disso, essa população vem atravessando uma intensa transformação social e busca alternativas que visem garantias para suas futuras gerações (Braun et al., 2020).

Em vários países, os povos indígenas enfrentam desvantagens significativas do ponto de vista econômico, habitacional, educacional, de saúde e, particularmente, no acesso ao saneamento básico (Coimbra et al., 2013; Servan-Mori et al., 2014; Boing et al., 2021). A permanência de políticas e regulamentações discriminatórias reproduzem desigualdades étnicas no tratamento e na oferta equitativa dos serviços, ampliando as desigualdades no acesso ao saneamento, assim como, na planificação, distribuição e oferta de serviços (Alam, 2022; O'Donnell et al., 2022).

A carência de serviços de abastecimento de água potável e sistemas de saneamento básico nas comunidades indígenas resulta em serias consequências para sua saúde humana (Hartwig et al., 2020). Condições precárias, como a ausência de abastecimento de água potável, ausência de tratamento de esgoto e disposição inadequada de resíduos sólidos (Coimbra et al., 2013) são apontadas como as principais causas de doenças infectoparasitárias na população indígena no Brasil (Raupp et al., 2019).

Somente na América Latina são registradas em média 4000 mortes anuais devido à falta de acesso a água potável e serviços de saneamento adequados (PAHO, 2016). Em países como Brasil e Equador, os povos indígenas apresentam acesso reduzido de instalações de saneamento (Raupp et al., 2019; Ortiz-Prado et al., 2022), o que influencia maior morbidade e mortalidade por doenças de veiculação hídrica na população indígena (Ortiz-Prado et al., 2022).

Ao longo dos anos, as comunidades indígenas têm enfrentado diversos obstáculos no acesso a condições básicas de saneamento e infraestrutura, como serviços de abastecimento e distribuição de água, tratamento de esgoto sanitário, bem como na gestão de resíduos sólidos (Raupp et al., 2019; Raupp et al., 2020; Howey; Grealy, 2021; Balasooriya et al., 2023). Esta dificuldades estão intrinsecamente ligadas às iniquidades históricas e à marginalização de grupos populacionais específicos (Brown et al., 2023). Bishoge (2021), destaca que a falta de investimentos, desigualdades socioeconômicas,





crescimento populacional, geografia, escassez de profissionais qualificados e experientes, bem como políticas e estratégias ineficazes são os principais desafios para o saneamento.

Diante desse contexto é de suma importância compreender os desafios singulares que se manifestam nas comunidades indígenas. Portanto, o objetivo desta revisão é fornecer uma análise abrangente dos cenários e dos desafios na implementação das políticas públicas de saneamento básico voltadas para a população indígena.

### Material e Métodos

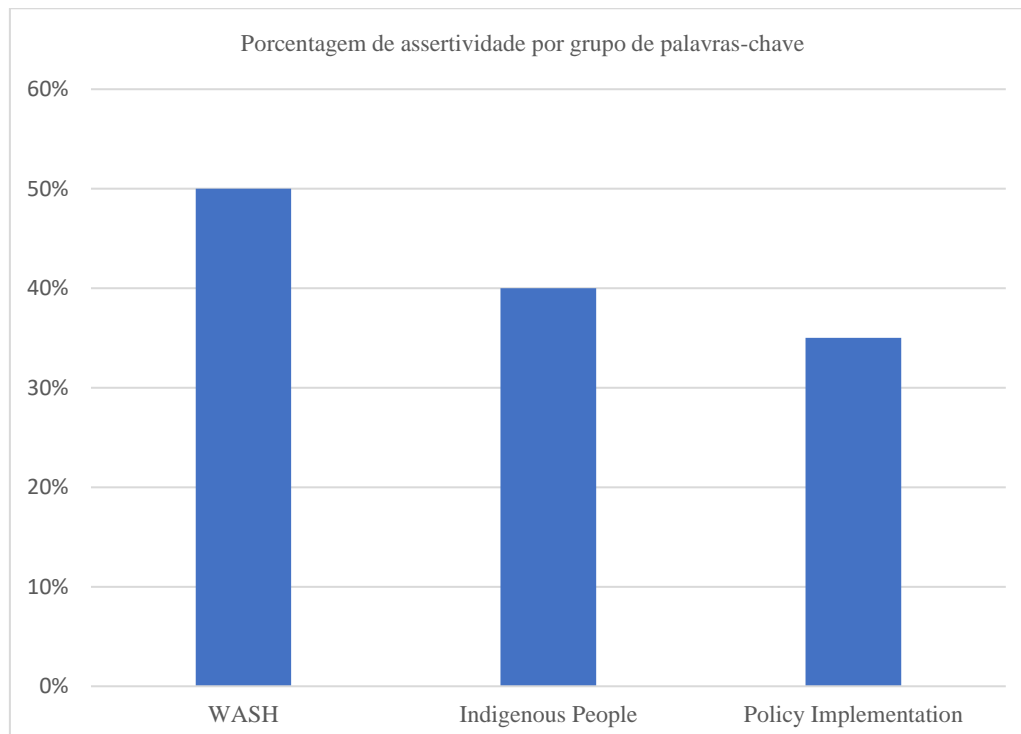
Este estudo apresenta uma revisão narrativa da literatura sobre os cenários e desafios das políticas de saneamento para os povos indígenas. Esse método é utilizado para descrever e discutir o desenvolvimento ou o 'estado da arte' de um tema específico, desde uma perspectiva teórica ou conceitual (Rother, 2007). A busca foi realizada nas bases de dados Scopus, Web of Science e Google Scholar, utilizando três grupos de palavras-chave combinados com operadores booleanos AND e OR:

- WASH, Water, Sanitation, Hygiene, Water Quality, Sanitation Access;
- Indigenous People, Indigenous Communities, Aboriginal People, First Nation;
- Public Policy, Policy Implementation, Governace, Human Right.

A busca também foi realizada com termos em português. Além disso, as listas de referências dos artigos selecionados foram examinadas para identificar materiais relevantes que não foram encontrados na pesquisa eletrônica inicial. Ademais, obras literárias pertinentes ao tema, diretrizes e legislações específicas foram incluídas para ampliar a compreensão teórica e histórica das políticas de saneamento para os povos indígenas. Essas pesquisas foram conduzidas em sites das agências responsáveis pela saúde e saneamento indígena, como o Ministério da Saúde (MS) e a Secretaria Especial de Saúde Indígena (SESAI), entre outros.

### Resultados e Discussão

Na revisão narrativa realizada, foram selecionados 65 documentos para análise. A distribuição das palavras-chave mais frequentes revelou que 50% dos documentos incluíam o tema WASH (água, saneamento e higiene), 40% abordavam temas relacionados aos povos indígenas, e um menor número de documentos trata da implementação de políticas, conforme figura 1.



**Figura 1- Gráfico de assertividade por grupo de palavras-chave.**

Já as principais palavras que se destacaram nos documentos foram "water" (água), "sanitation" (saneamento), "indigenous" (indígena), "health" (saúde) e "COVID-19", como mostra a figura 2. A nuvem destaca as palavras mais frequentes nos títulos, proporcionando uma visão rápida dos tópicos principais abordados nos documentos selecionados.



Figura 2 - Nuvem de palavras.

A predominância das palavras "water" e "sanitation" reflete a forte ênfase nos problemas relacionados ao acesso e à qualidade da água e do saneamento, especialmente em comunidades indígenas e regiões em desenvolvimento. A palavra "health" aparece frequentemente, o que não é surpreendente, dado que muitos documentos discutem os impactos de diferentes fatores na saúde das populações. A inclusão da palavra "COVID-19" destaca a relevância contemporânea da pandemia e seus efeitos sobre as comunidades vulneráveis, especialmente os povos indígenas, que podem enfrentar desafios únicos em termos de saúde pública e acesso a serviços essenciais.

A menor frequência de palavras relacionadas à implementação de políticas sugere que, embora existam discussões sobre governança e políticas públicas, esses tópicos não são tão prevalentes quanto as questões de WASH e saúde indígena. Isso indica uma necessidade de mais pesquisas e debates focados na implementação de políticas eficazes para melhorar as condições de vida dessas populações.

### Cenários do Saneamento Básico nas Comunidades Indígenas

Quando comparadas com outras raças, as condições de saúde dos indígenas são as mais precárias, com altas taxas de internação por pneumonia, diarreia e outras doenças infecciosas (Farias et al., 2019; Koning et al., 2021). Tais disparidades são reflexo da má qualidade da prestação de serviços públicos como saúde, além da escassez de recursos humanos e materiais (Navarro et al., 2017). A crise sanitária provocada pela pandemia da SARS-COV-02 evidenciou ainda mais as desigualdades e discriminações que as populações indígenas sofrem na exclusão dos sistemas públicos de saúde e atendimento médico (Aborode et al., 2021). De maneira análoga, esses grupos também recebem menor atenção por parte dos serviços públicos de saneamento básico (Hall, 2019). A falta da prestação de serviços públicos nas comunidades nativas, como acesso a água potável e saneamento, dificultam ainda mais o cumprimento de recomendações mínimas estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), como lavagem de mãos, limpeza do ambiente e descarte de resíduos (Orcotario Figueroa, 2022).

Como reflexo dessas ausências, doenças transmitidas pela falta de serviços de saneamento básico são as principais causas da mortalidade infantil em comunidades indígenas (L. L. da Silva et al., 2021). A falta de serviço de água encanada foi relacionada a taxas mais altas de infecções respiratórias e cutâneas em regiões com menor índice de serviço de água domiciliar (Hennessy et al., 2008). Escobar et al. (2015), constataram que crianças indígenas que vivem em domicílios com acesso a rede de água potável, proveniente de abastecimento público, latrina ligada a rede de esgoto e serviço de coleta de resíduos sólidos, apresentam menor probabilidade de acometimentos de diarreia.

Apesar dos avanços em direção ao acesso universal à água potável e saneamento em muitos países, a situação ainda se mantém abaixo do ideal e não apresenta estar correlacionada com as características sociais e econômicas de uma nação (Luh; Bartram, 2016). No Brasil, mesmo após alteração de variáveis socioeconômicas, domicílios indígenas apresentam condições diferenciadas e precárias de saneamento quando comparados a outros grupos étnico-raciais (Raupp et al., 2020).

No Canadá, onde a cobertura dos serviços de água e saneamento alcança 98% da população, famílias indígenas enfrentam uma desigualdade acentuada, com uma probabilidade 90 vezes maior de não terem acesso a água corrente quando comparadas a famílias não indígenas (Balasooriya et al., 2023). Em países em desenvolvimento, a desigualdade no acesso ao saneamento tende a ser mais expressiva que o acesso à água, uma vez que o compromisso inicial é garantir o acesso ao abastecimento de água potável (Bayu et al., 2020).

Apesar do Brasil ser signatário dos ODS, que em seu objetivo 6 visa assegurar acesso a água e saneamento básico para todos (ONU, 2015), uma parcela da população ainda persiste sob condições inadequadas desse serviço (Raupp et al., 2017). Embora a cobertura de serviços de saneamento nos domicílios brasileiros tenha crescido na primeira década do século XXI, foram observadas menor acesso à infraestrutura de saneamento em domicílios indígenas nesse período (Raupp et al., 2020). A universalização do acesso à água potável e ao esgotamento sanitário permanece como um desafio ao povo brasileiro (Balasooriya et al., 2023).



## Políticas Públicas de Saneamento para Povos Indígenas no Brasil

Os povos indígenas, durante a história do Brasil, eram percebidos como indivíduos não civilizados, destituídos de valores culturais e espirituais, sendo submetidos a períodos de tutela entre a coroa portuguesa, seguida pela igreja e, por fim, pelo Estado (Palheta, 2015). No período colonial, as missões religiosas eram responsáveis pela assistência à população indígena, entretanto, devido a inúmeros massacres decorrentes da expansão das fronteiras nacionais e à elevada mortalidade causada por doenças transmissíveis, foi instituído em 1910, o Serviço de Proteção aos Índios (SPI) (BRASIL, 2002).

O SPI foi criado para proteger os povos indígenas, no entanto, a proteção estabelecida implicava na integração nacional da população indígena por meio da exploração de sua mão de obra e dos recursos naturais de suas terras tradicionais (Nötzold; Bringmann, 2013). Todavia, o surgimento do órgão de proteção indígena não conseguiu modificar a prestação de serviços, a qual persistiu limitada a circunstâncias emergenciais ou à resolução de conflitos (BRASIL, 2002).

Posteriormente, na década de 50, foi criado o Serviço de Unidades Sanitárias Aéreas (SUSA), ligado ao Ministério da Saúde, que tinha o objetivo proporcionar ações básicas de saúde a populações rurais e indígenas em áreas de difícil acesso (Yamamoto, 2004). Em 1967, com o fim do SPI, foi criada a Fundação Nacional dos Povos Indígenas (Funai) e instituída uma divisão de saúde na nova agência (Cardoso et al., 2012). A Funai, inspirada no padrão de atenção do SUSA, introduziu Equipes Volantes de Saúde (EVSs), que prestavam assistência de maneira intermitente (Yamamoto, 2004). Porém, devido aos elevados custos operacionais e ao baixo impacto na saúde das comunidades (Cardoso et al., 2012), ao longo do tempo, a presença das equipes foi reduzida nas aldeias, ao ponto de não mais atuarem (Fernandes et al., 2010).

A partir desse cenário, a população indígena inicia-se uma mobilização em busca de conhecimento como alternativa para o controle sobre os agravos sobre a saúde da sua própria população, surgindo o movimento que deu origem a processos de capacitação dos Agentes Indígenas de Saúde (AIS), sendo em algumas comunidades de difícil acesso o único recurso diante as enfermidades (Fernandes et al., 2010).

Em 1971, governo implementou, o Plano Nacional de Saneamento (Planasa), dando origem a prestação dos serviços de saneamento no Brasil (Sousa; Costa, 2016). O Planasa foi criado para ampliar a cobertura de saneamento, com a meta de atender 80% da população urbana com serviços de água e 50% com serviços de esgoto até 1980 (Turolla, 2002). Embora tenha sido reconhecido como um marco do saneamento brasileiro, o Planasa também teve um impacto negativo ao excluir populações menos favorecidas em periferias, favelas e áreas rurais (Britto et al., 2012), como os povos indígenas.

Em 1986, ocorreu a I Conferência Nacional de Proteção à Saúde do Índio, que estabeleceu diretrizes para uma política de saúde indígena que buscava integrar as especificidades das comunidades etnicamente diferenciadas ao projeto em andamento de um sistema único de saúde (Teixeira; Costa, 2008). A Conferência, nascida no contexto da reforma sanitária, tinha como objetivo avaliar a situação de saúde dos povos indígenas e desenvolver uma política eficaz para atender às suas necessidades (Langdon; Diehl, 2007). Esse evento marcou pela primeira vez, a discussão de diretrizes para a saúde indígenas com a participação de grupos indígenas, evidenciando a importância da elaboração políticas indígenas com presença dos povos originários (Ana Maria Costa et al., 1993).

Somente com a promulgação da constituição federal de 1988, encerrou no âmbito constitucional o patrocínio às políticas de assimilação e integração indígena (Castro, 2016). Os direitos originários dos povos indígenas passam a ser reconhecidos sobre suas terras tradicionais, organização social, costumes, línguas, crenças e tradições (BRASIL, 1988). Os princípios gerais do Sistema Único de Saúde (SUS) são definidos e regulamentado pela Lei nº 8.080/1990, expressando a democratização dos serviços de saúde, transferindo a atenção a saúde indígena antes creditada a Funai para o Ministério da Saúde (Teixeira, 2012).

Após a regulamentação, a implementação de uma política de saúde específica para os povos indígenas inicialmente não recebeu a devida atenção (Moura et al., 2021). A mudança ocorreu com a II Conferência Nacional de Saúde para os Povos Indígenas em 1993, que resultou no modelo de saúde diferenciado, por meio da criação de um Subsistema de Atenção à Saúde Indígena (SasiSUS) (Costa et al., 1993). A criação do Subsistema foi formalizada pela lei nº 9.836/1999 (BRASIL, 1999), transferindo a responsabilidade da gestão da saúde indígena para a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) (Moura et al., 2021).

A partir da criação do SasiSUS foi formulada uma Política Nacional de Atenção à Saúde dos Povos Indígenas (PNASPI), em acordo com os princípios do SUS, pautada na descentralização das ações e dos recursos para a saúde indígena (Mendes et al., 2018). A política visa garantir o acesso a atenção integral a saúde dos povos indígenas, destacando entre suas diretrizes a promoção de ambientes saudáveis e proteção a saúde indígena, através de ações de saneamento básico que assegurem água de qualidade, esgotamento sanitário, destinação de resíduos e controle de vetores (BRASIL, 2002).

A atenção às questões de saúde indígena ganhou destaque somente após a instituição do Subsistema de Atenção à Saúde Indígena (Garnelo; Pontes, 2012). A criação dos Distritos Sanitários Especiais Indígenas (DSEI) impulsionou a presença de Agentes Indígenas de Saúde (AIS) nas equipes, promovendo uma abordagem diferenciada e ampliando a participação indígena nos serviços de saúde, com o mesmo propósito, em 2004, surgiu o cargo de Agente Indígena de Saneamento (AISAN) (Langdon; Diehl, 2007). O AISAN surgiu para desempenhar ações de prevenção e promoção da saúde, atuando como mediadores entre os conhecimentos tradicionais e a abordagem ocidental do saneamento (BRASIL, 2016).

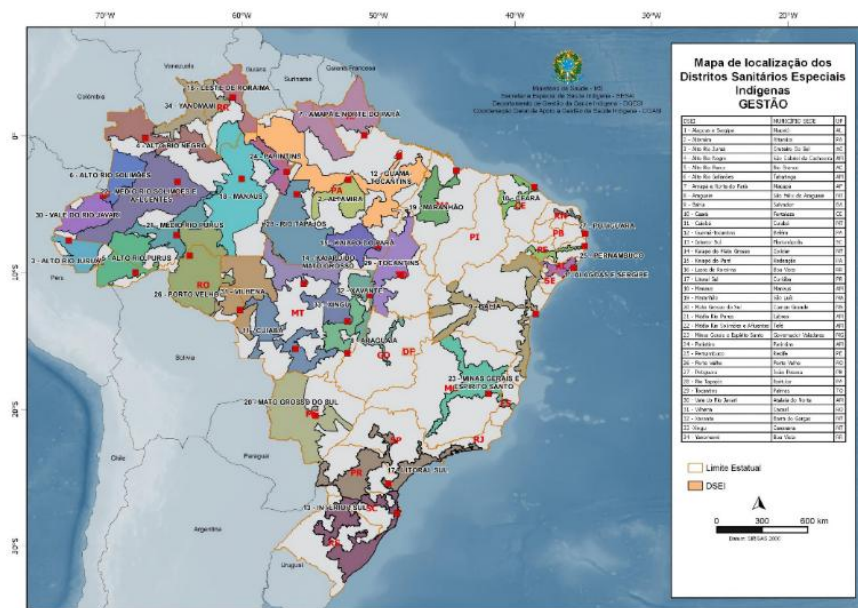
Em 2010, em resposta às demandas das conferências de saúde, a Secretaria Especial de Saúde Indígena (SESAI) foi criada e vinculada diretamente ao Ministério da Saúde (Moura et al., 2021). Até 2010, as ações e programas de saúde e saneamento em terras indígenas eram geridos pela Funasa, com a criação da SESAI, a secretaria passa coordenar a Política Nacional de Atenção à Saúde dos Povos Indígenas e gerir o SasiSUS (Cirino, 2019). Os DSEI, são vinculados à SESAI (Moura et al., 2021), contando com uma rede de serviços de saúde em seus territórios, que deve operar de maneira integrada, hierarquizada e articulada com o restante da rede do SUS (Cardoso et al., 2012).





A Secretaria de Saúde Indígena (SESAI), em parceria com gestão do SUS, promove por meio de atividades especializadas e diálogos com o controle social, a melhoria contínua de suas ações em saúde e saneamento básico nas aldeias, abrangendo duas vertentes principais: Atenção Integral à Saúde Indígena e Determinantes Ambientais (BRASIL, 2020). O Subsistema de Atenção à Saúde Indígena (SasiSUS) tem como base 34 Distritos Sanitários Especiais Indígenas (DSEI) (Figura 2) (MS, 2021). Esses distritos são estrategicamente divididos com base em critérios epidemiológicos, étnicos e territoriais, considerando a ocupação geográfica das comunidades indígenas, não obedecendo os limites estaduais (Moura et al., 2021).

Os DSEI constituem um modelo de atividades técnicas que busca a implementação de medidas racionalizadas e qualificadas em saúde, promovendo a reestruturação da rede de saúde e das práticas sanitárias, realizando ações necessárias para a prestação de assistência (MS, 2021). As ações pertinentes ao saneamento ambiental e às edificações são coordenadas pelo Departamento de Determinantes Ambientais da Saúde Indígena (DEAMB) (BRASIL, 2020). Dentre suas competências tem-se a construção, reforma, ampliação, manutenção e operacionalização de infraestruturas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, melhorias sanitárias domiciliares (MSD), além da promoção atividades educativas em saúde direcionadas ao saneamento ambiental e práticas de higiene nas aldeias (Silva et al., 2022).



**Figura 3 - Localização dos Distritos Sanitários Especiais Indígenas.**  
Fonte: MS, 2021

### Desafios para o Saneamento Indígena

O acesso limitado a serviços é uma realidade para as comunidades indígenas, especialmente para aquelas que estão localizadas em áreas rurais ou remotas, onde as complexidades socioculturais desempenham papel agravante (Balasooriya et al., 2023). Essas limitações também estão ligadas às características geográficas e socioeconômicas nas quais os povos indígenas estão inseridos (Alam, 2022), pois compõem o grupo com menor acesso aos serviços de água e saneamento, sendo o fator econômico determinante no acesso a esses serviços (World Bank, 2017).

Os povos indígenas que vivem isolados são os que mais sofrem com a precarização de serviços e infraestrutura, onde obstáculos como más condições de transportes e vias, falta de conhecimento e aspectos culturais, fazem com que esses povos raramente busquem assistência necessária nas instituições públicas (Vyas et al., 2019; Nwachukwu et al., 2017). Essas comunidades também enfrentam barreiras como má qualidade de água, fornecimento insuficiente e gestão inadequada de resíduos sólidos, que são muitas vezes negligenciados pelas autoridades (Balasooriya et al., 2023).

Os desafios enfrentados pelos povos indígenas também têm suas origens no colonialismo, que persiste devido à perpetuação por parte dos Estados, com instituições e leis que continuam a promovê-lo através das relações sociais e das desigualdades que afetam essas populações (Baijius; Patrick, 2019). Fatores institucionais e sistêmicos que marginalizam e excluem socialmente essas populações, que embora possuam ampla distribuição no mundo, compartilham de influências neocoloniais semelhantes, tais como o despejo de suas terras e injustiças sociais (Jamieson et al., 2020).

Os entes federativos possuem a responsabilidade de assegurar o pleno direito à água e ao saneamento, em todas as regiões, incluindo áreas não atendidas ou com atendimento insuficiente (Ahabwe et al., 2022). Todavia, a garantia do acesso à água potável (Pirsoul; Armoudian, 2019) tem sido considerada pelos atores estatais um problema técnico e científico, sendo a falta de água e saneamento relacionados a problemas hidrológicos ou ambientais, havendo pouco envolvimento das populações originárias na tomada de decisões (Baijius; Patrick, 2019). Tais elementos tem demonstrado um processo de governança fragmentada e desigual, representando uma ameaça à autodeterminação das comunidades indígenas (Howey; Grealy, 2021)

Aspectos políticos e sociais da governança, permeados por interesses divergentes, estruturas fragmentadas e processos



de decisão mal formulados, colaboram para as disparidades no acesso aos serviços de saneamento (Pirsoul; Armoudian, 2019; Bayu et al., 2020). Legislações impostas que determinam que o fornecimento de água seja garantido apenas dentro dos limites urbanos, contribuem para tais desigualdades, resultando na restrição dos serviços de água para as pessoas que vivem fora das áreas urbanas (O'Donnell et al., 2022).

No Brasil, a Política Nacional de Atenção à Saúde dos Povos Indígenas abrange iniciativas voltadas a promoção do saneamento básico em Terras Indígenas, sob coordenação e execução da Secretaria de Saúde Indígena (SESAI), responsável pela gestão do Subsistema de Atenção à Saúde Indígena (SasiSUS), com uma abordagem especializada na prestação da assistência ao saneamento básico, entre outros serviços (BRASIL, 2002). No entanto, apesar das responsabilidades atribuídas, observa-se a ausência de um ato normativo que organize as ações de implantação ou oferta de serviços de saneamento básico nas comunidades indígenas (SESAI, 2022), que enfrentam desafios geográficos, culturais, na gestão e obtenção de serviços (Souza, 2016).

A falta de regulamentação específica para o saneamento indígena não resulta a ausência de agentes responsáveis pelos serviços (SESAI, 2022), cabe à União, prover o financiamento do SasiSUS, responsável pelas ações de saneamento nas terras indígenas (BRASIL, 2002). Entretanto, nota-se uma lacuna na atuação dos responsáveis pelas ações voltadas aos serviços de saneamento em áreas indígenas, evidenciada pela carência de corpo técnico e recursos financeiros (BRASIL, 2021). Nessas circunstâncias, Estados, Municípios e outras instituições podem desempenhar um papel complementar no custeio e execução das ações (BRASIL, 2002).

Deste modo, a prestação dos serviços públicos de saneamento será estabelecida de acordo a Lei Federal nº 11.445/2007, atribuindo aos municípios a responsabilidade pela elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), abrangendo em seu planejamento, programas e ações zonas urbanas e rurais, abarcando áreas dispersas como comunidades indígenas (BRASIL, 2018). Contudo, a carência de uma regulamentação específica (SESAI, 2022) e limitações financeiras dos municípios, são desafios agravados pela localização espacial das comunidades, que necessitam de soluções específicas (Neto et al., 2019).

### Considerações Finais

Os desafios enfrentados pelos povos indígenas revelam lacunas significativas na identificação de barreiras específicas e demandas para o acesso aos serviços públicos, ressaltando a necessidade de pesquisas mais abrangentes e acessíveis (Ezbakhe et al., 2019). A baixa frequência de estudos sobre serviços públicos em comunidades tradicionais, combinada com dificuldades de acesso a dados, destaca a importância de avaliações mais completas da qualidade e regularidade dos serviços de saneamento (Vedachalam et al., 2017; Raupp et al., 2020). A complexa interação entre fatores culturais, históricos e geográficos exige a adoção de estratégias específicas que considerem aspectos técnicos, científicos e culturais (Balasooriya et al., 2023).

Para melhorar os índices de saúde da população indígena e reduzir as desigualdades no acesso a serviços de saneamento, é necessário identificar os determinantes e promover mais pesquisas, programas e leis direcionadas a essas comunidades (Alam, 2022). Além de envolver os povos indígenas na identificação dos desafios, propor soluções culturalmente adequadas e avaliar a eficácia das ações é fundamental para a eficiência da prestação dos serviços (Jaravani et al., 2016). Entretanto, a escassez de dados acessíveis para grupos étnicos, resultado da discriminação tanto de pesquisadores quanto dos Estados, que frequentemente deixam de abranger essas minorias em seus estudos e políticas, contribui para desigualdades no acesso a água e saneamento (Alam, 2022).

Os países devem prosseguir aprimorando as pesquisas populacionais e as informações sobre a prestação de serviços nestas localidades (PAHO, 2016). Esses dados são essenciais para garantir o cumprimento dos tratados e acordos legais, podendo avaliar com eficácia as condições atuais e aprimorar a tomada de decisões (Leonard et al., 2023). Informações sobre a disponibilidade de instalações e percepções em relação à tecnologia de saneamento são limitadas quando se trata de comunidades indígenas (Libby et al., 2020).

Políticas e ações voltadas para a melhoria dos serviços devem levar em consideração as particularidades culturais e geográficas, além de incorporar investimentos em treinamento e outras medidas não financeiras (Balasooriya et al., 2023). A implementação eficaz de políticas públicas justas e não discriminatórias na área de saneamento básico é fundamental para reduzir as disparidades étnico-raciais (Raupp et al., 2020). Portanto, é essencial buscar soluções que sejam não apenas eficazes, mas também sensíveis às circunstâncias e perspectivas únicas dos grupos indígenas, com o objetivo final de promover melhorias equitativas e sustentáveis (Balasooriya et al., 2023).

Contudo, é essencial criar políticas equitativas e eficazes visando aprimorar as condições de acesso à água e o saneamento das

Além disso, é importante que os atores externos adquiram conscientização e habilidades culturalmente adequadas (Hall et al., 2021). Para a população indígena, os aspectos culturais e de estilo de vida podem ser tão importantes quanto o status econômico e precisam ser consideradas no processo de tomada de decisão e leitura social dentro do processo de mobilização (Plagányia et al., 2013). Assim, os formuladores de políticas precisam demonstrar sensibilidade às crenças locais para alcançar o manejo sustentável dos recursos e, portanto, tais práticas devem ser reconhecidas e incluídas na construção das políticas governamentais (Chunhabunyatip et al., 2018). Implementando de forma mais efetiva, políticas públicas equitativas e não discriminatórias na área do saneamento básico com vistas a reduzir as disparidades étnico-raciais (Raupp et al., 2019).

### Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio





recebido.

### Referências Bibliográficas

- Aborode, A. T., Corriero, A. C., Oyeyemi, A. A., & Zakariyah, M. O. (2021). The impact of COVID-19 on indigenous people in Africa. *Ethics, Medicine and Public Health*, 19, 100714. <https://doi.org/10.1016/J.JEMEP.2021.100714>
- Ahabwe, G. Z., Batega, D. W., Ssewaya, A., & Niwagaba, C. B. (2022). Governance conundrum in pursuit of the human right to water and sanitation: tracking the progress of the leave-no-one-behind principle in Uganda. *Journal of Water and Climate Change*, 13(1), 83–95. <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.079>
- Alam, M. Z. (2022). Ethnic inequalities in access to WASH in Bangladesh. *The Lancet Global Health*, 10(8), e1086–e1087. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(22\)00232-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(22)00232-7)
- Ana Maria Costa, Silva, A. F. da, Verani, C. B. L., Rodrigues, D. A., Campos, F. C. C., Pelegrini, M. A., Pereira, M. L. G., Alves, M. R., & Versiani, M. (1993). *II CONFERÊNCIA NACIONAL DE SAÚDE PARA OS POVOS INDÍGENAS* (Vol. 2).
- Baijius, W.; Patrick, R. J. (2019). “We Don’t Drink the Water Here”: The Reproduction of Undrinkable Water for First Nations in Canada. *Water 2019*, Vol. 11, Page 1079, 11(5), 1079. <https://doi.org/10.3390/W11051079>
- Balasoorya, B. M. J. K., Rajapakse, J., & Gallage, C. (2023). A review of drinking water quality issues in remote and indigenous communities in rich nations with special emphasis on Australia. *Science of The Total Environment*, 903, 166559. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.166559>
- Bayu, T., Kim, H., & Oki, T. (2020). Water Governance Contribution to Water and Sanitation Access Equality in Developing Countries. *Water Resources Research*, 56(4), e2019WR025330. <https://doi.org/10.1029/2019WR025330>
- Bishoge, O. K. (2021). Challenges facing sustainable water supply, sanitation and hygiene achievement in urban areas in sub-Saharan Africa. *Local Environment*, 26(7), 893–907. <https://doi.org/10.1080/13549839.2021.1931074>
- Boing, A. F., Boing, A. C., & Subramanian, S. V. (2021). Inequalities in the access to healthy urban structure and housing: An analysis of the Brazilian census data; [Inequidades en el acceso a entornos urbanos saludables y vivienda: Un análisis de datos del censo brasileño]; [Desigualdades no acesso a infraest. *Cadernos de Saude Publica*, 37(6). <https://doi.org/10.1590/0102-311X00233119>
- Brasil. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal.
- Brasil. (1999). Lei nº 9.836, de 23 de setembro de 1999. Dispõe sobre a organização da atenção básica em saúde para o Sistema Único de Saúde (SUS), no que se refere ao subsistema de atenção à saúde indígena. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 set. 1999.
- Brasil. (2020). *Saúde indígena, um direito constitucional*.
- Brasil. (2021). *Programa Nacional de Saneamento Rural PNSR: relatórios de campo das terras indígenas / Fundação Nacional de Saúde*.
- Brasil. (2002). Política Nacional de Atenção à Saúde dos Povos Indígenas. *Ministério Da Saúde. Fundação Nacional de Saúde*, 2002, 40. [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica\\_saude\\_indigena.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica_saude_indigena.pdf)
- Brasil. (2016). *Programa de Qualificação de Agentes Indígenas de Saúde (AIS) e Agentes Indígenas de Saneamento (AISAN)*. <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/4992>
- Brasil. (2018). *Termo de Referência Para Elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico* (C. de C. S. – C. Presi/Funasa/MS (ed.)). [http://www.funasa.gov.br/documents/20182/23919/TR\\_PMSB\\_Revisado\\_marco\\_2018.pdf/17b783a9-84a0-429c-b52d-1edd849d07ba](http://www.funasa.gov.br/documents/20182/23919/TR_PMSB_Revisado_marco_2018.pdf/17b783a9-84a0-429c-b52d-1edd849d07ba)
- Braun, H. da A. D., de Oliveira, O. M., & del’Olmo, F. (2020). O RECONHECIMENTO DOS DIREITOS DOS POVOS INDÍGENAS: UM ESTUDO À LUZ DAS CONSTITUIÇÕES BRASILEIRAS. *Revista Jurídica*, 1(58), 573–604. <https://doi.org/10.21902/revistajur.2316-753X.v1i58.3848>
- Britto, A. L. N. de P., Lima, S. C. R. B. de, Heller, L., & Cordeiro, B. D. S. (2012). Da fragmentação à articulação: a política





- nacional de saneamento e seu legado histórico. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, 14(1), 65. <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2012v14n1p65>
- Brown, J., Acey, C. S., Anthonj, C., Barrington, D. J., Beal, C. D., Capone, D., Cumming, O., Pullen Fedinick, K., MacDonald Gibson, J., Hicks, B., Kozubik, M., Lakatosova, N., Linden, K. G., Love, N. G., Mattos, K. J., Murphy, H. M., & Winkler, I. T. (2023). The effects of racism, social exclusion, and discrimination on achieving universal safe water and sanitation in high-income countries. *The Lancet Global Health*, 11(4), e606–e614. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(23\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(23)00006-2)
- Cassivi, A., et al. (2020). Trends in access to water and sanitation in Malawi: progress and inequalities (1992–2017). *Journal of Water and Health*, 18(5), 785–797. Disponível em: <http://iwaponline.com/jwh/article-pdf/18/5/785/773706/jwh0180785.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2023.
- Cardoso, A. M., Santos, R. V., Garnelo, L., Jr., C. E. A. C., & Chaves, M. de B. G. (2012). *Parte V – Temas relevantes em políticas e sistemas de saúde 30. Políticas públicas de saúde para os povos indígenas*.
- Castro, A. R. de. (2016). Fundamentos Para Uma Crítica Do Estatuto Do Índio: Raça E História De Lévi-Strauss. *Revista Eletrônica Do Curso de Direito Da UFSM*, 11(1), 275. <https://doi.org/10.5902/1981369420970>
- Cepal; Filac. (2020). *Los pueblos indígenas de América Latina-Abya Yala y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible Tensiones y desafíos desde una perspectiva territorial*. [www.cepal.org/apps](http://www.cepal.org/apps)
- Chunhabunyatip, P., Sasaki, N., Grünbühel, C., Kuwornu, J. K. M., & Tsusaka, T. W. (2018). Influence of Indigenous Spiritual Beliefs on Natural Resource Management and Ecological Conservation in Thailand. *Sustainability* 2018, Vol. 10, Page 2842, 10(8), 2842. <https://doi.org/10.3390/SU10082842>
- Cirino, T. L. (2019). *ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO NAS ALDEIAS INDÍGENAS PAQUIÇAMBA E GUARY-DUAN, NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA USINA HIDRELÉTRICA BELO MONTE, PARÁ*.
- Coimbra, C. E. A., Santos, R. V., Welch, J. R., Cardoso, A. M., De Souza, M. C., Garnelo, L., Rassi, E., Follér, M. L., & Horta, B. L. (2013). The First National Survey of Indigenous People’s Health and Nutrition in Brazil: Rationale, methodology, and overview of results. *BMC Public Health*, 13(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-52/TABLES/9>
- Costa, A. M., Krenak, A., Oliveira, A. G. de, Costa, A. M., Ferreira, M. J. C. de M. P., Pinto, N. R. da S., & Serra, O. (1993). *II Conferência Nacional de Proteção à Saúde do Índio*. 16(1), 65.
- Crook, M., Short, D., & South, N. (2018). Ecocide, genocide, capitalism and colonialism: Consequences for indigenous peoples and glocal ecosystems environments: *Theoretical Criminology*, 22(3), 298–317. <https://doi.org/10.1177/1362480618787176>
- Durojaye, E. (2018). Human rights and access to healthcare services for indigenous peoples in Africa. *Global Public Health*, 13(10), 1399–1408. <https://doi.org/10.1080/17441692.2017.1377745>
- Escobar, A. L., Coimbra, C. E., Welch, J. R., Horta, B. L., Santos, R. V., & Cardoso, A. M. (2015). Diarrhea and health inequity among Indigenous children in Brazil: Results from the First National Survey of Indigenous People’s Health and Nutrition. *BMC Public Health*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S12889-015-1534-7/FIGURES/1>
- Ezbakhe, F., Giné-Garriga, R., & Pérez-Foguet, A. (2019). Leaving no one behind: Evaluating access to water, sanitation and hygiene for vulnerable and marginalized groups. *Science of The Total Environment*, 683, 537–546. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.05.207>
- Farias, Y. N., Leite, I. D. C., Siqueira, M. A. M. T. De, & Cardoso, A. M. (2019). Ethnic and racial inequalities in hospital admissions due to avoidable causes in under-five brazilian children, 2009-2014. *Cadernos de Saude Publica*, 35, 1–14. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00001019>
- Felipe Pérez, B., & Tomaselli, A. (2021). Indigenous Peoples and climate-induced relocation in Latin America and the Caribbean: managed retreat as a tool or a threat? *Journal of Environmental Studies and Sciences* 2021 11:3, 11(3), 352–364. <https://doi.org/10.1007/S13412-021-00693-2>
- Fernandes, M. N. F., Nóbrega, A. R., Marques, R. S., Cabral, A. M. D. F., & Simpson, C. A. (2010). A brief history of indigenous health in Brazil. *Revista de Enfermagem UFPE on Line*, 4(4), 1951. <https://doi.org/10.5205/reuol.1515-10078-1-le.0404spe201015>



- Garnelo, L., & Pontes, A. L. (organizadoras). (2012). Saúde indígena: Uma introdução ao tema. In *Mec-Secadi*.
- Hall, N. L. (2019). Challenges of WASH in remote Australian indigenous communities. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 9(3), 429 – 437. <https://doi.org/10.2166/washdev.2019.154>
- Hall, N. L., Lee, A., Hoy, W. E., & Creamer, S. (2021). Five enablers to deliver safe water and effective sewage treatment to remote Indigenous communities in Australia. *Rural and Remote Health*, 21(3), 1 – 7. <https://doi.org/10.22605/RRH6565>
- Hartwig, L. D., Jackson, S., & Osborne, N. (2020). Trends in Aboriginal water ownership in New South Wales, Australia: The continuities between colonial and neoliberal forms of dispossession. *Land Use Policy*, 99, 104869. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2020.104869>
- Hennessy, T. W., Ritter, T., Holman, R. C., Bruden, D. L., Yorita, K. L., Bulkow, L., Cheek, J. E., Singleton, R. J., & Smith, J. (2008). The relationship between in-home water service and the risk of respiratory tract, skin, and gastrointestinal tract infections among rural Alaska Natives. *American Journal of Public Health*, 98(11), 2072–2078. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2007.115618>
- Howey, K., & Grealy, L. (2021). Drinking water security: the neglected dimension of Australian water reform. *Australian Journal of Water Resources*, 25(2), 111–120. <https://doi.org/10.1080/13241583.2021.1917098>
- Jamieson, L., Hedges, J., McKinstry, S., Koopu, P., & Venner, K. (2020). How Neoliberalism Shapes Indigenous Oral Health Inequalities Globally: Examples from Five Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 8908, 17(23), 8908. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17238908>
- Jaravani, F. G., Massey, P. D., Judd, J., Allan, J., & Allan, N. (2016). Closing the Gap: the need to consider perceptions about drinking water in rural Aboriginal communities in NSW, Australia | PHRP. *Public Health Research & Practice*, 26(2). <https://doi.org/10.17061/PHRP2621616>
- Koning, S. M., Flaim, A., Baldiga, L., & Feingold, D. A. (2021). Legal status as a life course determinant of health: parent status, adjudication stages, and HIV knowledge among highlanders in Thailand. *BMC Public Health*, 21(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/S12889-021-11811-8/TABLES/3>
- Langdon, E. J., & Diehl, E. E. (2007). Participação e autonomia nos espaços interculturais de Saúde Indígena: reflexões a partir do sul do Brasil. *Saúde e Sociedade*, 16(2), 19–36. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902007000200004>
- Leonard, K., David-Chavez, D., Smiles, D., Jennings, L., Alegado, R., Anolani, Tsinnajinnie, L., Maniowabi, J., Arsenault, R., Begay, R. L., Kagawa-Viviani, A., Davis, D. D., van Uitregt, V., Pichette, H., Liboiron, M., Moggridge, B., Carroll, S. R., Tsosie, R. L., & Gomez, A. (2023). Water Back: A Review Centering Rematriation and Indigenous Water Research Sovereignty. *Water Alternatives*, 16(2), 374–428.
- Libby, J. A., Wells, E. C., & Mihelcic, J. R. (2020). Moving up the Sanitation Ladder while Considering Function: An Assessment of Indigenous Communities, Pit Latrine Users, and Their Perceptions of Resource Recovery Sanitation Technology in Panama. *Environmental Science and Technology*, 54(23), 15405–15413. [https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C04120/SUPPL\\_FILE/ES0C04120\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C04120/SUPPL_FILE/ES0C04120_SI_001.PDF)
- Luh, J., & Bartram, J. (2016). Drinking water and sanitation: progress in 73 countries in relation to socioeconomic indicators. *Bull World Health Organ*, 94, 111–121. <https://doi.org/10.2471/BLT.15.162974>
- Mendes, A. M., Leite, M. S., Langdon, E. J., & Grisotti, M. (2018). The challenge of providing primary healthcare care to indigenous peoples in Brazil. *Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health*, 42. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.184>
- MOURA, A. D. M. DE, BOAVENTURA, L. D. C. L., & NEVES, R. D. C. M. (2021). Povos indígenas no Rio Grande do Norte, direitos e ações em tempos de covid-19. *Espaço Ameríndio*, 15(2), 119–145.
- MS - Ministério da Saúde. (2021). Distritos Sanitários Especiais Indígenas (DSEIs).
- Navarro, R. C., Sánchez, E. Y. P., & Maya, A. P. (2017). Aproximación crítica a las políticas públicas en salud indígena, medicina tradicional e interculturalidad en México (1990-2016). *Salud Colectiva*, 13(3), 443–455. <https://doi.org/10.18294/SC.2017.1115>
- Neto, J. M. M., Carcará, M. do S. M., & da Silva, E. A. (2019). Saneamento básico como dignidade humana: entre o mínimo



existencial e a reserva do possível. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24(3), 493–500. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019183905>

Niessen, L. W., Khan, J., Mohan DrPH, D., Trujillo, A., Peters DrPH, D. H., Niessen, L. W., Mohan, D., Akuoku, J. K., Mirelman, A. J., Ahmed, S., Koehlmoos, T. P., Trujillo, A., Khan, J., & Peters, D. H. (2018). Tackling socioeconomic inequalities and non-communicable diseases in low-income and middle-income countries under the Sustainable Development agenda. *The Lancet Taskforce on NCDs and Economics 2*, 391, 2036–2082. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30482-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30482-3)

Nötzold, A. L. V., & Bringmann, S. F. (2013). O Serviço de Proteção aos Índios e os projetos de desenvolvimento dos Postos Indígenas: o Programa Pecuário e a Campanha do Trigo entre os Kaingang da IR7. *Revista Brasileira de História & Ciências Sociais*, 5(10), 147–166. <https://periodicos.furg.br/rbhcs/article/view/10538>

Numans, W., Regenmortel, T. Van, Schalk, R., & Boog, J. (2021). Vulnerable persons in society: an insider's perspective. *HIInternational Journal of Qualitative Studies on Health and Well-Being*, 16(1). <https://doi.org/10.1080/17482631.2020.1863598>

Nwachukwu, M. A., Ronald, M., & Feng, H. (2017). Global capacity, potentials and trends of solid waste research and management. *Waste Management and Research*, 35(9), 923–934. <https://doi.org/10.1177/0734242X17715099>

O'Donnell, E., Jackson, S., Langton, M., & Godden, L. (2022). Racialized water governance: the 'hydrological frontier' in the Northern Territory, Australia. *Australasian Journal of Water Resources*, 26(1), 59–71. <https://doi.org/10.1080/13241583.2022.2049053>

ONU. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. In *Sustainable Development Goals*. <https://doi.org/10.5040/9781509934058.0025>

ONU. (2021). *International Day of Indigenous Peoples - Message 2021 | United Nations*. <https://www.un.org/en/observances/indigenous-day/message>

Orcotorio Figueroa, R. (2022). Vista de Pueblos indígenas y COVID-19 en el Perú: la crisis sanitaria y las deficiencias estructurales. *REVISTA KAWSAYPACHA. SOCIEDAD Y MEDIOAMBIENTE*, 2022(9), 80-. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202201.004>

Ortiz-Prado, E., Simbaña-Rivera, K., Cevallos, G., Gómez-Barreno, L., Cevallos, D., Lister, A., Fernandez-Naranjo, R., Ríos-Touma, B., Vásconez-González, J., & Izquierdo-Condoy, J. S. (2022). Waterborne diseases and ethnic-related disparities: A 10 years nationwide mortality and burden of disease analysis from Ecuador. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1029375>

PAHO, P. A. H. O. (2016). *Environmental Gradients and Health Inequalities in the Americas. Access to Water and Sanitation as Determinants of Health*.

Palheta, R. P. (2015). Política indigenista de saúde no Brasil. São Paulo: Cortez.

Pirsoul, N., & Armoudian, M. (2019). Deliberative Democracy and Water Management in New Zealand: a Critical Approach to Collaborative Governance and Co-Management Initiatives. *Water Resources Management*, 33(14), 4821–4834. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02400-x>

Plagányia, É. E., Van Putten, I., Hutton, T., Deng, R. A., Dennis, D., Pascoe, S., Skewes, T., & Campbell, R. A. (2013). Integrating indigenous livelihood and lifestyle objectives in managing a natural resource. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(9), 3639–3644. [https://doi.org/10.1073/PNAS.1217822110/SUPPL\\_FILE/ST04.DOCX](https://doi.org/10.1073/PNAS.1217822110/SUPPL_FILE/ST04.DOCX)

Raupp, L., Cunha, G. M., Fávaro, T. R., & Santos, R. V. (2019). Basic sanitation and inequalities in color/race in urban households with under-five children, with a focus on the indigenous population; [Saneamento básico e desigualdades de cor/raça em domicílios urbanos com a presença de crianças menores de 5 anos, com. *Cadernos de Saude Publica*, 35. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00058518>

Raupp, L., Cunha, G. M., Fávaro, T. R., & Santos, R. V. (2020). Condições sanitárias entre domicílios indígenas e não indígenas no Brasil de acordo com os Censos nacionais de 2000 e 2010. *Ciência & Saúde Coletiva*, 25(10), 3753–3763. <https://doi.org/10.1590/1413-812320202510.04602019>

Raupp, L., Fávaro, T. R., Cunha, G. M., & Santos, R. V. (2017). Sanitation and racial inequality conditions in urban Brazil: An





analysis focused on the indigenous population based on the 2010 population census; [Condições de saneamento e desigualdades de cor/raça no Brasil urbano: Uma análise com foco na população ind. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 20(1), 1 – 15. <https://doi.org/10.1590/1980-5497201700010001>

Rother, E. T. (2007). Revisión sistemática X Revisión narrativa. *Acta Paulista de Enfermagem*, 20, v–vi. <https://doi.org/10.1097/00005053-192411000-00111>

Servan-Mori, E., Torres-Pereda, P., Orozco, E., & Sosa-Rubí, S. G. (2014). An explanatory analysis of economic and health inequality changes among Mexican indigenous people, 2000-2010. *International Journal for Equity in Health*, 13(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/1475-9276-13-21/FIGURES/4>

SESAI. (2022). *Programa Nacional de Acesso à Água Potável em Terras Indígenas - PNATI. Relatório de Análise de Impacto Regulatório - AIR.*

Silva, L. L. da, Nascimento, P. E., Araújo, O. C. G., & Pereira, T. M. G. (2021). The Articulation of the Indigenous Peoples of Brazil in Facing the Covid-19 Pandemic. *Frontiers in Sociology*, 6, 18. <https://doi.org/10.3389/FSOC.2021.611336/BIBTEX>

Silva, P. F. A. da, Almeida, B. C. de, Menezes, E., Vasconcelos, L. C., Machado, R. R., & Machado, D. S. A. (2022). Processo de construção do Programa Nacional de Acesso à Água Potável em Terras Indígenas (PNATI). *Journal Health NPEPS*, 7(2).

Souza, A. A. de. (2016). *Estruturação E Gestão Da Secretaria Especial De Saúde Indígena: Caminhos, Atores E Institucionalidade.* Universidade de Brasília.

Sousa, A. C., & Costa, N. R. (2016). Basic sanitation policy in Brazil: Discussion of a path | Política de saneamento básico no Brasil: Discussão de uma trajetória. *História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, 23(3), 615–634.

Teixeira, C. C. (2012). A produção política da repulsa e os manejos da diversidade na saúde indígena Brasileira. *Revista de Antropologia*, 55(2), 567–608. <https://doi.org/10.11606/2179-0892.ra.2012.59296>

Teixeira, & Costa, C. (2008). política brasileira de saúde indígena vista através de um museu. *Etnográfica*, 12(vol. 12 (2)), 323–351. <https://doi.org/10.4000/ETNOGRAFICA.1733>

Turolla, F. A. (2002). Política de Saneamento Básico: Avanços Recentes e Opções Futuras de Políticas Públicas. *Textos Para Discussão N°922*, 1–29.

Vedachalam, S., MacDonald, L. H., Shiferaw, S., Seme, A., Schwab, K. J., Guiella, G., Zan, L. M., Anglewicz, P., Bertrand, J., Kayembe, P., Otupiri, E., Kirlan, S., Prihyugiarto, T. Y., Wilopo, S., Ansariadi, Lubis, N. L., Habi, O., Oumarou, S., Omuluabi, E., ... Zimmerman, L. (2017). Underreporting of high-risk water and sanitation practices undermines progress on global targets. *PLOS ONE*, 12(5), 1–20. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0176272>

Vyas, A., et al. (2019). Community-based active case-finding to reach the most vulnerable: Tuberculosis in tribal areas of India. *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 23(6), 750–755.

Yamamoto, R. M. (2004). Manual de atenção à saúde da criança indígena brasileira / Renato Minoru Yamamoto (organizador); promovido pela Sociedade Brasileira de Pediatria. In *Fundação Nacional de Saúde, 2004. 239 p* (Vol. 53, Issue 9).



# LEVANTAMENTO E PROPOSIÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A SUSTENTABILIDADE FINANCEIRA DO GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

**1Dayane Valentina Brumatti, 2Gisele de Lorena Diniz Chaves, 3Renato Ribeiro Siman, 4Fernanda Bonfim Rocha, 5Lorena Miossi Alves Cabral, 6Katarina da Silva Couto, 7Juliana Salomão das Neves, 8Carolina Ozorio Carriço**

*1 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: dayane.brumatti@edu.ufes.br; 2 Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: gisele.chaves@ufsc.br; 3 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: renato.siman@ufes.br; 4 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: fernandabonfim7@gmail.com; 5 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: lorenamiossi@gmail.com; 6 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: katarinasilvacouto@gmail.com; 7 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: juliana\_1401@yahoo.com.br; 8 Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail: carolinaozori@gmail.com*

**Palavras-chave:** sustentabilidade financeira; gerenciamento de resíduos sólidos urbanos; políticas públicas.

## Resumo

Este trabalho buscou identificar as variáveis relacionadas ao gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos (GIRSU) e como elas influenciam na sustentabilidade financeira desse gerenciamento nas prefeituras municipais, para a proposição de políticas públicas. Para isso, realizou-se uma ampla revisão da literatura para a coleta de dados secundários e elaboração de um diagrama de causa e efeito em que as variáveis foram inter-relacionadas. Como resultado, o diagrama apontou que o custo total de GIRSU é influenciado pelos custos de varrição pública e custos para gerenciar o rejeito, a coleta seletiva, e o resíduo orgânico. Sendo a autossuficiência financeira podendo ser aumentada com uma efetiva política de cobrança e uma política de incentivo a treinamentos dos agentes da limpeza pública e melhores tecnologias para gerir o resíduo de varrição. Além disso, outras políticas públicas são incentivadas nesse estudo, como a educação ambiental, incentivo à organização de catadores de materiais recicláveis, qualificação da gestão e cooperação intermunicipal. Esses apontamentos são importantes, pois direcionam os tomadores de decisão no planejamento ou melhoria do GIRSU, visando a sustentabilidade financeira desse sistema nos municípios. Estudos futuros são recomendados para ampliação do diagrama proposto e confecção de um modelo matemático.

## Introdução

Cerca de 2 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no mundo são gerados por ano. Em 2020, foram produzidos aproximadamente 2,24 bilhões de toneladas de resíduos, o equivalente a uma quantidade média diária gerada por pessoa de 0,79 kg. Até 2050, espera-se que a produção mundial de resíduos aumente 73% em comparação com os níveis de 2020, devendo atingir 3,88 bilhões de toneladas. Ao menos 33% desses resíduos não são gerenciados de forma ambientalmente adequada, podendo chegar a mais de 90% em países de menor renda necessárias (Banco Mundial, 2022). Os governos reconhecem cada vez mais a complexidade do gerenciamento desses resíduos e os custos envolvidos para implementação das mudanças necessárias (Kaza et al., 2018).

Em países de maior renda, são diversos os exemplos. Struk e Bođ'a (2022) relatam que a República Tcheca apesar de ser um país altamente desenvolvido, apontam que as despesas com o gerenciamento dos RSU são a principal preocupação dos municípios, pois os gastos com o gerenciamento têm aumentado notavelmente desde o advento de melhorias no tratamento de resíduos, colocando em pauta se esse gasto é usado de forma eficiente. Lee-Geiller e Kütting (2021) retratam que na Cidade de Nova Iorque/EUA são gerados aproximadamente 14 milhões de toneladas de rejeitos e materiais recicláveis por ano, acarretando um gasto total de 2 bilhões de dólares com o gerenciamento de resíduos. Blanchard et al. (2023) apontam que a coleta, tratamento e eliminação de resíduos domésticos na Austrália custa aos governos locais cerca de 3,5 mil milhões de dólares australianos anualmente. Isso corrobora a afirmação de que o grande volume de RSU gera altos custos relacionados com o gerenciamento dos mesmos, demonstrando a necessidade de desenvolver sistemas eficazes de gestão. Alzamora e Barros (2020) indicaram que a Bélgica, apesar de estar a frente em questões relacionadas a resíduos, tem que seus recursos arrecadados no país por esquemas de cobrança são insuficientes para cobrir os custos do seu gerenciamento: somente 50% dos custos são ressarcidos por meio de cobrança. Por outro viés, Campos-Alba et al. (2021) sugerem que os municípios espanhóis possuem potencial para reduzir o custo do seu serviço de gerenciamento de resíduos em cerca de 50%, por meio de coleta seletiva e responsabilidades entre atores públicos e privados.

Em países de menor renda, a situação se agrava, devido a maior dificuldade de acesso aos recursos, além de questões culturais, sociais, políticas e de gestão. Fernando (2019) em um estudo sobre o gerenciamento de RSU do Sri Lanka, revela uma atenção deficitária dada a esse serviço, devido às dificuldades financeiras que enfrentam e alocação orçamentária financeira inadequada para gerir 3.242 toneladas de RSU recolhidos diariamente. Bui et al. (2020) retratam que no Vietnã há desafios significativos sendo enfrentados para o gerenciamento dos 14 milhões de toneladas de resíduos gerados por ano no país, o que atribui a recursos limitados. Lohri, Camenzind e Zurbrügg (2014) revelam que na Etiópia as autoridades locais precisam se esforçar frequentemente para fornecer serviços adequados de gerenciamento de resíduos, devido ao aumento significativo dos



custos relacionados com o transporte e elevados encargos financeiros. Bharadwaj, Rai e Nepal (2020) retratam dificuldades para gerenciar RSU no Nepal devido a recursos inadequados, apresentando estudo sugestivo utilizando o plástico, como possibilidade de geração de receita para financiamento do serviço de gerenciamento desses resíduos no país. Silva e Pfeiffer (2024) retratam que no Brasil seriam necessários 10,30 bilhões em investimentos para viabilizar a universalização da destinação adequada de resíduos sólidos, mais R\$ 11,49 bilhões ao ano para operacionalização do sistema de gestão. Além disso, de acordo com o Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento - SNIS, apenas 40,3% dos municípios brasileiros cobram pelos serviços de coleta, transporte e destinação final dos RSU e em cerca de 69% daqueles que arrecadam, a receita é insuficiente para manter esses serviços, cobrindo somente 56,5% dos custos (Brasil, 2022).

Nesse sentido, a sustentabilidade financeira do gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos (GIRSU) tem sido um assunto de crescente discussão, considerando a importância do cumprimento das políticas e metas relacionadas aos resíduos e prestação eficiente do serviço público. O propósito dos municípios é garantir a prestação dos serviços de coleta, transporte, transbordo, destinação final e disposição final ambientalmente adequada, de forma a englobar financeiramente todos os custos, assim como a expansão que acompanha o crescimento populacional e as incertezas prospectivas (Brumatti, Chaves, Siman, 2024).

Outro fator crítico para a complexidade do GIRSU, além da questão econômico-financeira, é a variedade de etapas do gerenciamento e de elementos que afetam todo o sistema (Guerrero, Maas, Hogland, 2013; Sancheta, Chaves, Siman, 2021; Tsai et al., 2021). Esses elementos se inter-relacionam e podem ser classificados nas dimensões de gestão, econômica, política e social (Brumatti et al., 2024), em que o desafio se apresenta na interação entre as variáveis, atraso na percepção do impacto e não linearidade dessa interação. Portanto, o desenvolvimento de uma estrutura sistêmica que capte os aspectos de um sistema dinamicamente complexo é necessário devido à interconexão e interdependência entre as variáveis.

Nesse sentido, a dinâmica de sistemas permite que os gestores municipais identifiquem as relações de causa e efeito entre diferentes variáveis, o que possibilita entender a inter-relação entre elas e como as mudanças em um aspecto podem afetar todo o sistema. Compreender essas relações permite avaliar melhor o impacto das políticas públicas, auxiliando na formulação de políticas mais eficazes e na alocação mais eficiente de recursos. Além disso, é uma ferramenta que permite antecipar as consequências de decisões e eventos futuros, possibilitando aos gestores municipais tomar decisões mais informadas e baseadas em evidências, o que evita soluções simplistas com efeitos colaterais não previstos (Gozluklu, Sterman, 2023).

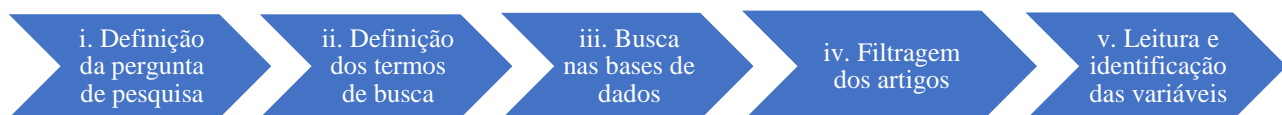
Sendo assim, nota-se que é um desafio para os municípios manter a sustentabilidade financeira dos seus serviços, tornando-se necessário identificar e verificar as relações de causa-efeito entre os principais fatores que afetam a sustentabilidade financeira do GIRSU, para propor políticas públicas mais eficazes. Diante disso, é realizado o seguinte questionamento: Quais e como as variáveis que influenciam os custos do GIRSU para os municípios se inter-relacionam? Este questionamento objetiva demonstrar a relação de causalidade entre a existência de determinado problema, no caso a dificuldade do alcance da sustentabilidade financeira dos municípios, e a proposta de solução na forma de política pública correspondente.

## Metodologia

Para responder ao questionamento apresentado, duas etapas foram empregadas para levantamento de dados e execução dessa pesquisa. A primeira consistiu em um levantamento bibliográfico e documental, a fim de identificar na literatura as variáveis relacionadas ao GIRSU, que influenciam nos custos desse gerenciamento nos municípios. A segunda constituiu na estruturação da relação entre estas variáveis, por meio de um diagrama de causa-efeito. Esta etapa foi elaborada a partir da sistematização dos dados coletados na revisão.

### Etapa I: Coleta de dados

A revisão sistemática busca, por meio de uma revisão abrangente da literatura, identificar, avaliar e sintetizar elementos de interesse e evidências de pesquisa (Grant; Booth, 2009). É uma ferramenta importante, pois fornece uma visão geral dos estudos existentes, apresentando o que já foi realizado sobre determinado assunto de forma concisa e rica em conteúdo (Dang, Weiss, 2021; Thomé, Scavarda, Scavarda, 2016). Diante disso, essa revisão foi empregada para identificação das variáveis que influenciam nos custos do GIRSU nos municípios, como pode ser visto na Figura 1.



**Figura 1 - Passos para realização da revisão sistemática da literatura.**

**Fonte: Autores**

Após a definição da pergunta de pesquisa (passo i), foi realizada a definição dos termos de busca (passo ii), sendo identificados em artigos, livros e documentos relacionados à temática estudada. Os termos foram, então, inseridos nas bases de dados para avaliar sua relevância, sendo selecionados em torno de três temáticas: tipologia do resíduo estudado (RSU/ resíduos municipais), objeto da pesquisa (sustentabilidade financeira) e ator envolvido (prefeituras municipais).

Para execução do passo iii, foram escolhidas as bases de dados Scopus e Web of Science devido à sua maior relevância para a busca da literatura científica (Khudzari et al., 2018; Solis et al., 2019), assim como sua ampla cobertura que possibilita





alcançar maior número de artigos (Salvador et al., 2019). A busca nas bases de dados desenvolveu-se por meio da utilização de operadores booleanos e da seguinte combinação dos termos de busca: Tipologia do resíduo (municipal solid waste; urban solid waste; municipal waste; urban waste; domestic waste; household waste; packaging waste; recyclable waste; recyclable materials; street sweepings); Objeto da pesquisa (financial\* sustainab\*; financial\* stability; financial\* viability; financial\* viable; financial\* self-sufficiency; financial\* evaluation; balance financial\*; financial\* independence; financial\* analysis; financial\* commitment; financial\* planning; financial\* performance; financial\* efficiency; economic\* sustainab\*; economic\* stability; economic\* viability; economic\* viable; economic\* self-sufficiency; economic\* evaluation; balance economic\*; economic\* independence; economic\* analysis; economic\* commitment; economic\* planning; economic\* performance; economic\* efficiency; environmental economics; sustainable solid waste management); e Ator estudado (municipality; city hall; municipal government; public administration; government; public authority; public management; public service; state administration). A pesquisa se restringiu aos critérios de Title-Abstract-Keywords e à delimitação temporal, de 2019 a 2024, com o intuito de alcançar informação científica mais atualizada.

Posteriormente, realizou-se o passo iv de filtragem dos documentos, sendo eliminadas as duplicidades e os artigos cujo título, resumo e palavras-chave não condiziam com o tema pesquisado. Por fim, no passo V, os artigos obtidos após a filtragem foram lidos integralmente para verificar sua compatibilidade com o questionamento levantado anteriormente. Portanto, foram considerados somente artigos que possibilitassem identificar as variáveis que influenciam nos custos do GIRSU nos municípios, e como elas se inter-relacionam.

A partir da etapa de coleta de dados foi possível identificar e correlacionar as variáveis relacionadas ao GIRSU e que influenciam na sustentabilidade financeira desse gerenciamento nas prefeituras municipais. Buscou-se identificar a influência dos seguintes custos para os municípios: de varrição pública; de coleta convencional e o transporte; transbordo (caixas estacionárias); disposição final (transporte e aterro sanitário); coleta seletiva; e compostagem.

A revisão também proporcionou a identificação das casualidades entre as variáveis que influenciam nos custos, políticas (de incentivo à população para a separação dos resíduos domésticos para a coleta seletiva e de incentivo à reciclagem (subsídio)), bem como o fortalecimento das organizações de catadores de materiais recicláveis (OCMR), nos países em que atuam, na forma de formalização da organização e no seu rendimento. Dessa forma, a sustentabilidade financeira do GIRSU será analisada pelos vieses econômico, de gestão, político e social, sendo a interconectividade de vários aspectos do gerenciamento importante para entendimento, funcionalidade e desempenho geral do sistema (Byamba, Ishikawa, 2017; Chaves, Siman, Sena, 2020; Brumatti, Chaves, Siman, 2024).

## Etapa II: Elaboração do Diagrama de Causa e Efeito

Para representação das interrelações entre as variáveis identificadas foi confeccionado um diagrama de causa e efeito (DCE) utilizando o software Vensim PLE® (Ventana Systems, 2021).

O DCE ou diagrama causal é uma ferramenta utilizada para descrever as hipóteses sobre as causas da dinâmica de uma situação, e comunicar os feedbacks importantes referentes ao problema do usuário, representando as relações de causa e efeito entre as variáveis (Sterman, 2000). É uma ferramenta útil para simplificar informações relevantes e evidenciar as relações que ocorrem dentro de um sistema complexo, favorecendo a visualização das interrelações entre os diferentes elementos do sistema, sendo constituído por palavras, links, loops (ciclos) e delays (atrasos) (Morecroft, 2015; Di Nola, Escapa, Ansah, 2018; Jin, Sutherland, 2018). Os links são representados por setas indicando a relação causal entre as variáveis e podem ser negativos (-) ou positivos (+), estabelecendo como a variável dependente muda com a alteração da variável independente (Sterman, 2000). Dessa forma, diz-se que ligações positivas denotam relações diretamente proporcionais, enquanto ligações negativas representam relações inversamente proporcionais (Eker, Daalen, 2015; Morecroft, 2015).

Já os loops, existem quando duas ou mais variáveis são conectadas, de tal maneira que seguindo a casualidade iniciada em qualquer variável, retorna-se à primeira variável, fechando um ciclo (Pruyt, 2013). O identificador de loop circula na mesma direção do ciclo e mostra um identificador “R” (loop de reforço) se for positivo, ou “B” (loop de balanço ou balanceamento) se for negativo (Sterman, 2000). No loop de reforço, ocorre uma amplificação ou reforço da condição inicial, ou seja, há uma tendência ao crescimento ou decrescimento exponencial, ao passo que no loop de balanceamento, o seu efeito é neutralizar o sistema, ou seja, há uma tendência ao equilíbrio (Morecroft, 2015). Já os delays, representados por dois traços, são os atrasos resultantes de uma ação cujos efeitos não são imediatos, o que acrescentam complexidade dinâmica ao modelo, uma vez que a causa e o efeito são menos óbvios e se aproximam mais com o sistema real (Forrester, 1961; Morecroft, 2015; Sterman, 2000).

## Resultados e Discussão

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são advindos de atividades domésticas em residências urbanas, bem como da limpeza de vias públicas e logradouros, varrição e outros serviços de limpeza urbana. Ressalta-se que alguns resíduos gerados pelas atividades de comércio em geral, por sua composição e quantidade podem ser equiparados aos resíduos domésticos. Desta forma, esses resíduos também podem ser entendidos como RSU, visto que em sua maioria são coletados, tratados e destinados como resíduos domiciliares, com exceção daqueles provenientes da atividade de grandes geradores (Espírito Santo, 2019; Sung et al., 2020).

O resíduo doméstico é constituído pelas frações seco, orgânico e rejeito (Wang, You, 2021), em que a fração orgânica compostável varia em torno de 53%, os resíduos recicláveis (seco) 41%, e o rejeito, 6% (Ali et al., 2023). Cada um deles segue uma rota, dentro da cadeia de gerenciamento, gerando um custo para o GIRSU.



A pesquisa sistematizada da literatura apontou que o custo total de GIRSU é influenciado pelos custos de varrição pública e custos para gerenciar o rejeito, a coleta seletiva, e o resíduo orgânico. Porém, a autossuficiência financeira, isto é, a capacidade dos municípios de cobrir as despesas com os serviços de manejo de RSU, com as receitas arrecadadas com tais serviços, pode ser aumentada com uma efetiva política de cobrança. Além disso, uma política de incentivo a treinamentos dos agentes da limpeza pública e melhores tecnologias para gerir o resíduo de varrição, pode reduzir o custo do gerenciamento desse resíduo.

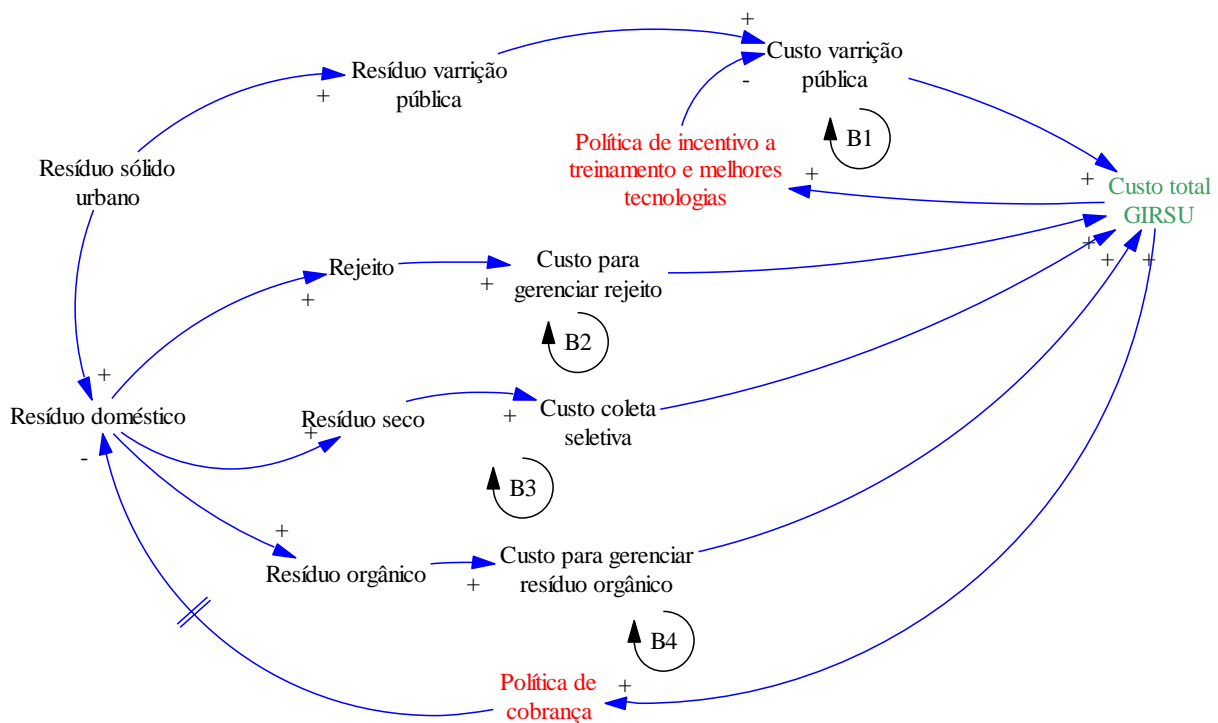
A seguir, é apresentado o DCE e as causalidades entre as variáveis relacionadas à sustentabilidade financeira do GIRSU, e é apresentada e discutida as políticas públicas e ações proponentes para manutenção dessa sustentabilidade nos municípios.

### Diagrama de Causa e Efeito

O DCE que representa as causalidades entre o custo total das prefeituras municipais com o GIRSU e a política de cobrança e política de incentivo a treinamento e melhoria dos equipamentos e da tecnologia para os resíduos de varrição, é apresentado na Figura 2. Ressalta-se que no DCE deste estudo foi assumida a cor verde para representar a variável de interesse (custo total para o GIRSU nas prefeituras municipais) e a cor vermelha para representar as variáveis políticas (de cobrança e de incentivo a treinamentos e melhores tecnologias relacionados ao resíduo de varrição).

O custo total de GIRSU é influenciado diretamente pelas variáveis: custo de varrição pública, custo para gerenciar rejeito, custo de coleta seletiva e custo para gerenciar resíduo orgânico. Foram identificados no DCE quatro ciclos de balanceamento (negativos), sendo:

- Loop de balanço 1, B1 – Varrição Pública: Custo de varrição pública  $\Rightarrow$   $\uparrow$ Custo total GIRSU  $\Rightarrow$   $\uparrow$ Política de incentivo a treinamento e melhores tecnologias  $\Rightarrow$   $\downarrow$ Custo de varrição pública



**Figura 2 - DCE da inter-relação entre as variáveis que influenciam nos custos de GIRSU em municípios.**

Fonte: Autores

O custo de varrição pública possui relação diretamente proporcional ao custo total de GIRSU, ou seja, quanto maior o custo de varrição, maior será o custo total de GIRSU. Isso incita, por parte do governo, tomada de ações no sentido de diminuição dos custos, como uma política que incentiva o treinamento dos agentes de limpeza pública e o uso de melhores tecnologias. Esta variável, por sua vez, possui relação inversamente proporcional ao custo de varrição, uma vez que esta ação diminui custos.

De acordo com Ferreira e Barros (2021), em torno de 50% do custo para gerenciar RSU é relativo ao custo para gerenciar resíduo de varrição, em municípios que apresentam população entre 10.000 a 50.000 habitantes. O custo total de GIRSU, por sua vez, possui relação diretamente proporcional à política de incentivo a treinamento dos agentes de limpeza pública e melhores tecnologias, como a aquisição de varredoras mecânicas e equipamentos adequados para a atividade, devendo os governos darem maior atenção e dispendir investimentos neste setor para economia de custos.

O estudo de Mota e Borges (2014) indica que melhorias tecnológicas e de infraestrutura operacional para o manejo do resíduo de varrição e a qualificação e valorização do trabalhador, propicia a ampliação da prestação de serviços, melhora as



condições de trabalho e as políticas internas, especialmente a de pessoas, com destaque para a efetividade dos trabalhadores. Considerando que o salário de um trabalhador implica em um gasto mensal, e o treinamento e a aquisição de melhores equipamentos são ações pontuais no tempo, isso indica diminuição no custo dispendido para a contratação de mais funcionários, em que o recurso pode ser melhor investido na qualificação e aperfeiçoamento do trabalhador, bem como na melhoria tecnológica e operacional, incluindo o planejamento das rotas de varrição. Isso é representado pela relação inversamente proporcional entre o treinamento e melhores tecnologias e o custo de varrição pública.

Em geral a atividade dos trabalhadores da limpeza pública geralmente é desvalorizada, como também o trabalhador que as executa, pelo vínculo estabelecido entre ele e o seu objeto de trabalho (Mota e Borges, 2014).

- Loop de balanço 2, B2 – Rejeito: Resíduo doméstico (quantidade)  $\Rightarrow$   $\uparrow$ Rejeito (quantidade)  $\Rightarrow$   $\uparrow$ Custo para gerenciar rejeito  $\Rightarrow$   $\uparrow$ Custo total GIRSU  $\Rightarrow$   $\uparrow$ Política de cobrança  $\Rightarrow$   $\downarrow$ Resíduo doméstico (quantidade)

O resíduo doméstico apresenta uma relação diretamente proporcional com o rejeito, o que significa que um aumento da quantidade de resíduos domésticos implica em uma elevação da parcela de rejeito. A quantidade de rejeito vai influenciar diretamente sobre o custo do seu gerenciamento, quanto maior a quantidade de rejeito, maior será o custo para geri-lo. Isso implica em mais investimento em política de cobrança aplicada ao gerador. Como consequência, a aplicação dessa política diminuirá a quantidade de resíduos domésticos.

O custo do gerenciamento dos rejeitos consiste no custo de coleta e transporte convencional, somado ao custo de caixas estacionárias, mais o custo de disposição em aterro sanitário. Quanto maior a quantidade de rejeito, maior será o custo para gerir todas essas etapas. Estes custos possuem relação diretamente proporcionais ao custo total de GIRSU, contribuindo consideravelmente neste custo, pois a maior parte dos gastos municipais estão concentrados nos serviços de coleta, transporte e disposição final (Silva, 2018). Benitez-Bravo et al. (2021) e Colvero et al. (2020) indicam que os custos operacionais de coleta e transporte representam de 70% a 95% do custo total com o GIRSU pelos municípios.

O custo total do GIRSU, por sua vez, possui relação diretamente proporcional a política de cobrança. Uma política de cobrança efetivamente implementada, além de proporcionar recuperação dos custos, proporciona um estímulo à redução da quantidade de resíduos gerados e descartados pelos municípios (Dutra et al., 2020; Wright et al., 2019). Além disso, a cobrança pode ainda incentivar a segregação de resíduos de valor econômico na fonte de geração, favorecendo o aumento da reciclagem (Chung, Yeung, 2019; Gradus et al., 2019). Isso explica a relação inversamente proporcional entre a política de cobrança e a quantidade de resíduos domésticos. Contudo, a maioria dos municípios não cobram pelos serviços ou são deficitários na cobrança. De acordo com Alzamora e Barros (2020) e Abu-Qdais, Shatnawi e Al-Shahrabi (2023), muitas cidades em todo o mundo enfrentam desafios na implementação de um sistema tarifário que seja robusto e justo para alcançar a recuperação de custos e a sustentabilidade dos serviços, especialmente nos países em desenvolvimento.

- Loop de balanço 3, R3 – Resíduo seco: Resíduo doméstico (quantidade)  $\Rightarrow$   $\uparrow$ Resíduo seco (quantidade)  $\Rightarrow$   $\uparrow$ Custo da coleta seletiva  $\Rightarrow$   $\uparrow$ Custo total GIRSU  $\Rightarrow$   $\uparrow$ Política de cobrança  $\Rightarrow$   $\downarrow$ Resíduo doméstico (quantidade)

O resíduo doméstico apresenta uma relação diretamente proporcional com o resíduo seco, o que significa que um aumento da quantidade de resíduos domésticos implica em uma elevação da parcela de resíduo seco. A quantidade de resíduo seco vai influenciar diretamente sobre o custo do seu gerenciamento, quanto maior a quantidade desse resíduo, maior será o custo para geri-lo. Isso implica em mais investimento em política de cobrança aplicada ao gerador. Como consequência, a aplicação dessa política diminuirá a quantidade de resíduos domésticos.

A quantidade de resíduo seco possui relação diretamente proporcional com o custo da coleta seletiva, ou seja, aumenta-se a quantidade de RDO coletados seletivamente aumenta-se também os gastos com a coleta seletiva (Zon et al., 2020). Um estudo desenvolvido por Maalouf et al. (2020), por exemplo, indicou que um aumento de 55% nos resíduos enviados para coleta seletiva poderia gerar um aumento de 44% nos custos do GIRSU. E ainda, D'Onza, Greco e Allegrini (2016) mencionam que o custo da coleta seletiva (185,80 €.t-1) equivale a cerca de 2,7 vezes os custos da coleta convencional (67,60 €.t-1), quando a coleta seletiva representa menos de 25% da coleta total. Os gastos com a implantação da coleta seletiva se concentram em: aquisição de veículos automotores próprios para essa coleta; no transporte da nova rota; no custo do serviço de motorista e coletores; no pagamento por serviços ambientais aos catadores de materiais recicláveis; na implementação de uma estação de triagem, com estrutura mínima (banheiro, refeitório, etc.), contendo esteira ou balcão, equipamento compactador (prensa hidráulica), balança, carrinhos de fardo, entre outros. O custo dispendido para o local de triagem também pode ser via aluguel, como no caso do pavilhão alugado em Santa Cruz do Sul, Brasil, custando R\$ 4.500 reais mensais (Oliveira, Góes, 2019).

Os custos dispendidos com os catadores contratados podem variar de: a) valor fixo (Martínez, Piña, 2017; Navarrete-Hernandez and Navarrete-Hernandez, 2018; Rutkowski and Rutkowski, 2015), como em Santa Cruz do Sul (Brasil), em que o grupo de catadores recebe por meio de contrato um repasse da Prefeitura municipal no valor de R\$ 31 mil mensais (Christmann, Karnopp, Arend, 2017); b) valor com parte fixa e outra variável, sendo a renda dos catadores composta pelo valor recebido pelo pagamento pelos serviços de coleta, processamento e encaminhamento para reciclagem, e pela venda de materiais recicláveis (Charles, 2019; Martínez, Piña, 2017); c) e somente variável, dependendo da quantidade de materiais reciclados e vendidos. Nestes casos, recebem a infraestrutura para operacionalização do serviço, como galpão, equipamentos, caminhões, contratação de motoristas para coleta seletiva e abastecimento de combustível (Marello, Helwege, 2018; Oliveira, Góes, 2019; Silva, Bolson, 2018). Segundo Silva, Besen e Ribeiro (2021), os catadores recebem em média de 1 a 2 salários mínimos locais, mas pode ser inferior como os catadores colombianos que ganham menos de 1 salário mínimo local por mês com base em uma taxa de US\$ 10 centavos por kg de material reciclável recuperado (Martínez & Piña, 2017).

Sendo assim, a expansão da coleta seletiva contribui consideravelmente no custo total do GIRSU. Entretanto a





administração pública deve se planejar para atender às metas de reciclagem propostas pela legislação.

- Loop de balanço 4, B4 – Resíduo orgânico: Resíduo doméstico (quantidade) ⇒ ↑Resíduo orgânico (quantidade) ⇒ ↑Custo para gerenciar resíduo orgânico ⇒ ↑Custo total GRSU ⇒ ↑Política de cobrança ⇒ ↓Resíduo doméstico (quantidade)

O resíduo doméstico apresenta uma relação diretamente proporcional com o resíduo orgânico, o que significa que um aumento da quantidade de resíduos domésticos implica em uma elevação da parcela de resíduo orgânico. A quantidade desse resíduo vai influenciar diretamente sobre o custo do seu gerenciamento, quanto maior a quantidade de orgânicos, maior será o custo para geri-lo. Isso implica em mais investimento em política de cobrança aplicada ao gerador. Como consequência, a aplicação dessa política diminuirá a quantidade de resíduos domésticos.

A parcela dos resíduos orgânicos também gera custos para o seu gerenciamento, sendo proporcional à quantidade gerada. O custo da implementação do gerenciamento de resíduos orgânicos pode variar dependendo de fatores como infraestrutura, tecnologia utilizada, escala de produção do composto, condições e regulamentações locais, e principalmente a rota de coleta de recolha desse resíduo, em que o transporte se apresenta como o maior custo desse gerenciamento (Al-Ghazawi and Zboon, 2021; Gadaleta, Gisi, Notarnicola, 2021; Blanchard et al., 2023). Os governos devem implementar esforços para tratar a fração orgânica dos RSU, em cumprimento às políticas ambientais como a Diretiva (UE) 2018/851 que estipula o tratamento dos resíduos orgânicos, e o Planares - Plano Nacional de Resíduos Sólidos instrumento para aplicabilidade da Lei 12.305/2010 do Brasil, que estipula os municípios a recuperar 13,5% da fração orgânica dos RSU, até 2040 (Brasil, 2010, 2022).

Para isso, os países estão desenvolvendo diversas estratégias sendo a digestão anaeróbica, a vermicompostagem e a compostagem as técnicas mais utilizadas (Alves, Villar, Mato, 2023). Outras abordagens podem incluir recuperação de energia por meio da digestão anaeróbica e incineração, técnicas utilizadas no Reino Unido, por exemplo (Ng, Yang, Yakovleva, 2019). Outros países, como a Malásia, investiram em sistemas de compostagem de resíduos alimentares em escala comunitária, sendo uma opção viável para economia de custos, se de forma concomitante houver a valorização monetária do aterro e do mercado de fertilizantes químicos (Keng et al., 2020). Já na implementação da compostagem aeróbica em escala municipal, em Irbid, Jordânia, Al-Ghazawi e Zboon (2021) verificaram um retorno sobre o custo de capital em cerca de 6,63 anos e uma receita líquida anual de 88.250 JOD (124.500 USD), demonstrando viabilidade econômica mediante o recebimento de 25 toneladas/dia de resíduo orgânico.

### Políticas Públicas para manutenção da sustentabilidade financeira do GRSU

A análise dos ciclos de balanceamento identificados no DCE relacionados ao custo total do GRSU, evidencia a complexidade das variáveis e ramificações das inter-relações envolvidas nesse sistema. As interações entre custos de varrição pública, gerenciamento de rejeitos, coleta seletiva e resíduo orgânico demonstram a importância de políticas públicas eficazes para manter a sustentabilidade financeira desse gerenciamento. A compreensão desses ciclos ressalta a necessidade de abordagens integradas que visem não apenas a redução de custos operacionais, mas também a recuperação dos investimentos e a promoção da eficiência no gerenciamento dos RSU. Nesse contexto, políticas que incentivem o treinamento adequado dos agentes de limpeza pública e a adoção de tecnologias avançadas, além da implementação de sistemas de cobrança justos e eficazes emergem como elementos-chave para alcançar um equilíbrio financeiro sustentável no GRSU.

Outras estratégias para reduzir os custos do GRSU, concomitante ao aumento da reciclagem para cumprimento das políticas de resíduos, devem ser implementadas pelos municípios. A seguir, na Figura 3, estão apresentadas algumas dessas estratégias.

Objeto da proposta	Política proposta	Descrição da estratégia política	Importância da estratégia proposta
resíduo doméstico (seco, orgânico e rejeito)	educação ambiental	campanhas para orientar os cidadãos sobre a importância de separar os resíduos na fonte e como fazer	desviar os resíduos do aterro sanitário para a reciclagem e para a compostagem local, a fim de prolongar a vida útil dos aterros sanitários
tarifação	cobrança sobre o gerador	<i>pay as you throw</i> (pague conforme você gera)	tarifação justa pelo serviço de GRSU para recuperação de parte ou total do investimento
catadores	incentivo	incentivar a criação e formalização do grupo de catadores de materiais recicláveis	aumento das taxas de reciclagem, reduzindo assim o volume de resíduos depositados em aterros
GRSU	qualificação da gestão	maior especialização dos gestores e incentivo para equipe multidisciplinar	maior eficiência na implementação de programas governamentais e alcance do equilíbrio das contas no GRSU.

Figura 3 - Estratégias para redução dos custos do GRSU e aumento da reciclagem.

Fonte: Elaborado pelos autores

Uma delas é a adoção da política de educação ambiental, apostando em técnicas de intervenção e sensibilização à



população por meio de campanhas, a fim de educar e informar os cidadãos sobre como separar corretamente os resíduos na fonte (Struk, 2017). É essencial para incentivar os desvios de resíduos do aterro sanitário para a reciclagem, a fim de prolongar a vida útil dos aterros sanitários, principalmente em regiões onde as terras são escassas e onerosas (Giannis et al., 2017). Como exemplo, um estudo realizado por (Sidique, Joshi, Lupi, 2010), nos Estados Unidos, indicou que cada 1 US\$.pessoa<sup>-1</sup> gasto anualmente com educação ambiental pode aumentar a reciclagem em aproximadamente 2%. No município de Curitiba (Brasil), um investimento adicional em política de educação ambiental aumentou a taxa de reciclagem em 12% do total de resíduos coletados (Silva, 2018). Além disso D'Onza et al. (2016) explicam que o aumento da coleta seletiva para percentuais superiores a 50% poderia reduzir seu valor em 30%.

Soma-se à importância de se investir em educação ambiental, a orientação à população para a compostagem, separação de resíduos biológicos e operações corretas, sendo uma prática necessária para implementar a compostagem no local e diminuir custos (Dri et al. 2018; Alves, 2023). É urgentemente necessário e de crescente discussão reduzir e desviar o desperdício alimentar dos aterros, conforme preconizado pela Estratégia de Crescimento Limpo do Reino Unido (Governo HM, 2017), Estratégia de Recursos e Resíduos para Inglaterra (Governo HM, 2018), o Roteiro para uma Europa Eficiente em Recursos (COM/2011/0571) (Comissão Europeia, 2011), Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 12.3 das Nações Unidas (Nações Unidas, 2015) e o Planares (Brasil, 2022). A estratégia da campanha pode incluir também a prevenção do excesso de alimentos que ainda são seguros para consumo humano. Isso pode ser alcançado através de medidas como educação, implementação de novas etiquetas de "consumir de preferência antes" e "prazo de validade" nos alimentos, e a redistribuição desses alimentos para instituições de caridade. (Ng, Yang e Yakovleva, 2019).

A estratégia de implementação de política de tarifação pelo serviço de GIRSU realizado pelas prefeituras é crucial para se obter o financiamento para esse gerenciamento, pois em geral nos municípios se baseia numa percentagem do valor correspondente ao consumo de água efetuado pelas famílias, não sendo o mais justo, e nem concorrendo para o incentivo à redução e a separação dos resíduos na fonte (Puna, Baptista, 2008). O gerenciamento dos RSU é um serviço público individual prestado a determinados usuários, portanto passível de cobrança. Por isso a importância de implementação da política de cobrança, estipulando taxa justa de cobrança e fiscalização de cumprimento dessa política. O método de cobrança mais implementado pelos países desenvolvidos é o chamado "pay as you throw" (PAYT), um sistema proporcional em que o valor total varia de acordo com os resíduos gerados individualmente (Alzamora and Barros, 2020). Há uma considerável variação entre os países nos sistemas de cobrança e preços, geralmente quanto mais desenvolvido um país, mais sofisticado ele é em termos de esquemas de cobrança.

Outros aspectos que cooperam para o alcance da sustentabilidade financeira do GIRSU devem ser abordados. O incentivo aos catadores de materiais recicláveis, em países que atuam, estão frequentemente relacionados com economias no sistema de gerenciamento, pois contribuem significativamente para as taxas de reciclagem, reduzindo assim o volume de resíduos depositados em aterros (Dutra et al., 2018; Ghisolfi et al., 2017). A qualificação técnica está relacionada à capacidade administrativa das cidades, sendo importante para atender adequadamente as responsabilidades relacionadas ao gerenciamento dos RSU (Vargas-Terranova et al., 2022; Razzaq et al., 2021). Uma maior especialização dos gestores de resíduos, implicam menos atrasos na implementação de programas governamentais e, por isso, mais chances de atingir o equilíbrio das contas no GIRSU. Além disso, o percentual de equipes consideradas multidisciplinares é extremamente baixo (2%) (Marino; Chaves; Santos Junior, 2018), o que desperta a necessidade de melhoria de equipe para um maior preparo das prefeituras na busca de soluções e alternativas para viabilizar os planos municipais contornando restrições orçamentárias.

## Considerações finais

O diagrama de causa e efeito apontou a influência de políticas de cobrança na quantidade de resíduos domésticos, e que suas parcelas, seco, úmido (orgânico) e rejeito influenciam, respectivamente, nos custos de coleta seletiva, nos custos para gerenciar o resíduo orgânico, e nos custos para gerenciar o rejeito, que consiste na coleta e transporte convencional, somado ao custo de transbordo, mais o custo de disposição em aterro sanitário. Esses custos, juntamente com os custos para gerenciar os resíduos da varrição, compõem o custo total de GIRSU das prefeituras municipais. Já a política voltada para treinamento e melhoria tecnológica sobre os resíduos de varrição influenciam na redução do custo para gerenciar os resíduos da varrição.

Esses apontamentos são importantes, pois direcionam os tomadores de decisão no planejamento ou melhoria do GIRSU, visando a sustentabilidade financeira desse sistema nos municípios. Dentre as ações, sugere-se a implementação da política de educação ambiental, com o intuito de aumentar a separação das frações seco e orgânico, em detrimento do rejeito, desviar os resíduos do aterro e reduzir custos; implementação eficiente de uma política de cobrança, para obtenção de retorno financeiro do investimento dispendido no GIRSU; e incentivar a cooperação intermunicipal, especialmente em municípios menores, visando ganhos de escala e compartilhamento de infraestrutura. Além disso, o incentivo aos catadores de materiais recicláveis e maior mão de obra especializada nas prefeituras, concorrem para fatores que corroboram para o equilíbrio das contas dos titulares dos serviços de GIRSU.

Este trabalho contribui com um modelo mental para descrever qualitativamente uma situação problema, e pode ser aplicável a diversas realidades de GIRSU, mediante às devidas adequações e considerações. Contudo, possui algumas limitações. A produção de energia por meio de RSU não foi aprofundada neste trabalho, assim como outros instrumentos políticos que poderiam incentivar o aumento da quantidade de resíduos enviados para a reciclagem, como taxas/impostos para aterramento, recompensas, subsídios, dentre outros. Portanto, recomenda-se para pesquisas futuras que esta análise seja ampliada para abordar estes outros instrumentos políticos que podem interferir para a sustentabilidade financeira e não foram considerados neste



diagrama de causa e efeito. Além disso, recomenda-se que o diagrama sugerido seja utilizado como base para a confecção de um modelo matemático. Isso proporcionaria uma avaliação quantitativa aprofundada, considerando diversos cenários sobre a implementação das políticas sugeridas, o que apontaria efetivamente os impactos das políticas para os gestores, qual política seria mais efetiva e prazo para efetivação dos efeitos.

### Referências Bibliográficas

Abu-Qdais, H.A.; Shatnawi, N.; Al-Shahrabi, R., 2023. "Modeling the Impact of Fees and Circular Economy Options on the Financial Sustainability of the Solid Waste Management System in Jordan." *Resources* 12 (3).

Al-Ghazawi, Z.; Zboon, O., 2021. "Environmental and Economic Evaluation of Municipal Solid Waste Composting Facility in Irbid Greater Municipality, Jordan." *Jordan Journal of Civil Engineering* 15 (4): 611–22.

Ali, H.; Leta, S.; Hussien, A.; Alemu, T., 2023. "Resource Recovery Potential from Source-Separated Organic Municipal Solid Waste: Opportunities for Organic Fertilizer Production and Creating Sustainable Urban Agriculture in Ethiopia." *Journal of Material Cycles and Waste Management* 25 (4): 2417–30. <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01709-5>.

Alves, D.; Villar, I.; Mato, S., 2023. "Community Composting Strategies for Biowaste Treatment: Methodology, Bulking Agent and Compost Quality." *Environmental Science and Pollution Research* 31 (7): 9873–85.

Alzamora, B.R.; Barros, R.T. de V., 2020. "Review of Municipal Waste Management Charging Methods in Different Countries." *Waste Management* 115: 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.020>.

Banco Mundial (2022). Understanding Poverty, Topics, Urban Development: Solid Waste Management. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>>. Acesso em: 05 mar 2024.

Benitez-Bravo, R.; Gomez-González, R.; Rivas-García, P.; Botello-Álvarez, J.E.; Huerta-Guevara, O.F.; García-León, A.M.; Rueda-Avellaneda, J.F., 2021. "Optimization of Municipal Solid Waste Collection Routes in a Latin-American Context." *Journal of the Air and Waste Management Association* 71 (11): 1415–27. <https://doi.org/10.1080/10962247.2021.1957040>.

Bharadwaj, B.; Rai, R.K.; Nepal, M., 2020. "Sustainable Financing for Municipal Solid Waste Management in Nepal." *PLoS ONE* 15 (8 August): 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231933>.

Blanchard, C.; Harris, P.; Pocock, C.; McCabe, B.K., 2023. "Food and Garden Organic Waste Management in Australia: Co-Benefits for Regional Communities and Local Government." *Sustainability (Switzerland)* 15 (13): 1–25.

Brasil. (2022) Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <[https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano\\_nacional\\_de\\_residuos\\_solidos-1.pdf](https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf)>. Acesso em: 05 mar 2024.

Brumatti, D.V.; Lorena Diniz Chaves, G. de; Siman, R.R., 2024. "Barriers That Affect the Financial Sustainability of Integrated Management Systems of Urban Solid Waste." *Urbe* 16: 1–18. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.016.e20230020>.

Bui, T.D.; Tsai, F.M.; Tseng, M.L.; Ali, M.D.H., 2020. "Identifying Sustainable Solid Waste Management Barriers in Practice Using the Fuzzy Delphi Method." *Resources, Conservation and Recycling* 154 (December 2019): 104625.

Byamba, B.; Ishikawa, M., 2017. "Municipal Solid Waste Management in Ulaanbaatar, Mongolia: Systems Analysis." *Sustainability (Switzerland)* 9 (6). <https://doi.org/10.3390/su9060896>.

Campos, H.K.T., 2014. "Recycling in Brazil: Challenges and Prospects." *Resources, Conservation and Recycling* 85: 130–38.

Charles, G., 2019. "Sustainability of Social Enterprises Involved in Waste Collection and Recycling Activities: Lessons from Tanzania." *Journal of Social Entrepreneurship* 12 (2): 219–37. <https://doi.org/10.1080/19420676.2019.1686712>.

Chaves, G. de L.D.; Siman, R.R.; Sena, L.G., 2020. "Assessment Tool for Integrated Solid Waste Management Municipal Plans: Part 2." *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 25 (1): 181–95. <https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020180120b>.

Christmann, I.F.; Karnopp, E.; Arend, S.C., 2017. "Catadores E Recicladores: Inclusão Ou Exclusão? A Cooperativa Dos Catadores E Recicladores De Santa Cruz Do Sul/Rs – Brasil." *RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico* 1 (39): 233.





- Chung, W.; Yeung, I.M.H., 2019. "Analysis of Residents' Choice of Waste Charge Methods and Willingness to Pay Amount for Solid Waste Management in Hong Kong." *Waste Management* 96: 136–48. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.020>.
- Colvero, D.A.; Ramalho, J.; Gomes, A.P.D.; Matos, M.A.A. de; Tarelho, L.A. da C., 2020. "Economic Analysis of a Shared Municipal Solid Waste Management Facility in a Metropolitan Region." *Waste Management* 102 (August 2014): 823–37.
- D'Onza, G.; Greco, G.; Allegrini, M., 2016. "Full Cost Accounting in the Analysis of Separated Waste Collection Efficiency: A Methodological Proposal." *Journal of Environmental Management* 167: 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.002>.
- Dang, L.; Weiss, J., 2021. "Evidence on the Relationship between Place Attachment and Behavioral Intentions between 2010 and 2021: A Systematic Literature Review." *Sustainability (Switzerland)* 13 (23). <https://doi.org/10.3390/su132313138>.
- Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 2008/98/CE relativa aos resíduos (JO L 150 de 14.6.2018, p. 109-140).
- Dutra, L.; Honda, K.; Vieira, A.; Montes, R., 2020. "A Sustentabilidade Financeira Dos Serviços de Manejo de Resíduos Sólido: Modelos de Cobrança Ao Redor Do Mundo," 43. [www.ey.com.br](http://www.ey.com.br).
- Dutra, R.M. de S.; Yamane, L.H.; Siman, R.R., 2018. "Influence of the Expansion of the Selective Collection in the Sorting Infrastructure of Waste Pickers' Organizations: A Case Study of 16 Brazilian Cities." *Waste Management* 77 (2018): 50–58.
- Eker, S.; Daalen, E. van, 2015. "A Model-Based Analysis of Biomethane Production in the Netherlands and the Effectiveness of the Subsidization Policy under Uncertainty." *Energy Policy* 82 (1): 178–96. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.019>.
- Espírito Santo. (2019). Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo. Disponível em: <<https://seama.es.gov.br/plano-estadual-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 05 mar 2024.
- Fernando, R.L.S., 2019. "Solid Waste Management of Local Governments in the Western Province of Sri Lanka: An Implementation Analysis." *Waste Management* 84: 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.030>.
- Ferreira, A.C.; Barros, R.T.V., 2021. "Panorama Dos Gastos Públicos Municipais Com Os Serviços de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos: Uma Análise Da Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG)." *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 26 (4): 659–68. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220200022>.
- Forrester, J.W., 1961. *Industrial Dynamics. Pegasus Communications: Waltham, MA*. Vol. 21.
- Gadaleta, G.; Gisi, S. De; Notarnicola, M., 2021. "Feasibility Analysis on the Adoption of Decentralized Anaerobic Co-Digestion for the Treatment of Municipal Organic Waste with Energy Recovery in Urban Districts of Metropolitan Areas." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (4): 1–17. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041820>.
- Ghisolfi, V.; Chaves, G. de L.; Siman, R.; Xavier, L.H., 2017. "System Dynamics Applied to Closed Loop Supply Chains of Desktops and Laptops in Brazil: A Perspective for Social Inclusion of Waste Pickers." *Waste Management* 60: 14–31.
- Giannis, A.; Chen, M.; Yin, K.; Tong, H.; Veksha, A., 2017. "Application of System Dynamics Modeling for Evaluation of Different Recycling Scenarios in Singapore." *Journal of Material Cycles and Waste Management* 19 (3): 1177–85.
- Gozluklu, B.; Sterman, J., 2023. System dynamics to understand and improve the performance of complex projects. p. 70-77. In: Winch, G.; Brunet, M.; Cao, D. *Research Handbook on Complex Project Organizing*. p. 422.
- Gradus, R.; Homsy, G.C.; Liao, L.; Warner, M.E., 2019. "Which US Municipalities Adopt Pay-As-You-Throw and Curbside Recycling?" *Resources, Conservation and Recycling* 143 (June 2018): 178–83. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.012>.
- Grant, M.J.; Booth, A., 2009. "A Typology of Reviews: An Analysis of 14 Review Types and Associated Methodologies." *Health Information and Libraries Journal* 26 (2): 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>.
- Guerrero, L.A.; Maas, G.; Hogland, W., 2013. "Solid Waste Management Challenges for Cities in Developing Countries." *Waste Management* 33 (1): 220–32. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>.
- Jin, E.; Sutherland, J.W., 2018. "An Integrated Sustainability Model for a Bioenergy System: Forest Residues for Electricity Generation." *Biomass and Bioenergy* 119 (November 2017): 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.09.005>.



- Kaza, S.; Yao, L.; Bhada-Tata, P.; Woerden, F. V., 2018. *What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington.
- Keng, Z.X.; Chong, S.; Ng, C.G.; Ridzuan, N.I.; Hanson, S.; Pan, G.T.; Lau, P.L.; et al., 2020. "Community-Scale Composting for Food Waste: A Life-Cycle Assessment-Supported Case Study." *Journal of Cleaner Production* 261: 121220.
- Khudzari, J.; Kurian, J.; Tartakovsky, B.; Raghavan, G.S.V., 2018. "Bibliometric Analysis of Global Research Trends on Microbial Fuel Cells Using Scopus Database." *Biochemical Engineering Journal* 136: 51–60.
- Lee-Geiller, S.; Kütting, G., 2021. "From Management to Stewardship: A Comparative Case Study of Waste Governance in New York City and Seoul Metropolitan City." *Resources, Conservation and Recycling* 164 (August 2020): 105110.
- Lohri, C.R.; Camenzind, E.J.; Zurbrügg, C., 2014. "Financial Sustainability in Municipal Solid Waste Management - Costs and Revenues in Bahir Dar, Ethiopia." *Waste Management* 34 (2): 542–52. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.014>.
- Marello, M.; Helwege, A., 2018. "Solid Waste Management and Social Inclusion of Wastepickers: Opportunities and Challenges." *Latin American Perspectives* 45 (1): 108–29. <https://doi.org/10.1177/0094582X17726083>.
- Maalouf, A., Di Maria, F., & El-Fadel, M. 2020. Waste Recycling in a Developing Context: Economic Implications of an EU-Separate Collection Scheme. In S. K. Ghosh (Ed.), *Waste Management as Economic Industry Towards Circular Economy* (First edition, p. 105–114). Singapore: Springer.
- Martínez, C.; Piña, W. 2017. Solid waste management in Bogotá: the role of recycling associations as investigated through SWOT analysis. *Environment, Development and Sustainability*, v. 19, n. 3, p. 1067–1086.
- Morecroft, J.D.W., 2015. *STRATEGIC and BUSINESS*.
- Mota, G.M.V.; Borges, L. de O., 2014. "Limpeza Urbana: O Contexto Institucional e a Atividade de Varrição Em Belo Horizonte." *Revista Psicologia: Organizações e Trabalho* 14 (1): 37–51.
- Navarrete-Hernandez, P.; Navarrete-Hernandez, N., 2018. "Unleashing Waste-Pickers' Potential: Supporting Recycling Cooperatives in Santiago de Chile." *World Development* 101: 293–310. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.08.016>.
- Ng, K.S.; Yang, A.; Yakovleva, N., 2019. "Sustainable Waste Management through Synergistic Utilisation of Commercial and Domestic Organic Waste for Efficient Resource Recovery and Valorisation in the UK." *Journal of Cleaner Production* 227: 248–62. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.136>.
- Nogueira Zon, J.L.; Jacobsen Leopoldino, C.; Yamane, L.H.; Ribeiro Siman, R., 2020. "Waste Pickers Organizations and Municipal Selective Waste Collection: Sustainability Indicators." *Waste Management* 118: 219–31.
- Nola, M.F. Di; Escapa, M.; Ansah, J.P., 2018. "Modelling Solid Waste Management Solutions: The Case of Campania, Italy." *Waste Management* 78: 717–29. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.006>.
- Oliveira, C.B.; Góes, C.H.B., 2019. "César Hamilton Brito Góes," 112–32.
- Pruyt, E., 2013. *Small System Dynamics Models for Big Issues: Triple Jump towards Real-World Complexity*. Netherlands: Delft: TU Delft Library.
- Puna, J.F.B.; Baptista, B. dos S., 2008. "A Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos - Perspectiva Ambiental e Económico-Energética." *Química Nova* 31 (3): 645–54. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422008000300032>.
- Razzaq, A.; Sharif, A.; Najmi, A.; Tseng, M.L.; Lim, M.K., 2021. "Dynamic and Causality Interrelationships from Municipal Solid Waste Recycling to Economic Growth, Carbon Emissions and Energy Efficiency Using a Novel Bootstrapping Autoregressive Distributed Lag." *Resources, Conservation and Recycling* 166 (September 2020): 105372.
- Rutkowski, J.E.; Rutkowski, E.W., 2015. "Expanding Worldwide Urban Solid Waste Recycling: The Brazilian Social Technology in Waste Pickers Inclusion." *Waste Management and Research* 33 (12): 1084–93.
- Sancheta, L.; Chaves, G.; Siman, R.R., 2021. "The Use of System Dynamics on Urban Solid Waste Management: A Literature Analysis." *Gestao e Producao* 28 (3): 1–18. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2021V28E5336>.



- Sidique, S.F.; Joshi, S. V.; Lupi, F., 2010. "Factors Influencing the Rate of Recycling: An Analysis of Minnesota Counties." *Resources, Conservation and Recycling* 54 (4): 242–49. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.08.006>.
- Silva, C.L. da, 2018. "Proposal of a Dynamic Model to Evaluate Public Policies for the Circular Economy: Scenarios Applied to the Municipality of Curitiba." *Waste Management* 78: 456–66. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.007>.
- Silva, C.L. da; Bolson, C., 2018. "Public Policy for Solid Waste and the Organization of Waste Pickers: Potentials and Limitations to Promote Social Inclusion in Brazil." *Recycling* 3 (3). <https://doi.org/10.3390/recycling3030040>.
- Silva, K.N.; Pfeiffer, S.C., 2024. "Analysis of the integrated basic sanitation concession model adopted by the municipality of São Simão, Goiás." *Rev. Gest. Soc. Ambient, Miami*, v.18, n.1, p.1-16.
- Silva, P.; Besen, G.R.; Ribeiro, H., 2021. "O pagamento por serviços ambientais como instrumento de inclusão socioprodutiva de catadores de materiais recicláveis : materiais recicláveis : um mapeamento sistemático da literatura" no. November.
- Solis, B.P.; Argüello, J.C.C.; Barba, L.G.; Gurrola, M.P.; Zarhri, Z.; TrejoArroyo, D.L., 2019. "Bibliometric Analysis of the Mass Transport in a Gas Diffusion Layer in PEM Fuel Cells." *Sustainability (Switzerland)* 11 (23).
- Sterman, J.D., 2000. *Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Interfaces*. Vol. 34. <http://www.lavoisier.fr/notice/frJWOAR6SA23WLOO.html>.
- Struk, M., 2017. "Distance and Incentives Matter: The Separation of Recyclable Municipal Waste." *Resources, Conservation and Recycling* 122: 155–62. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.023>.
- Struk, M.; Boďa, M., 2022. "Factors Influencing Performance in Municipal Solid Waste Management – A Case Study of Czech Municipalities." *Waste Management* 139 (December 2021): 227–49. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.022>.
- Sung, H.C.; Sheu, Y.S.; Yang, B.Y.; Ko, C.H., 2020. "Municipal Solid Waste and Utility Consumption in Taiwan." *Sustainability (Switzerland)* 12 (8): 1–16. <https://doi.org/10.3390/SU12083425>.
- Thomé, A.M.T.; Scavarda, L.F.; Scavarda, A.J., 2016. "Conducting Systematic Literature Review in Operations Management." *Production Planning and Control* 27 (5): 408–20. <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464>.
- Tsai, F.M.; Bui, T.D.; Tseng, M.L.; Lim, M.K.; Tan, R.R., 2021. "Sustainable Solid-Waste Management in Coastal and Marine Tourism Cities in Vietnam: A Hierarchical-Level Approach." *Resources, Conservation and Recycling* 168 (April): 105266.
- Vargas-Terranova, C.A.; Rodrigo-Ilari, J.; Rodrigo-Clavero, M.E.; Rozo-Arango, M.A., 2022. "M-GRCT: A Dynamic Circular Economy Model for the Optimal Design of Waste Management Systems in Low-Income Municipalities." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19 (5). <https://doi.org/10.3390/ijerph19052681>.
- Ventana Systems. 2021. *Vensim*. Ventana Systems UK. Disponível em: <<https://www.ventanasystems.co.uk/services/software/vensim/>>. Acesso em: 05 mar 2024.
- Wang, W. jing; You, X. yi, 2021. "Benefits Analysis of Classification of Municipal Solid Waste Based on System Dynamics." *Journal of Cleaner Production* 279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123686>.
- Wright, C.; Halstead, J. M.; Huang, J. C. 2019. Estimating Treatment Effects of Unit Based Pricing of Household Solid Waste Disposal. *Agricultural and Resource Economics Review*, 48(1), 21–43. DOI: <https://doi.org/10.1017/age.2018.2>





## PROPOSTA DE CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE PARA BAIROS EM CRESCIMENTO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

1Juliana Benévolo Siqueira dos Santos, 2Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos Bezerra

1 Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, e-mail: jubenevolo@gmail.com; 2 Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, e-mail: mmb@puc-rio.br

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; Planejamento urbano; Bairros sustentáveis.

### Resumo

As discussões sobre desenvolvimento sustentável, inclusive no que se refere ao planejamento urbano, têm crescido ao longo dos anos. A intensificação das consequências das mudanças climáticas nas cidades tem chamado ainda mais a atenção para a importância do planejamento urbano sustentável. Entretanto, não há consenso sobre quais critérios devem ser usados e, mesmo as certificações internacionais mais famosas, não têm critérios adaptados à realidade dos países em desenvolvimento. Este estudo propõe critérios de sustentabilidade para bairros em crescimento na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, com base na adaptação dos critérios da certificação LEED for Communities e na adição de novos critérios baseados em recomendações feitas por pesquisadores de planejamento urbano, como Jane Jacobs, Jan Gehl e Richard Rogers.

### Introdução

As discussões sobre o desenvolvimento sustentável têm sido realizadas principalmente após a realização da Rio 92 [1]. Desde então, inúmeras iniciativas na área de planejamento urbano também foram desenvolvidas, incluindo a criação de redes de cidades como o ICLEI, que promoveu a implementação de ecobairros em todo o mundo [2].

Nos últimos anos, essas discussões se intensificaram em vista das crescentes consequências das mudanças climáticas, como secas, inundações e elevação do nível do mar em diversas cidades do mundo [3]. A urbanização afeta e é afetada pelas mudanças climáticas [4] e esses impactos tornam-se ainda mais alarmantes quando se considera a expansão urbana sem planejamento adequado.

Portanto, as cidades são um elemento-chave para a mitigação da mudança climática, considerando que muitas atividades que contribuem para as emissões de gases de efeito estufa são realizadas nelas [3]. No entanto, embora a importância de aplicar critérios sustentáveis ao planejamento urbano seja bem conhecida, não há um consenso sobre qual metodologia deve ser seguida [5] ou o que caracteriza um bairro sustentável, por exemplo.

Deve-se observar que essa questão também está ligada ao fato de que é muito difícil estabelecer critérios universais devido às diferenças locais em relação a aspectos políticos, econômicos, legais e culturais. Essas diferenças podem ocorrer até mesmo em bairros localizados na mesma cidade, pois eles têm dinâmicas diferentes. Portanto, é importante que os critérios de sustentabilidade sejam criados ou adaptados ao contexto local do lugar que está sendo avaliado [6].

O objetivo deste estudo é propor critérios de sustentabilidade para bairros em crescimento na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, com base em uma análise comparativa dos critérios usados em diferentes referências, incluindo uma certificação internacional, recomendações feitas por pesquisadores renomados em questões de planejamento urbano e outras referências relevantes sobre o assunto.

### Metodologia

A primeira etapa deste estudo consistiu na realização de pesquisas sobre renomados teóricos do planejamento urbano para identificar quais aspectos de sustentabilidade eles consideravam em seus trabalhos. Os autores pesquisados foram Jane Jacobs, Jan Gehl, Richard Rogers, além do conceito do Novo Urbanismo.

A pesquisa foi então ampliada para incluir dois modelos desenvolvidos por pesquisadores e profissionais de planejamento urbano que têm sido amplamente discutidos ultimamente e estão relacionados ao desenvolvimento sustentável: o conceito de cidade de 15 minutos e o modelo de desenvolvimento orientado para o trânsito (DOTS).

Além disso, também foi analisado um programa desenvolvido pelo C40 Cities com foco em bairros verdes, bem como as recomendações feitas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre mitigação e adaptação às mudanças climáticas nas cidades e o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 11 da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre Cidades e Comunidades Sustentáveis.

Em seguida, foi realizada uma análise comparativa para destacar quais aspectos relacionados ao planejamento urbano sustentável eram comuns a duas ou mais das referências pesquisadas. Após essa etapa, foi analisada a certificação LEED for Communities e feita uma seleção de seus critérios com base em sua adequação ao contexto brasileiro.

Por fim, foi feita uma proposição de critérios de sustentabilidade para bairros em crescimento no Brasil, adaptando os critérios do LEED for Communities e acrescentando outros critérios com base no que foi sugerido pelas outras referências estudadas.



## Discussões

Em primeiro lugar, é importante destacar que, para fins deste estudo, os critérios de sustentabilidade são aqueles que contribuem direta ou indiretamente para minimizar o impacto das cidades no meio ambiente, promover a igualdade social e o desenvolvimento econômico.

Portanto, os tópicos analisados no escopo deste estudo são muito diversos, abrangendo desde mobilidade urbana até participação pública e iniciativas de economia circular. Dito isso, há alguns aspectos do trabalho de planejadores urbanos conhecidos que podem ser classificados como sustentáveis, embora não sejam oficialmente mencionados como tal.

A segurança em locais públicos, por exemplo, é um dos tópicos que pode ser considerado um aspecto da sustentabilidade, pois contribui para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos de maneira direta, além de ser um dos fatores para que estes caminhem mais pelo bairro, evitando o uso de carros particulares.

Jacobs [7], Gehl [8] e Rogers [9] defendem o uso do espaço público para aumentar a segurança das cidades devido à vigilância dos cidadãos. Esse ponto é especialmente destacado por Jacobs [7], que cunhou a expressão “olhos da rua”, referindo-se à necessidade dos edifícios terem contato com o espaço público para que seus habitantes possam monitorar as ruas.

Entretanto, para garantir que o espaço público seja realmente usado pelos cidadãos, ele deve ser atraente tanto para atividades fixas quanto móveis, conforme mencionado por Gehl [8]. Quando se trata de atividades móveis, como caminhar, as ruas devem ter iluminação adequada, pavimentação acessível e proteção climática, garantindo que os cidadãos se sintam seguros e confortáveis. Com relação às atividades fixas, como sentar-se em um banco de praça, todos os aspectos mencionados também devem ser respeitados, além de haver um mobiliário urbano adequado [8]. A variedade de áreas verdes também é um ponto importante, conforme mencionado no conceito do Novo Urbanismo [10].

A dimensão social da cidade também é um aspecto sustentável muito importante, embora nem sempre tenha sido tratada como tal ao longo da história do urbanismo e mesmo hoje em dia com o advento das certificações de sustentabilidade com viés ambiental [5]. Ela está relacionada à forma como a cidade é projetada em relação à sua escala, à participação pública na tomada de decisões e também às iniciativas tomadas para promover a inclusão social.

Jacobs [7], Gehl [8], Rogers [9] e o conceito do Novo Urbanismo [10] também fazem recomendações sobre esse tópico, destacando a importância do planejamento urbano comunitário, do respeito à escala humana ao projetar a cidade e de tornar os espaços públicos universalmente acessíveis. Suas recomendações são opostas aos ideais modernistas de dividir a cidade em diferentes setores e privilegiar o uso de carros, seguindo a lógica de uma sociedade mecanizada e funcionalista em que a casa é, de fato, uma “máquina de morar”, conforme sugerido por Le Corbusier [11].

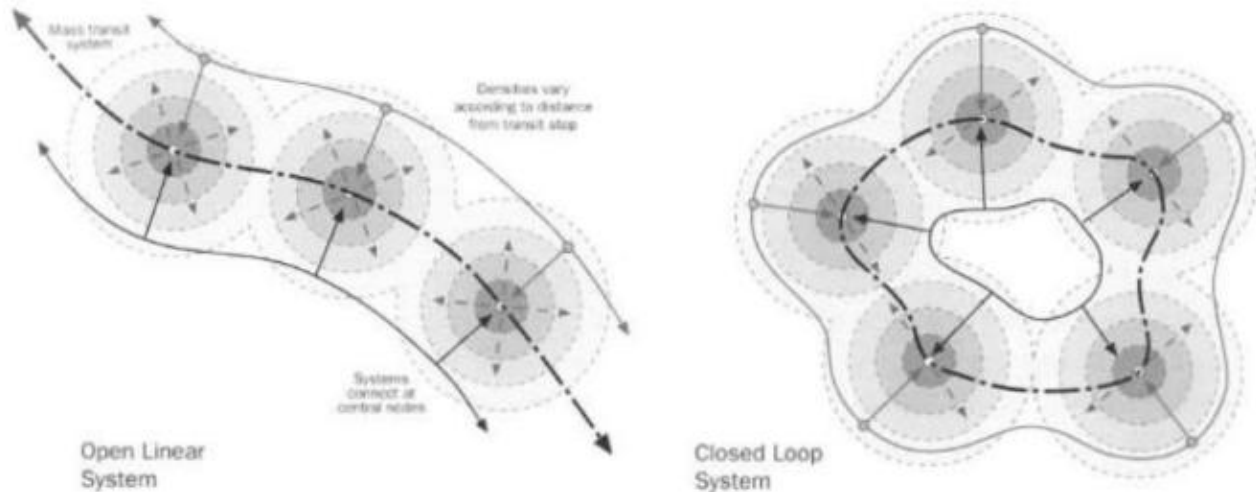
Com relação à mobilidade urbana, ela pode ser associada à sustentabilidade ambiental de forma mais direta, considerando que há uma forte associação entre as emissões de gases do efeito estufa (GEE) nas cidades e o uso de veículos movidos a combustível. Esse tema tem sido amplamente discutido nas últimas décadas, dado o aumento do número de veículos particulares, o que resultou no desenvolvimento de modelos e conceitos relacionados a ele.

Nesse sentido, podem ser citadas especialmente duas referências voltadas para esse assunto: a cidade de 15 minutos e o Desenvolvimento Urbano Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS). A primeira afirma que os serviços essenciais devem estar a uma distância de 15 minutos a pé das residências dos cidadãos [12]. Ele estabelece um vínculo entre mobilidade e uso do solo, pois o modelo só é possível em uma cidade com uso misto do solo. A compactação também é um elemento-chave desse modelo, mas quando se trata de densidade, Moreno [12] afirma que ela deve respeitar um nível adequado para evitar a sobrecarga da infraestrutura.

Com relação ao DOTS, embora esteja relacionado à mobilidade, ele também tem uma relação estrita com o uso do solo. Em consonância com Gehl [8], Rogers [9], o conceito de Novo Urbanismo [10] e o modelo de 15 minutos [12], o conceito de DOTS também destaca a importância de adotar o uso misto do solo e incentivar os cidadãos a andarem a pé e de bicicleta em vez de usar carros particulares como seu principal meio de transporte [13].

O conceito também menciona que é importante criar uma rede de ruas densas para que os cidadãos possam caminhar por ruas variadas e de menor extensão em comparação com a rota que o carro tem de fazer [13]. O uso do transporte público também deve ser incentivado, sendo importante que ele seja universalmente acessível e que haja estabelecimentos para diferentes usos ao longo dos corredores de transporte público [13].

Essa importante relação com o transporte público também é um elemento-chave do modelo de cidade de Rogers [9], uma vez que ele é estruturado de acordo com as estações de transporte público de massa. Essas estações são os pontos nodais de um modelo concêntrico de bairros que são ligados por linhas de transporte público, conforme mostrado na Figura 1. Este é de alguma forma similar à recomendação do conceito do Novo Urbanismo sobre projetar em uma escala regional conectando diferentes centralidades por transporte público.



**Figura 1: Modelo de cidade compacta e orientada para o transporte de massa de Rogers [9]**

Com relação à sustentabilidade ambiental, a infraestrutura da cidade também deve ser examinada, inclusive os serviços de fornecimento de eletricidade e água e o gerenciamento de resíduos. Rogers [9] e o programa Bairros Verdes e Prósperos da Rede C40 Cities [14] enfatizam a importância da reutilização e da reciclagem de materiais, além da adoção de outras medidas que viabilizem o desenvolvimento de um modelo econômico circular em vez de linear. O IPCC [15] também faz algumas considerações nesse sentido, recomendando a redução do consumo de água e energia e a adoção de infraestrutura verde nas cidades como medidas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas.

Além dos pontos mencionados acima em relação à infraestrutura da cidade, o uso de energia renovável e questões relacionadas à construção de edifícios também devem ser abordados no planejamento urbano sustentável. O programa Bairros Verdes e Prósperos da rede C40 Cities [14] e o IPCC [15] destacam a importância de promover a construção de edifícios verdes, caracterizados como edifícios que implementam estratégias para reduzir seu impacto ambiental.

A tecnologia também pode ser um meio importante de promover a sustentabilidade das cidades, conforme mencionado por Rogers [9], Moreno [12] e o programa Bairros Verdes e Prósperos da rede C40 Cities [14]. O uso de soluções de internet das coisas (IoT na sigla em inglês) para monitorar os dados da cidade em tempo real é um exemplo de medida que ajuda a aumentar sua sustentabilidade, auxiliando o processo de tomada de decisão.

Por fim, outro ponto mencionado pelo programa Bairros Verdes e Prósperos da rede C40 Cities [14], relacionado à sustentabilidade social, econômica e ambiental, é a implementação de medidas que contribuam para um estilo de vida saudável. A criação de fazendas urbanas ou outras soluções que dão acesso a alimentos saudáveis e a criação de espaços que podem ser usados para a prática de esportes são alguns exemplos dessas medidas.

Os diferentes autores estudados desenvolveram estudos, conceitos e modelos muito diversos, concentrando-se em aspectos específicos distintos. No entanto, algumas correlações podem ser feitas entre seus trabalhos, o que é importante para apontar quais aspectos são frequentemente preconizados como boas medidas de planejamento urbano sustentável. A Tabela 1 apresenta quais pontos são recomendados por cada um dos autores e modelos estudados.

Pode-se observar que os aspectos mais preconizados são, em ordem de importância, o uso misto, o incentivo à caminhada e ao ciclismo, o uso do transporte público e a compactação urbana. Nesse sentido, pode-se dizer que esses são os aspectos mais importantes de um bairro sustentável. Entretanto, a maneira como eles são implementados em cada local pode diferir com base nos hábitos, nas necessidades e no contexto de cada local.

Além dos estudos e modelos desenvolvidos pelos teóricos urbanos e instituições apresentados, a partir da década de 90 também passaram a surgir certificações de sustentabilidade. Estas apresentam metodologias e sistemas de pontuação complexos, abrangendo diversos tópicos para avaliar o nível de sustentabilidade de uma edificação e até mesmo bairros e cidades.

Uma destas certificações é a Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), a qual foi criada pelo US Green Building Council (USGBC) e atualmente é o sistema de certificação mais usado no mundo [16]. Além da certificação para edifícios, uma nova certificação foi lançada em 2009 especificamente para bairros, a LEED-ND e, em 2016, duas novas certificações foram lançadas, a LEED para Cidades e para Comunidades.

A certificação LEED-ND é dividida em três temas principais: Localização e Conexão Inteligente, Padrão e Design de Bairros e Infraestrutura e Edifícios Verdes. Além destes temas que incluem critérios obrigatórios, existem também os temas de inovação e prioridade regional, os quais incluem critérios opcionais que contam como bônus para a pontuação final [17].

Com relação aos objetivos de cada tema, o de “Localização e Conexão Inteligente” se concentra em evitar o espraiamento urbano, o de “Padrão e Design do Bairro” visa criar bairros compactos, caminháveis e de uso misto do solo, e o de “Infraestrutura e Edifícios Verdes” tem foco em minimizar o impacto negativo das construções no meio ambiente.

A certificação LEED-ND funciona por meio de um sistema de pontos, com um número máximo concedido por critério e um mínimo de 40 pontos no total a ser alcançado para obter o nível mais básico de certificação. Ela pode ser aplicada a bairros





planejados ou construídos e há quatro níveis de certificação que vão do mais básico ao mais completo: certificado, prata, ouro e platina [17]. No que diz respeito à universalidade de sua aplicação, no guia fornecido pelo USGBC para o LEED-ND há uma seção denominada “Dica Internacional”, cujo objetivo é ajudar projetos fora dos Estados Unidos a encontrar padrões equivalentes aos usados no sistema de classificação. Há também instruções específicas para cada critério em suas próprias seções no guia [16].

**Tabela 1 - Recomendações feitas por cada autor e/ou modelo**

Recomendações	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Uso misto do solo	x	x	x	x	x	x	x		x
Planejamento urbano comunitario	x	x		x		x			
Vigilância como medida de segurança	x		x	x					
Uso de transporte público		x	x	x		x	x	x	
Principais serviços acessíveis por caminhada curta ou bicicleta		x	x		x	x	x		
Comércio e serviço localizados perto de estações de transporte público		x	x	x			x		
Compacidade urbana		x		x	x	x	x		x
Variedade de áreas verdes		x				x		x	
Incentivo à caminhada e uso da bicicleta			x	x	x	x	x	x	x
Acessibilidade universal			x			x			
Espaços públicos de qualidade			x			x			
Promoção da economia circular				x		x			
Planejamento urbano holístico				x					
Uso de tecnologia/incentivo à inovação				x	x	x			
Incentivo à realização de retrofits e construções eficientes						x			x
Redução do consumo de energia e materiais						x			x
Eletrificação de veículos e utilização de energia renovável						x			x
Uso de infraestrutura verde						x			x
Incentivo à produção local						x			
Criação de empregos verdes						x			
Redução do impacto negativo das cidades no meio ambiente						x		x	
Promoção da adaptação das cidades às mudanças climáticas						x		x	

1= Jacobs [7], 2= New Urbanism [10], 3= Gehl [8], 4= Rogers [9], 5= Moreno/ Cidade de 15-minutes [12], 6= Programa Bairros Verdes e Prósperos do C40 Cities [14], 7= DOTS [13], 8= ODS 11 da ONU – Cidades e comunidades sustentáveis, 9= IPCC [15]

Com relação ao LEED para Comunidades, ele tem uma estrutura diferente, dividida em 8 temas diferentes (Figura 2) [18].

As certificações LEED para Comunidades e LEED-ND têm objetivos diferentes, sendo a primeira mais voltada para a criação de bairros tradicionais e a segunda voltada para uma abordagem mais ampla baseada em dados [18]. Portanto, este estudo se concentrou mais no LEED para Comunidades, pois ele inclui mais temas em seu sistema de classificação.

Os critérios propostos neste estudo baseiam-se principalmente nos critérios da certificação LEED para Comunidades, sendo acrescentados alguns outros critérios com base nas recomendações das outras referências estudadas, conforme mencionado anteriormente.

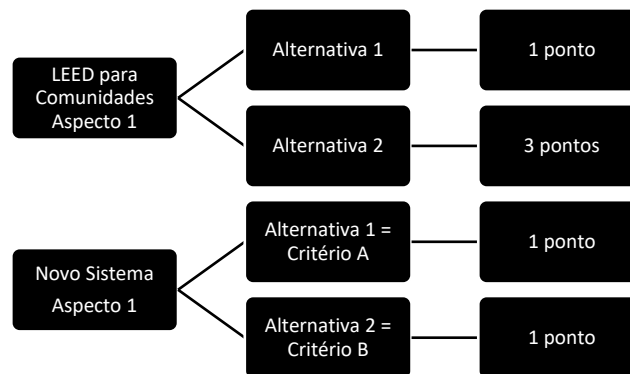


**Figura 2: Temas da certificação LEED para Comunidades.**

No entanto, foi necessário fazer adaptações nos critérios da certificação mencionada para que eles fossem aplicáveis ao contexto do Rio de Janeiro e também para simplificar o sistema de classificação utilizado. Há algumas políticas que ainda são incipientes no Brasil em comparação com países do exterior e enfrentam algumas barreiras culturais e econômicas.

Um exemplo é o crédito para “veículos movidos a combustíveis alternativos”, que exige que pelo menos 2% dos estacionamentos públicos tenham um equipamento de abastecimento de veículos elétricos (EVSE). Embora seja comum ver esse tipo de equipamento em estacionamentos públicos em cidades dos Estados Unidos e da Europa, no Rio de Janeiro ele ainda está limitado a áreas privadas e postos de combustível.

Quando se trata de simplificar o sistema de classificação, em vez de adotar o sistema de pontos no qual a pontuação de cada critério pode variar de acordo com o nível de conformidade, considera-se apenas uma alternativa de atendimento ao critério que, por sua vez, corresponde a um ponto (Figura 3).



**Figura 3: Novo Sistema de pontuação proposto.**

A tabela 2 apresenta os critérios finais propostos considerando as adaptações necessárias aos critérios da certificação LEED para Comunidades e a adição de novos critérios baseados nas outras referências estudadas.

**Tabela 2 - Critérios propostos para analisar o nível de sustentabilidade de bairros em crescimento no Rio de Janeiro**

Tópico	Sub-tópico	Aspecto	Critérios
Uso do solo	Habitação	Método construtivo	Mais de 10% dos edifícios com alguma certificação de sustentabilidade
	Habitação	Retrofit	Existência de iniciativas de retrofit no bairro
	Áreas Verdes	Áreas públicas	Mais de 15% do bairro é composto por áreas verdes públicas e universalmente acessíveis
	Áreas Verdes	Áreas públicas	90% da população tem uma área verde a menos de 800 m de distância de sua moradia
	Áreas Verdes	Conservação de recursos	Manutenção de áreas verdes protegidas em pelo menos 20% da área do bairro
	Áreas Verdes	Plano de resiliência	Existência de um plano de resiliência
	Compacidade		Pelo menos 32 unidades habitacionais por hectare
	Uso misto		Pelo menos 12 tipos diferentes de uso em um raio de 400 m acessível por caminhada desde as moradias dos habitantes



Tópico	Sub-tópico	Aspecto	Critérios
Mobilidade	Promoção do uso de transporte público		800 m de distância a pé de uma estação de transporte coletivo partindo da moradia dos habitantes e
			Faixa de preferência para transporte público nas ruas
	Incentivo à caminhada e uso da bicicleta	Desenho das ciclovias	Separação física entre a ciclovia e a pista de carros em ruas com velocidade acima de 55 km/h e
		Rede cicloviária	A ciclovia deve ter pelo menos 1,5 m de largura (sentido único)
		Bicicletários	Existência de uma rede de ciclovias conectada que passe por pelo menos 50% dos edifícios residenciais
		Calçadas	Existência de bicicletários em estações de transporte público e edifícios comerciais
			As calçadas devem ter pelo menos 3 m de largura em ruas de uso misto ou 1,5 m de largura em outras ruas e
			A pavimentação utilizada deve ser universalmente acessível
		Sombreamento	Pelo menos 40% das calçadas e ciclovias devem ser sombreadas
		Ruas amigáveis ao pedestre	Uso de soluções de moderação de tráfego que protejam os cidadãos dos veículos
		Tamanho do quarteirão	Os quarteirões devem ter um comprimento máximo de 250 m, ou devem ser fornecidas passagens para pedestres
		Localização dos serviços	Concentração de atividades comerciais e sociais em torno de estações de transporte público
	Qualidade do transporte	Multimodal	A população deve usar diferentes meios de transporte
		Estações de transporte	80% das paradas de transporte devem ter um abrigo com assentos, iluminação e informações sobre as rotas
Combate à poluição	Carregamento de veículos elétricos	Existência de locais para carregar veículos elétricos	
	Veículos compartilhados	Existência de esquemas de veículos compartilhados	
Outras soluções	Sistemas de gerenciamento de estacionamento público	Sistema com atualizações em tempo real para vagas de estacionamento público	
	Acompanhamento em tempo real do transporte público	Sistema com informações em tempo real sobre as rotas nas estações de transporte	
Água e saneamento	Acesso	Todos os edifícios do bairro devem ter acesso a água potável e saneamento básico	
	Qualidade	A água distribuída deve atender aos requisitos de qualidade das autoridades locais	
	Aproveitamento da água da chuva	Uso de dispositivos de infraestrutura verde que permitam maior infiltração da água da chuva	
	Consumo	Uso de medidores inteligentes para monitorar o consumo da água e identificar perdas e desperdícios	
Infraestrutura urbana	Energia	Acesso	Todos os edifícios do bairro devem ter acesso à eletricidade
		Proteção	A fiação deve ser protegida, priorizando-se o uso de fiação subterrânea
		Eficiência energética	Existência de edifícios energeticamente eficientes, uso de LEDs na iluminação pública
	Energia renovável	Existência de geração fotovoltaica in-loco na vizinhança	
	Resíduos	Resíduos da construção	Existência de um programa de descarte de resíduos da construção para reciclagem
		Resíduos sólidos	100% dos edifícios atendidos por um sistema de coleta, incluindo coleta seletiva
		Resíduos orgânicos	Coleta e tratamento separados de pelo menos 75% dos resíduos orgânicos gerados na vizinhança
		Reciclagem	Existência de centros de coleta de lixo eletrônico e embalagens, vidro, metal e alumínio
Inovação		Uso de soluções inteligentes de gerenciamento de resíduos, como rotas de coleta inteligentes	
Sociedade	Qualidade de vida	Disponibilidade de serviços	Existência de escolas, universidades, unidades médicas, delegacias de polícia, quartéis de bombeiros, clubes e estabelecimentos culturais
		Habitação de	Existência de habitações de interesse social





Tópico	Sub-tópico	Aspecto	Critérios
		Interesse Social	
		Qualidade do ar	Monitoramento da qualidade do ar
		Produção local de alimentos	Existência de hortas comunitárias e/ou iniciativas de agricultura urbana
		Esportes	Existência de locais públicos para a prática de esportes adaptados a diferentes condições climáticas
		Artes e cultura	Existência de locais públicos para atividades artísticas e culturais
		Estilo de vida sustentável	Existência de iniciativas como brechós, brechós, feiras comunitárias, etc.
		Participação pública	Existência de uma associação de moradores ativa e outras iniciativas dirigidas por moradores do bairro
		Qualidade de espaços públicos	Existência de espaços públicos de qualidade
		Acessibilidade	Promover a acessibilidade dos espaços públicos
Emergências		Plano de contingência	Existência de um plano de contingência para o caso de um desastre natural ou outro tipo de emergência
		Abrigos	Existência de abrigos em caso de emergência
Segurança		Iluminação Pública	Iluminação pública adequada para evitar que as ruas fiquem escuras
		Fachadas dos prédios	Adoção de uma abordagem de “olhos da rua”, evitando o uso de grandes muros
		Policiamento	Existência de um policiamento em funcionamento no bairro
		Uso do solo	Promoção do uso misto do solo, evitando concentrar um único uso em um quarteirão, especialmente aqueles que funcionam apenas em um período do dia
Lazer		Diversidade	Existência de diferentes tipos de atividades de lazer

### Conclusão

O estudo destacou o fato de que há similaridade no que é proposto por diferentes referências de planejamento urbano, podendo ser destacados alguns pontos como fundamentais para a promoção da sustentabilidade no meio urbano uma vez que são amplamente citados. No entanto, a forma como essas recomendações são implementadas deve ser adaptada para a realidade de cada local, não sendo possível utilizar os mesmos critérios para cidades dos Estados Unidos e da América Latina, por exemplo. A diferença socioeconômica entre as cidades em âmbito global ou até mesmo nacional deve ser respeitada para que a implementação dos critérios de sustentabilidade seja de fato bem-sucedida. Estas diferenças podem ser verificadas até mesmo dentro de uma mesma cidade, sendo importante a realização de estudos para a escala do bairro.

Verificou-se que a certificação LEED para Comunidades apresenta um sistema de avaliação e pontuação bem estruturado, abrangendo tópicos referentes à aspectos ambientais, sociais e econômicos. No entanto, embora esta já tenha sido adotada em diferentes cidades do mundo, ainda faltam alternativas ou adaptações para a realidade de países em desenvolvimento como o Brasil. Notou-se a existência de barreiras culturais e econômicas para a adoção de alguns critérios, o que prejudica a nota alcançada por bairros brasileiros na certificação sendo que estes se encontram ainda em outro estágio de desenvolvimento.

Destaca-se também que a maioria dos critérios considerados estão ligados ao tema de mobilidade, que é inegavelmente um aspecto muito importante, mas não deve estar acima de outros tópicos. Embora vários critérios sociais estejam sendo considerados, mais estudos devem ser feitos para reforçar esse ponto, pois, de certa forma, ele ainda é desconsiderado em muitos projetos urbanos. Desta forma, recomenda-se que mais estudos sejam feitos para investigar as adaptações necessárias para aplicar a certificação em outras cidades localizadas em países em desenvolvimento, sendo pertinente avaliar se é realmente possível utilizar um único sistema de avaliação para diversas cidades ou se o mais adequado seria desenvolver sistemas diferentes de acordo com a realidade de cada local.

### Referências

- [1] H. Acselrad, “Discursos da sustentabilidade urbana” (Urban sustainability discourses), *RBEUR*, no. 1, p. 79, May 1999.
- [2] C. Emelianoff. “Urbanisme durable, in: Collart Dutilleul F., Pironon V., Van Lang A. (dir.)” (Sustainable urbanism in: Collart Dutilleul F., Pironon V., Van Lang A.), *Dictionnaire juridique des transitions écologiques*, Institut Universitaire Varenne, p 829-832. September 2018.
- [3] IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24.



- [4] S. Jatobá. “Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social” (Urbanization, environment and social vulnerability), Boletim Regional, Urbano e Ambiental (BRU) : n. 5, p. 141-148, June 2011.
- [5] L. Boyle, K. Michell, F. Viruly. A Critique of the Application of Neighborhood Sustainability Assessment Tools in Urban Regeneration. Sustainability. 2018; 10(4):1005. <https://doi.org/10.3390/su10041005>.
- [6] A. Sharifi, A. Murayama. “A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools”, Environmental Impact Assessment Review, Volume 38, 2013, pages 73-87. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.06.006>.
- [7] J. Jacobs. “Morte e Vida de Grandes Cidades” (Life and death of great American cities). São Paulo: Martins Fontes, 2007.
- [8] J. Gehl. “Cidades para pessoas” (Cities for people). São Paulo: Perspectiva, 2013.
- [9] R. Rogers. “Cidades para um pequeno planeta” (Cities for a small planet). Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2001.
- [10] A. Macedo. “A carta do novo urbanismo norte-americano” (The letter of the american new-urbanism). Arquitextos, n. 82, p. on line, 2007. Tradução. Available in [http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq082/arq082\\_03.asp](http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq082/arq082_03.asp).
- [11] Le Corbusier. “Carta de Atenas” (Athens Charter). Tradução de Rebeca Scherer. São Paulo: HUCITEC/edusp, s/d.
- [12] C. Moreno.; Z. Allam.; D. Chabaud; C. Gall.; F. Pratlong. “Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities”. Smart Cities 2021, 4, 93–111. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010006>.
- [13] ITDP Brasil. “Guia de implementação de políticas e projetos de DOTS” (Guide to implementing DOTS policies and projects). December 2017. Available in: <https://itdpbrasil.org.br/wp-content/uploads/2017/12/ITDP-BR-DU-GUIADOTS-V2.3.pdf>.
- [14] C40 Cities, ARUP. “Green and Thriving Neighbourhoods: A pathway to net zero, featuring the ‘15-minute city’”. Available in: [https://www.c40.org/wp-content/uploads/2021/10/C40-Arup-GTN-Guidebook\\_2021.pdf](https://www.c40.org/wp-content/uploads/2021/10/C40-Arup-GTN-Guidebook_2021.pdf).
- [15] IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. Geneva, Switzerland, 2023, p. 29.
- [16] N. Fonseca; A. Castelbranco; J. Mourão; F. Narbal. “Criteria to Analyse Sustainable Neighbourhood - Methodology from Identification to Selection of Urban Elements. XII Seminário Internacional de Investigação em Urbanismo. June 2020. <http://dx.doi.org/10.5821/siiu.10008>
- [17] USGBC. “LEED Reference Guide for Neighborhood Development, LEED v4 Edition”. 2014. Available in: [https://www.usgbc.org/sites/default/files/section/files/v4-guide-excerpts/Excerpt\\_v4\\_ND.pdf](https://www.usgbc.org/sites/default/files/section/files/v4-guide-excerpts/Excerpt_v4_ND.pdf).
- [18] USGBC. “LEED v4.1 Cities and Communities: Existing Communities. February 2024. Available in: [https://build.usgbc.org/1/413862/2023-07-28/246vh6w/413862/1690562815UQocERJW/LEED\\_v41\\_LFC\\_Existing\\_Communities\\_RS\\_July\\_2023\\_clean.pdf](https://build.usgbc.org/1/413862/2023-07-28/246vh6w/413862/1690562815UQocERJW/LEED_v41_LFC_Existing_Communities_RS_July_2023_clean.pdf).
- [19] USGBC. Choosing between LEED for Neighborhood Development and LEED for Cities and Communities. October 2022. Available in: <https://support.usgbc.org/hc/en-us/articles/4608762661011-Choosing-between-LEED-for-Neighborhood-Development-and-LEED-for-Cities-and-Communities>.

ÁREA TEMÁTICA 10

# POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: MONITORAMENTO E CONTROLE



3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE  
**ENGENHARIA  
AMBIENTAL**





# PROPOSAL FOR THE SIZING OF A BIOFILTER AIMED AT REMOVING AMMONIA FROM INDUSTRIAL GAS STREAMS

1Gustavo Vieira Carrara, 2Gabriele Patricio Talon, 3Larissa Watanabe Eloy Teixeira,  
4Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho

1 Federal University of São Carlos, e-mail: [gustavocarrara@estudante.ufscar.br](mailto:gustavocarrara@estudante.ufscar.br); 2 Federal University of São Carlos, e-mail: [gabrieletalon@estudante.ufscar.br](mailto:gabrieletalon@estudante.ufscar.br); 3 Federal University of São Carlos, e-mail: [larissawet@estudante.ufscar.br](mailto:larissawet@estudante.ufscar.br); 4 Federal University of São Carlos, e-mail: [jorge.pantoja@ufscar.br](mailto:jorge.pantoja@ufscar.br)

**Palavras-chave:** Air Pollution; Biofilter; Ammonia.

## Abstract

Air pollution, exacerbated by ammonia emissions from diverse sources, poses a critical threat to both human health and the environment. Immediate measures need to be taken to address the negative impacts of ammonia, such as the formation of fine particles, acid rain, and respiratory issues, in order to protect public health and maintain ecological equilibrium. The treatment of ammonia using biofilters is an efficient and sustainable technique for reducing air pollution. In this context, biofilters inoculated with aerobic microorganisms, especially bacteria such as *Nitrosomonas* and *Nitrobacter*, promote nitrification, converting ammonia into less harmful compounds. This study aims to establish a sizing criterion for industrial biofilters used in the removal of ammonia, contributing to the understanding and practical application of ammonia biofiltration. This research addresses an urgent requirement in environmental pollution control by emphasizing its efficacy and potential as a sustainable substitute for conventional chemical treatment methods.

## Introduction

Air pollution represents one of the most critical environmental challenges faced by modern society, with significant implications for both human health and the environment. Among the various atmospheric pollutants, ammonia emerges as a particularly concerning component due to its ability to affect air quality and exacerbate respiratory problems in vulnerable populations. Ammonia is the most prevalent alkaline gas in the atmosphere, playing a significant role in neutralizing various processes that occur in this environment. Its main sources of emission include the decomposition of organic matter and animal excretions. This compound is widely used in various production activities, making it a gas that can contaminate work environments (Felix; Cardoso, 2004). Predominantly released by agriculture, industries, and combustion processes, this contaminant not only compromises environmental sustainability but also triggers a series of chemical reactions in the atmosphere that can lead to the formation of photochemical smog. Thus, mitigating ammonia emissions becomes imperative, requiring innovative and sustainable strategies to reduce its presence in the air we breathe and, consequently, minimize its adverse impacts on public health and ecological balance (Stokstad, 2014).

There are several physicochemical methods employed for the removal of ammonia from gas streams, ranging from absorption and adsorption to chemical scrubbing and catalytic conversion. These methods aim to capture and convert ammonia into less harmful compounds or to separate it from the gas stream altogether. Each method has its advantages and limitations, depending on factors such as efficiency, cost, and environmental impact (Xia et al, 2021).

Biological reactors offer several advantages over physicochemical technologies for the removal of ammonia from gas streams. Firstly, biological processes are often more environmentally friendly as they utilize naturally occurring microorganisms to degrade pollutants, avoiding the need for harsh chemicals and reducing the generation of secondary pollutants (Devinny et al, 2000). Additionally, they can operate at ambient temperatures and pressures, reducing energy consumption and operational costs compared to some physicochemical methods that require elevated temperatures or pressures. Furthermore, biological systems are often more robust and can adapt to varying operating conditions, providing stable performance over a wide range of pollutant concentrations and flow rates. Finally, they can often achieve higher removal efficiencies for certain pollutants, including ammonia, compared to physicochemical methods, making them a preferred option for sustainable and cost-effective pollution control (Hartikaynen et al, 2010).

The main advantage of biofilters in ammonia treatment lies in their ability to promote the conversion of initially toxic ammonia into less harmful compounds through biological processes. These biofilters are composed of colonies of aerobic microorganisms, especially bacteria of the *Nitrosomonas* and *Nitrobacter* genera, which play crucial roles in nitrification, consisting of the successive oxidation of ammonia to nitrite and then to nitrate, thus reducing the negative impact of ammonia (Manfred et al, 2016).

According to Rittman (2020), the transformation of ammonia by these bacteria occurs through two biochemical processes, the first being the oxidation of ammonia ( $\text{NH}_3$ ) to nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), followed by the oxidation of nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) to nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), these processes are known as nitrification. The first process of transforming ammonia ( $\text{NH}_3$ ) to nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) occurs due to the action of an enzyme called ammonia monooxygenase, which converts ammonia ( $\text{NH}_3$ ) into an intermediate called hydroxylamine ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ), followed by the loss of hydroxyl, the product becomes a nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ). Then, the nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) is oxidized to nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) through the enzyme nitrite oxidase, which uses oxygen ( $\text{O}_2$ ) as the final electron acceptor.



This work aims to establish a sizing protocol for industrial biofilters used in the treatment of ammonia, which would be greatly helpful in standardizing and optimizing the design and operation of ammonia treatment systems based on biofilters. A well-defined sizing protocol would provide clear guidelines for engineers in the proper selection of support materials, airflow rate, humidity, temperature, and other critical operational parameters. Additionally, a sizing protocol would allow for a more accurate assessment of biofilter performance, facilitating comparison between different systems and the identification of best practices. Thus, the efficiency and sustainability of ammonia treatment processes would be enhanced, contributing to the reduction of air pollution and the protection of public health and the environment.

### Materials and Methods

- *Characteristics of the gas effluent to be treated*

Ammonia is known to be colorless at room temperature and, besides being much lighter than air, it has an extremely strong odor. The melting point is 77.7°C, the boiling point is 33.35°C, and it is easily soluble in water. In the liquid phase, ammonia is one of the most used solvents in the study of chemical reactions and is commercially available as a 15 mol.L<sup>-1</sup> (28% w/v) aqueous solution called ammonia (Barros, 1992).

- *Packing material*

Sludge was considered to be used as packing materials for biofilters (Chen et al., 2005). In their study, sludge came from a municipal wastewater treatment plant at Cixi (Zhejiang Province, China). The dehydrated digested sludge was dried and amended by adding approximately 20% granular activated carbon, by volume, to improve the adsorption process and to minimize fluctuation of pollutant concentration.

- *Average flow rate of the ammonia (Q<sub>gp</sub>)*

It refers to the volume of ammonia that passes through a certain point per unit of time, an essential parameter in assessing the amount of ammonia being treated by a biofilter. It represents the rate at which the ammonia gas is introduced into the system. In practice, we measure the flow rate of ammonia gas using various instrumentation and techniques, one common method is to use flow meters specifically designed for gas flow measurement.

$$Q_{gp} = 500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

- *Air flow rate (Q<sub>air</sub>)*

It refers to the volume of air passing through a certain point per unit of time. In pollution control applications, it represents the rate at which air is supplied or exhausted from a biofilter, and it influences the efficiency of pollutant removal processes.

$$Q_{air} = 500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\text{Resulting in } Q_{gp} = Q_{air}$$

- *Influent ammonia concentration (C<sub>ap</sub>)*

It refers to the concentration of the ammonia in the incoming or influent stream of a biofilter. It represents the amount of ammonia present in a given volume of fluid. It is an important parameter in the design and operation of pollution control technologies, as it determines the initial pollutant load that the system needs to treat.

$$C_{ap} = 1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$$

- *Empty Bed Residence Time (EBRT)*

It refers to the average amount of time ammonia spends inside an empty bed, during its passage through the system. It is calculated by dividing the volume of the empty bed by the volumetric flow rate of the gas stream passing through it. EBRT is a critical parameter in the design and operation of pollution control systems, as it determines the contact time between the gas pollutants and the active media inside the bed, influencing the efficiency of pollutant removal. A longer EBRT typically allows for more effective pollutant removal by providing sufficient time for the desired reactions or adsorption processes to occur.

$$\text{EBRT} = 0.3 \text{ min or } 18 \text{ s (Chen et al., 2005)}$$

- *Total flow rate (Q<sub>t</sub>)*

$$Q_t = Q_{gp} + Q_{air} \quad (1)$$

- *Volume of the biofilter bed (V<sub>f</sub>)*

$$\text{EBRT} = V_f / Q_t \quad (2)$$

- *Diameter (D) - Considering the cross-section as a circle*

$$V_f = \pi \cdot D^2 / 4 \quad (3)$$

- *Lateral area (LA)*

$$Al = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H \quad (4)$$

- *Cross-sectional area (CsA)*



$$CsA = \pi \times r^2 \quad (5)$$

- *Total area (TA)*

$$TA = (2 \times CsA + LA) \quad (6)$$

- *Bed Porosity*

Considering the porosity of 52.7%, (Chen et al., 2005)

- *True Volume (TV)*

If  $V_f$  is equivalent to 100%. Thus, it is sufficient to apply the proportionality rule.

- *True residence time ( $\tau$ )*

$$\tau = V_f \cdot \theta / Q \quad (7)$$

- *Volume occupied by the packing material ( $V_s$ )*

$$V_s = V_f - TV \quad (8)$$

- *Mass of the packing material ( $m$ )*

Considering the specific mass,  $\rho$ , of the support material being  $726 \text{ kg.m}^{-3}$  (Chen et al, 2005)

$$\rho = m$$

$$m = \rho \cdot V_s \quad (9)$$

- *Superficial loading rate ( $S_l$ )*

$$S_l = Q_t / CsA \quad (10)$$

- *Volumetric loading rate ( $V_l$ )*

$$V_l = Q_t / V_f \quad (11)$$

- *Contaminant load ( $C_l$ )*

$$Cl = Q_{gp} \cdot C_{ap} \quad (12)$$

- *Mass loading - surface (MLS)*

$$MLS = Q_{gp} \cdot C_{ap} / CsA \quad (13)$$

- *Mass loading - volumetric (MLV)*

$$MLS = Q_{gp} \cdot C_{ap} / V_f \quad (14)$$

- *Water flow rate required for the sprinkler*

$$Q_{sp} = (k) \cdot P_{min}^{0.5} \quad (15)$$

Where: k is the k factor, Pmin is the minimum pressure required..

## Results and Discussion

### Biofilter sizing

Table 1. Results of sizing the biofilter using sewage sludge as packing material, with a circular cross-sectional area, employed in the removal of ammonia.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Average flow rate of the ammonia	$Q_{gp}$	500	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Theoretical air flow rate to fully oxidize ammonia to nitrate	$T \cdot Q_{air(F)}$	1 000	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Theoretical air flow rate to partially oxidize ammonia to nitrite (major) and nitrate (minor)	$T \cdot Q_{air(P)}$	500	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Actual applied air flow rate to oxidize ammonia	$A \cdot Q_{air}$	500	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Total flow rate	$Q_t$	1 000	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Influent ammonia concentration	$C_{ap}$	1	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
Empty Bed Residence Time	$EBRT$	18	s

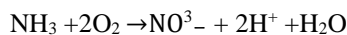




Volume of the biofilter bed	$V_f$	5	$m^3$
Height	H	1	m
Diameter	D	2.52	m
Lateral area	LA	8.17	$m^2$
Cross-sectional area	CsA	5.3	$m^2$
Total Area	TA	18.7	$m^2$
Porosity	$\epsilon$	57.7	%
True volume	TV	2.64	$m^3$
Porosity considering the true volume	$\epsilon_{TV}$	53.0	%
True Residence Time	$\tau$	9.72	s
Volume occupied by the packing material	$V_s$	2.36	$m^3$
Estimated mass of the packing material	m	1713.4	kg
Superficial loading rate	$S_l$	188.68	$m.h^{-1}$
Volumetric loading rate	$V_l$	200	$h^{-1}$
Contaminant load	$C_l$	500	$g.h^{-1}$
Mass loading (surface)	MLS	94.34	$g.m^{-2}h^{-1}$
Mass loading (volumetric)	MLV	100	$g.m^{-3}h^{-1}$

### ***Fully or partially oxidize ammonia?***

It is important to note that the reaction between ammonia and oxygen yields nitrate ( $NO_3^-$ ) as a final product. The balanced chemical equation for this reaction is:



To fully oxidize the ammonia gas into nitrate, we need to ensure that there is sufficient oxygen available for the nitrification process. The stoichiometry of the reaction shows that for every mole of ammonia ( $NH_3$ ), two moles of oxygen ( $O_2$ ) are required. Given that the flow rate of ammonia gas is 500 cubic meters per hour, we can calculate the molar flow rate of ammonia using the ideal gas law. Assuming standard conditions ( $25^\circ C$  and 1 atm pressure), we can use the molar volume of ideal gases, which is approximately 24.5 liters per mole.

$$\begin{aligned} \text{Moles of } NH_3 &= \text{Flow rate of } NH_3 / \text{Molar volume of ideal gas} \\ \text{Moles of } NH_3 &= 500 \text{ m}^3.h^{-1} / 24.5 \text{ L.mol}^{-1} \\ \text{Moles of } NH_3 &= 24.41 \text{ mol.h}^{-1} \end{aligned}$$

Now, considering the stoichiometric ratio between ammonia and oxygen is 1:2, we can determine the moles of oxygen required:

$$\begin{aligned} \text{Moles of } O_2 &= 2 \cdot \text{Molar flow rate of } NH_3 \\ \text{Moles of } O_2 &= 2 \cdot 24.41 \text{ mol.h}^{-1} \\ \text{Moles of } O_2 &= 48.82 \text{ mol.h}^{-1} \end{aligned}$$

Now, let us convert the moles of oxygen to volume flow rate:

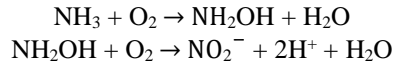
$$\begin{aligned} \text{Volume flow rate of } O_2 &= \text{Molar flow rate of } O_2 \cdot \text{Molar volume of ideal gas} \\ \text{Volume flow rate of } O_2 &= 1000 \text{ m}^3.h^{-1} \end{aligned}$$

So, the theoretical air flow rate coming from an air compressor to promote the oxidation of ammonia with oxygen, considering the production of nitrate as a final product, would be approximately  $1000 \text{ m}^3.h^{-1}$ .

With this in mind, if the air flow provided by the compressor is only  $500 \text{ m}^3.h^{-1}$ , there will be a limitation in the amount of oxygen available for the complete oxidation of ammonia to nitrate, which would result in a condition of under-oxidation, where ammonia may be partially oxidized to nitrite, but complete oxidation to nitrate would not occur due to insufficient oxygen. The complete oxidation reaction of ammonia to nitrate is:



However, with insufficient air flow, the reaction may be partially halted at the nitrite stage. Therefore, the resulting reaction would be:



Thus, instead of nitrate, nitrite would be the predominant product of the ammonia oxidation with an air flow of only  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , which was the actual applied air flow rate in our scenario.

Considering this, prioritizing nitrate production could be more favorable in addressing air pollution, given its lesser direct adverse effects on air quality and human health compared to nitrite. Nonetheless, it is important to examine the particular context, encompassing emission origins, atmospheric circumstances, and regional air quality criteria, when evaluating the implications of ammonia gas nitrification on air pollution.

Ramping up the airflow from the compressor can guarantee the full conversion of ammonia to nitrate. However, this will inevitably hike up energy expenses owing to escalated compressor energy consumption. Consequently, when deliberating this choice, it is imperative to factor in all dimensions of the situation, encompassing not just the technicalities of nitrification process operation but also the economic and environmental repercussions of heightened energy usage.

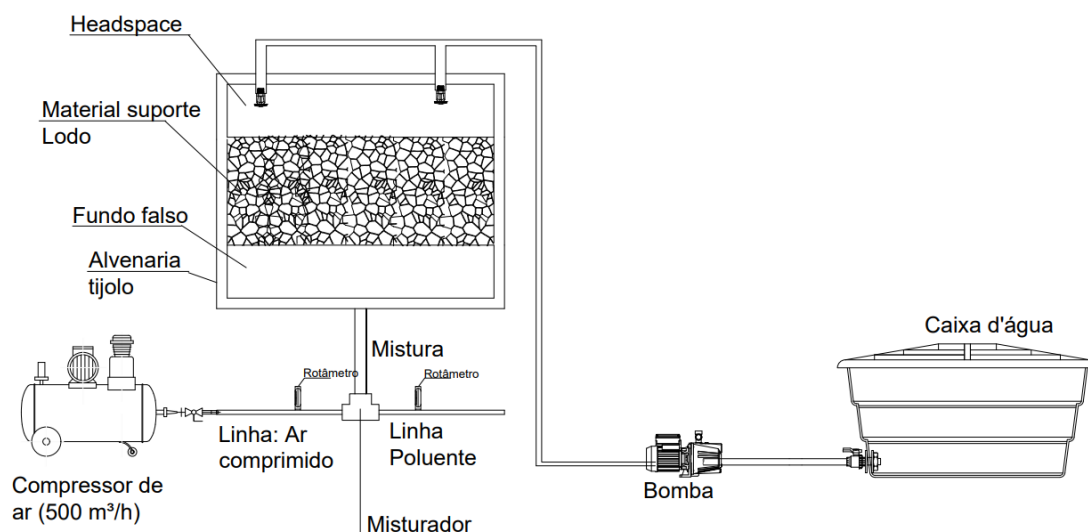
Furthermore, it is important to assess whether the increase in airflow and the consequent increase in energy cost outweigh the benefits of complete oxidation of ammonia to nitrate, especially in terms of compliance with environmental regulations, quality of the final product, and impacts on human and environmental health.

### **Air injection and humidity control system**

The concentration of the pollutant gas was  $1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ , and an average flow rate of  $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  was adopted for both ammonia and the air coming from different sources. Therefore, a CPS 300-7 compressor model (*Chicago Pneumatic*) was used, operating at a pressure of 7 bar. The air generated by this compressor, as well as the ammonia, pass through a mixer and proceed together into the biofilter from the bottom, with flow rates controlled by measurements provided by TRV-430 model rotameters (*Tecnofluid*).

For the humidity control system, standard spray-type coverage sprinklers were employed, with a coverage area of  $10.7 \text{ m}^2$ . Hence, the number of required sprinklers for the equipment's operation was calculated. Accordingly, 2 operating nozzles were adopted, using B-11 model sprinklers (*Skop Sprinklers*), operating at a temperature of  $68\text{--}141^\circ\text{C}$ . The flow rate of the sprinklers ( $110.9 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  or  $0.00185 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) was calculated according to Equation 15, considering a factor  $k$  of 160 and a minimum pressure of 0.48 bar.

The water applied in the irrigation system is stored in a polyethylene water tank (*FORTLEV*) with a height of 0.76 m and a diameter of 1.51 m, with a capacity of 1000 L. For water conveyance, a BC-92 S/T 1A model pump (*Schneider Pumps*) was installed, chosen through calculations of head loss in the discharge (DN = 50 mm) and suction (DN = 63 mm) lines as well as total head (3.82 m) and power (0.065 hp) requirements. This pump operates with a power of  $\frac{3}{4}$  hp, which is sufficient for the process. Both the pump and the tank were installed on the ground, while the sprinklers were installed on the top of the biofilter, so that the water flow is in the opposite direction to the flow of air and ammonia, as illustrated in the Figure 1.



**Figure 1: Vertical cross-sectional diagram of the biofiltration system.**



### **Comments on nutrient, pH and temperature**

According to the literature, the necessity of pH correction and the insertion of nutrient solutions may be dispensable under certain circumstances. However, if it becomes imperative, some strategies can be employed to meet these demands. An effective approach involves the use of the bed humidity control system, which offers the capability not only to introduce nutrient solutions but also to correct pH levels, either by adding acidic or basic solutions as needed.

It is important to clarify that temperature plays a role in the bioreactor performance. Although ambient temperature may be considered the standard working condition, its suitability should be evaluated in relation to the climatic characteristics of the region in question. In environments where temperature variations are significant, the implementation of a thermal adjustment system may be necessary to ensure optimal growing conditions.

We do highlight the importance of implementing integrated and adaptable control systems. By providing flexibility in the administration of nutrient solutions and pH adjustment, along with the ability to regulate the temperature, such systems promote efficient and sustainable systems, contributing to maximizing efficiency and optimizing treatment.

### **Final Comments**

The bioreactor process for ammonia removal has emerged as a promising and effective method for combating the presence of this pollutant gas in contaminated environments. The utilization of a closed cylindrical biofilter with sludge as support material holds the potential for substantial ammonia removal, as demonstrated by findings across some bench-scale studies. The rigorous control of process conditions has consistently proven instrumental in optimizing performance and ensuring effective ammonia removal.

Our study underscores the potential of bioreactors as a sustainable and viable solution for ammonia removal from industrial effluents. By providing insight into the design and operation of biofilters at an industrial scale, our research aims to guide professionals in implementing effective strategies for pollutant mitigation.

### **Acknowledgments**

We would like to express our gratitude to the Federal University of São Carlos (UFSCar), Lagoa do Sino *Campus*, for providing the laboratory facilities necessary for the development of this project, and to Professor Jorge Pantoja for his guidance and assistance throughout this work.

### **References**

- Barros, H. L. 1992. Química Inorgânica: uma introdução. *Belo Horizonte: UFMG*.
- Chen, Y. X., Yin, J., & Wang, K. X. 2005. Long-term operation of biofilters for biological removal of ammonia. *Chemosphere*, 58(8), 1023-1030.
- Devinyy, J. S.; Deshusses, M. A.; Webster, T. S. 2000. Biofiltration for air pollution control. [s.l], v.1.
- Felix, E. P.; Cardoso, A. A. 2004. Amônia (NH<sub>3</sub>) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. [s.l], v. 27, n. 1, p. 123–130.
- Hartikainen, T., Ruuskanen, J., Vanhatalo, M., & Martikainen, P. J. 2010. Removal of ammonia from air by a peat biofilter. *Environmental Technology*, 17(1), 45-53.
- Manfred, E.; Brandt, F. 2016. Biofiltração e biopercolação de metano presente em gases residuais gerados em processos anaeróbios. [s.l].
- Rittmann, B. E., & McCarty, P. L. 2020. Environmental biotechnology: principles and applications. 2. ed. Summers Scholl.
- Stokstad, E. (2014). Ammonia pollution from farming may exact hefty health costs.
- Xia, L., Huang, L., Shu, X., Zhang, R., Dong, W., & Hou, H. 2008. Removal of ammonia from gas streams with dielectric barrier discharge plasmas. *Journal of Hazardous Materials*, 152(1), 113-119.





# DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA LIMPA DE CULTIVO PILOTO DE *EUGLENA GRACILIS*: FOTOBIORREACTORES DO TIPO *PLASTIC BAG* PARA SEQUESTRO DE CARBONO

1Giséle Alves, 2Anna Giullia Quintana Soder, 3Tiele Medianeira Rizzetti, 4Michele Hoeltz,  
5Maria Angélica Oliveira Linton, 6Rosana de Cassia de Souza Schneider

1 Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental na Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Av. Independência, 2293 - Universitário, Santa Cruz do Sul - RS, 96815-900. E-mail: giselea@mx2.com.br; 2 Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Av. Independência, 2293 - Universitário, Santa Cruz do Sul - RS, 96815-900. E-mail: agsoder@mx2.unisc.br; 3 Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Av. Independência, 2293 - Universitário, Santa Cruz do Sul - RS, 96815-900. E-mail: tielemr@gmail.com; 4 Inoculla Tech, empresa no Parque Científico e Tecnológico Regional – TecnoUnisc. Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Av. Independência, 2293 - Universitário, Santa Cruz do Sul - RS, 96815-900. E-mail: michelehoeltz@gmail.com; 5 Departamento de Biologia. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000- Camobi, Santa Maria, RS - 97105-900. E-mail: angelcure@gmail.com; 6 Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Av. Independência, 2293 - Universitário, Santa Cruz do Sul - RS, 96815-900. E-mail rosana@unisc.br

**Palavras-chave:** *Euglena gracilis*; Biomassa; Sequestro de carbono.

## Resumo

A produção de biomassa de microalgas tem se destacado, uma vez que esta biomassa possui diversas aplicações e benefícios apresentando um grande potencial para soluções sustentáveis em várias áreas. As microalgas são usadas na produção de biocombustíveis, nutrição animal e humana, e na mitigação do dióxido de carbono, promovendo a sustentabilidade ambiental. O cultivo de microalgas é uma estratégia eficaz para a assimilação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), já que esses microrganismos fotossintéticos convertem o CO<sub>2</sub> em biomassa através da fotossíntese. Além disso, representam fontes valiosas de compostos de alto valor agregado e desempenham um papel crucial no tratamento de águas residuais, reduzindo a poluição hídrica e preservando os recursos naturais. O cultivo em fotobiorreatores fechados oferece um ambiente controlado garantindo a pureza da biomassa, e assim, destacando-se como uma alternativa promissora para uma produção sustentável. Nesse sentido, o sistema *Plastic Bag* surge como uma tecnologia inovadora e acessível proporcionando condições ideais para o desenvolvimento de microrganismos fotossintéticos e impulsionando avanços na produção de biomassa e compostos valiosos. O objetivo principal deste estudo foi aprimorar o cultivo da microalga *Euglena gracilis* em fotobiorreatores tipo *Plastic Bag*, visando o sequestro eficiente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a produção de biomassa de alta qualidade, com ênfase em proteínas, carboidratos e lipídios. Esse aprimoramento é relevante devido à natureza sustentável e ambientalmente amigável dessa tecnologia. Os cultivos foram realizados em fotobiorreatores de 100 L tipo *Plastic Bag*, inoculados com *Euglena gracilis* (10%), água clorada (90%) e solução de NPK a 3 g L<sup>-1</sup>. Após o cultivo, a biomassa foi centrifugada e a produtividade determinada. Os cultivos resultaram em uma biomassa de 0,7 g L<sup>-1</sup> ou 26,5 g m<sup>-3</sup> dia<sup>-1</sup>. A biomassa foi analisada apresentando 21,9 ± 0,4% de proteínas; 20,4 ± 1,3% de lipídios e 40% de carboidratos. A análise elementar da biomassa de *Euglena gracilis* cultivada nos *Plastic Bags* revelou que o carbono fixado na biomassa nas condições de cultivo otimizadas foi de 40,7% da biomassa, indicando a taxa de assimilação do carbono inorgânico durante a fotossíntese de 32,3 g de C para 30 dias de produção em um bag de 100 L, que significa 118,5 g de CO<sub>2</sub> capturado no cultivo. Com isso, o cultivo em sistema *Plastic Bag* proporcionou uma biomassa com teores significativos de proteínas, carboidratos e lipídios demonstrando o potencial econômico de aproveitamento da biomassa, bem como o potencial de sequestro de carbono de forma simples.

## Introdução

A produção de biomassa por microalgas é de suma importância devido à sua capacidade de fornecer uma ampla gama de benefícios e aplicações. Fernández *et al.* (2021) destacam que as microalgas desempenham um papel crucial nesse contexto. Estudos, como o de Bhalamurugan *et al.* (2018) corroboram essa visão, ao evidenciar a versatilidade das microalgas e seu potencial para impulsionar soluções sustentáveis em diversas áreas, em que destaca importância contínua desse campo de pesquisa.

As microalgas podem ser utilizadas para a produção de energia, como fonte potencial de biocombustíveis, como bioetanol, biogás e biodiesel (Rastogi *et al.*, 2018), bem como para a nutrição animal e humana devido ao seu alto teor de proteínas e nutrientes (Fernández *et al.* 2021). Este microrganismo também contribui na mitigação do dióxido de carbono, o que é fundamental para a sustentabilidade ambiental (Llamas *et al.*, 2021). Além disso, desempenham um papel importante no tratamento de águas residuais, promovendo soluções ambientalmente responsáveis, contribuindo para a sustentabilidade ao reduzir a poluição hídrica e preservar os recursos naturais (Siddiki *et al.*, 2022).

O cultivo de microalgas emergiu como uma estratégia eficaz para a captura do CO<sub>2</sub>, pois estes microrganismos fotossintéticos convertem este gás em biomassa (Russell *et al.*, 2022). Essa abordagem não apenas auxilia na redução das emissões de CO<sub>2</sub>, mas também gera bioproduto de interesse comercial, rico em compostos como pigmentos naturais,



carboidratos e ácidos graxos, com uma gama diversificada de aplicações industriais (Siddiki *et al.*, 2022). Ao integrar as emissões de CO<sub>2</sub> a um processo biotecnológico, é possível reduzir o teor de C da atmosfera, ao mesmo tempo em que se produz energia mais sustentável e ecologicamente correta. Essa integração é fundamental para mitigar os impactos ambientais, contribuindo para a redução do aquecimento global e para a transição para uma economia mais verde e sustentável (Chu *et al.*, 2021).

Os fotobiorreatores fechados são considerados uma plataforma versátil e eficaz para a produção sustentável de biomassa de microalgas (Barboza-Rodríguez *et al.*, 2024). Estes sistemas fechados oferecem um ambiente controlado permitindo o controle das condições de cultivo, o que é fundamental para evitar problemas de contaminação (Fernández *et al.*, 2021).

Este método de cultivo tem sido aplicado em uma variedade de áreas, abrangendo desde a área de alimentos, cosméticos, biocombustíveis e produtos farmacêuticos (Cui *et al.*, 2022). Além disso, este tipo de cultivo destaca-se como uma alternativa promissora para atender às demandas de vários setores industriais de maneira sustentável (Siddiki *et al.*, 2022). Sendo assim, os fotobiorreatores do tipo *Plastic Bag* emergem como uma tecnologia inovadora que emprega sacos plásticos transparentes que podem ser dispostos de diferentes formas (Huang *et al.*, 2017). O sistema permite a entrada de luz solar ou artificial para a fotossíntese, ao mesmo tempo em que mantém condições ótimas de temperatura, pH e nutrientes no sistema (Cui *et al.*, 2022).

Com sua simplicidade no design e na operação, o fotobiorreator tipo *Plastic Bag* apresenta uma vantagem significativa, facilitando o manuseio, a instalação e a manutenção. Essa característica torna-o acessível não apenas para laboratórios e pequenas empresas, mas também para aplicações em larga escala, pelo potencial de multiplicação das unidades (Huang *et al.*, 2017). O cultivo de *Euglena gracilis* em fotobiorreatores fechados é promissor devido às suas características únicas e às diversas aplicações que oferece (Lukáčová *et al.*, 2023). Rica em beta-glucanos, proteínas, lipídios, pigmentos naturais e antioxidantes, este microrganismo apresenta propriedades nutricionais e funcionais relevantes para indústrias de alimentos, suplementos e farmacêutica (Ogawa *et al.*, 2022).

Neste sentido, a *Euglena gracilis* torna-se valiosa para o desenvolvimento de um processo que busca valor econômico e sequestro de carbono, uma vez que tem crescimento rápido e adaptabilidade ambiental (Piiparinen *et al.*, 2018). Neste trabalho buscou-se empregar fotobiorreatores do tipo *Plastic Bag* para impulsionar estes dois fatores, produção de biomassa de alta qualidade e captura de carbono, uma vez que consideramos a natureza sustentável e ambientalmente amigável desse sistema baseado na natureza.

## Materiais e Métodos

### Inóculo inicial

Para iniciar o cultivo da microalga *Euglena gracilis*, um sistema de 50 L foi preparado, consistindo em água clorada com meio NPK da marca Yara Mila COMPLEX (12, 11 e 18%) em uma concentração de 3 g L<sup>-1</sup>. Foram adicionados 2 L de inóculo da microalga ajustando a densidade celular para 0,4 de absorvância a 680 nm. A água clorada (2,5% de cloro ativo) foi selecionada para garantir um meio livre de contaminantes que pudessem interferir no crescimento das microalgas, sendo uma prática comum para desinfetar a água. A aeração artificial foi realizada através de um compressor de ar da marca Cubos Air (140 L min<sup>-1</sup>). Durante o experimento, a densidade óptica (DO) das microalgas foi monitorada a cada 48 h usando um espectrofotômetro UV/Vis ChromTech UV-1100, a 680 nm. O pH foi mantido em 5,0 usando um pHmetro (modelo 826 pH mobile / 827 pH lab, Metrohm, AG CH-9100 Herisau, Suíça), e a densidade celular (DCel) foi determinada por microscopia (Motic Microscopes BA 410E Epi Fluorescence) por contagem direta de células na Câmara de Sedgwick-Rafter (cel mL<sup>-1</sup>).

### Cultivo em Fotobiorreator do tipo *Plastic Bag*

Os cultivos foram conduzidos com adição inicial de 10% de inóculo de *E. gracilis*, em sistema contendo 90 L de água previamente clorada e NPK a 3 g L<sup>-1</sup> (NPK da marca Yara Mila COMPLEX (12, 11 e 18%). Durante o cultivo o sistema foi monitorado a cada 48 h quanto a temperatura, pH e luminosidade, DO e DCel. O PB1 permaneceu em cultivo por 26 dias e o PB2 permaneceu em cultivo por 16 dias. Estes cultivos foram centrifugados em centrífuga separadora JDF 200/F (7180 rpm) e a biomassa foi seca a 50 °C por 72 h (Estufa de Secagem e Esterilização 180 a 336- SOLAB), armazenadas em dessecador para posterior análise. O monitoramento de temperatura e luminosidade foi com um registrador datalogger (HOBO Pendant® UA-002-64) para sustentar o desenvolvimento celular da microalga.

### Caracterização da Biomassa

A biomassa foi avaliada quanto ao teor de proteínas determinado por meio da análise de nitrogênio utilizando um analisador, com um fator de conversão de 4,78 de nitrogênio para proteína (Martini *et al.* 2019). A composição elementar de carbono foi realizada em analisador elementar (Flash EA1112, Thermo Electron Corporation, Italy). A quantificação dos carboidratos totais foi realizada através de hidrólise com ácido concentrado, seguida de análise por cromatografia líquida de alta eficiência com detector de índice de refração (HPLC/RID, LC-20AD Shimadzu, Japan) (de Souza *et al.*, 2022). A extração de lipídios da biomassa foi realizada pelo método de *Bligh and Dyer* (1959) adaptado por (Souza *et al.*, 2017). Para avaliar o teor de Carbono fixado na biomassa o cálculo foi realizado a partir da produtividade em g m<sup>-3</sup> dia<sup>-1</sup>, do volume de cada fotobiorreator e das condições de cultivo instaladas, para 12 bags de capacidade de 100 L.



### Resultados e Discussões

#### Crescimento da microalga *E. gracilis*

Na Figura 1, é possível observar a curva de crescimento dos dois cultivos, que iniciaram em tempos diferentes e a partir de densidades diferentes. O sistema PB2 com menos tempo de produção, chegou a mesma produtividade uma vez que o inóculo estava inicialmente com maior densidade. Entende-se que para a otimização do sistema e redução de energia, iniciar a produção em escala maior com uma maior densidade pode ser uma estratégia adequada.

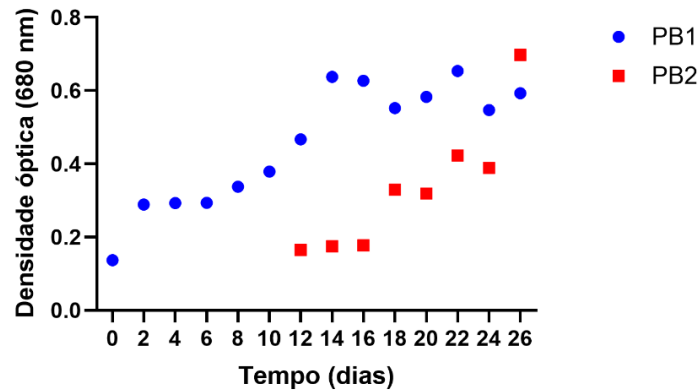


Figura 1: Gráfico com a curva de crescimento em *Plastic Bag* (PB1 e PB2).

Uma vez que a densidade celular atinge 0,4 no PB1, as curvas se aproximam no gráfico. Neste estudo, obtivemos uma produção de biomassa de 0,7 g L<sup>-1</sup>. A produção total de biomassa foi de 26,5 g m<sup>-3</sup> dia<sup>-1</sup>. Esses resultados indicam uma taxa de crescimento que ainda pode ser melhorada. Pesquisas demonstram resultados que ressaltam a importância da otimização de condições específicas para a produção eficiente de culturas de *E. gracilis* com características desejáveis e aspectos como modo metabólico, fotoperíodo e luminosidade.

No estudo de Nwoye *et al.* (2017) foi realizada uma cultura mixotrófica de *E. gracilis* em um fotobiorreator. Os resultados mostraram que a concentração final de biomassa foi de 2,6 g L<sup>-1</sup> quando utilizado NPK15:15:15. Essa concentração foi significativamente inferior aos 5,7 g L<sup>-1</sup> alcançados com meio BG11 nas mesmas condições de cultivo. Isto evidencia a influência do tipo de meio de cultura na produção de biomassa em culturas mixotróficas, destacando a importância da escolha adequada dos nutrientes para otimizar o desempenho do cultivo.

No estudo de Alves *et al.* (2024) foi investigado o efeito da suplementação de resíduo cervejeiro na produção de biomassa de *E. gracilis*. Os resultados indicaram uma produção de biomassa de 2,9 g L<sup>-1</sup> quando utilizada uma suplementação de 10%. Por outro lado, ao aumentar a suplementação para 25%, a biomassa final atingiu 4,5 g L<sup>-1</sup>. Ainda, Jung *et al.* (2021) obteve 5,1 g L<sup>-1</sup> de biomassa a partir de cultivo mixotrófico utilizando meio de cultura convencional (meio de Hunter modificado). Esses achados demonstram a influência positiva da concentração de carbono orgânico na produção de biomassa de *E. gracilis* o que não é foco de nossa pesquisa uma vez que desejamos a captura de C atmosférico.

#### Composição da biomassa

A biomassa produzida apresentou 21,9 ± 0,4% de proteínas. Esta concentração pode ser considerada baixa quando comparada a outros estudos utilizando este mesmo microrganismo, o que pode estar relacionado a concentração de nitrogênio disponível, fornecido pela adição de NPK. A disponibilidade deste composto pode desencadear a síntese de outros compostos, incluindo lipídios e proteínas, pela microalga (Gissibl *et al.*, 2019).

Estudo de Hayashi *et al.* (1994), alcançou-se um teor máximo de proteína bruta nas células de *Euglena gracilis* de 77,5% em cultivo em uma condição extrema, sem iluminação. Para tanto, o nitrogênio necessário para a síntese das proteínas foi suplementado na forma amoniacal.

A célula de *E. gracilis* é envolta predominantemente por proteínas conferindo à biomassa dessa alga uma digestibilidade superior em comparação a outras microalgas, as quais são protegidas por polissacarídeos não digeríveis (Vismara *et al.*, 2000). Aproximadamente um quarto da biomassa celular consiste em proteínas, independentemente de as células serem cultivadas sob luz ou em condições de escuridão (Wang *et al.*, 2018).

Quanto ao conteúdo em carboidratos, a biomassa de *E. gracilis* coletada nos *bags*, apresentou 40% de carboidratos totais. Esta espécie de microalga é conhecida por sua capacidade de sintetizar uma variedade de compostos, incluindo proteínas, carboidratos e lipídios, em resposta às condições de cultivo e aos nutrientes disponíveis durante o cultivo. A pesquisa de Alves *et al.* (2024) em um cultivo de *Euglena gracilis* em escala de até 30 L, com suplementação de resíduo cervejeiro, resultou em uma biomassa com 27% de proteínas, 38,5% de carboidratos e 17,4% de lipídios. Essa estratégia mostra potencial para produção sustentável de biomassa microalgal com aplicação em diversos setores industriais.

O estudo realizado por Feregrino-Mondragón *et al.* (2021) investigou o cultivo da microalga *Euglena* sp. utilizando resíduos líquidos provenientes de um laboratório de bioquímica como fonte de nutrientes. Os resultados demonstraram que foi possível obter biomassa seca com teor significativo de carboidratos, de 56 a 62%. A presença de nitrogênio pode





influenciar inversamente a produção de carboidratos pelas microalgas. Em meios com baixa disponibilidade de nitrogênio, as células das microalgas tendem a redirecionar seu metabolismo do carbono, priorizando a síntese de carboidratos ao invés de proteínas (Richmond, 2004). Esse mecanismo adaptativo das microalgas reflete sua capacidade de ajustar sua via metabólica em resposta às condições ambientais, otimizando o uso de recursos disponíveis para maximizar a produção de biomassa (Sheehan *et al.*, 2009).

O conteúdo em lipídios foi de  $20,4 \pm 1,34\%$ , maior que os outros conteúdos de lipídios que o grupo de pesquisa já encontrou para esta microalga. A produção de lipídios pode ser favorecida em condições de crescimento limitado de nutrientes. As células ao enfrentam estresse devido à escassez de nutrientes, podem produzir mais lipídios (Barsanti and Gualtieri, 2019). O estudo conduzido por Casas-Arrojo *et al.* (2022), onde a microalga *E. gracilis* foi cultivada em um meio modificado do BBM (*Bold's Basal Medium*) suplementado com nitrogênio e vitaminas, alcançou uma produção lipídica média de  $11,3 \pm 0,7\%$ . Estudos recentes destacam a influência da disponibilidade de nutrientes no rendimento e na composição da biomassa de microalgas. Por exemplo Nwoye *et al.* (2017) investigaram o cultivo da microalga *Euglena* sp. em diferentes concentrações de meio NPK, observando que a biomassa produzida apresentava um teor de lipídios de 16,4% e de proteínas de 33,33%.

Os valores encontrados em nossa pesquisa são próximos ao de Mondal *et al.* (2022), o qual encontrou para *Euglena* sp. com 39 a 61% de proteínas e 14 a 38% de lipídios. Estes resultados evidenciam a importância de se dar continuidade a pesquisa com o controle e disponibilidade de nutrientes no cultivo de microalgas para otimizar a produção de biomassa e direcionar a síntese de compostos de interesse.

### Fixação de carbono durante o cultivo

Durante o cultivo, o  $\text{CO}_2$  é transportado para o interior das células em que o carbono é convertido em biomassa ou outros produtos por meio da fotossíntese, resultando na liberação de oxigênio para a atmosfera (Darzins *et al.*, 2010). É amplamente reconhecido que o potencial de captura de  $\text{CO}_2$  através do cultivo de microalgas é superior ao do cultivo de plantas terrestres, especialmente para as espécies com taxas de crescimento elevadas. Esse fenômeno ocorre devido à eficiência fotossintética das microalgas e à sua capacidade de crescer rapidamente em condições favoráveis e a resiliência em condições desfavoráveis, o que as tornam uma opção promissora para a mitigação das emissões de  $\text{CO}_2$  e a produção sustentável de biomassa (Piiparinen *et al.*, 2018).

Através da análise elementar na biomassa de *Euglena gracilis* cultivada em fotobiorreator fechado tipo *Plastic Bag* com fornecimento de  $\text{CO}_2$  durante o cultivo verificamos que o carbono representa aproximadamente 40,7% da composição da biomassa. Calculando o  $\text{CO}_2$  sequestrado neste cultivo, considerando a produtividade de  $26,5 \text{ g m}^{-3} \text{ dia}^{-1}$ , obteve-se 118,5 g  $\text{CO}_2$  (g) em 30 dias, que se multiplicando por 12 *bags* que é a condição instalada, obtém-se em potencial de sequestro de 1,423 kg por mês.

Esses dados ressaltam a eficácia do fotobiorreator fechado como uma abordagem viável para o cultivo de microalgas, aproveitando o  $\text{CO}_2$  como substrato essencial para a produção sustentável de biomassa de alta qualidade (Siddiki *et al.*, 2022).

A deficiência de nutrientes exerce uma influência significativa sobre a taxa de crescimento das microalgas, levando a uma produção reduzida de biomassa (Ito *et al.*, 2013), em outras condições de cultivo, com a mesma microalga, pode-se mais do que duplicar o carbono até então sequestrado. Por conseguinte, a introdução de  $\text{CO}_2$  atmosférico no sistema é essencial para minimizar os custos e garantir a sustentabilidade do processo (Siddiki *et al.*, 2022).

Adicionalmente, é importante destacar que as espécies de *Euglena* possuem a capacidade de tolerar concentrações elevadas de  $\text{CO}_2$ , chegando até 40%, sem a necessidade de ajustes no pH (Kitaya *et al.*, 2005). Essa característica faz com que sejam adequadas para uso em fotobiorreatores destinados à cultura em larga escala de microalgas e para a conversão eficiente do  $\text{CO}_2$ . Essa capacidade de adaptação das espécies de *Euglena* oferece vantagens significativas em termos de eficiência e viabilidade econômica com aporte de  $\text{CO}_2$  atmosférico (Nguyen *et al.*, 2015).

### Parâmetros de cultivo e produção limpa

A implementação do sistema de *Plastic Bag* representa uma abordagem mais limpa e eficiente para a produção de microalgas, destacando-se pela simplicidade operacional, recirculação de meio, redução de insumos e consumo energético reduzido. Embora o uso de plástico no sistema ainda apresente desafios, diversas melhorias têm sido alcançadas. Primeiramente, a reutilização da água após a centrifugação pode ser uma prática adotada, o que reduz significativamente a demanda por água fresca e contribui para a preservação deste recurso crucial. Adicionalmente, os sacos plásticos podem ser higienizados e reaproveitados em múltiplos ciclos de cultivo, minimizando os custos e o descarte de plástico. A possibilidade de projetar os cultivos visando a eficiência energética, através de sistemas de iluminação e aeração otimizados, também se destaca como uma vantagem. Por fim, as bolsas plásticas oferecem uma solução de cultivo acessível e fácil de instalar, permitindo que a tecnologia de cultivo de microalgas seja acessível mesmo em regiões com recursos limitados, contribuindo para a expansão da produção sustentável de biomassa microalgal.

Para tanto, a temperatura, o valor de pH, e luminosidade foram mantidos constantes  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ , 3,6 e  $52 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. A fonte luminosa nos cultivos de microalgas pode ser natural ou fornecida por lâmpadas. Segundo Santos (2018) para volumes maiores de cultivo, são necessários de 67,5 a  $135 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Estudos relatam que a produtividade de biomassa de *E. gracilis* e sua qualidade, são altamente influenciados não apenas pelos tipos de substrato, mas também por diversas condições de cultivo, como modo metabólico, pH, temperatura, teor nutricional e luminosidade (Wang *et al.*, 2018, Kim *et al.*, 2020). Pela dimensão do reator plástico (Figura 2), é possível usar um valor menor de número de fótons que chegam à área específica ( $\text{m}^2$ ) a cada segundo ( $\text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), reduzindo consumo de energia.

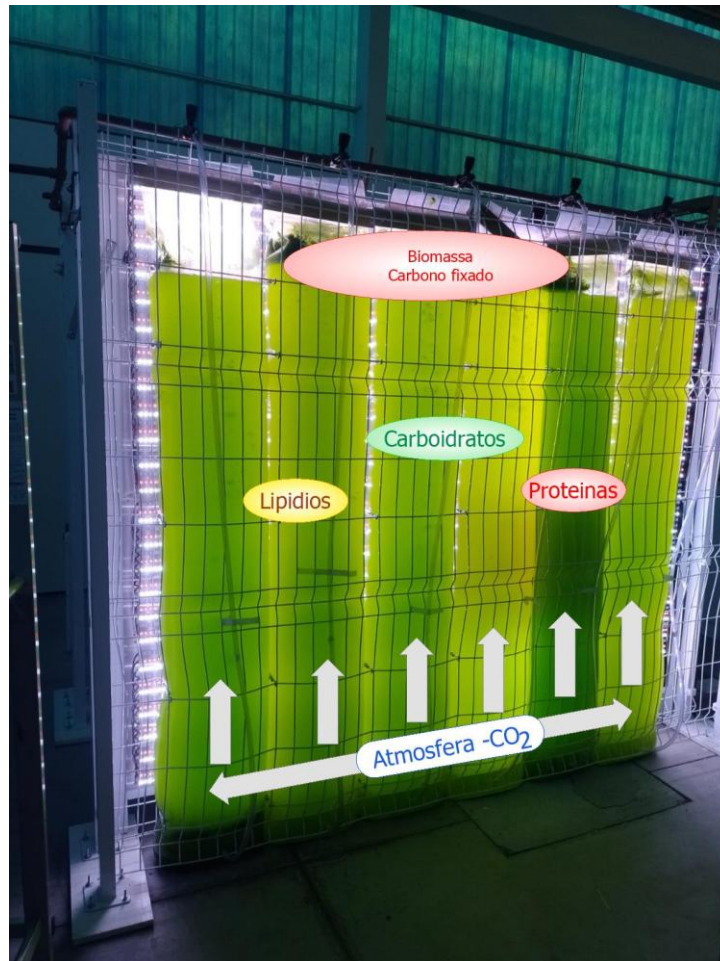


Figura 2: Sistema *Plastic Bag* utilizado para o cultivo da microalga *Euglena gracilis*.

*Euglena gracilis* é um microrganismo eucariótico flagelado e fotossintético, capaz de modificar o movimento de seus flagelos em resposta a diversos estímulos luminosos. Este organismo tem a capacidade de otimizar seu ambiente de luz por meio de fotomovimentos, incluindo respostas fototáticas e fotofóbicas (Häder and Iseki, 2017). Essa habilidade é crucial devido ao impacto significativo que as condições de luz exercem sobre o crescimento e a sobrevivência dessa espécie. As respostas fototáticas permitem que a *E. gracilis* se oriente em direção a fontes de luz favoráveis, enquanto as respostas fotofóbicas a afastam de condições luminosas desfavoráveis, proporcionando uma adaptação dinâmica às variações ambientais (Tamaki *et al.*, 2020).

O estudo conduzido por Wang *et al.* (2018) revelou resultados significativos na cultura de *E. gracilis* em condições fotoautotróficas. Uma notável concentração de biomassa foi alcançada a uma temperatura de 23°C. Surpreendentemente, o fornecimento de luz influenciou a composição da biomassa, enquanto a temperatura teve um impacto mais moderado na produção de proteínas. Eles observaram que a composição lipídica da *E. gracilis* permaneceu relativamente constante ao longo das fases de crescimento exponencial e linear das culturas, entre 22 e 18%, com temperatura de 23 e 30° C.

Estudos revelam que a *E. gracilis* pode acumular quantidades significativas de proteínas, com teores que podem atingir até 33% em cultivos fototróficos. Essas descobertas evidenciam a complexidade da resposta deste microrganismo às condições de cultivo, ressaltando a influência crucial de fatores ambientais, como temperatura e intensidade de luz, na composição celular e na produção de compostos específicos, incluindo carboidratos e proteína (Wang *et al.*, 2018).

Desde o início das pesquisas com *E. gracilis*, realizado por Buetow (1962), temperaturas de incubação mais baixas estimulam o crescimento, ao passo que temperaturas mais elevadas propiciam a divisão celular. Cabe realizar estudos que podem dar um equilíbrio entre crescimento e duplicação dos indivíduos.

O pH influencia a produção de biomassa de *E. gracilis*. Embora o pH ideal para o cultivo desta microalga tenha sido previamente identificado como 3,5, observou-se que uma faixa de pH entre 7,4 e 8 pode resultar em um aumento na síntese de carboidratos (Bäumer *et al.*, 2001), o que também está associado a fixação de carbono.

Considerando que para todos os processos sempre devemos procurar um caminho para uma produção mais limpa, o sistema de fotobiorreatores utilizando sacos plásticos parte do pressuposto que representa uma abordagem de baixo custo e simplicidade operacional para o cultivo de microalgas. Esses sistemas são suspensos verticalmente e recebem iluminação externa, operando como colunas de bolhas com gaseificação de CO<sub>2</sub> na base do saco. Eles têm recebido interesse para a produção industrial de microalgas (Cui *et al.*, 2022).





A viabilidade se dá pelo uso de mais unidades de sacos, otimizando o uso de energia para distribuição de ar e de iluminação com LEDs. No sistema de fotobiorreatores de sacos plásticos, é possível cultivar em diferentes volumes para atender demandas específicas. Por exemplo, Chen *et al.* (2021) utilizaram um único saco plástico de 5 L para cultivo em larga escala de *Chlorella* sp., enquanto Abomohra *et al.* (2014) empregaram um conjunto de 20 sacolas plásticas de polietileno, cada uma com 2 m de comprimento, 20 cm de largura e 0,2 cm de espessura (Chen *et al.*, 2013, Abomohra *et al.*, 2014). Ademais, a pressão da coluna d'água pode ser responsável pelos sacos terem mais massa de plástico, uma vez que camadas finas podem romper. Ambientalmente, uma espessura maior de plástico pode significar mais impacto ambiental associado a matriz polimérica e menos passagem de luz, rendendo menos produtividade em biomassa.

Essas características fazem dos fotobiorreatores fechados uma escolha atraente para aplicações que requerem maior controle e precisão no cultivo de microalgas (Barboza-Rodríguez *et al.*, 2024). No entanto, a continuidade na otimização, buscando outros cenários produtivos com novas proporções de NPK, fotoperíodo e intensidade luminosa pode trazer maior produtividade e tornar o processo mais limpo, uma vez que haverá melhor aproveitamento dos nutrientes e energia.

### Conclusões

Constatou-se que a biomassa, apesar de não ser de alto teor de proteínas, normalmente associado a ser uma biomassa mais nobre, apresenta um teor de carboidratos que pode ser importante comercialmente, apesar de ainda ser necessário aumentar a produtividade (26,5 g m<sup>-3</sup> dia<sup>-1</sup>). A análise elementar da biomassa de *Euglena gracilis* cultivada em fotobiorreator fechado com CO<sub>2</sub> revelou que o carbono compõe cerca de 40,7% da biomassa, indicando uma eficiente assimilação do carbono fornecido pelo CO<sub>2</sub> durante a fotossíntese. Nas condições já testadas, em um conjunto de 12 *Plastic Bags* espera-se um sequestro de 1,423 kg mês<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Esses resultados sugerem que o cultivo em sistema *Plastic Bag* oferece um ambiente propício para o crescimento e a acumulação de biomassa da *Euglena gracilis*, destacando o potencial dessa abordagem para aplicações futuras na produção sustentável de compostos de interesse.

### Agradecimentos

CNPq (306216/2022-1), Capes (código 001 e 710390/2022-1; Código 001, 88881.853970/2023-1 e 88881691616/2022-01), SICT-RS (22/2500-0000201-0) e a Rede Cytec/Renuwal.

### Referências

- Abomohra, A. E.-F., M. El-Sheekh and D. Hanelt (2014). "Pilot cultivation of the chlorophyte microalga *Scenedesmus obliquus* as a promising feedstock for biofuel." *Biomass and Bioenergy* **64**: 237-244.
- Alves, G., T. M. Rizzetti, M. A. O. Linton, M. Hoeltz, A. Dupont, V. C. da Rocha, L. Ritzel and R. d. C. Souza Schneider (2024). "Biomass of *Euglena gracilis* Produced in Mineral Medium Supplemented with Craft Brewery Residue." *Waste and Biomass Valorization*: 1-15.
- Barboza-Rodríguez, R., R. M. Rodríguez-Jasso, G. Rosero-Chasoy, M. L. R. Aguado and H. A. Ruiz (2024). "Photobioreactor configurations in cultivating microalgae biomass for biorefinery." *Bioresource Technology* **394**: 130208.
- Barsanti, L. and P. Gualtieri (2019). "Paramylon, a potent immunomodulator from WZSL mutant of *Euglena gracilis*." *Molecules* **24**(17): 3114.
- Bäumer, D., A. Preisfeld and H. G. Ruppel (2001). "Isolation and characterization of paramylon synthase from *Euglena gracilis* (euglenophyceae) 1." *Journal of Phycology* **37**(1): 38-46.
- Bhalamurugan, G. L., O. Valerie and L. Mark (2018). "Valuable bioproducts obtained from microalgal biomass and their commercial applications: A review." *Environmental Engineering Research* **23**(3): 229-241.
- Bligh, E. G. and W. J. Dyer (1959). "A rapid method of total lipid extraction and purification." *Can J Biochem Physiol* **37**(8): 911-917.
- Buetow, D. E. (1962). "Differential effects of temperature on the growth of *Euglena gracilis*." *Experimental Cell Research* **27**(1): 137-142.
- Casas-Arrojo, V., M. L. A. Arrojo Agudo, C. Cardenas Garcia, P. Carrillo, C. Perez Manriquez, E. Martinez-Manzanares and R. T. Abdala Diaz (2022). "Antioxidant, Immunomodulatory and Potential Anticancer Capacity of Polysaccharides (Glucans) from *Euglena gracilis* G.A. Klebs." *Pharmaceuticals (Basel)* **15**(11).
- Chen, C.-Y., J.-S. Chang, H.-Y. Chang, T.-Y. Chen, J.-H. Wu and W.-L. Lee (2013). "Enhancing microalgal oil/lipid production from *Chlorella sorokiniana* CY1 using deep-sea water supplemented cultivation medium." *Biochemical engineering journal* **77**: 74-81.





- Chen, M., Y. Chen and Q. Zhang (2021). "A Review of Energy Consumption in the Acquisition of Bio-Feedstock for Microalgae Biofuel Production." *Sustainability* **13**(16): 8873.
- Chu, R., S. Li, L. Zhu, Z. Yin, D. Hu, C. Liu and F. Mo (2021). "A review on co-cultivation of microalgae with filamentous fungi: Efficient harvesting, wastewater treatment and biofuel production." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **139**: 110689.
- Cui, J., S. Purton and F. Baganz (2022). "Characterisation of a simple 'hanging bag' photobioreactor for low-cost cultivation of microalgae."
- Darzens, A., P. Pienkos and L. Edey (2010). "Current status and potential for algal biofuels production." A report to IEA Bioenergy Task **39**(13): 403-412.
- de Souza, M. P., G. S. Colares, P. G. Wiesel, T. M. Rizzetti, M. Hoeltz, L. B. Benitez, Ê. L. Machado and R. C. S. Schneider (2022). "Life cycle assessment of different scenarios for pigment production from an algal turf scrubber (ATS) system." *Biomass Conversion and Biorefinery*: 1-12.
- Feregrino-Mondragón, R. D., A. Vega-Segura, R. Sánchez-Thomas, M. Silva-Flores, J. S. Rodríguez-Zavala, Á. Marín-Hernández, I. Pérez-Torres, M. E. Torres-Márquez, R. Moreno-Sánchez and R. Jasso-Chávez (2021). "The essential role of mitochondria in the consumption of waste-organic matter and production of metabolites of biotechnological interest in *Euglena gracilis*." *Algal Research* **56**: 102302.
- Fernández, F. G. A., A. Reis, R. H. Wijffels, M. Barbosa, V. Verdelho and B. Llamas (2021). "The role of microalgae in the bioeconomy." *New Biotechnology* **61**: 99-107.
- Gissibl, A., A. Sun, A. Care, H. Nevalainen and A. Sunna (2019). "Bioproducts from *Euglena gracilis*: synthesis and applications." *Frontiers in bioengineering and biotechnology* **7**: 108.
- Häder, D.-P. and M. Iseki (2017). "Photomovement in *Euglena*." *Euglena: biochemistry, cell and molecular biology*: 207-235.
- Hayashi, M., K. Toda, H. Ishiko, R. Komatsu and S. Kitaoka (1994). "Effects of shifting pH in the stationary phase of growth on the chemical composition of *Euglena gracilis*." *Bioscience, biotechnology, and biochemistry* **58**(11): 1964-1967.
- Huang, Q., F. Jiang, L. Wang and C. Yang (2017). "Design of Photobioreactors for Mass Cultivation of Photosynthetic Organisms." *Engineering* **3**(3): 318-329.
- Ito, T., M. Tanaka, H. Shinkawa, T. Nakada, Y. Ano, N. Kurano, T. Soga and M. Tomita (2013). "Metabolic and morphological changes of an oil accumulating trebouxioephycean alga in nitrogen-deficient conditions." *Metabolomics* **9**: 178-187.
- Jung, J.-M., J. Y. Kim, S. Jung, Y.-E. Choi and E. E. Kwon (2021). "Quantitative study on lipid productivity of *Euglena gracilis* and its biodiesel production according to the cultivation conditions." *Journal of cleaner production* **291**: 125218.
- Kim, S., D. Lee, D. Lim, S. Lim, S. Park, C. Kang, J. Yu and T. Lee (2020). "Paramylon production from heterotrophic cultivation of *Euglena gracilis* in two different industrial byproducts: Corn steep liquor and brewer's spent grain." *Algal Research* **47**: 101826.
- Kitaya, Y., H. Azuma and M. Kiyota (2005). "Effects of temperature, CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> concentrations and light intensity on cellular multiplication of microalgae, *Euglena gracilis*." *Advances in Space Research* **35**(9): 1584-1588.
- Llamas, B., M. C. Suárez-Rodríguez, C. V. González-López, P. Mora and F. G. Acien (2021). "Techno-economic analysis of microalgae related processes for CO<sub>2</sub> bio-fixation." *Algal Research* **57**: 102339.
- Lukáčová, A., D. Lihanová, T. Beck, R. Albery, D. Vešelényiová, J. Krajčovič and M. Vesteg (2023) "The Influence of Phenol on the Growth, Morphology and Cell Division of *Euglena gracilis*." *Life* **13** DOI: 10.3390/life13081734.
- Martini, F. A., A. Rubert, M. P. de Souza, L. T. Kist, M. Hoeltz, L. B. Benitez, T. M. Rizzetti, P. D. Gressler and R. d. C. d. S. Schneider (2019). "Periphytic biomass composition and exploitation from algae turf scrubber system." *SN Applied Sciences* **1**(7): 765.
- Mondal, S., S. Bera, R. Mishra and S. Roy (2022). "Redefining the role of microalgae in industrial wastewater remediation."



Energy Nexus **6**: 100088.

Nguyen, K., K. Yoshiaki, L. Xiao, R. Endo and T. Shibuya (2015). "Microalgae culture with digestate from methane fermentation-Effects of digestate concentrations and pH on the growth of *Euglena gracilis*." *Eco-Engineering* **27**(1): 7-11.

Nwoye, E. C., O. J. Chukwuma, N. O. Obisike, O. I. Shedrack and C. O. Nwuche (2017). "Evaluation of some biological activities of *Euglena gracilis* biomass produced by a fed-batch culture with some crop fertilizers." *African Journal of Biotechnology* **16**(8): 337-345.

Ogawa, T., M. Nakamoto, Y. Tanaka, K. Sato, A. Okazawa, S. Kanaya and D. Ohta (2022). "Exploration and characterization of chemical stimulators to maximize the wax ester production by *Euglena gracilis*." *Journal of Bioscience and Bioengineering* **133**(3): 243-249.

Piiparinen, J., D. Barth, N. T. Eriksen, S. Teir, K. Spilling and M. G. Wiebe (2018). "Microalgal CO<sub>2</sub> capture at extreme pH values." *Algal research* **32**: 321-328.

Rastogi, R. P., A. Pandey, C. Larroche and D. Madamwar (2018). "Algal Green Energy—R&D and technological perspectives for biodiesel production." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **82**: 2946-2969.

Richmond, A. (2004). "Principles for attaining maximal microalgal productivity in photobioreactors: an overview." *Hydrobiologia* **512**(1-3): 33-37.

Russell, C., C. Rodriguez and M. Yaseen (2022). "High-value biochemical products & applications of freshwater eukaryotic microalgae." *Science of The Total Environment* **809**: 151111.

Santos, L. E. d. S. d. (2018). Minimização de emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) pelo uso de fotocatalise e biofixação por microalgas, Universidade Federal do Paraná.

Sheehan, J., T. Dunahay, J. Benemann and P. Roessler (2009). A look back at the U.S. department of energy's aquatic species program: Biodiesel from algae.

Siddiki, S. Y. A., M. Mofijur, P. S. Kumar, S. F. Ahmed, A. Inayat, F. Kusumo, I. A. Badruddin, T. M. Y. Khan, L. D. Nghiem, H. C. Ong and T. M. I. Mahlia (2022). "Microalgae biomass as a sustainable source for biofuel, biochemical and biobased value-added products: An integrated biorefinery concept." *Fuel* **307**: 121782.

Souza, L. d. S., C. Simioni, Z. L. Bouzon, R. d. C. d. S. Schneider, P. Gressler, M. C. Miotto, M. J. Rossi and L. R. Rörig (2017). "Morphological and ultrastructural characterization of the acidophilic and lipid-producer strain *Chlamydomonas acidophila* LAFIC-004 (Chlorophyta) under different culture conditions." *Protoplasma* **254**: 1385-1398.

Tamaki, S., Y. Tanno, S. Kato, K. Ozasa, M. Wakazaki, M. Sato, K. Toyooka, T. Maoka, T. Ishikawa and M. Maeda (2020). "Carotenoid accumulation in the eyespot apparatus required for phototaxis is independent of chloroplast development in *Euglena gracilis*." *Plant Science* **298**: 110564.

Vismara, R., L. Barsanti, P. Lupetti, V. Passarelli, D. Mercati, R. Dallai and P. Gualtieri (2000). "Ultrastructure of the pellicle of *Euglena gracilis*." *Tissue and Cell* **32**(6): 451-456.

Wang, Y., T. Seppanen-Laakso, H. Rischer and M. G. Wiebe (2018). "*Euglena gracilis* growth and cell composition under different temperature, light and trophic conditions." *PLoS One* **13**(4): e0195329.

Wang, Y., T. Seppänen-Laakso, H. Rischer and M. G. Wiebe (2018). "*Euglena gracilis* growth and cell composition under different temperature, light and trophic conditions." *PLoS One* **13**(4): e0195329.

SANTOS, L. E. DA S. DOS. Minimização de emissões de óxidos de nitrogênio (Nox) pelo uso de fotocatalise e biofixação por microalgas. Dissertação (Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial: Departamento de Engenharia Química), Universidade Federal do Paraná, Curitiba. (2018).



# APPLICATIONS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN CO<sub>2</sub> CAPTURE: MITIGATING CLIMATE CHANGE THROUGH ADSORPTION PROCESSES

**1Suzan Roberta Tombini Venturella, 2Claiton Zanini Brusamarello, 3Fernanda Batista de Souza**

*1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: sventurella@hotmail.com; 2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: claitonz@utfpr.edu.br; 3 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: fernandasouza@utfpr.edu.br*

**Keywords:** Adsorbents; atmospheric emissions; climate change.

## Abstract

The concentration of carbon dioxide in the atmosphere has been increasing over the years due to emissions outpacing the planet's natural sinks' capacity to remove the gas. In 1800, right after the Industrial Revolution, the CO<sub>2</sub> concentration in atmosphere was approximately 280 ppm rising to reach the mark of 420 ppm in 2022 and becoming a concerning matter among the scientific community. Climate change may cause, in an indirect way, adverse effects on people's health due to changes in air pollution, the spread of diseases, food insecurity, and others. Thus, the investments foreseen in the Paris Agreement are essential to reducing the impacts caused by climate change, and it also gives the countries involved the opportunity to develop new technologies to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. As the rise in CO<sub>2</sub> emissions is considered the leading cause of climate change, carbon capture becomes an alternative to these technologies, and a technique that can be used is gas adsorption on solid surfaces. An artificial neural network is a system which process information, and the mechanism of artificial neural networks can be applied to various fields of environmental and chemical engineering. An artificial neural network comprises elements known as neurons and layers. To study the uptake of CO<sub>2</sub> on activated carbon under different experimental conditions, this work used artificial neural networks (ANN) fed with experimental data for pressure, temperature, superficial area of the adsorbent, CO<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> uptake, and their molar fractions. The Levenberg-Marquardt algorithm was used for training the network, and Matlab© software for the development of the ANN model. The data was distributed as 70% for training, 15% for validation, 15% for testing and training for 10, 15, and 20 neurons. The network comprises the tangent activation function in the hidden layers and the linear function in the output layer. The mean squared error and the correlation coefficient were used to analyze the outputs obtained through the network test. The best result was obtained for the 20 neurons in the hidden layer, presenting an MSE equivalent of  $3.80 \times 10^{-3}$  and an R<sup>2</sup> of 0.98347 for the training data, 0.98328 for the validation data, 0.97365 for the test data, and it shows that the neural artificial network can predict the CO<sub>2</sub> adsorption on activated carbon. Therefore, the uptake of CO<sub>2</sub> through artificial neural networks makes it possible to study the uptake of CO<sub>2</sub> on activated carbon. Uniting the experimental method with the machine learning method may be a tool capable of allowing the study to capture other greenhouse gases and reducing costs and time invested in laboratory experiments.

## Introduction

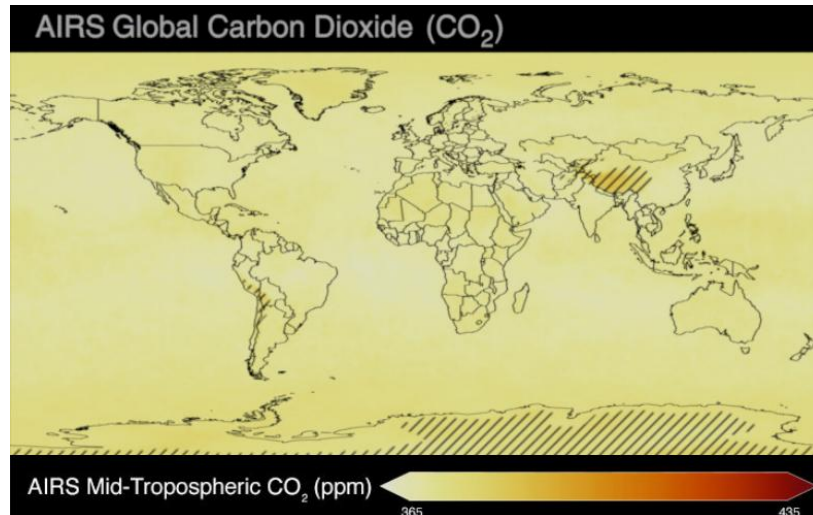
The concentration of carbon dioxide in the atmosphere has been increasing over the years due to the amount of emissions being more significant than the capacity of the planet's natural sinks to remove the gas. Experts estimate that these sinks absorbed approximately half of the CO<sub>2</sub> emitted annually between 2011 and 2020 (Lindsey, 2023).

Therefore, critical elements of the agreement include setting the temperature increase at 1.5 °C, revising emission reduction targets for countries every five years, and providing financial support to developing countries (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2020; United Nations, 2023). Consequently, the investments outlined in the Paris Agreement are crucial for reducing the impacts of climate change and providing countries with opportunities to develop new technologies to mitigate their CO<sub>2</sub> emissions.

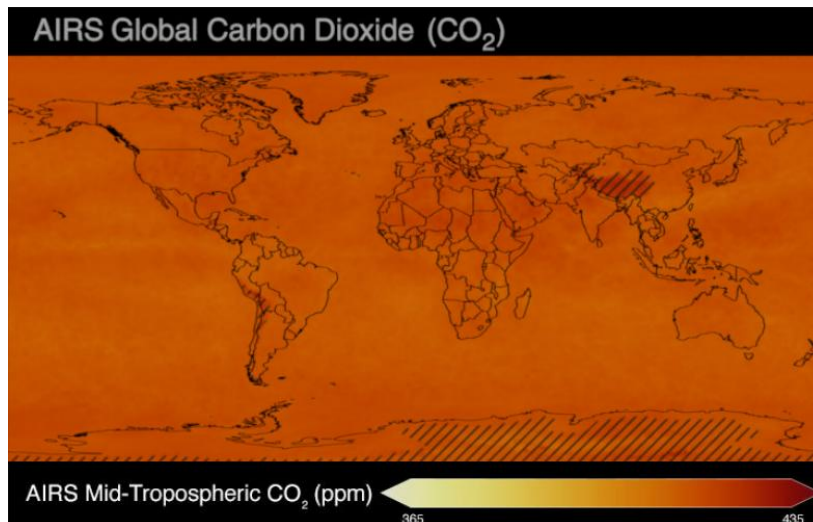
In 1800, following the Industrial Revolution, the concentration of CO<sub>2</sub> was approximately 280 ppm. However, by 2016, the levels of CO<sub>2</sub> in the atmosphere had reached 400 ppm, raising concerns within the scientific community due to this significant increase. Thus, researchers have concluded that the accumulation of greenhouse gases has led to the rise in global temperatures by up to 1.5 °C since 1850, and they estimate that there will be a 2 °C increase when the concentration of CO<sub>2</sub> reaches 450 ppm (Dayton, 2016; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022).

According to NASA, in 2019, the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration reached 412 ppm. Meanwhile, in 2022, the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), a US government agency, reported a peak concentration of 421 ppm (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022). The maps shown in Figure 1 and Figure 2 depict the rise in CO<sub>2</sub> concentration from 2002 to 2022. Figure 1 displays a light-yellow map indicating a carbon dioxide concentration of 365 ppm in 2002. Meanwhile, Figure 2 presents a red map with concentrations exceeding 400 ppm in 2022 (NASA, 2022).





**Figure 1: CO<sub>2</sub> concentration for 2002.**  
Source: NASA (2022)



**Figure 2: CO<sub>2</sub> concentration for 2022.**  
Source: NASA (2022)

Climate change can indirectly lead to negative impacts on public health due to changes in air pollution, the spread of diseases, food insecurity, population displacement, and mental health issues. The potential of climate change could negate the health benefits gained through economic development. Therefore, the benefits of mitigation actions can be attained by promoting better health and well-being for the population through poverty reduction and striving for global equality (Watts et al., 2015).

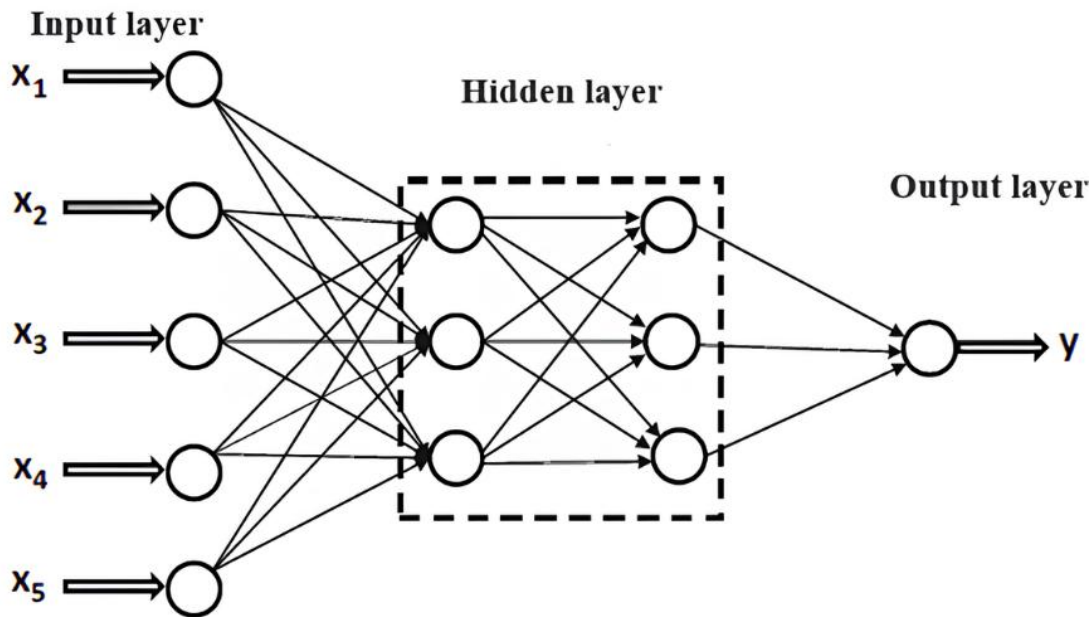
As increasing CO<sub>2</sub> emissions are considered the primary cause of climate change, carbon capture technologies have emerged as potential solutions to the problem. According to a report issued by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 2005, one of the techniques that can be employed is CO<sub>2</sub> adsorption on a solid surface (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2005; Shahkarami et al., 2015). Gas adsorption for post-combustion gases was identified as a promising technology for capturing gases in large-scale stationary sources and industrial plants (Raganati, Miccio; Ammendola, 2021).

In recent decades, efforts have been made to apply computational techniques in both industry and academia due to the cost and high time demand required for conducting experiments related to adsorption. Because of these conditions and the challenge of using traditional computational methods to solve engineering problems, there has been a shift towards studying more straightforward.

The artificial neural networks (ANN) can be applied to various fields of environmental and chemical engineering, including mapping flood-prone areas, photolysis for pollutant decomposition, catalytic applications for photocatalysis, ozone application, estimation of atmospheric particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) concentration, prediction and classification of processes, process control, fault diagnosis, and others (Cavalcanti et al., 2021; Dowla; Rogers, 1995; Falah et al., 2019).

Just like the biological neural network, the artificial neural network is a system that can process information. The ANN was developed based on the idea that mathematical models can describe human cognition by assuming the processing of data through

simple elements called neurons, signals transmitted by neurons through connections; each connection is associated with a weight that, in a typical neural network, multiplies the transmitted signal; each neuron applies an activation function to its input network to determine its output signal (Fausett, 1994). A representative image of an artificial neural network is presented in Figure 3.



**Figure 3: Representation of an artificial neural network.**  
Source: Aggarwal (2023)

An ANN comprises elements known as neurons and layers. Just as the brain is composed of various neural connections, the neural network is structured by multiple nodes corresponding to brain's neurons. Additionally, using a weight value, the neural network mimics the connections between neurons. These weights represent information that helps the network to solve the problem (Fausett, 1994; Kim, 2017). For artificial neural networks, the training algorithm is responsible for the learning process, while the optimization algorithm is responsible for adjusting the model parameters used during training (Quesada, 2023).

In each neuron of every layer, linear operations occur—multiplying the input value by the respective neuron's weight and adding the result to the neuron's associated bias. To enable non-linear operations, the output results of each layer are processed by activation functions. These functions aim to provide non-linear processing capabilities. This characteristic is crucial in the hidden layers of the neural network and in the output layers, where activation functions can have specific purposes depending on the task to which the network is applied (Ceccon, 2020).

Accordingly, artificial neural networks are tools with high accuracy and speed, capable of performing nonlinear computation, diagnosis, and learning. These characteristics are crucial in tools used for predicting CO<sub>2</sub> adsorption (Ghaemi, Dehnavi; Khoshraftar, 2023).

## Material and Methods

Literature searches and surveys were conducted to compile the bibliographic portfolio and select articles on research conducted on the capture of pure CO<sub>2</sub> or a CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> mixture on commercial activated carbon and on the use of artificial neural networks in engineering.

For this study, there was a temporal restriction on the references found between 1995-2022 in scientific journals using the platforms CAPES, Science Direct, and Google Scholar, focusing on the keywords: CO<sub>2</sub> Adsorption on Activated Carbon, Neural Artificial Network Activated Carbon, Neural Artificial Network CO<sub>2</sub>, Adsorption on CO<sub>2</sub> Capture, Neural Network Adsorption, Carbon Dioxide Mixture Adsorption on Activated Carbon, Adsorption of Carbon Dioxide on Activated Carbon.

The data collection was performed based on the adsorption capacity results published in articles in tabular form. For articles that provided only graphs for the equilibrium (adsorption capacity versus time), the WebPlotDigitizer was used to extract the data point for utilization in Microsoft Excel®.

After collecting the experimental data, a statistical analysis was performed by creating the normal distribution curve. Subsequently, the min-max method normalized the collected data (adsorption capacity, temperature, pressure, surface area, and molar fraction) to the range [-1;1]. Normalization is necessary due to the activation function used to train the neural network in the hidden layer.

After the data normalization, they were considered "input data" for the neural network to obtain the "output value" to predict the adsorption capacity for the inserted data. Thus, with the assistance of Matlab®, the Neural Net Fitting application was initially used to obtain the algorithm used for the neural network. For prediction, a feed-forward neural network of supervised learning type was used, and the Levenberg-Marquardt Method was employed to optimize the network due to its fast convergence



to find the local minimum of a function.

The data collected from the publications were divided into a 70/15/15 ratio for the network training: 70% of the data was used for training, 15% for validation, and 15% for testing. The network was trained for a hidden layer composed of 10, 15, and 20 neurons to avoid overfitting.

For each simulation, the obtained values for the mean squared error (MSE) and the correlation coefficient ( $R^2$ ) for training, validation, and testing were recorded in an Excel spreadsheet to facilitate tracking the network's progress and error convergence, helping to determine which network architecture best fits the data.

The stopping criterion for training the artificial neural network was an MSE equal to or less than  $10^{-3}$ . Consequently, the network would be trained until minimal change was observed to the MSE and  $R^2$  obtained at each iteration of the data. It's worth noting that attention was given to ensure that the value of  $R^2$  did not decrease with the iterations, which could indicate overfitting. After obtaining the normalized prediction data, it was necessary to perform denormalization to compare the experimental values with the predicted values based on the analysis of MSE and  $R^2$ .

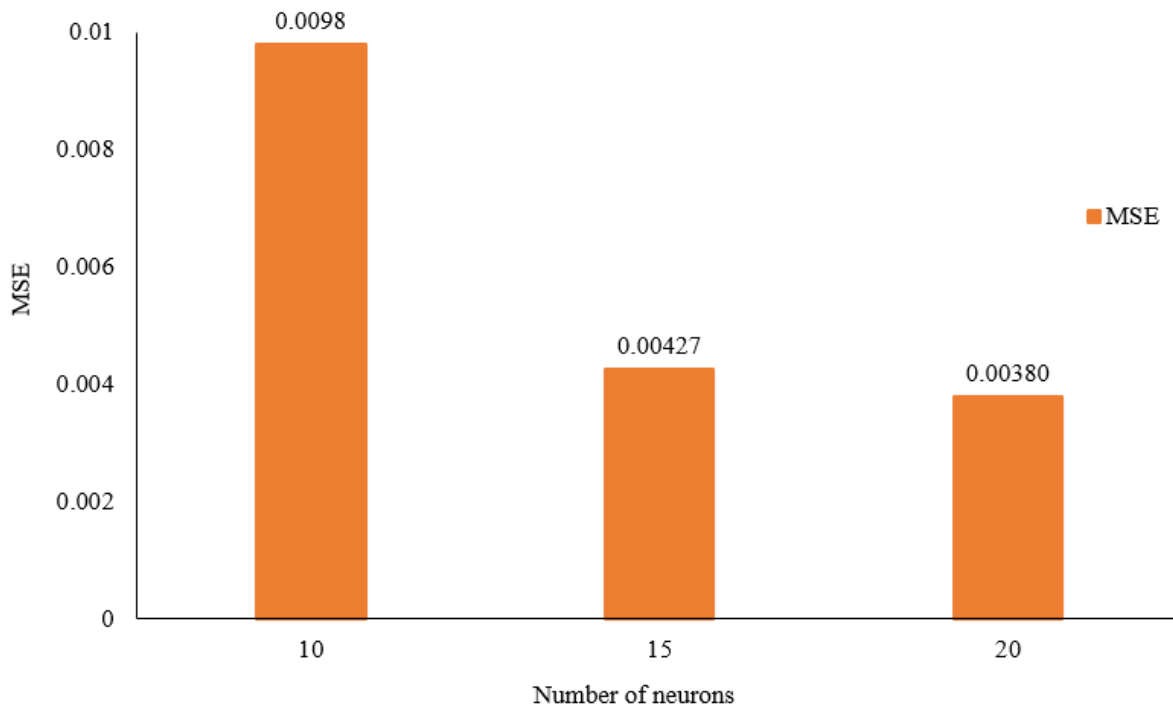
### Results and Discussion

For training the ANN, the experimental data collected were pressure, temperature, surface area, molar fraction of  $CO_2$  and  $CH_4$ , and the adsorption capacity ( $q$ ) of  $CO_2$  for the range presented in Table 1.

**Table 1: Data range used for  $CO_2$  uptake prediction**

Parameter	Maximum data value	Minimum data value
Pressure (MPa)	13.36	0.0003
Temperature (K)	423.00	263.00
Surface area ( $m^2 g^{-1}$ )	3,250.00	462.67
$y_{CO_2}$	1.00	0.0201
$y_{CH_4}$	0.9799	0.00
$q_{CO_2}$ ( $mol kg^{-1}$ )	32.61	0.0027

After the simulation for predicting the adsorption capacity of  $CO_2$  for a mixture of carbon dioxide and methane, the results for MSE and  $R^2$  were recorded in an Excel® spreadsheet to analyze the ANN performance. The minimum MSE values obtained for each tested network architecture are presented in Figure 4.



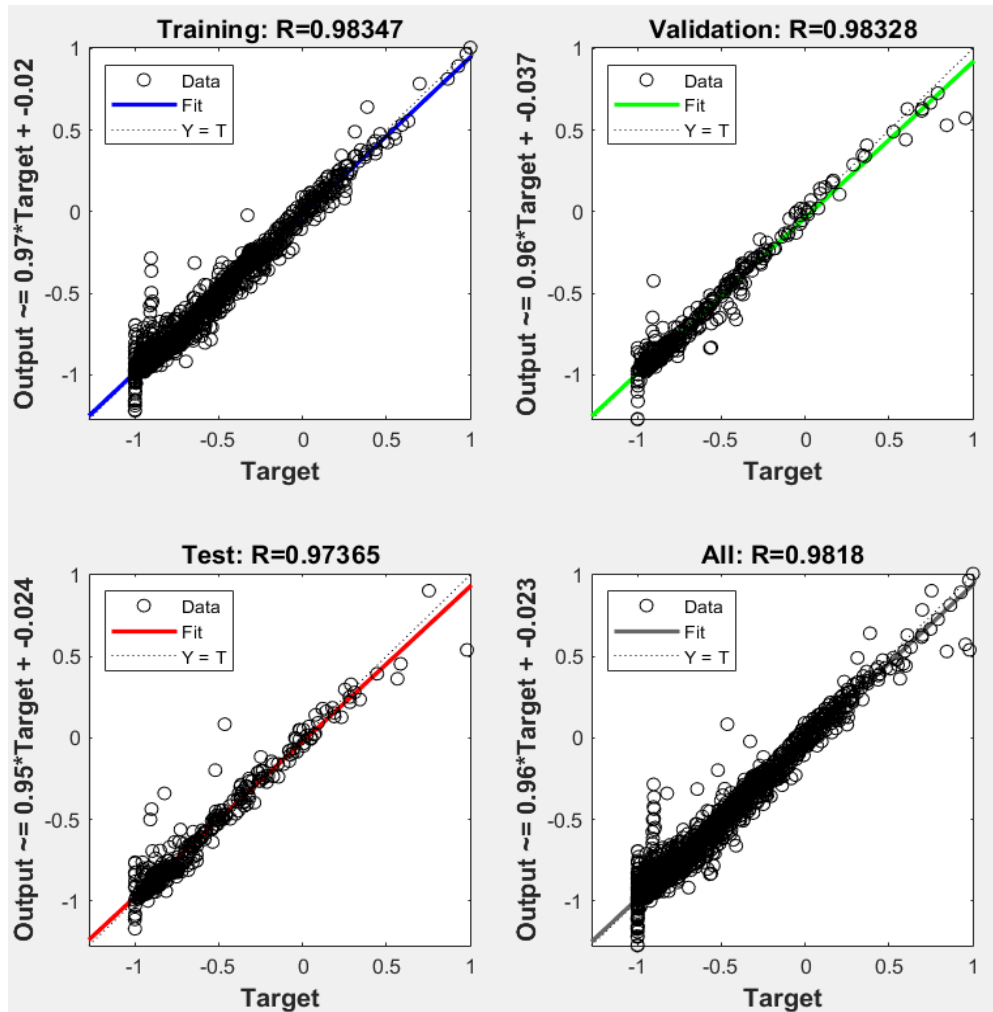
**Figure 4: MSE values obtained for the artificial network architecture.**

The results obtained for MSE were analyzed simultaneously with  $R^2$ , to identify the occurrence of overfitting. It was concluded that the prediction for the neural network composed of 20 neurons exhibited the lowest MSE, equivalent to





$3.80 \times 10^{-3}$ , and  $R^2$  values of 0.98347 for training, 0.98328 for validation, and 0.97365 for testing. The correlation coefficient plots for the architecture of 20 neurons are presented in Figure 5.



**Figure 5: Correlation coefficients for the architecture of 20 neurons.**

Therefore, upon observing the graphs presented in Figure 5, it can be noted that the  $R^2$  values for training and testing are close, indicating a close relationship between the input data (experimental data) and the output data (CO<sub>2</sub> adsorption prediction), suggesting that the chosen architecture is a suitable model for the operation of the artificial neural network (Arun et al., 2023; Ghaemi; Dehnavi; Khoshraftar, 2023).

In a study published by Khoshraftar and Ghaemi (2022) on the prediction of pure CO<sub>2</sub> adsorption on activated carbon produced from the plant *Entada Africana* Guill. & Perr using artificial neural networks (ANNs). The ANN was developed using the Neural Network Toolbox available in Matlab®, with architectures varying the number of neurons in the hidden layer from 2 to 20 and using the hyperbolic tangent activation function. Pressure and temperature parameters were used as input parameters for the ANN. After statistical analysis, the authors concluded that the architecture with the best performance had 10 neurons, showing  $R^2$  values of 0.99977 for training, 0.99985 for validation, and 0.9992 for testing, with an MSE of order  $10^{-3}$ .

Rostami et al. (2017) published a study on predicting pure CO<sub>2</sub> adsorption on activated carbon using artificial neural networks (ANNs). The authors employed the hyperbolic tangent function as the activation function and tested architectures ranging from 8 to 16 neurons for the network's hidden layer. Pressure and temperature data were used as input variables for the network. After statistical analysis, it was concluded that the architecture with 12 neurons exhibited the lowest MSE, equivalent to  $1.9920 \times 10^{-6}$ , and an  $R^2$  of 0.9999.

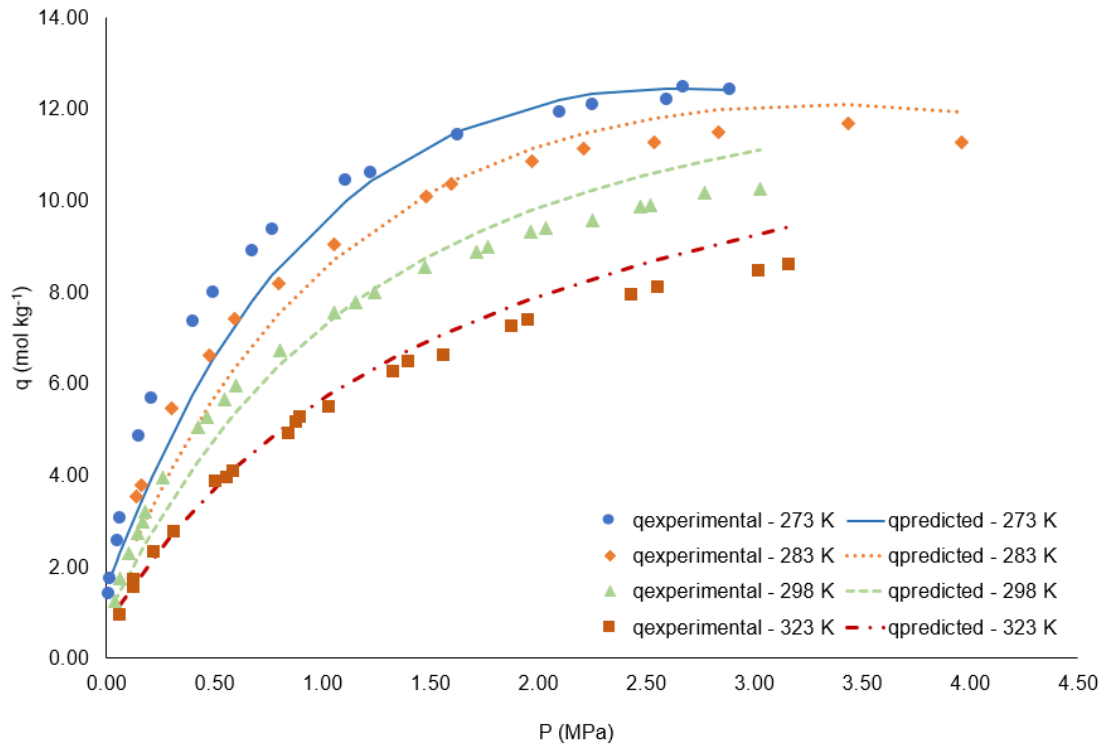
### Adsorption Equilibrium Prediction

To predict the adsorption equilibrium for pure CO<sub>2</sub>, it was necessary to analyze the denormalized data obtained for the adsorption capacity prediction. Specific data groups were selected for graphical plotting to demonstrate the behavior of both experimental and simulated data. These data were chosen as they generally represented the data for different temperatures and pressures.

Figure 6 displays a graph showing the experimental data collected from Himeno, Komatsu, and Fujita (2005) for pure



CO<sub>2</sub> at temperatures of 273 K, 283 K, 298 K, and 323 K, with a surface area of 1,450.00 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, along with the prediction MSE and R<sup>2</sup> data obtained from the ANN presented in Table 2.



**Figure 6: CO<sub>2</sub> adsorption capacity for a monocomponent adsorption system.**

**Table 2: MSE and R<sup>2</sup> data for predicted data of the monocomponent adsorption system**

Temperature (K)	MSE	R <sup>2</sup>
273	6.8839	0.9744
283	3.8982	0.9915
298	6.1265	0.9874
323	1.5136	0.9969

From the analysis of MSE and R<sup>2</sup>, it is noted that for both adsorbents and the different temperatures used, the artificial neural network exhibited good predictive capability for the monocomponent system.

For the prediction of the adsorption equilibrium of CO<sub>2</sub> in a multicomponent system, it was necessary to analyze the data resulting from the prediction of CO<sub>2</sub> adsorption capacity in the CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> mixture at different proportions. Table 3 presents the experimental prediction results for its MSE and correlation coefficient.

**Table 3: MSE and R<sup>2</sup> data for predicted data of the multicomponent adsorption system**

Temperature (K)	MSE	R <sup>2</sup>
303.15	45.1190	0.2676
323.15	30.7371	0.0406
353.15	60.7503	0.4042

After analyzing the MSE and R<sup>2</sup> for adsorption capacity prediction, it was noted that for very low pressures ( $P < 0.01$  MPa), the simulated adsorption capacity does not represent the experimental data collected for multicomponent systems. Only certain data groups were selected for graphical plotting and presentation in tables for demonstration purposes. These data were chosen as they generally represented the data for different temperatures and pressures.

Therefore, the data for pressures below 0.01 MPa were excluded to perform a new network prediction for the multicomponent system. The results of the latest prediction are presented in Table 4, in which a significant reduction in MSE

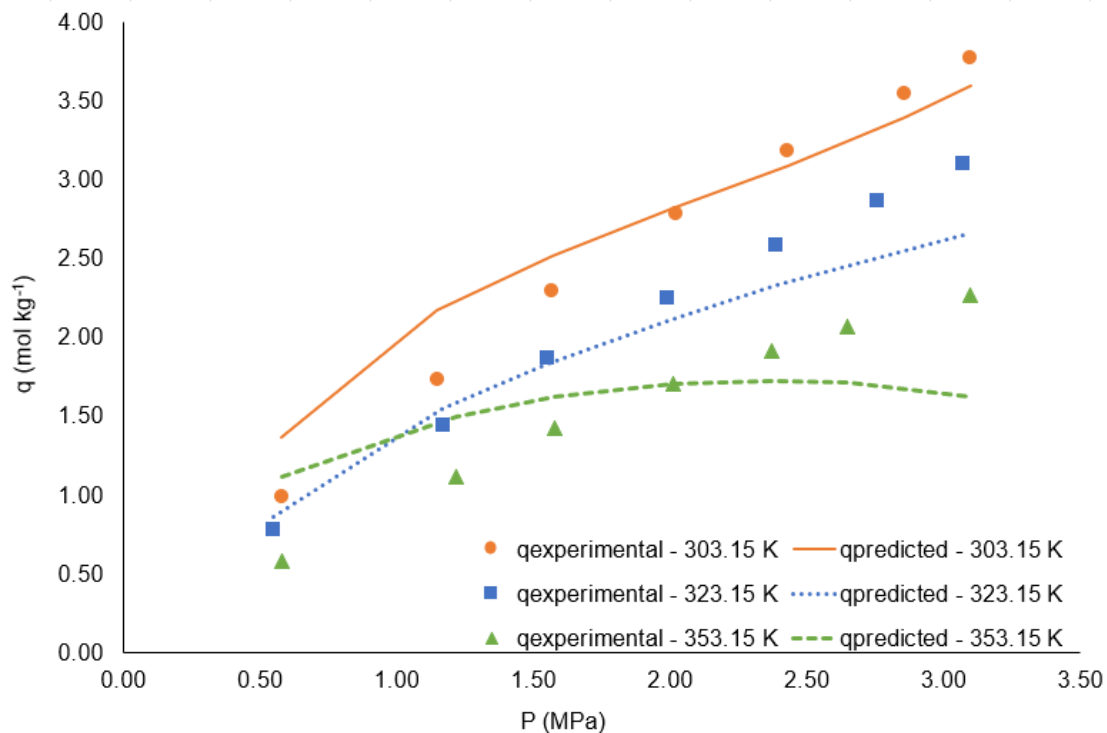


and an increase in  $R^2$  for the adsorption capacity of the  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  mixture are observed.

**Table 4: MSE and  $R^2$  data for predicted data of the multicomponent adsorption system**

Temperature (K)	MSE	$R^2$
303.15	0.2481	0.9899
323.15	0.2195	0.9887
353.15	0.5309	0.7354

Figure 7 displays a graph illustrating the second prediction of  $\text{CO}_2$  adsorption for the  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  mixture at temperatures of 303.15 K, 323.15 K, and 353.15 K, using activated carbon with a surface area of  $1,290.00 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . The graph includes the predicted data and the data collected from Pino and Bessieres (2017).



**Figure 7:  $\text{CO}_2$  adsorption capacity for the multicomponent adsorption system.**

Upon examining Figure 7 and Table 4, it's evident that for temperatures of 303.15 K and 323.15 K, the  $\text{CO}_2$  adsorption capacity data predicted by the ANN closely match the experimentally obtained data. However, at a temperature of 353.15 K, the  $\text{CO}_2$  adsorption capacity data predicted by the ANN show lower MSE and  $R^2$  values compared to those obtained at temperatures of 303.15 K and 323.15 K. This discrepancy can be attributed to the limited amount of experimental data collected for the  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  mixture – only 201 data points, corresponding to 8.34% of the total dataset – which affects its ability to predict data for higher temperatures. Thus, with only 14 input data points available for the temperature of 353.15 K, the prediction of  $\text{CO}_2$  adsorption for elevated temperatures may be influenced, potentially resulting in reduced performance by the ANN.

Analyzing the MSE and  $R^2$  data presented in Tables 3 and 4, it's observed a significant reduction in MSE from 45.1190 to 0.2481 for 303.15 K (99.45% reduction), from 30.7371 to 0.2195 for 323.15 K (99.29% reduction), and from 60.7503 to 0.5309 for 353.15 K (99.13% reduction). Also, it's observed an increase in the correlation coefficient of from 0.2676 to 0.9899 for 303.15 K (269.92% increase), from 0.0406 to 0.9887 for 323.15 K (143.52% increase), and from 0.4042 to 0.7354 for 353.15 K (81.94% increase). Therefore, the reduction of MSE and increasing of  $R^2$ , indicates a notable improvement in the prediction of  $\text{CO}_2$  adsorption capacity for the multicomponent system. Therefore, it can be concluded that the pressure data below 0.01 MPa impacted the ANN's predictive capability for the  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  mixture, and their exclusion for the new prediction yielded good performance by the ANN, as indicated by the data presented in Tables 3 and 4. Thus, an alternative solution to improve the ANN prediction performance is to collect a dataset that is representative of the ANN input data. This way, the artificial neural network algorithm can benefit from a wide and well-distributed range of information to predict the target output.

### Final Considerations

The ANN showed good performance in predicting  $\text{CO}_2$  adsorption capacity for pure  $\text{CO}_2$ , without excluding low-





pressure data ( $P < 0.01$  MPa). However, the ANN could have performed better in predicting the  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  mixture when considering low-pressure values. After excluding data points with pressures below 0.01 MPa, the ANN exhibited good predictive capability for  $\text{CO}_2$  capture in the  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  mix by MSE reduction of 99.45%, 99.29% and 99.13% and  $R^2$  increasing of 269.92%, 143.52% and 81.94%. The improved prediction of adsorption capacity for the multicomponent  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  mixture, following the exclusion of low-pressure data, prompts discussion about the data range used for training the ANN.

The ANN's best prediction of  $\text{CO}_2$  adsorption capacity was achieved with 20 layers of neurons, resulting in an MSE equivalent to  $3.80 \times 10^{-3}$  and  $R^2$  values of 0.98347 for training, 0.98328 for validation, and 0.97365 for testing. Considering the MSE of order  $10^{-3}$ , correlation coefficients exceeding 0.97 for the employed artificial neural network architecture, and the adsorption equilibrium graphs for experimentally predicted values, it can be affirmed that the use of artificial neural networks is a capable tool for assisting in the prediction of  $\text{CO}_2$  capture on commercial activated carbon.

The prediction of adsorption capacity using artificial neural networks makes it possible to study the capture of other gases based on experimental data, both for single-component and multicomponent systems. This analysis contributes to developing new environmental policies related to carbon emission reduction, allowing for the assessment of the amount of carbon that can be removed from stationary sources. Consequently, it aids in mitigating the increase in global temperature by facilitating the achievement of the objectives established in the Paris Agreement.

### Acknowledgments

The authors would like to thank CAPES and the Federal University of Technology - Paraná for the support received.

### Bibliographic References

Aggarwal, C. C. 2023. *Neural Networks and Deep Learning: A Textbook*. 2. ed. Springer.

Arun, K. K.; Jasmin, N. Mary; Kamesh, V. V.; Pramod, V. R.; Krishnaraj, S.; Suresh, V.; Subbiah, Ram. 2023. Applications of Artificial Neural Network Simulation for Prediction of Wear Rate and Coefficient of Friction Titanium Matrix Composites. *Materials Research*, v. 26, p. e20220306.

Cavalcanti, F. M.; Kozonoe, C. E.; Pacheco, K. A.; Alves, R. M. DE B. 2021. *Application of Artificial Neural Networks to Chemical and Process Engineering*.

Ceccon, D. 2023. *Funções de ativação: definição, características, e quando usar cada uma*. IA Expert Academy.

Dayton, L. 2016. Atmospheric carbon dioxide soars past crucial milestone. Science website.

Dowla, F. U.; Rogers, L. L. 1995. *Solving Problems in Environmental Engineering and Geosciences with Artificial Neural Networks*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.

Falah, F.; Rahmati, O.; Rostami, M.; Ahmadisharaf, E.; Daliakopoulos, I. N.; Pourghasemi, H. R. 2019. Artificial Neural Networks for Flood Susceptibility Mapping in Data-Scarce Urban Areas. *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*, p. 323–336.

Fausett, L. 1994. *Fundamentals of Neural Networks Architectures, Algorithms, and Applications*. 1. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall.

Ghaemi, A.; Dehnavi, M. K.; Khoshraftar, Z. 2023. Exploring artificial neural network approach and RSM modeling in the prediction of  $\text{CO}_2$  capture using carbon molecular sieves. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, v. 7.

Himeno, S.; Komatsu, T.; Fujita, S. 2005. High-Pressure Adsorption Equilibria of Methane and Carbon Dioxide on Several Activated Carbons. *Journal of Chemical and Engineering Data*, v. 50, p. 369–376.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2018. *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*.

Kim, P. *MATLAB Deep Learning: With Machine Learning, Neural Networks and Artificial Intelligence*. 2017. v.1, Seoul: Apress.

Khoshraftar Z.; Ghaemi, A. 2022. Preparation of Activated Carbon from Entada Africana Guill. & Perr for  $\text{CO}_2$  Capture: Artificial Neural Network and Isotherm Modeling. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, v. 56, n. 1, p. 165–180.

Lindsey, R. 2023. *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. Climate.

NASA. 2022. *Climate Change: Vital Signs of the Planet*.

National Oceanic and Atmospheric Administration. 2022. *Carbon dioxide now more than 50% higher than pre-industrial levels*.



Pino, D.; Bessieres, D. 2017. CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> Mixture Adsorption on a Characterized Activated Carbon. *Journal of Chemical and Engineering Data*, v. 62, p. 1475–1480.

Quesada, A. 2023. 5 algorithms to train a neural network.

Raganati, F.; Miccio, F.; Ammendola, P. 2021. Adsorption of Carbon Dioxide for Post-combustion Capture: A Review. *Energy and Fuels*, v. 35 p. 12845–12868.

Rostami, A.; Anbaz, M. A.; Gahrooei, H. R. E.; Arabloo, M.; Bahadori, A. 2017. Accurate estimation of CO<sub>2</sub> adsorption on activated carbon with multi-layer feed-forward neural network (MLFNN) algorithm. *Egyptian Journal of Petroleum*, v. 27, p. 65–73,

Shahkarami, S.; Azargohar, R.; Dalai, A. K.; Soltan, J. 2015. Breakthrough CO<sub>2</sub> adsorption in bio-based activated carbons. *Journal of Environmental Sciences*, v. 34, p. 68–76.

United Nations. 2023. The Paris Agreement.

United Nations Framework Convention on Climate Change. 2020. The Paris Agreement.

Watts, N. et al. 2015. Health and climate change: policy responses to protect public health. *The Lancet*, v. 386, p. 1861–1914.

## LEVANTAMENTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM PORTO ALEGRE/RS E SUA INFLUÊNCIA EM ESPÉCIES DE ÁRVORES

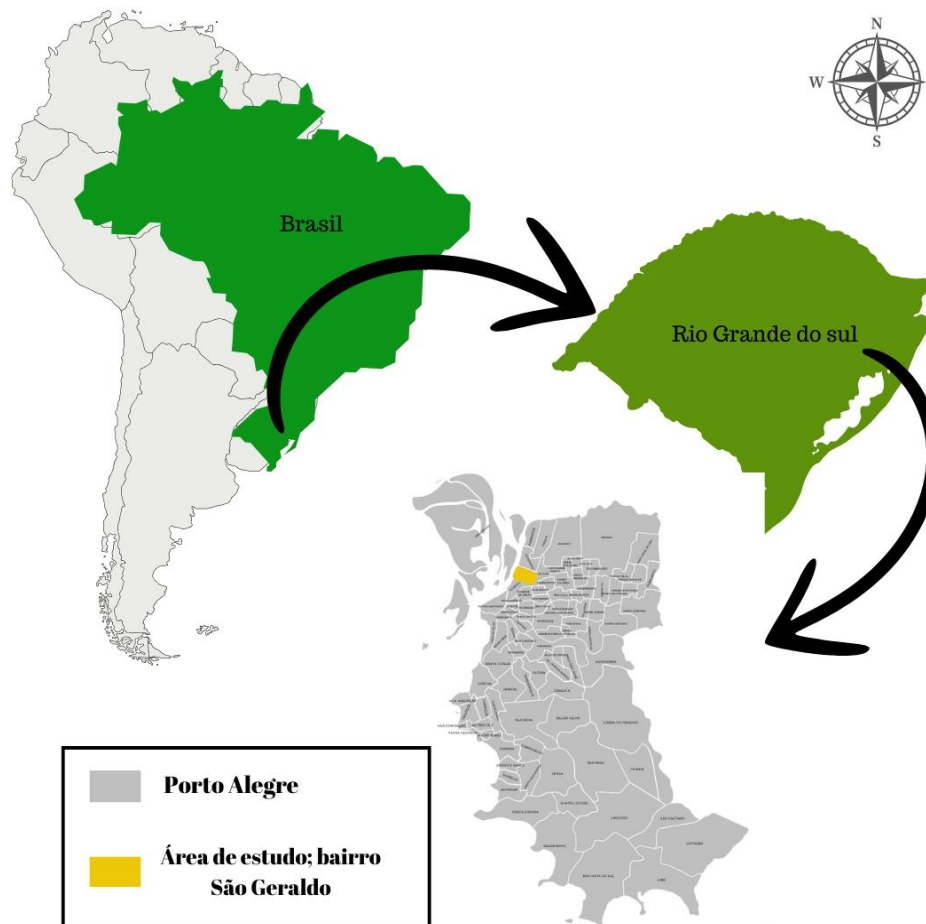
1Rafaela Figueiredo de Souza, 2Cristiano Poletto

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: [figueiredosrafaela@gmail.com](mailto:figueiredosrafaela@gmail.com); 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: [cristiano.poletto@ufrgs.br](mailto:cristiano.poletto@ufrgs.br)

**Palavras-chave:** Poluição atmosférica; árvores.

### Introdução

Neste trabalho foi feito um levantamento sobre árvores situadas em áreas urbanas com alta taxa de poluição atmosférica. A área de pesquisa selecionada foi no Rio Grande do Sul, em sua capital (Porto Alegre), no bairro São Geraldo (Figura 1). Porto Alegre é localizada no sul do Brasil e tem uma população estimada em 1.488.252 habitantes (segundo o IBGE, para o ano de 2020). Em 2010, São Geraldo continha a população de 8.706 de acordo com a pesquisa “Memórias da paisagem e do lugar: O caso do bairro São Geraldo, Porto Alegre-RS.”

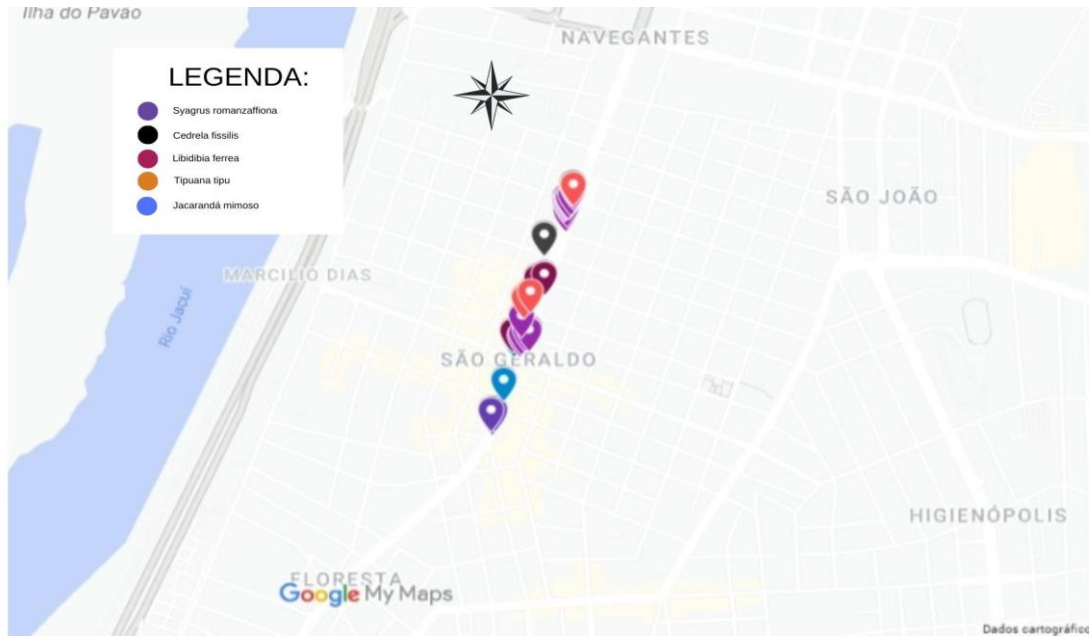


**Figura 1:** Mapa demonstrando a localização do bairro São Geraldo, mostrando onde se localiza em relação ao Rio Grande do Sul e por conseguinte onde o Rio Grande do Sul está no mapa do Brasil.

**Fonte:** Autores

As árvores analisadas foram; *Brachychyton Populneum*, *Caesalpinia pluviosa*, *Cedrela fissilis Vell*, *Duranta erecta*, *Jacarandá-mimoso*, *Libidibia ferrea*, *Ligustrum Japonicum*, *Peltophorum dubium*, *Persea Americana*, *Syagrus romanzoffiana*, *Symplocos uniflora*, *Tabebuia avellanadae* e *Tipuana tipu* (conforme as localizações contidas na Figura 2).

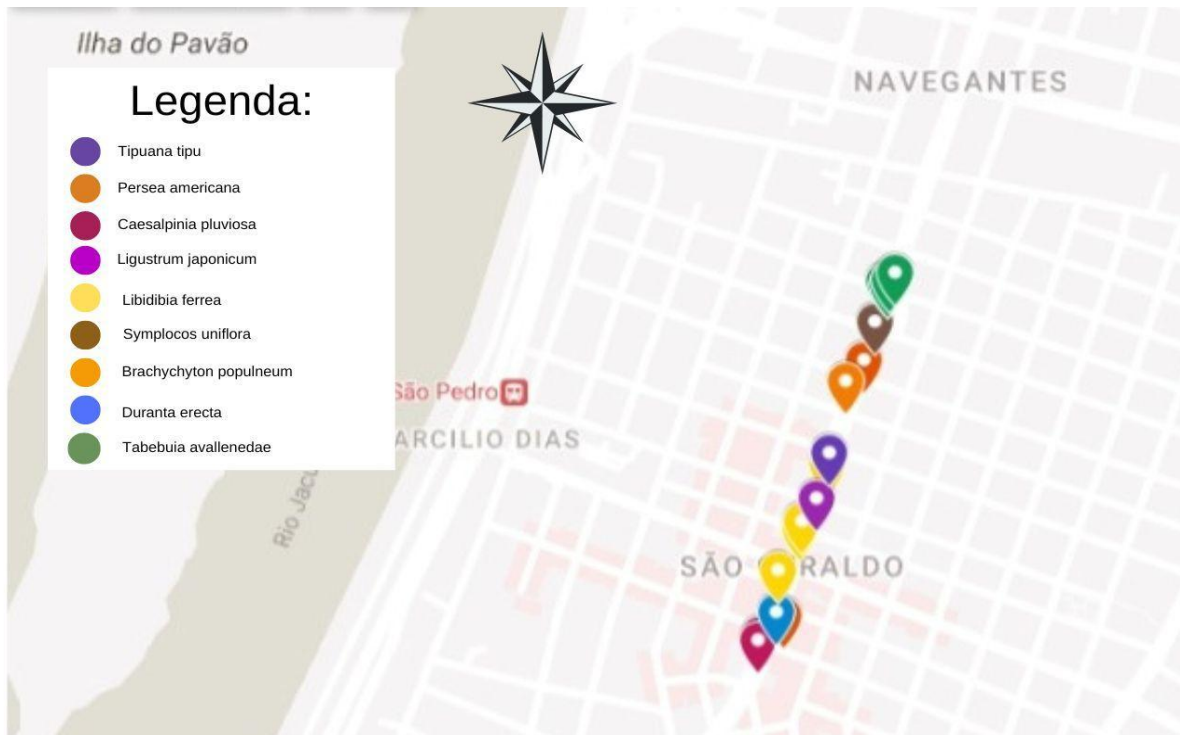




**Figura 2: Representação das árvores e suas respectivas localizações estudadas na região oeste do bairro São Geraldo.**  
Adaptado: Google Maps

A *Syagrus romanzoffiana* é conhecida popularmente como jerivá, é uma espécie perene que pode atingir de 10 a 20 m de altura. Em ambientes pouco sazonais, os fatores climáticos parecem ter menor influência sobre as fenofases do que em ambientes notadamente sazonais (MORELLATO; LEITÃO-FILHO, 1990).

*Cedrela fissilis* Vell, mais conhecida como Acaiaca é uma árvore nativa do Brasil. É sensível às concentrações de CO<sub>2</sub>, Nitrogênio e SO<sub>2</sub>. De acordo com a pesquisa “Carbon and nitrogen isotope variations in tree-rings as records of perturbations in regional carbon and nitrogen cycles” os valores de CO<sub>2</sub> causam alterações significativas nos anéis de crescimento de regiões urbanizadas no Canadá, com influência da distância que as árvores crescem dos centros urbanos.

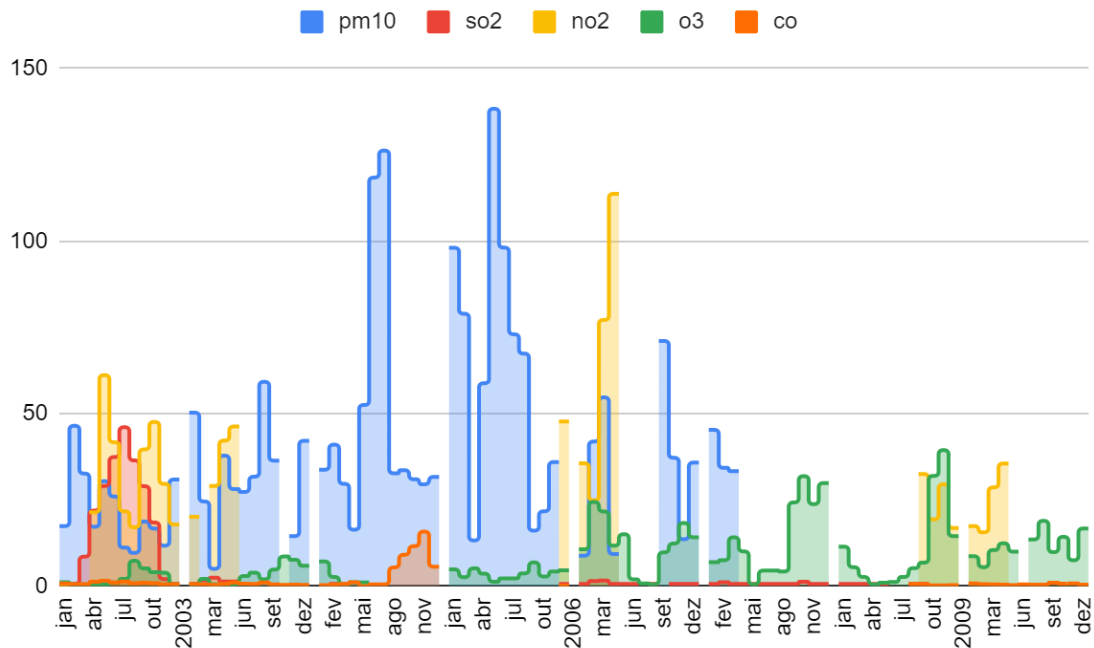


**Figura 3: Representação gráfica das árvores analisadas na região leste do bairro São Geraldo.**  
Adaptado: Google Maps

Na Figura 3, acima, é perceptível que mais árvores foram observadas, entretanto, destas, poucas possuem pesquisas

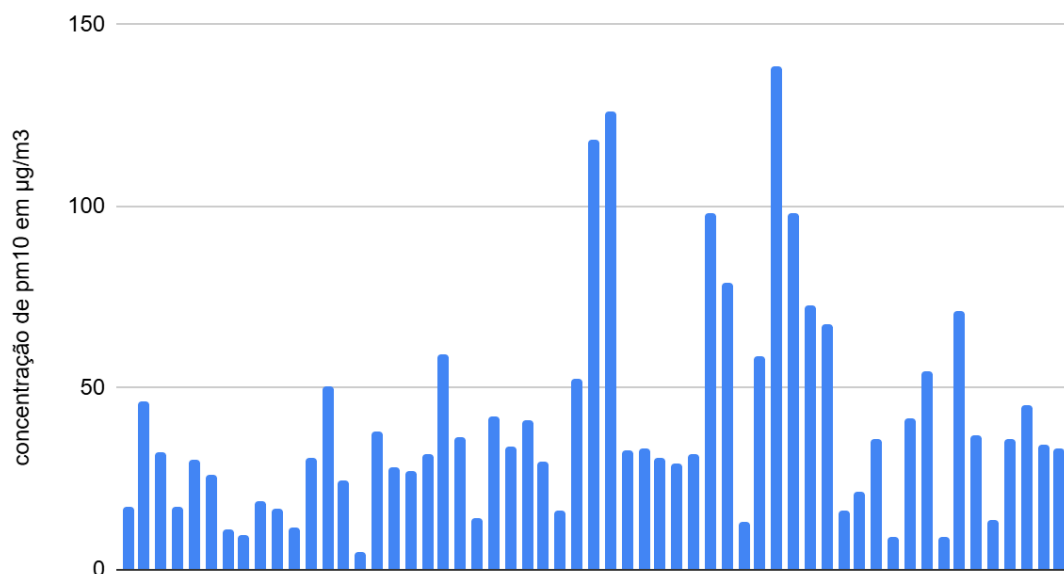


relatando os poluentes a que elas são sensíveis. Foi feita uma pesquisa em São Paulo que abrange algumas dessas árvores encontradas, de acordo com a pesquisa “O papel da poluição atmosférica e climática no crescimento das árvores urbanas” a Tipuana tipu é um ótimo bioindicador, nesse estudo foi analisado que as árvores mais próximas às vias de tráfego e expostas a concentrações mais altas de alumínio, bário e zinco, geradas pelo desgaste de peças de automóveis, apresentaram menor crescimento ao longo dos anos. A sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*) e a Libidibia Ferrea pertencem à mesma família da Tipuana tipu, logo é considerado que os efeitos estudados na tipuana possam ser notados nelas também.



**Figura 4: Gráfico sobre os dados de poluição coletados na estação rodoviária de Porto Alegre, próximo ao bairro São Geraldo.**

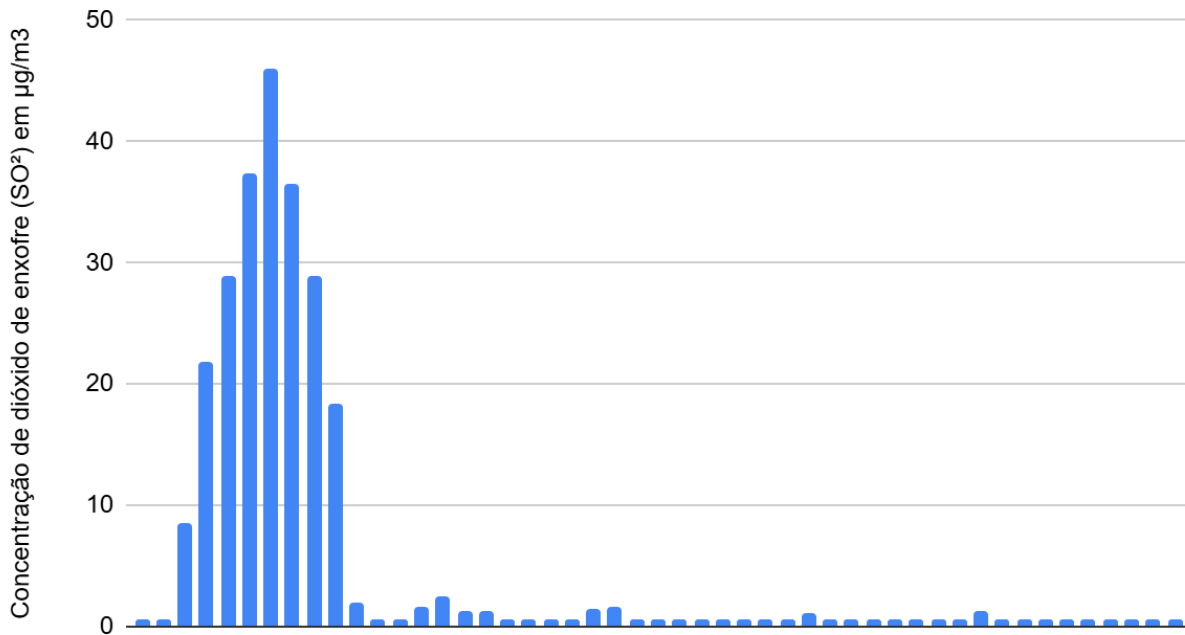
O gráfico acima foi feito com base nos dados disponibilizados pela FEPAM contendo informações de 2002 a 2009, o valor mínimo obtido foi 0.03 ppm de monóxido de carbono e o máximo 138,35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de pm10. O desvio padrão observado foi de 11,97 aproximadamente. A média entre todos os poluentes é de 8,91  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 5: Gráfico de medição do poluente pm10 no período de 2002 a 2009.**

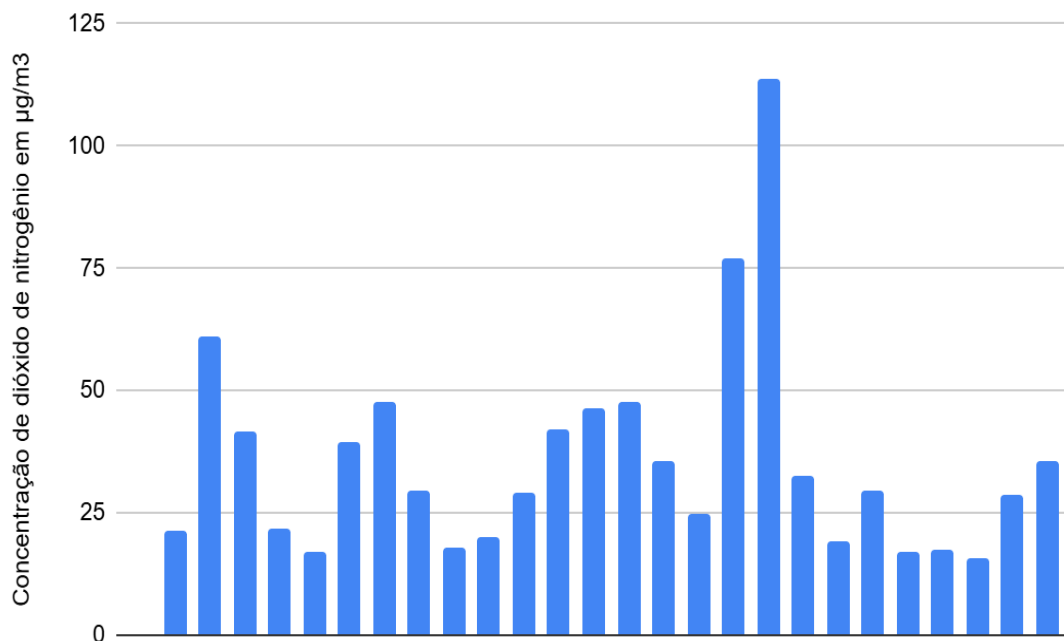


Pm10 é um tipo de partícula inalável que constitui um elemento da poluição atmosférica, dentre os dados obtidos o menor valor de pm10 medido foi  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  enquanto o maior foi de  $138,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nos dando um valor de 29,43 de desvio padrão e uma média de  $46,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . No gráfico é possível observar que a partir de 2008 não houve mais medições deste poluente.



**Figura 6: Gráfico de colunas baseado em dados coletados no centro de Porto Alegre sobre SO<sub>2</sub>.**

Acima temos detalhes sobre os níveis de dióxido de carbono na capital Porto Alegre, tendo média e valor mínimo de  $0,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o valor máximo coletado foi  $46,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o desvio padrão é de 11,232. Uma árvore sensível ao Dióxido de enxofre é a Cedrela fissilis Vell, que foi uma das árvores analisadas no bairro São Geraldo.



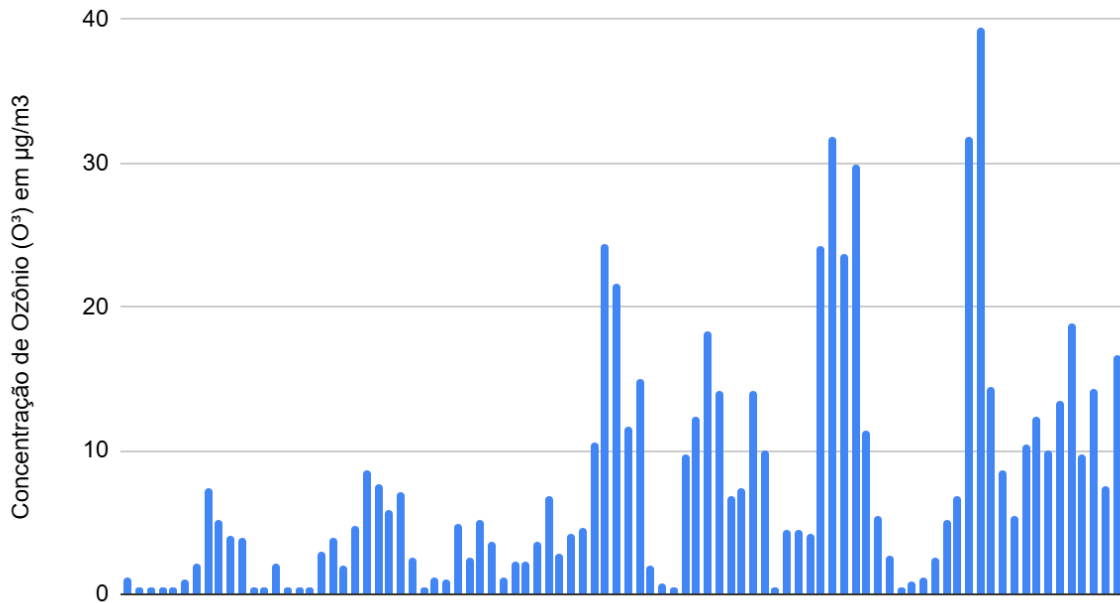
**Figura 7: Concentração de NO<sub>2</sub> ao longo dos anos em Porto Alegre.**

A média de dióxido de nitrogênio analisada foi de  $29,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o desvio padrão de 22,5 e o mínimo e máximo coletados



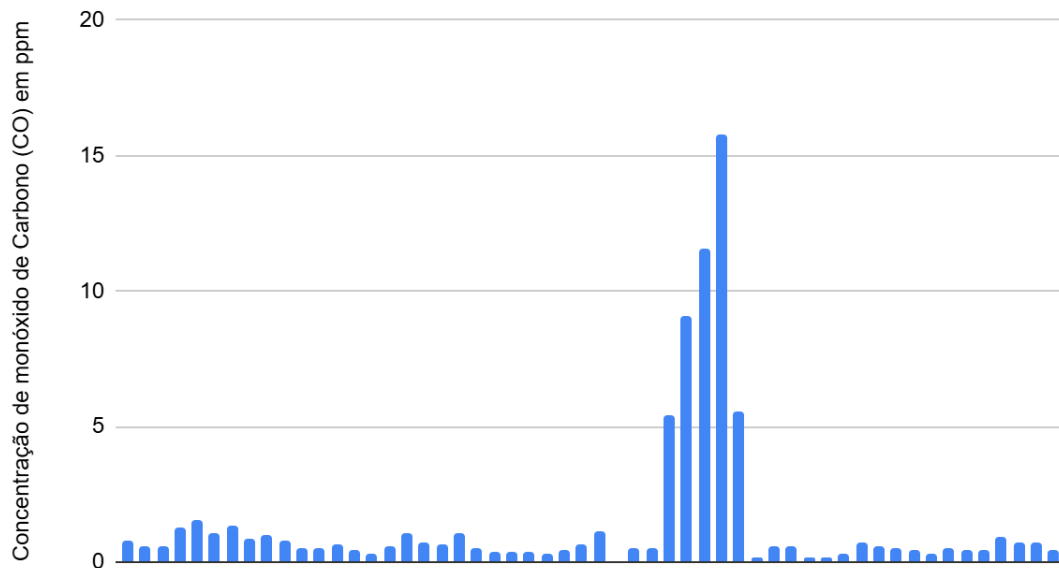


foram respectivamente 0,18 e 113,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 8: Quantidade de partículas de Ozônio coletadas.**

Ao longo dos anos conseguimos reparar que os valores medidos de Ozônio aumentam, a média coletada é de 8,6 partículas por milhão, o valor mínimo 0,5 e máximo 39,4 ppm contendo um desvio padrão de 8,24.



**Figura 9: Gráfico com base em dados da Fepam sobre a quantidade de partes por milhão de monóxido de carbono.**

A média observada foi de 0,505 ppm, no dia em que foi analisado seu valor mínimo o valor coletado foi 0,03 ppm e a coleta máxima analisada foi 15,78 ppm. O desvio padrão dos dados coletados de monóxido de carbono é 22,47.

### Conclusões

Através dos levantamentos e estudos foi possível concluir que ainda faltam mais informações sobre a sensibilidade de árvores nativas e que isso pode impactar fortemente na saúde das espécies adotadas para arborizar áreas urbanas. Analisamos quais árvores estavam presentes no bairro São Geraldo e a partir disso foi pesquisado se haviam poluentes que afetem essas árvores específicas, também foi feito gráficos sobre a poluição urbana de Porto Alegre a fim de correlacionar a taxa de poluição com a presença de árvores nativas, pois a alta taxa de poluição atmosférica pode interferir na capacidade das plantas sensíveis



de produzir e armazenar alimento, afetando diretamente na distribuição e saúde de tais árvores. Em suma, existe uma alta carência de dados sobre poluentes em Porto Alegre e sua interferência em árvores nativas, porém é possível afirmar que um afeta o outro.

### **Agradecimentos**

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pela Bolsa de IC.

### **Referências Bibliográficas**

Braga, R.; 2021. Memórias da paisagem e do lugar. Lume, p. 67.

Begnini,R; Silva, F; Castellani,T. 2013. Fenologia reprodutiva de *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman (Arecaceae) em Floresta Atlântica no sul do Brasil. BIOTEMAS, p 54.

Bukata, A; Kyser, T. 2007. Carbon and nitrogen isotope variations in tree-rings as records of perturbations in regional carbon and nitrogen cycles. National Library of mMedicine.

Locosselli, G; Camargo, E; Moreira, T; Todesco, E; Andrade, M; André, C; Andre, P; Cantor, J; Ferreira, L; Saldiva, P; Buckeridge, M. 2019. O papel da poluição atmosférica e climática no crescimento das árvores urbanas. Science Direct.

FEPAM. 2024. Acesso ao site: <https://fepam.rs.gov.br/dados-do-monitoramento>

ÁREA TEMÁTICA 11

# PROCESSOS EROSIVOS E CONTROLE DE VOÇOROCAS



3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE  
**ENGENHARIA  
AMBIENTAL**





## UTILIZAÇÃO DE ENGENHARIA NATURAL PARA RECUPERAÇÃO DE VOÇOROCA

1Vicente Santos de Sousa, 2Jonilton Pantoja Paschoal, 3Maria Alciene Pereira dos Santos,  
4Igor do Vale Gonçalves, 5Rita dos Santos Sousa, 6Junior Joel Dewes

1 Mineração Paragominas - Hydro, e-mail: vicente.sousa@hydro.com; 2 Mineração Paragominas - Hydro, e-mail: jonilton.paschoal@hydro.com; 3 Mineração Paragominas - Hydro, e-mail: alciene.santos@hydro.com; 4 Mineração Paragominas - Hydro, e-mail: igor.vale.goncalves@hydro.com; 5 Vallis E&A, e-mail: rita.sousa@valliseng.com; 6 Vallis E&A, e-mail: junior.dewes@valliseng.com

**Palavras-chave:** Engenharia Natural; Controle de Voçoroca; Recuperação Ambiental.

### Resumo

O setor mineral arrecadou US\$ 58 Bilhões no Brasil em 2021, tendo sido um setor fundamental para o balanço da economia, considerando as exportações e importações no ano de referência. Apesar de novas tecnologias de disposição de rejeito estarem surgindo, a principal forma de disposição do rejeito de bauxita no Brasil ocorre em grandes reservatórios - barragens, nos quais o rejeito passa por um processo de secagem e acomodação ao longo do tempo até o final da vida útil do reservatório. Durante o processo de construção da barragem, os locais adjacentes à obra são licenciados e denominados: Áreas de Empréstimo. Devido à intensificação das ações antropogênicas, estas áreas estão mais susceptíveis a processos erosivos que resultam na movimentação do solo, assoreamento dos recursos hídricos, perda de habitat natural, alteração da qualidade da água, perda da fauna e flora locais e alteração do ambiente natural. Tradicionalmente, o controle dos processos erosivos em encostas é realizado por meio de técnicas convencionais de engenharia civil. No entanto, a Mineração Paragominas S.A. - MPSA/Hydro, movida por ações mais sustentáveis e ambientalmente corretas, preocupada com as comunidades vizinhas e com as gerações futuras, decidiu implementar técnicas de menor impacto ambiental. O objetivo deste estudo de caso foi demonstrar técnicas de Engenharia Natural. A área alvo (área de empréstimo) do projeto de intervenção é constituída por uma grande ravina com uma área aproximada de 575 m<sup>2</sup>, com 35,5 m de comprimento no seu eixo central e 9,0 m de profundidade no seu ponto mais alto, com declives de 77° existindo também efeitos negativos visíveis em vários pontos. A Engenharia Natural incide sobre um conjunto de técnicas que combinam materiais construtivos vivos/inertes, que podem ser aplicados como soluções construtivas para problemas estruturais de estabilização geotécnica e hidráulica, controle de processos erosivos superficiais, e simultaneamente conceber ecossistemas em equilíbrio dinâmico, ambientalmente mais correto e com menores danos para a natureza. Neste sentido, foram implementadas as seguintes técnicas: 1: Bacia de contribuição - A bacia apresenta uma área de 0,00158 km<sup>2</sup> (0,158 ha) e um perímetro de 0,1636 km (163,6 m); 2: Muro de contenção vivo - A estrutura é executada de forma linear com comprimento de 6,2 m na base, comprimento de 10,20 m no topo e altura de 2,60 m (medidos na vertical), sendo constituída por 2 patamares; 3: Grade viva - A inclinação da estrutura é de 40° e as suas dimensões com comprimento no topo de 31,5 m a 13,0 m e alturas vertical de 05,09 m a 67,80 m com números de quadrículas unitárias variável 09 e 12; 4: Seleção de plantas adequadas - As covas tiveram as dimensões e profundidade de 20 x 20 cm. Durante o plantio o solo do fundo da cova foi adicionado adubo mineral granulado Superfosfato Simples numa dose de 50 g/planta e composto orgânico numa dose de 100 g/planta e as espécies selecionadas foram: *Allamanda cathartica* L.; *Adenocalymma magnificum* Mart. ex DC.; *Banara guianensis* Aubl.; *Byrsonima crispa* A. Juss.; *Davilla kunthii* A. St.Hil.; *Macrolobium microcalyx* Ducke.; *Miconia gratissima* Benth.; *Senna chrysocarpa* (Desv.) Irwin & Barneby.; *Tabernaemontana angulata* Mart. ex Muell. Arg. Este estudo de caso apresenta as técnicas utilizadas para estabilizar de voçoroca. Os resultados foram totalmente eficazes conforme proposto inicialmente, verificou-se que as intervenções implementadas até ao momento estão a desempenhar as funções técnicas para as quais projetadas, nomeadamente controle dos processos erosivos e estabilização dos taludes e fundo da voçoroca, suportando elevados volumes de precipitação (98,80; 96,80; 95;20 mm/dia). As soluções de Engenharia Natural projetadas apresentam-se adequadas para controle e mitigação dos processos erosivos atuantes, uma vez que recriam um ambiente mais próximo ao ecossistema que existia no local, integrando-se na paisagem natural. Além disso, por utilizar apenas materiais construtivos naturais que se incorporam ao ecossistema, não há necessidade de intervenções de descomissionamento, o que pode ser considerado uma vantagem para o setor da mineração.

### Introdução

Segundo os dados consolidados pelo IBRAM (2022) o setor mineral arrecadou US\$ 58 Bilhões no Brasil em 2021, tendo sido um setor fundamental para o balanço da economia, considerando as exportações e importações no ano de referência. Mais especificamente a exportação de bauxita do Brasil, representou a arrecadação de US\$ 184 Milhões em 2021, equivalente a 1,48 Milhões de toneladas exportadas do minério (IBRAM, 2022).

A bauxita é atualmente a principal matéria-prima utilizada na cadeia de produção de alumínio globalmente (CRU CONSULTING, 2022). Para a geração da polpa de bauxita que é utilizada na produção de alumina, o minério passa por um processo de beneficiamento físico de moagem e lavagem que gera o produto e uma polpa de argila que não é



aproveitável no processo (rejeito) (ABAL, 2022). Apesar de novas tecnologias de disposição de rejeito estarem surgindo, de acordo com a Associação Brasileira do Alumínio - ABAL (2017) a principal forma de disposição do rejeito de bauxita no Brasil ocorre em grandes reservatórios, nos quais o rejeito passa por um processo de secagem e acomodação ao longo do tempo até o final da vida útil do reservatório.

Conforme dados do SIGBM/ANM atualizados até julho de 2023, o Brasil possui 928 barragens de mineração cadastradas no sistema, distribuídas em 20 estados brasileiros, sendo 461 inseridas na Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB (ANM, 2023). O estado do Pará concentra a maior representatividade de arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM) no país, equivalente a 45,6 % do total arrecadado (IBRAM, 2022b). De acordo com dados da ANM (2017), o Pará possui 37 empresas que exploram minerais metálicos, sendo 18 delas de médio ou grande porte, incluindo 3 grandes mineradoras de bauxita.

Durante o processo de construções de barragens, locais adjacentes à obra são licenciados e denominados de: Áreas de Empréstimos. Esses perímetros são utilizados para instalação de canteiros, tráfego e estacionamento de equipamentos, remoção, transporte e depósito de substratos provenientes dos horizontes do solo (laterita) entre outras utilidades. Essas ações podem ocasionar processos erosivos que resultam na movimentação de solo, assoreamento dos recursos hídricos, perda de habitat natural, alteração da qualidade da água, perda de fauna e flora local e alteração no ambiente natural. Os fatores naturais como a suscetibilidade dos solos à erosão, altos níveis pluviométricos e relevo ondulado influenciam fortemente a dinâmica dos processos erosivos (FILHO et al., 2019). Por mais que a erosão seja um processo contínuo e natural que contribui para a distribuição de sedimentos na superfície terrestre, a sua aceleração devido à ação antrópica resulta em prejuízos ambientais e econômicos.

Tradicionalmente o controle de processos erosivos em taludes é realizado com técnicas convencionais de Engenharia Civil, como por exemplo, realização de retaludamento por meio de corte, o que pode inclusive intensificar os processos erosivos existentes, ou aplicação de muros e colchões de gabião, sacaria de solo cimento, revestimento em concreto, enrocamento, entre outras. Entretanto, a Mineração Paragominas S.A. – MPSA/Hydro que é conduzida por ações mais sustentáveis e ambientalmente mais corretas, além do cuidado com as comunidades vizinhas e futuras gerações, decidiu implementar técnicas de menor impacto ambiental.

Dessa forma, para correção dos processos erosivos em taludes foram desenvolvidos projetos de Engenharia Natural. A Engenharia Natural (também denominada como Bioengenharia de Solos) mostra-se como uma solução viável em comparação às técnicas tradicionais, uma vez que, além de levar em consideração critérios técnicos no dimensionamento das obras, também valoriza os fatores ecológicos e ambientais (COPPIN; RICHARDS, 2007; SOUSA; SUTILI, 2017). Além disso, a correção e/ou mitigação de processos erosivos através de abordagens convencionais de engenharia pode ser mais dispendiosa do ponto de vista técnico, econômico e principalmente ecológico (SOUSA et al., 2018). Segundo diversos autores, a Engenharia Natural apresenta soluções construtivas mais econômicas que as soluções tradicionais da Engenharia (COPPIN; RICHARDS, 2007; CORNELINI; SAULI, 2005; FERNANDES; FREITAS, 2011; SCHIECHTL; STERN, 1996).

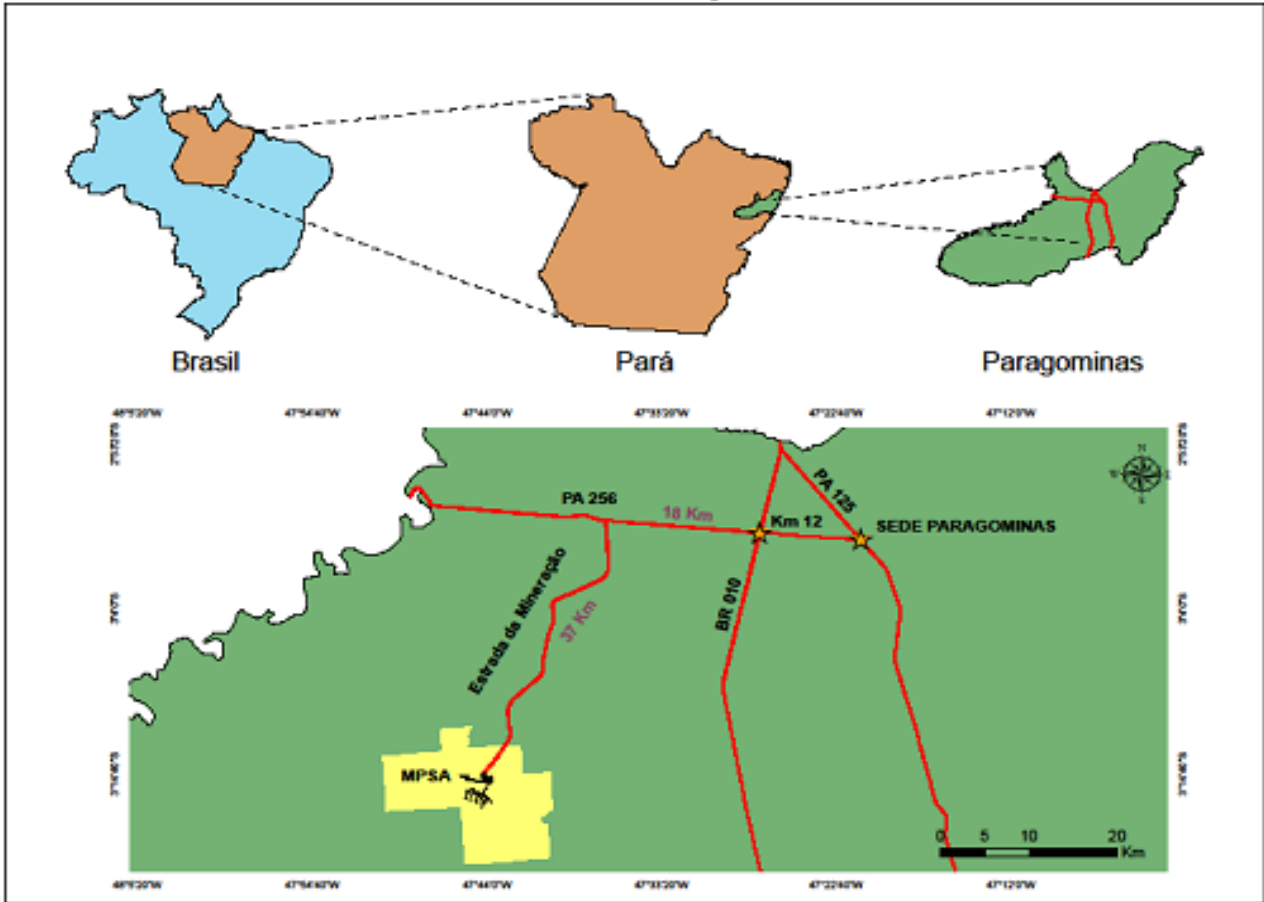
A Engenharia Natural utiliza principalmente materiais construtivos vivos (sementes, plantas, partes de plantas, etc.) que podem, ou não, ser combinados com materiais inertes. Pode ser utilizada como substituto, mas principalmente como complemento útil e por vezes necessário às técnicas clássicas de Engenharia Civil (SCHIECHTL, 1980). As técnicas de Engenharia Natural podem ser utilizadas no âmbito hidráulico para estabilização e proteção de taludes, bem como para aumentar a diversidade morfológica em trechos ou seções dos cursos de água, ou para um aumento da biodiversidade e da conectividade das redes ecológicas (CORNELINI; SAULI, 2005). Apresentam esquemas construtivos mais flexíveis e permeáveis, que podem ser mais facilmente integrados na natureza, não sofrendo recalques e movimentações de solo, e também não alteram a condutividade hidráulica do solo (SOUSA, 2015). Além disso, uma vez que as técnicas utilizam materiais construtivos naturais não existe a necessidade de descomissionamento da obra, uma vez que as estruturas se irão incorporar e integrar perfeitamente na natureza. A não necessidade de descomissionamento também resulta em menores custos da operação e principalmente de menor impacto ambiental, uma vez que não será necessário fazer novas intervenções para remoção de estruturas artificiais implementadas para estabilização e controle dos processos erosivos e posterior recuperação ambiental da área intervencionada.

## Material e Métodos

### Descrição da área de estudo

A área do projeto está localizada na jazida de bauxita pertencente ao grupo norueguês Norsk Hydro (3° 15' 38" S e 47° 43' 28" W) a 70 km da sede do município de Paragominas (2° 59' 42" S e 47° 21' 10" O), região Nordeste do Estado do Pará, situada a uma distância de 350 km da capital paraense, Belém (IBGE, 2022) (Figura 1). O clima da região é do tipo "Aw", conforme a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado como quente e úmido com estações de chuva e de seca bem definidos. A temperatura média anual é de 26,3° C e com umidade relativa do ar em torno de 81% na média anual (BASTOS et al., 2006).





**Figura 1: Localização do município de Paragominas-PA.**

Para o armazenamento do rejeito de bauxita foram construídos reservatórios em estruturas de terra, aproveitando as características da topografia do terreno. Nos reservatórios ocorre a disposição programada do rejeito em formato de lama. Durante o período de construção, áreas adjacentes foram devidamente licenciadas, servindo como apoio a obra.



**Figura 2: Local da obra de engenharia natural.**

A área alvo (área de empréstimo) do projeto de intervenção consiste numa voçoroca de grandes dimensões com aproximadamente 575 m<sup>2</sup> de área, 35,5 m de comprimento no eixo central e 9,0 m de profundidade no ponto mais alto (Figura 2 e Figura 3). A voçoroca originou-se devido à ausência de um sistema de drenagem que conduzisse adequadamente as águas provenientes da bacia de contribuição na parte mais alta do talude. A voçoroca apresenta taludes altos, muito inclinados, com 77° no ponto mais alto localizado na sua cabeceira e com negatividades visíveis em diversos pontos.





1 – Vista frontal da voçoroca (condições da área).



2 – Vista frontal da voçoroca (altura da voçoroca).

**Figura 3: Vista da voçoroca.**

### Descrição das técnicas de intervenção - Estudo hidrológico e hidráulico

De forma a elaborar o dimensionamento das tipologias construtivas foi realizado o estudo hidrológico e hidráulico da bacia para determinação da precipitação e vazão de projeto, fornecendo subsídios e critérios técnicos para a elaboração do projeto básico-executivo.

Para caracterizar a bacia hidrográfica, foi feita a delimitação da área de contribuição e determinação das características de cobertura. Os dados adotados se referem ao cenário conservador (mais crítico). Foi considerado que o fluxo de água oriundo do platô localizado a montante da voçoroca será desviado por um sistema de drenagem específico instalado no local por meio das bermas/diques de proteção que direcionam o fluxo para dentro do gabião de dissipação e para a tubulação de PEAD com diâmetro 315 mm instalada na encosta. Este sistema impede o direcionamento do fluxo para a área de intervenção. A bacia de contribuição está representada na Figura 4. A bacia apresenta uma área de 0,00158 km<sup>2</sup> (0,158 ha) e um perímetro de 0,1636 km (163,6 m).



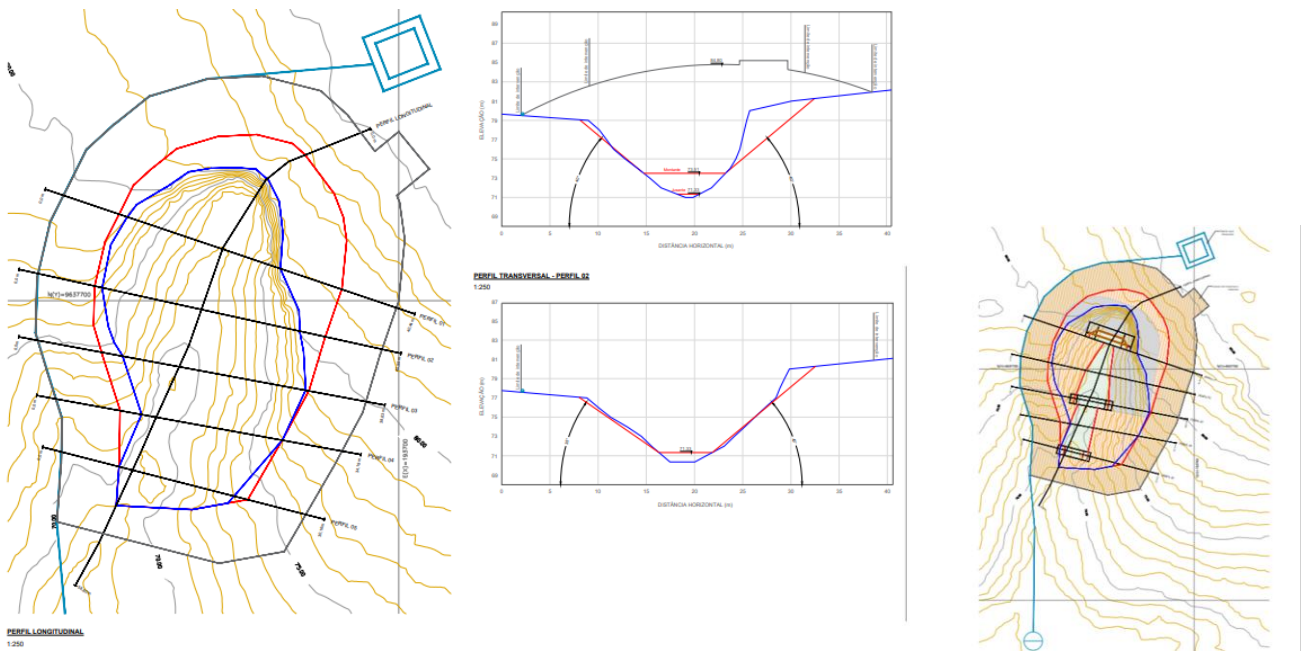
**Figura 4: Bacia de contribuição delimitada de acordo com a topografia fornecida para a área da erosão da voçoroca do Morro Azul e suas adjacências.**

As soluções de Engenharia Natural propostas para o local atenderam às solicitações impostas pela dinâmica e características do local, nomeadamente estabilizar os taludes e o fundo da voçoroca, evitando a progressão do processo erosivo. Mesmo com o redirecionamento do fluxo de água da bacia de contribuição, por meio de implementação de sistema de drenagem, que inicialmente originou a formação da voçoroca, devido à existência de taludes muito altos, de elevada declividade combinados com a baixa resistência mecânica do solo, a área não apresenta resiliência para se estabilizar e recuperar sem medidas de intervenção.

### Descrição das técnicas de intervenção – Terraplenagem

A terraplenagem consiste na reconformação da voçoroca, ou seja, no corte para diminuição da inclinação dos taludes e posterior aterro no interior e no tardo das estruturas projetadas (Figura 5). Desta forma, os taludes ficaram reconformados para inclinações inferiores às atuais, o que aumentou a estabilidade geotécnica dos mesmos.

Neste sentido, foi realizado a estimativa do volume de corte (480 m<sup>3</sup>) e do aterro (377 m<sup>3</sup>). Uma vez que o solo não irá suportar cargas, o material deverá ser compactado apenas com recurso à própria concha da máquina utilizada para o corte, não sendo necessário fazer utilização de compactador de solo. Deste modo, a compactação do solo deverá permitir o desenvolvimento da vegetação implementada nas intervenções.



**Figura 5: Topografia planialtimétrica e perfis topográficos das intervenções.**

### Descrição das técnicas de intervenção – Engenharia Natural

Para controle e mitigação dos processos erosivos existentes foram especificadas várias soluções de Engenharia Natural. A Engenharia Natural consiste em um conjunto de técnicas que combinam materiais construtivos vivos com inertes, e que podem ser aplicadas como soluções construtivas em problemas estruturais de estabilização geotécnica e hidráulica, controle de processos erosivos superficiais, e simultaneamente projetar ecossistemas em equilíbrio dinâmico (SOUSA, 2019; SOUSA; SUTILI, 2017). Face às tipologias erosivas encontradas na MPSA/Hydro, e conforme suas propostas de atividades mais sustentáveis, ambientalmente corretas e com menor dano a natureza, a Engenharia Natural apresenta-se como uma ferramenta adequada para estabilizar e recuperar áreas instáveis e degradadas, uma vez que considera critérios técnicos de dimensionamento de projeto, além de apresentar baixo impacto ambiental. Além disso, também considera os efeitos e contribuições técnicas das plantas produzidas no próprio viveiro da mineradora, autóctones para a solução de problemas relacionados aos processos erosivos. A Engenharia Natural está em completa consonância com conceitos das soluções baseadas na natureza (nature based solutions – NBS), que valorizam a biodiversidade e diminuem a pressão antrópica sobre ecossistemas naturais, cujos aspectos são cada vez mais valorizados a nível mundial.

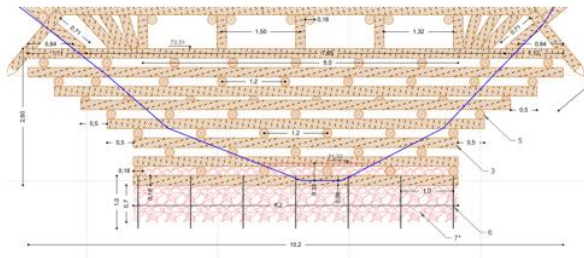
### Descrição das técnicas de intervenção – Engenharia Natural: Muro de suporte vivo parede dupla

O muro de suporte vivo parede dupla será utilizado na estabilização da parte mais alta e declivosa do talude localizada na cabeceira da voçoroca, além de servir de suporte à grade viva. A estrutura será executada de forma linear com comprimento de 6,2 m na base, comprimento de 10,20 m no topo e altura de 2,60 m (medidos na vertical), sendo constituída por 2 patamares.

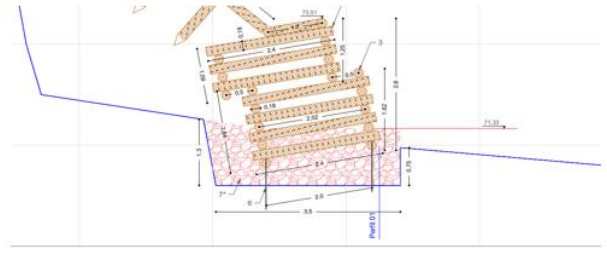
Primeiramente efetuou-se a modelagem do terreno, onde foi implantada a estrutura e a escavação nos taludes para encaixe das laterais.

O muro de suporte vivo consiste numa estrutura onde camadas de troncos longitudinais e transversais são dispostas e fixadas alternadamente formando uma estrutura gravítica em formato de caixa. Posteriormente a estrutura foi preenchida com solo e na sua face foi realizado o plantio de espécies autóctones da região. Na Figura 6 podem ser observados alguns detalhes construtivos da estrutura.





1 – Distância horizontal (m).



2 – Distância horizontal (m).

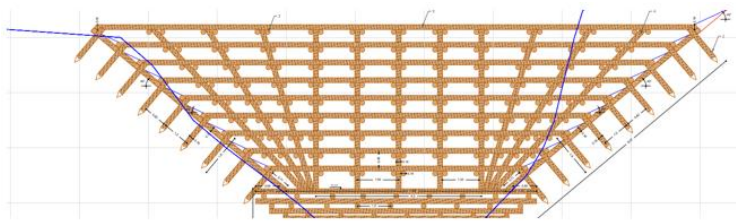
**Figura 6: Dimensões e detalhes construtivos do muro de suporte vivo.**

### Descrição das técnicas de intervenção – Engenharia Natural: Grade viva

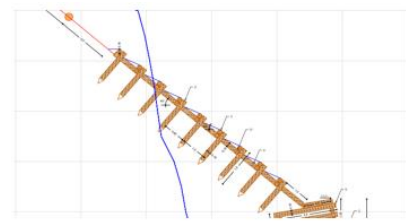
A grade viva é uma estrutura que consiste na aplicação de troncos verticais e longitudinais ancoradas por prumos verticais fixados entre si que formam uma estrutura em formato de quadrícula. Posteriormente a estrutura foi aterrada com solo e nas quadrículas de solo foi realizado o plantio de espécies autóctones da região. Na Figura 7 podem ser observados alguns detalhes construtivos da estrutura. A inclinação da estrutura é de 40° e as suas dimensões estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1: Dimensões da grade viva**

Trecho	Comprimento no topo (m)	Altura vertical (m)	Número de quadrículas (un)
Cabeceira e alas	31,5	05,90	09
Talude esquerdo	13,0	6 7,80	12



1 – Distância horizontal (m).



2 – Distância horizontal (m).

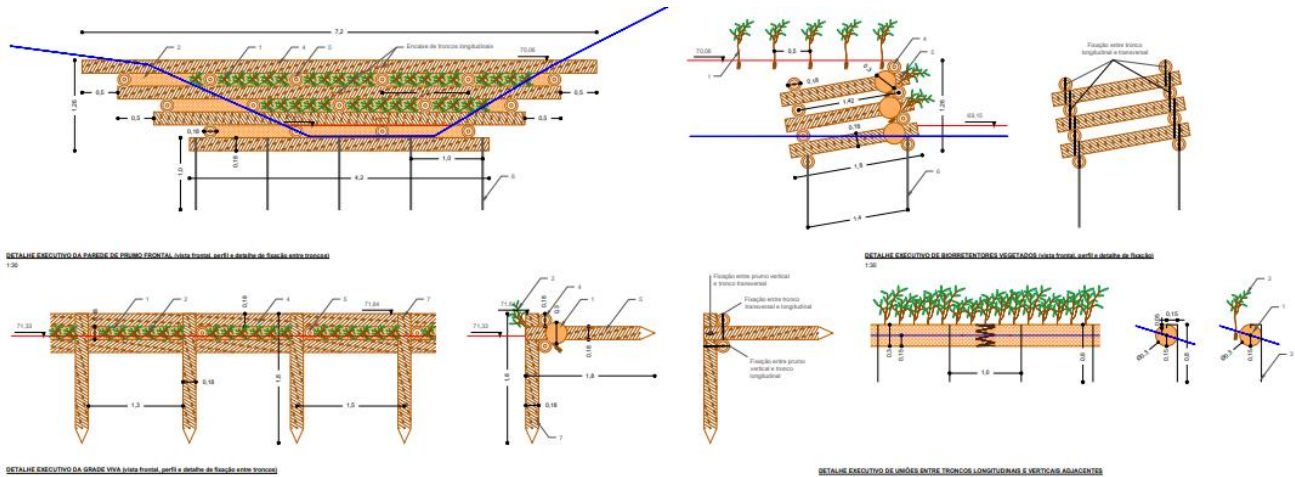
**Figura 7: Dimensões e detalhes construtivos da grade viva.**

### Descrição das técnicas de intervenção – Engenharia Natural: Leito vegetado

O leito vegetado consiste no plantio de mudas nas áreas formadas entre o muro de suporte vivo na cabeceira da voçoroca e as estruturas transversais de barramento, após o aterro e modelagem do solo. A área a plantada tem a dimensão total de 152 m<sup>2</sup>. O plantio foi realizado numa densidade de 4 un/m<sup>2</sup> e as espécies alternadas entre si, evitando-se a formação de agrupamentos da mesma espécie. As covas tiveram as dimensões e profundidade de 20 x 20 cm. Durante o plantio o solo do fundo da cova foi adicionado adubo mineral granulado Superfosfato Simples numa dose de 50 g/planta e composto orgânico numa dose de 100 g/planta. Também foi aplicada uma solução de polímero hidrorretentor (hidrogel), numa quantidade de 300 ml/planta.

Outras intervenções de Engenharia Natural serão realizadas de forma complementar para estabilizar e proteger superficialmente os taludes, nomeadamente aplicação de biorretentores de coco, plantio de mudas, barramentos transversais no fundo da voçoroca e hidrossemeadura. Na Figura 8 estão representados alguns detalhes construtivos das estruturas mencionadas.





**Figura 8: Dimensões e detalhes construtivos das técnicas.**

Em todas as soluções construtivas descritas foram utilizadas espécies vegetais selecionadas a partir do Estudo de Vegetação Autóctone para Intervenções de Engenharia Natural na MPSA - Bioma Amazônia e da lista de espécies produzidas no viveiro da MPSA que servirá de base para todos os projetos executivos de Engenharia Natural. Considerando as características ecológicas do local de intervenção deverão ser utilizadas as seguintes espécies: *Allamanda cathartica* L.; *Adenocalymma magnificum* Mart. ex DC.; *Banara guianensis* Aubl.; *Byrsonima crista* A. Juss.; *Davilla kunthii* A. St.Hil.; *Macrolobium microcalyx* Ducke.; *Miconia gratissima* Benth.; *Senna chrysocarpa* (Desv.) Irwin & Barneby.; *Tabernaemontana angulata* Mart. ex Muell. Arg.

### Resultados e Discussão

A obra de Engenharia Natural iniciou em dezembro de 2023 com a reconformação do terreno. O trabalho de terraplenagem foi realizado com recurso de escavadeira hidráulica giratória que permita o corte dos taludes com alturas de até 9,0 m nas condições adequadas de segurança. Durante a execução dos trabalhos de terraplenagem foi realizado a limpeza e remoção de todos os resíduos vegetais, como árvores caídas, troncos, entre outras do fundo da voçoroca, de forma a possibilitar a adequada implementação e execução das técnicas de Engenharia Natural projetadas para o local.



**Figura 9: Execução da atividade de reconformação do terreno.**

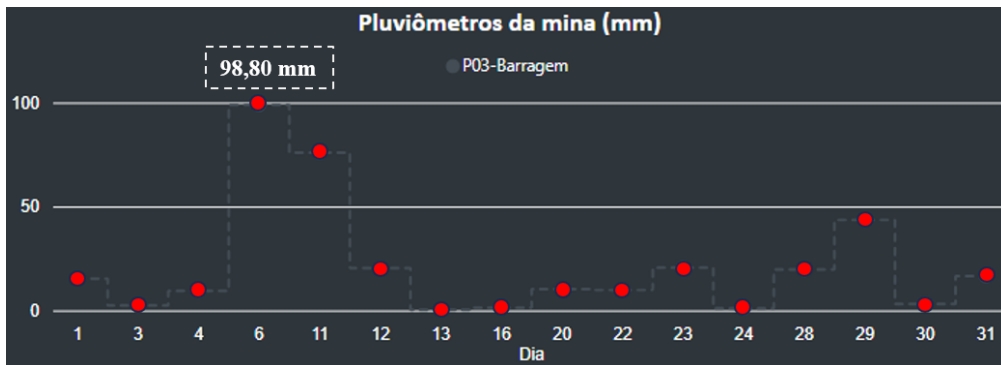
O muro de suporte vivo foi executado com troncos de madeira diâmetro 18 – 20 cm, onde filas de troncos longitudinais foram dispostas alternadamente com filas de troncos transversais, formando uma estrutura tipo caixa semelhante a um Cribwall. Foram feitos entalhes e fixações entre troncos longitudinais e transversais com barras de aço nervurado. Durante a execução a estrutura foi preenchida com solo, que deverá ser ligeiramente compactado de forma a permitir o desenvolvimento da vegetação. Também foi realizada a aplicação das mudas arbustivas no paramento frontal da estrutura, nos interstícios entre os troncos de madeira sempre intercalando as espécies entre si. Além disso, foi realizada a adubação, fertilização e hidratação das mudas durante o plantio. Na Figura 10 podem ser observados alguns dos procedimentos executivos realizados durante a construção do muro de suporte vivo.



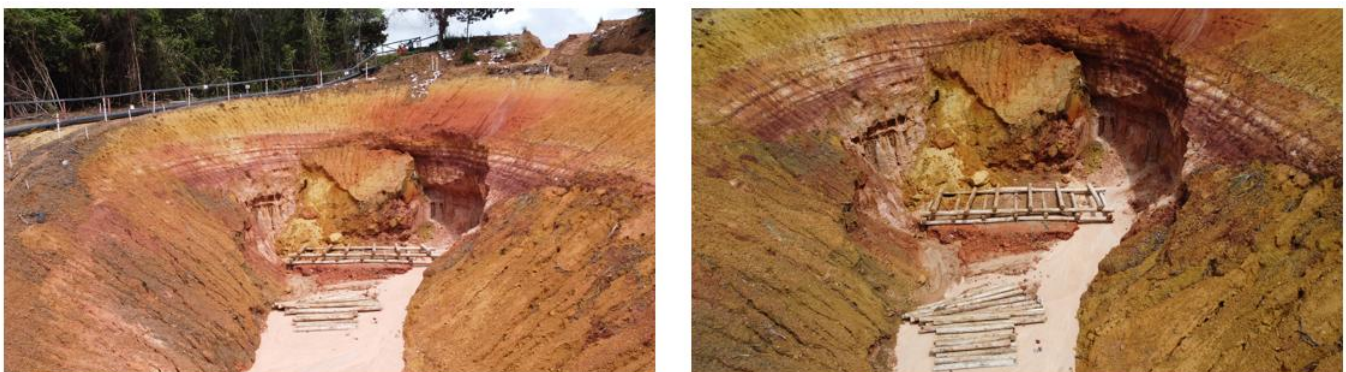


**Figura 10: Execução da atividade do muro de suporte vivo dupla.**

A obra de Engenharia Natural está sendo realizada durante o inverno amazônico (dezembro a maio). No mês de janeiro ocorreram altos índices pluviométricos, com destaque para o dia 10 (98,80 mm), conforme se pode observar na Figura 11. Uma vez que a obra está a ser executada numa depressão (voçoroca) no topo do talude foi executada uma leira em solo provisória que visa desviar o fluxo de água proveniente da bacia de contribuição, impedindo a ocorrência de escoamento de água para o interior da voçoroca. A alta precipitação de dia 10/01 ocasionou o rompimento de leira provisória, permitindo a entrada de fluxo no interior da voçoroca e consequentemente agravamento do processo erosivo e transporte de material do talude (Figura 12).



**Figura 11: Índice pluviométrico do mês de janeiro de 2024.**



**Figura 12: Processo erosivo após alto índice pluviométrico.**



Durante os eventos de precipitação intensa a execução da obra foi suspensa. Após o dia 11 de janeiro foram verificados índices pluviométricos de menor intensidade, conforme demonstrado no gráfico (Figura 11), o que permitiu a retomada da obra (muro de suporte vivo) em condições de segurança.

Após a conclusão do muro de suporte vivo foi iniciada a execução da grade viva sobre o muro e na sua ala esquerda. Desta forma, foram aplicados troncos verticais e longitudinais com madeira de diâmetro 18 – 20 cm ancorados em prumos verticais. Após disposição dos troncos, os mesmos foram fixados entre si com barras de aço nervurado. Posteriormente a estrutura foi aterrada com solo.

Nas quadrículas de solo foi realizado o plantio de espécies autóctones da região, sempre intercalando as espécies entre si. Além disso, foi realizada a adubação, fertilização e hidratação das mudas durante o plantio. Na Figura 14 podem ser observados alguns dos procedimentos executivos realizados durante a construção da grade viva, que atualmente ainda se encontra em fase de execução.

Durante o período de execução da grade viva verificaram-se eventos de forte incidência pluviométrica, com destaque para os eventos dos dias 22/03 (98,80 mm); 25/03 (96,80); e 31/03 (95,20), bem como outros dias com precipitações na ordem dos 50,00 mm (Figura 13). No entanto, apesar dos altos eventos pluviométricos registrados não se verificaram perdas de solo nas áreas intervencionadas, nem danos nas estruturas de Engenharia Natural que se encontravam executadas parcialmente. Isso denota e confirma a viabilidade das estruturas de Engenharia Natural para mitigar e corrigir processos erosivos, apesar das mesmas ainda não se encontrarem concluídas e em pleno funcionamento.

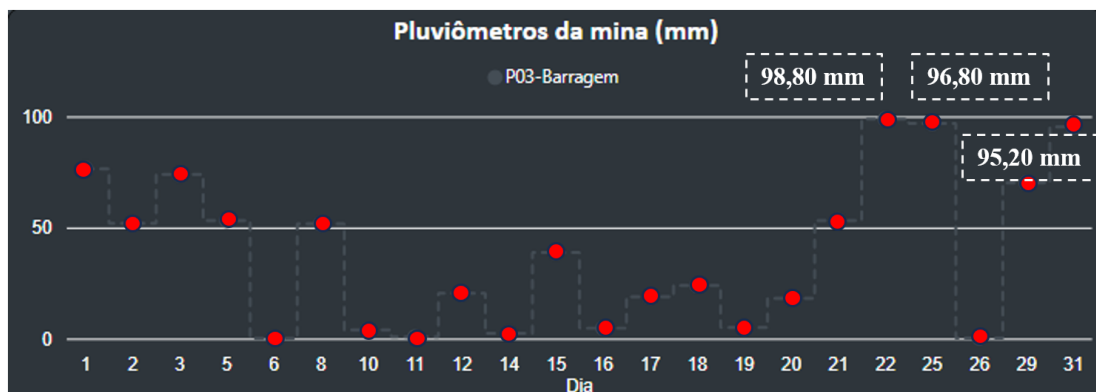


Figura 13: Índice pluviométrico do mês de março de 2024.



Figura 14: Execução da grade viva com processo erosivo controlado após altos índices pluviométricos sequenciais.

Atualmente a obra ainda se encontra em fase de execução, com conclusão prevista para o mês de junho para todas as intervenções especificadas no projeto de Engenharia Natural.

### Considerações Finais

Com base nas informações apresentadas neste estudo de caso, em que a Mineração Paragominas S.A./Hydro decidiu implementar técnicas mais sustentáveis de menor impacto ambiental quando comparadas às intervenções tradicionais, por meio de técnicas de Engenharia Natural, verificou-se que as intervenções implementadas até ao momento estão a desempenhar as funções técnicas para as quais projetadas, nomeadamente controle dos processos erosivos e estabilização dos taludes e fundo da voçoroca.

A vegetação aplicada até ao momento (muro de suporte vivo) apresenta boa taxa de sobrevivência e desenvolvimento a campo. As restantes intervenções projetadas ainda se encontram em fase de execução e a obra tem a sua conclusão prevista





para o mês de junho de 2024. Nos próximos meses também serão realizadas as tarefas de manutenção necessárias para o desenvolvimento inicial da vegetação.

Além disso, também deve ser realizado o monitoramento da obra com avaliação da integridade das estruturas e do desenvolvimento da vegetação nos próximos anos, de forma a serem obtidos dados acerca da eficácia técnica e ecológica das intervenções de Engenharia Natural, uma vez que estas intervenções são inovadoras no Bioma Amazônico.

As soluções de Engenharia Natural projetadas apresentam-se adequadas para controle e mitigação dos processos erosivos atuantes, uma vez que recriam um ambiente mais próximo ao ecossistema que existia no local, integrando-se na paisagem natural. Além disso, por utilizar apenas materiais construtivos naturais que se incorporam ao ecossistema, não há necessidade de intervenções de descomissionamento, o que pode ser considerado uma vantagem para o setor da mineração.

## Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer:

- A Mineração Paragominas S.A. – Hydro por acreditar na obra de Engenharia Natural;
- AVallis por projetar e fiscalizar as atividades de execução de Engenharia Natural;
- A Facility pela execução das atividades de Engenharia Natural.

## Referências Bibliográficas

ABAL, Associação Brasileira do Alumínio. Alumínio. Cadeia Primária. Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/cadeia-primaria/>. Acesso em 09/06/2022.

BRASIL. Constituição (2020). Lei nº 14066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). Brasília, DF, 30 set. 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2020/Lei/L14066.htm#art3](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14066.htm#art3). Acesso em: 10 jun. 2022.

Coppin, N. J.; Richards, I. G. 2007. Use of Vegetation in Civil Engineering. 2a. London, UK: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA).

Cornellini, P.; Sauli, G.; 2005. Manuale di Indirizzo delle Scelte Progettuali per Interventi di Ingegneria Naturalistica. Roma, Itália: Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione Generale per la Difesa del Suolo, Progetto Operativo Difesa Suolo (PODIS).

CRU Consulting. Opportunities for aluminium in a post-Covid economy. Prepared for the International Aluminium Institute (IAI). CRU Reference: ST2342-21. 28/01/2022. Disponível em: [https://international-aluminium.org/resource/opportunities-for-aluminium-in-a-post-covid-economy/?\\_thumbnail\\_id=6715](https://international-aluminium.org/resource/opportunities-for-aluminium-in-a-post-covid-economy/?_thumbnail_id=6715). Acesso em 09/06/2022.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. Mineração em números, 2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/?txtSearch=&checkbox-section%5B%5D=1236>. Acesso em 08/06/2022.

Fernandes, J.; Freitas, A. 2011. Introdução à Engenharia Natural. Portugal: Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.

Filho, M. S. F.; Macedo, L. T.; Santos, A. L.; Campos, A. A. C. 2019. Processos erosivos urbanos e a qualidade dos corpos hídricos em Buriticupu, Maranhão. Geografia em Atos, v. 2 (9), p. 44–56.

Schiechtl, H. 1980. Bioengineering for land reclamation and conservation. Edmonton, Canada: Department of the Environment, Government of Alberta. University of Alberta Press.

Schiechtl, H.; Stern, R. 1996. Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.

Sousa, R. S.; Dewes, J. J.; Kettenhuber, P. W.; Raddatz, D.; Sutili, F. 2018. Potencial da espécie *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski para Recuperação de Áreas Degradadas. Enciclopédia Biosfera, v. 15 (27), p. 720–30.

Sousa, R. S. 2015. Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural. Dissertação de Mestrado, Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria.

Sousa, R. S.; Sutili, F. 2017. Aspectos Técnicos das Plantas utilizadas em Engenharia Natural. Ciência & Ambiente, v. 46/47, p. 31–71.



# ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS DE CONTROLE DE EROÇÃO ASSOCIADAS A ATIVIDADES AGROPECUÁRIAS EM BURI (SP)

1Danielle Mendes da Silva, 2Cláudia Marisse do Santos Rotta

1 Universidade Federal de São Carlos, e-mail: [dmsilva@estudante.ufscar.br](mailto:dmsilva@estudante.ufscar.br); 2 Universidade Federal de São Carlos, e-mail: [claudiarotta@ufscar.br](mailto:claudiarotta@ufscar.br)

**Palavras-chave:** terraceamento; voçorocas; áreas-degradadas.

## Resumo

Este trabalho teve como objeto de estudo uma sub-bacia hidrográfica inserida em uma propriedade rural localizada no sudoeste do Estado de São Paulo, no município de Buri. O local é caracterizado por apresentar características naturais favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos: clima quente e com períodos chuvosos bem definidos; declividade média a alta e solos com textura arenosa. Além disso, o uso intensivo da região para atividades pecuárias levou a alteração da vegetação nativa por pastagens e auxiliou a compactação do solo superficial, facilitando a formação e a ação de escoamento superficial, e resultando no desenvolvimento de feições erosivas de portes variados. Neste contexto, o trabalho desenvolvido teve como objetivo principal analisar a eficiência das técnicas de controle de erosão aplicadas na área, sendo estas o terraceamento, adotado em toda sub-bacia, e as barreiras de galhos (*brush barrier*) utilizadas pontualmente em trechos próximos à erosão de maior porte. Para isso, foram selecionados dados e estudos pré-existentes, que foram analisados com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), e foram realizados trabalhos de campo no período entre dezembro de 2022 e setembro de 2023. Os principais resultados demonstram que as técnicas aplicadas para controle da erosão são ineficientes, uma vez que os processos erosivos encontram-se ativos. Ademais, foram identificados impactos ambientais associados ao sistema de drenagem, que envolvem diminuição da disponibilidade hídrica e assoreamento. Como conclusão desse estudo, aponta-se que ineficácia das técnicas adotadas está relacionada a falta de caracterização ambiental da sub-bacia e a falta de planejamento na aplicação das técnicas, uma vez que estas são necessárias sempre que atividades de uso e ocupação alterem a dinâmica dos processos naturais.

## Introdução

O solo é formado através da decomposição de rochas por processos intempéricos físicos, químicos e biológicos. Trata-se de um dos recursos mais importantes para o equilíbrio terrestre, pois interage diretamente com a Biosfera. Neste contexto, este se mostra essencial para o desenvolvimento das atividades agrícolas, pois, além de servir de suporte para as plantas, também é responsável por fornecer recursos necessários para sua manutenção fisiológica. Dentre os principais agentes responsáveis pela modificação e degradação do solo está a erosão (Brady e Weil, 2013; Andreoli et al., 2014; Coleman, 2001).

Os processos de degradação do meio ambiente podem estar associados a fatores climáticos, antrópicos e edáficos, podendo acarretar inúmeros pontos negativos para áreas agrícolas, setor econômico, setor social e o meio ambiente (Hernani et al., 2002). De acordo com Embrapa (2012) a degradação dos solos está geralmente associada ao manejo inadequado desse recurso. Como principal causador desse processo está a agropecuária, destacando-se pelo monocultivo, uso de agroquímicos, exposição do solo, que não propicia a proteção adequada a este, e a destruição de suas características naturais pela utilização de implementos agrícolas e excesso de tráfego de máquinas e animais, causando compactação do local.

Os processos erosivos são responsáveis pela remodelagem das paisagens, ou seja, trata-se de um fenômeno natural, no entanto, pode ter suas taxas aceleradas por ações antropogênicas, através do uso e ocupação do solo, acarretando assim diversas problemáticas para as áreas impactadas como degradação do solo e assoreamento de corpos hídricos (Zachar, 1982; Pruski, 2013; Bertoni e Lombardi, 2014). A erosão hídrica, especificamente, trata dos processos erosivos ocasionados pelo escoamento de águas fluviais ou pluviais, essa última podendo ser dividida entre laminar e linear. A erosão laminar, também chamada de entre sulcos, compreende a retirada de uma fina camada superior de solo; enquanto a linear é caracterizada pela convergência da água em um único caminho, de forma concentrada. Em encostas naturais ou artificiais, a erosão hídrica é desencadeada a partir do momento que a intensidade da chuva supera a capacidade da infiltração de água no solo, tendo início o processo de escoamento superficial (Brady e Weil, 2013; Bertoni e Lombardi neto, 2014; Loureiro et al., 2022).

As voçorocas são geralmente associadas a níveis avançado de degradação do solo, tornando o mesmo inviável para o uso agrícola, pecuário ou para a instalação de qualquer estrutura urbana. São ainda o estágio mais avançado das erosões hídricas lineares, podendo se desenvolver naturalmente ou serem originadas após contínuos processos de erosão gerados pelo escoamento superficial acelerado. As voçorocas apresentam como características principais a remoção de grandes volumes de solo e, muitas vezes, o afloramento do lençol freático ou surgência de água, formando cavidades de variável extensão e profundidade. Importante apontar que sua definição não está ligada a parâmetros dimensionais, como



comprimento, largura e profundidade (São Paulo, 1990; Embrapa., 2005; Bertoni e Lombardi, 2014 e Pereira e Rodrigues, 2022). Por conta dos impactos ambientais associados ao seu surgimento, esses processos necessitam de prevenção, controle ou recuperação.

Técnicas para o controle de erosão hídrica são focadas em minimização da inclinação, redução no comprimento da rampa e aumento da rugosidade superficial da área, embasando-se assim na diminuição do potencial erosivo das águas pluviais. As técnicas de controle podem ser classificadas em diferentes grupos, são eles: técnicas mecânica, ecológicas, estruturais, agrícolas e de bioengenharia. Dentre as técnicas de controle de erosão estão inseridas: revegetação; pastagem; barreira de galhos; terraceamento; sulcos e camalhões; caixa de infiltração; aterramento; muro de contenção; cordões de nível; retaludamento, e obras de drenagem. As metodologias de controle de processos erosivos devem levar em conta fatores como relevo, declividade e clima da região (Rotta, 2012; Silva et al., 2018; Vivaldini, 2021).

Dentre as técnicas de controle de escoamento superficiais mais comuns em áreas rurais está o terraceamento, o qual trata-se de um dique e um canal construídos transversalmente em relação à inclinação do terreno, com o intuito de reduzir o comprimento das rampas nas encostas e conseqüentemente reduzir a velocidade de escoamento superficial, aumentando a infiltração da água no solo e diminuindo assim as perdas de solo, principalmente em áreas agrícolas; e conseqüentemente o assoreamento de corpos hídricos. Cada um dos terraços funciona como um pequeno fosso, que tem por intuito interceptar o escoamento superficial e conduzir a água em menor velocidade, impossibilitando que esta alcance volumes e velocidades erosivas. A disposição e o tamanho dos terraços devem variar de acordo com as características do local. Essa técnica é classificada como uma das mais eficientes para direcionar o fluxo de águas pluviais superficiais e controlar a erosão hídrica (Vivaldini, 2021; Ituiu, 2021; Meyer, 2021 e Bassani et al., 2023).

Em paralelo ao terracamento, há outra técnica de controle de erosão, bastante utilizada na prática, mas pouco abordada pela bibliografia técnica e científica, que compreende as barreiras de galhos (*Brush Barrier*). Esta técnica consiste na distribuição de galhos e outras estruturas vegetais presentes no local, geralmente empilhados na base de encostas e taludes de corte, com o objetivo de interceptar e diminuir a velocidade do escoamento superficial, além de barrar os sedimentos destacados, impedindo seu transporte e maiores efeitos adversos relacionados à degradação do solo (Rojo, 2020; Ituiu, 2021).

Diante do exposto, esse trabalho objetiva analisar a eficiência das técnicas de controle de feições erosivas aplicadas em uma sub-bacia hidrográfica, localizada em Buri, sudoeste paulista. Nesta área foram identificados processos erosivos lineares de diferentes dimensões associados à atividade pecuária e às técnicas de controle previamente mencionadas.

### Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo insere-se em uma sub-bacia hidrográfica de aproximadamente 0,161km<sup>2</sup> de extensão, a qual está localizada no município de Buri, sudoeste do estado de São Paulo. Tal sub-bacia hidrográfica é tributária do Córrego Mandaçaia, que por sua vez é tributário do Rio Paranapanema (Bacia Hidrográfica UGRHIs 14) (Figura 1).

O local apresenta cobertura vegetal predominante de pastagem associada à criação de gado, com vegetação nativa esparsa e restrita a trechos marginais do canal de drenagem. Em função do uso pecuário a área foi desmatada e deu-se o desenvolvimento de processos erosivos distribuídos ao longo das encostas, destacando-se sulcos, ravinas e uma voçoroca associada à rede de drenagem. Por conta da diminuição de área útil e de outros prejuízos associados à formação de feições erosivas, foram adotadas algumas medidas de controle de erosão, dentre elas o terraceamento e a barreira de galhos.

Além das implicações relativas ao uso pecuário, a área de estudo destaca-se por apresentar materiais geológicos de caráter arenoso, que favorecem o processo erosivo; assim como clima subtropical, que de acordo com a classificação climática de Köppen (1948), caracteriza-se por possuir verão quente com temperaturas acima de 22°C e precipitações ao longo de todos os meses do ano, fator que contribui para o desenvolvimento de processos erosivos hídricos.

Na figura 1 é possível também visualizar algumas características da área de estudo. A carta de declividade indica que sub-bacia apresenta inclinação média, variando entre as classes Plano a Forte ondulado, mas com predomínio da classe Ondulado (8 a 20% de inclinação). Quanto a Geologia, a área encontram-se associada ao Grupo Itararé (Fanerozóico), e, de acordo com Pereira e Batezelli (2019), este compreende pacotes sedimentares sindeposicionais de diferentes ambientes deposicionais, cuja gênese é relacionada a ambientes fluvio-lacustre e marinho sob influência da ação de geleiras. Por fim, o mapa pedológico indica a ocorrência de dois materiais distintos. O primeiro compreende os argilossolos vermelho-amarelos, predominantes em quase toda a sub-bacia. Este material apresenta textura arenosa média ou média argilosa, além de grandes espessuras. Já o segundo, trata de latossolos vermelhos, cuja ocorrência se limita à uma pequena área ao norte da área de estudo.



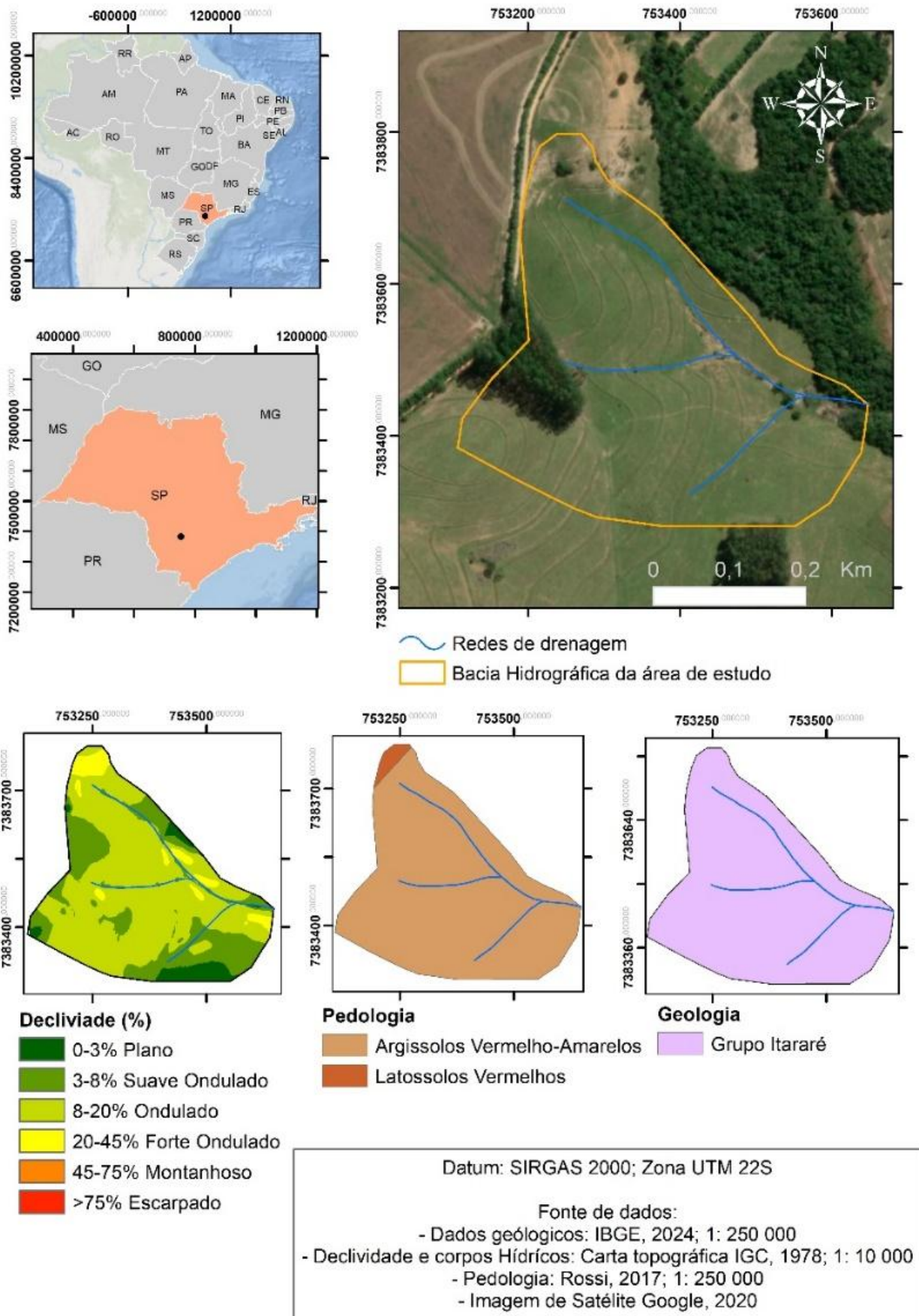
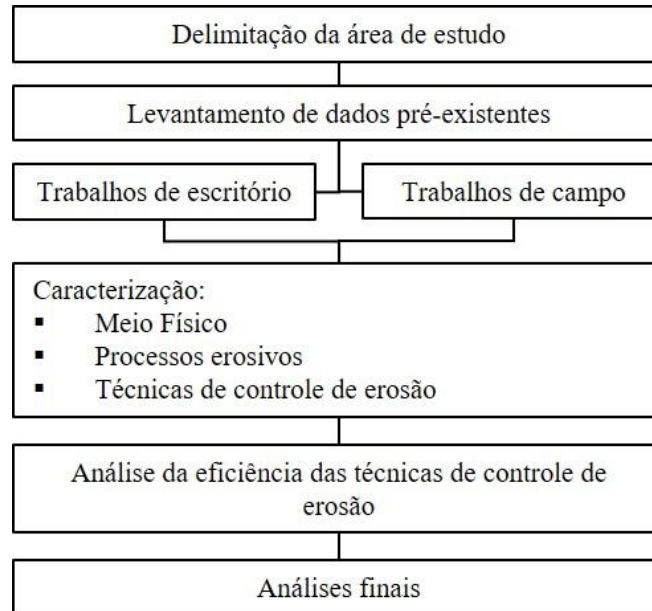


Figura 1: Localização e caracterização da área de estudo.



### Materiais e Métodos

O desenvolvimento deste trabalho se deu conforme as etapas apresentadas pelo fluxograma da Figura 2. Este se iniciou com a escolha e delimitação da área de estudo a partir do mapa topográfico IGC (1978) de escala 1:10.000, seguido do levantamento de dados e materiais pré-existentes, tais como o Mapa Geológico do IBGE (2024), o Mapa Pedológico de Rossi (2017), imagens de satélite dos anos 2013, 2017 e 2020 disponíveis na plataforma Google Earth. Também foram reunidos estudos pré-existentes desenvolvidos na área de estudo.



**Figura 2: Fluxograma representativo das diferentes etapas de desenvolvimento do trabalho.**

A partir da vetorização do mapa topográfico, foi realizada a caracterização inicial da rede de drenagem da área de estudo, e foi também elaborada a carta de declividade (Figura 1), com auxílio do software ArcGIS. A estas etapas seguiu-se a fotointerpretação das imagens de satélite dos diferentes anos, que permitiram análises temporais acerca da dinâmica do uso e ocupação e cobertura vegetal, do sistema de drenagem, dos processos erosivos e das técnicas de controle de erosão existentes.

De modo a complementar a caracterização dos aspectos abordados na etapa de escritório, entre novembro de 2022 e setembro de 2023, foram realizados trabalhos de campo. Neste período, além de complementar a caracterização de aspectos do meio físico, foi realizado um monitoramento da dinâmica dos processos erosivos e das técnicas de controle de erosão.

Tendo como base as informações obtidas, foram realizadas análises relacionadas à compreensão da dinâmica dos processos erosivos na área de estudo, sobretudo quanto a eficiência das técnicas de controle de erosão aplicadas.

### Resultados e Discussão

#### Caracterização do meio físico e dos processos erosivos

Conforme apresenta o mapa da Figura 1B, a declividade da sub-bacia estudada enquadra-se, predominantemente, na classe com valores entre 8 e 20%, o que indica uma declividade média ou ondulada, apesar de haver trechos com classes mais ou menos acentuadas. Essa característica do relevo apresenta grande contribuição no desenvolvimento dos processos erosivos, sobretudo quando associada ao tipo de solo desta região.

O substrato rochoso local está associado ao subgrupo Itararé, composto por arenitos finos a grosseiros, siltitos, lamitos, diamictitos e ritmitos, de cores amarelo vermelha e cinza (Landin et al., 1984), que abrange toda a área (Figura 1D). Em complemento, quase a totalidade da área de estudo enquadra-se como argissolos vermelho-amarelos (Rossi, 2017). Os trabalhos de campo permitiram a caracterização complementar dos materiais geológicos, e por estes foi verificado que a área de estudo é composta por dois tipos de solo: o material mais superficial apresenta coloração acinzentada, com espessura mínima de 30 centímetros; seguido de um material residual, de coloração alaranjada, visível apenas no interior da principal feição erosiva. Em pontos mais profundos desta erosão verificou-se ainda o afloramento do saprolito, que apresenta a mesma coloração do material residual. De um modo geral, todos os materiais citados apresentam textura arenosa, embora o mais superficial apresente maior compactação e menor condutividade hidráulica do que o material subjacente.

Em função das características do relevo e dos materiais geológicos, é possível indicar que a sub-bacia apresenta considerável susceptibilidade à erosão, de modo que esse processo seja facilmente deflagrado caso haja alterações em suas características ambientais naturais.

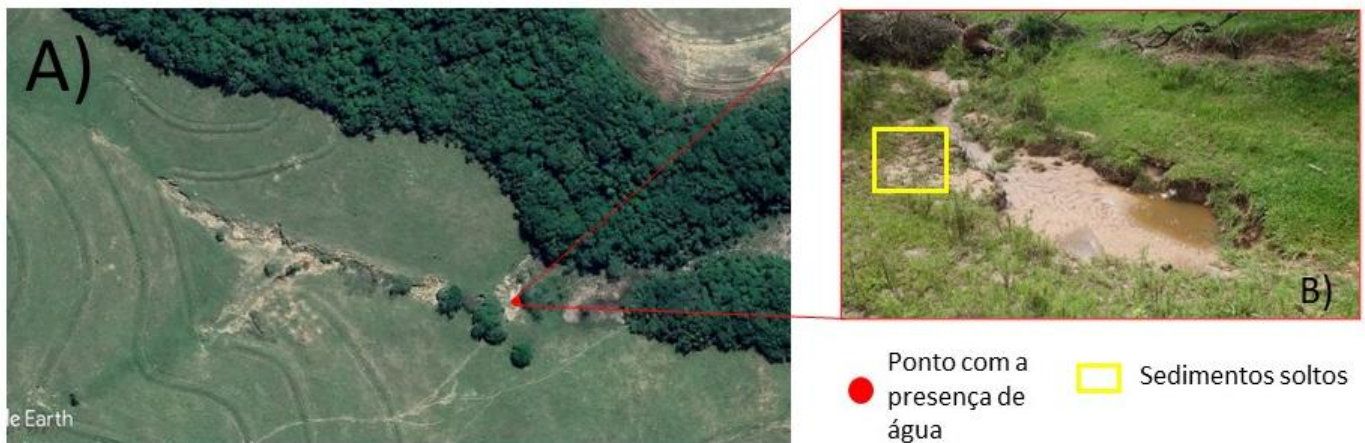
Avaliando-se as imagens de satélite disponíveis, verifica-se que no ano de 2013 havia pouca presença de vegetação



ciliar no entorno dos canais de drenagem, e que a cobertura vegetal nativa havia sido substituída por pastagens, relacionadas ao uso pecuário. Nessa mesma imagem também é possível visualizar a existência de uma feição erosiva de grande porte, contínua ao canal de drenagem principal. Com base nessas informações, verificou-se que o desenvolvimento dos processos erosivos nesta sub-bacia se deu em função das atividades de uso e ocupação que alteraram a cobertura vegetal natural, e expuseram os materiais geológicos suscetíveis a maiores taxas de escoamento superficial. Observando-se as imagens de satélite disponíveis, e também através dos trabalhos de campo, verificou-se que a erosão de maior porte existente na área de estudo compreende uma voçoroca que se desenvolveu a partir dos canais de drenagem de primeira ordem, que eram classificados como intermitentes pelo mapa topográfico, e que hoje não apresentam mais fluxo de água, mesmo em períodos chuvosos (Figura 3A). A erosão principal apresenta aproximadamente 195 m de comprimento, com largura variando entre 1e 10 m em diferentes trechos, e profundidades que vão de poucos centímetros até cerca de 3 m.

As alterações ambientais resultantes das atividades pecuárias também afetaram as condições dos canais de drenagem. Além de não haver mais fluxo nos trechos que compreendiam os canais de primeira ordem, parte do canal principal (trecho de segunda ordem), que apresentava fluxo contínuo de acordo com o mapa topográfico, também não apresenta mais lâmina d'água, mesmo nos períodos chuvosos. Atualmente, é possível identificar uma fina lâmina d'água quase no exutório da sub-bacia (Figura 3B), onde há a presença de grande volume de sedimentos acumulados e indícios de pisoteamento da área pelo gado. Os trabalhos de Silva (2021) e de Silva e Rotta (2021a; 2021b), apontam que, no período anterior a 2011, era possível identificar através da fotointerpretação a presença de uma grande área úmida na região de estudo, que não foi mais identificada em imagens de períodos posteriores. As autoras ainda relatam que, no período de 2019/2020 foi observada em campo a presença de lâmina de água no trecho final da feição principal após períodos chuvosos. Entretanto, o mesmo não foi observado pelo monitoramento realizado pelo presente trabalho, no qual identificou-se um único ponto com a presença de lâmina d'água.

Além da voçoroca, ao longo das encostas da área de estudo, existem outros pontos de desenvolvimento de processos erosivos, entretanto envolvendo feições de menor porte. Tais feições estão associadas as técnicas de controle de erosão.

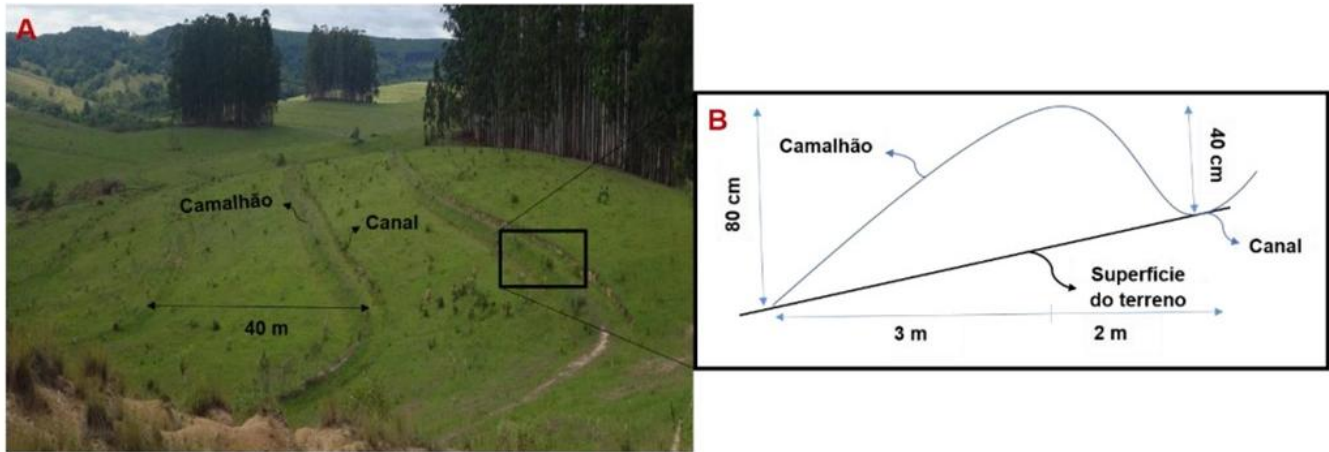


**Figura 3: Voçoroca presente na área de estudo, desenvolvida a partir dos canais de drenagem intermitentes. A) Principal feição erosiva da área de estudo (voçoroca), circundada por terraços, com destaque para o trecho onde ainda há lâmina de água. B) Detalhe do local destacado em A, registado em 20XX, apresentando o único trecho do canal de drenagem com lâmina d'água.**

### Técnicas de controle de erosão

Os métodos de controle de erosão identificados na área de estudo compreendem o terraceamento e as barreiras de galhos. O primeiro está presente em toda a sub-bacia hidrográfica, como apresenta a Figura 1, inclusive próximo à voçoroca (Figura 3A). Neste local, o terraceamento foi implantado com o objetivo de interceptar e dissipar a energia do escoamento superficial, diminuindo seu potencial erosivo, assim como de disciplinar o fluxo da água ao longo dos canais à montante dos diques. A Figura 4 de Silva (2021), demonstra como foram dispostos e quais as dimensões dos terraços implementados na área.





**Figura 4:** a) terraços da sub-bacia de estudo. b) esquema representativo das dimensões dos terraços da sub-bacia.

A barreira de galhos, por sua vez, foi aplicada pontualmente em alguns trechos da área de estudo. A Figura 5 apresenta um exemplo de aplicação dessa técnica, nesse caso, em um trecho interno da voçoroca. Verifica-se por essa imagem que a barreira de galhos compreende o depósito de resíduos de poda e capina provenientes da própria fazenda onde a área de estudo se insere. O objetivo pretendido com essa técnica também era interceptar e dissipar a energia do escoamento superficial, além de promover a retenção de sedimentos.

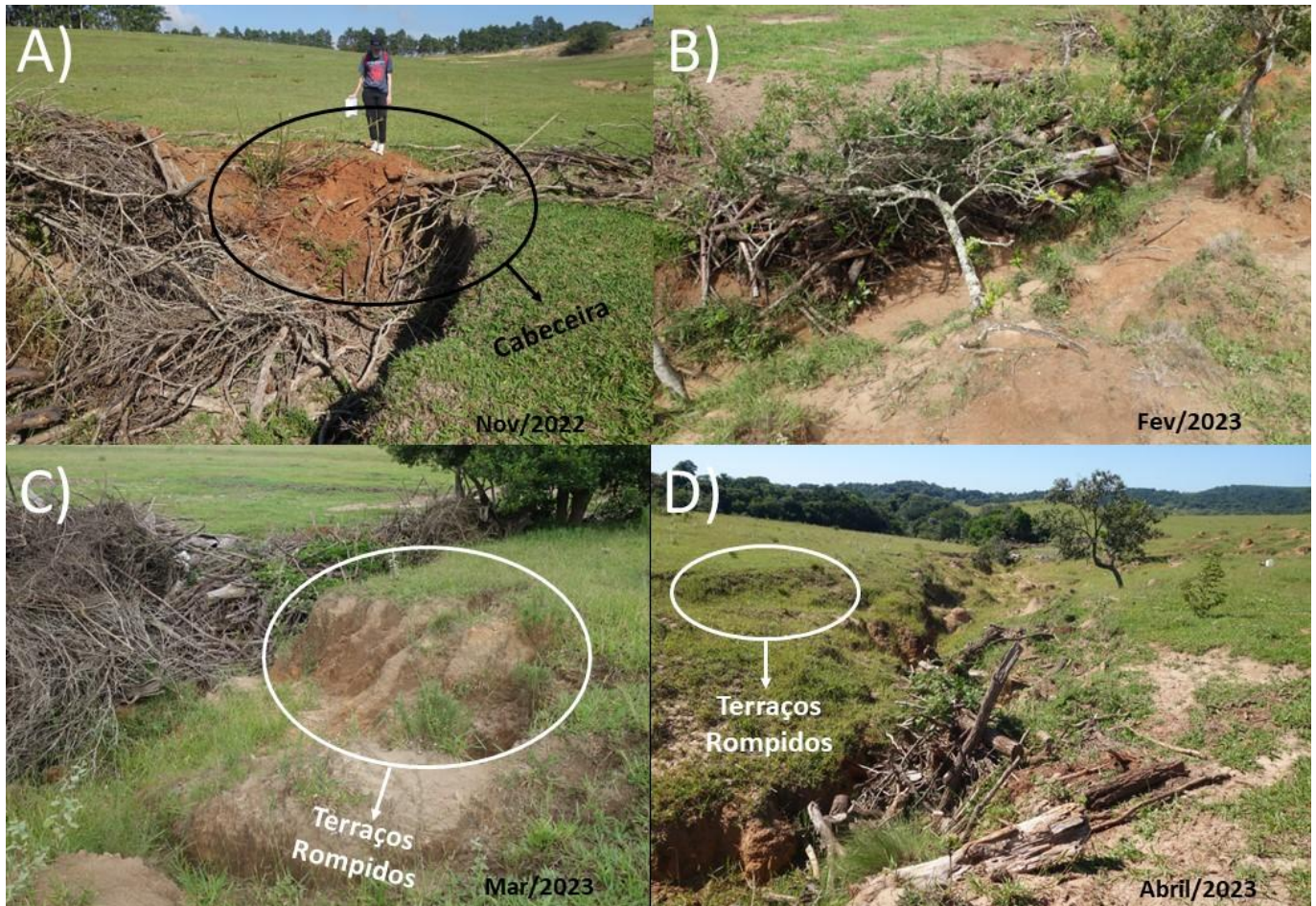


**Figura 5:** Exemplo de barreira de galhos aplicada ao longo do canal de drenagem.

É importante destacar que as barreiras de galhos implementadas na área de estudo estavam dispostas majoritariamente ao longo de uma das margens da feição erosiva principal. Foi verificado também, ao longo das atividades de campo, que a disposição dessas barreiras ocorreu sem a consideração de critérios técnicos, ou seja, os resíduos de poda e capina eram depositados sempre às margens da erosão, em trechos que os operadores do maquinário agrícola consideravam de maior necessidade, ou de mais fácil acesso. Como consequência, algumas barreiras foram posicionadas em trechos em que a voçoroca não apresentava indícios de crescimento, ao mesmo tempo que trechos ativos foram pouco ou nada atendidos. Como o material disponível é limitado, o seu posicionamento poderia ter sido melhor planejado. A ineficiência dessa técnica já havia sido previamente detectada por Silva (2021), embora durante o desenvolvimento de seu trabalho a aplicação dessa técnica era ainda mais pontual.

Além disso, de acordo com o inventário de feições da área de Silva (2021) e de Silva e Rotta (2021a; 2021b), as barreiras de galho foram aplicadas em 2020, comparando os resultados obtidos nesse trabalho é possível apontar que houve o avanço dessas erosões do período 2020 até 2023, mesmo com a aplicação dessas técnicas de controle. O que só comprova a ineficácia desse método desde o início de sua inserção na área.

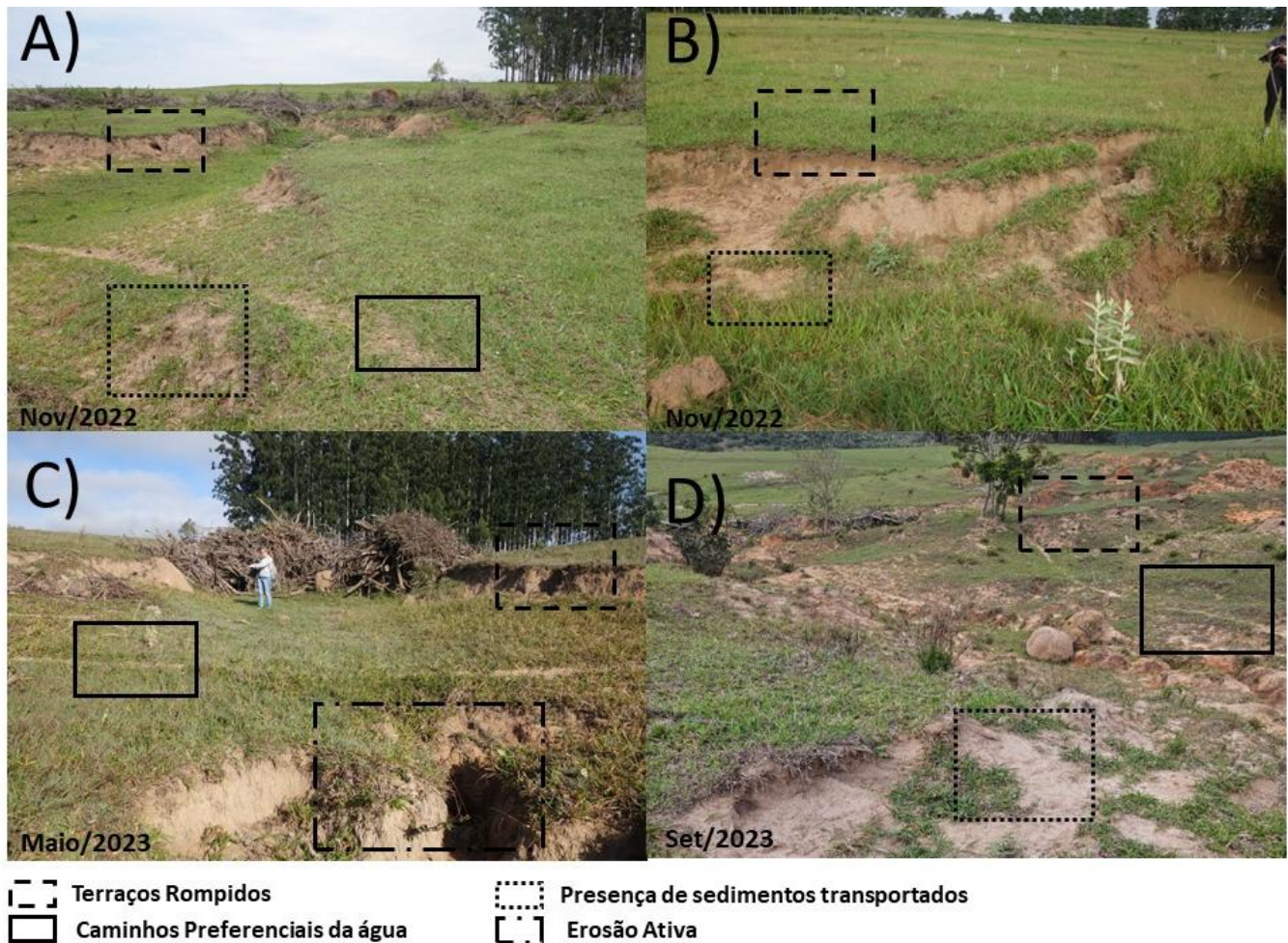




**Figura 6: Acompanhamento da aplicação da técnica de controle conhecida como barreiras de galhos ao longo da principal feição erosiva da área de estudo; a) Aplicação na cabeceira principal da voçoroca, b) Aplicação em trecho interno da voçoroca, c) aplicação na parte interna da erosão próxima a terraços d) aplicação na área interna da erosão com a presença de terraços rompidos.**

Os terraços também não foram totalmente eficientes em garantir os objetivos pretendidos, o que foi verificado através da identificação de muitas estruturas rompidas, associadas ao surgimento de novos processos erosivos. Esses problemas podem ser justificados pela falta de consideração da morfologia do relevo, e de características do solo, sobretudo sua condutividade hidráulica. Os trechos da sub-bacia que já haviam abrigado canais de primeira ordem apresentam naturalmente um formato de encosta côncavo, que favorece o escoamento concentrado, mas a disposição de alguns terraços não considerava esse aspecto, mantendo o espaçamento entre terraços maior do que o indicado. Além disso, o solo superficial da área de estudo não apresenta taxas de infiltração tão altas, uma vez que era comum encontrar água acumulada nessas estruturas, o que pode estar associada a compactação do solo, comumente associada às atividades pecuárias. A figura 7 exemplifica esse processo, indicando a presença de sedimentos transportados de outras áreas, caminhos preferenciais para o fluxo da água e erosões ativas.

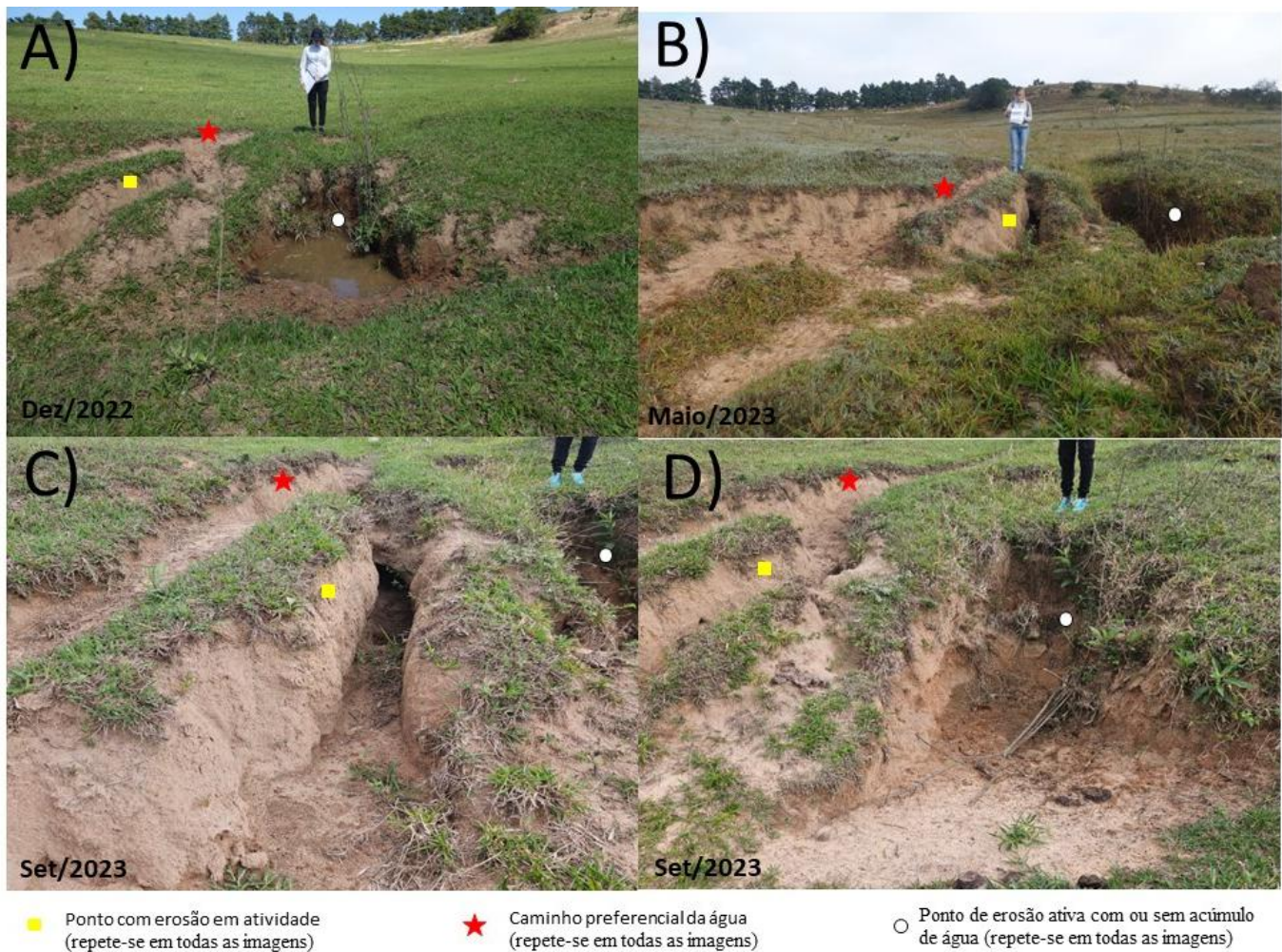




**Figura 7: Identificação de diferentes locais que apresentaram o rompimento das estruturas do terraceamento: A) terraços localizados a montante da feição principal; B) Terraço rompido localizado próximo a erosão principal; C) terraços localizados a montante da feição principal e D) Terraços rompidos e presença de erosões ativas.**

A feição erosiva apresentada pela Figura 7B, desencadeada por um terraço rompido, foi uma das que mais evoluiu durante o período analisado, apresentando acúmulo de água em períodos chuvosos e aumento de suas dimensões, tanto em área quanto em profundidade. A evolução temporal dessa erosão, ao longo de 9 meses, está detalhada na Figura 8, com destaque para o seu crescimento e também para o acúmulo de sedimentos soltos. Ressalta-se que as figura 8C e 8D compreendem registros de um mesmo dia, no entanto em ângulos diferentes.





**Figura 8: Análise temporal de uma feição erosiva resultante do rompimento de um terraço: A) Feição em dezembro de 2022; B) Feição em maio de 2023; C) Ângulo 1 da feição em setembro de 2023 e D) Ângulo 2 da feição em setembro de 2023.**

Filizola et al. (2011) indicam que a implementação de sistemas de controle de erosão necessita de prévia caracterização dos fatores e mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento dos processos erosivos, para que assim seja possível identificar as áreas prioritárias para intervenção, diminuindo custos e maximizando a eficiência dos métodos. Com base nos resultados e análises obtidos verifica-se que tais fatores e mecanismos não foram considerados, ou pelo menos não adequadamente, para a implementação das estratégias de controle de erosão na área de estudo.

### Considerações Finais

As modificações dos aspectos ambientais impostas pelas diferentes atividades de uso e ocupação do solo levam ao desequilíbrio dos processos de dinâmica superficial, de modo que, geralmente, sejam utilizadas técnicas mitigadoras para garantir a manutenção do ambiente e das atividades econômicas. Na sub-bacia hidrográfica estudada houve uma aceleração dos processos erosivos, associada a alteração da disponibilidade hídrica, em função do plantio de pastagens para o uso pecuário. Com o objetivo de minimizar os impactos ambientais decorrentes dessa atividade, foi adotado o terraceamento desde o início das atividades. Entretanto, conforme foi verificado por esse estudo, essa técnica não se mostrou eficiente, de modo que as barreiras de galho passaram a ser utilizadas de forma complementar, o que também não gerou benefícios consideráveis.

A comparação dos resultados obtidos por este trabalho e daqueles obtidos por Silva (2021) e por Silva e Rotta (2021a; 2021b) evidenciou que houve evolução dos processos erosivos, assim como assoreamento e soterramento do canal de drenagem, com diminuição do nível d'água, nos últimos anos. É possível então concluir que a aplicação de técnicas de controle de erosão é, ainda hoje, mal executada em áreas rurais, o que compromete a sua eficiência e até mesmo a sua funcionalidade. Neste contexto, ressalta-se a importância de analisar todas as características naturais de um local, para que sejam aplicados os métodos mais adequados e eficientes no controle dos processos erosivos, mas sobretudo para que estes sejam planejados e executados de forma adequada, evitando-se assim a degradação ambiental.





### Agradecimentos

As autoras agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida para desenvolvimento dessa pesquisa.

### Referências Bibliográficas

ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F. D. N., & Justi Junior, J. Formação e características dos solos para o entendimento de sua importância agrícola e ambiental. Complexidade: redes e conexões do ser sustentável. 1ed. Curitiba: SENAR/PR, 511-530, 2014.

BASSANI, M. H; GARCEZ, J.G.; BORTOLANZA, D.R.; SOCCOL, J.J.; PERGHER, M.; MOTA, M.R.; RAMOS, J.C.; WILDNER, L.P.; JUSTEN, J.G.K. O terraceamento passo a passo. Florianópolis: Epagri, 2023. 32p. (Epagri. Boletim Didático, 170)

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. 9. ed. São Paulo: Editora cone, 2014. 355 p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades do solo. 3. ed. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2013.

COLEMAN, D. C. Soil biota, soil systems, and processes. Encyclopedia of Biodiversity.

EMBRAPA. Controle de voçorocas. 2. ed. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento Ambiental, 2005. 48 p. (Comunicado Técnico, 33). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/89426/1/comtec33-2005-controle-voçorocas.pdf>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2024.

EMBRAPA. Recuperação de áreas degradadas por erosão no meio rural. 34. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Programa Rio Rural, 2012. 19 p. (Comunicado Técnico, 34). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126102/1/Recuperacao-areas-degradadas-2012.pdf>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2024.

FILIZOLA, H. F.; ALMEIDA FILHO, G. S.; CANIL, K.; SOUZA, M. D; GOMES, M. A. F. Controle dos Processos Erosivos Lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos. Circular Técnica, Jaguariúna, p. 1-7, jan. 2011.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, L. L.; MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. N. A Erosão e seu Impacto. Rio de Janeiro: Open access, 2002. Cap. 5. p. 47-60. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124240>. Acesso em: 10 fevereiro de 2024.

ITUIU. Plano de Erosão e Controle de Sedimentos - US1. Itu, SP: Prefeitura Municipal de Itu, 2021. 104 p. Disponível em: <https://itu.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/08/US1-Plano-de-Erosao.pdf>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2024.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948, 478 p.

LANDIM, P.M.B. (coord.) Mapa Geológico de Estado de São Paulo. Escala 1:250.000, São Paulo: IGCE/UNESP, 1984.

MEYER, C. L. Capacidade de Armazenamento e controle da erosão e do escoamento superficial de terraços em nível em sistema de plantio direto. 2021. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021. Disponível em: < <https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/3606/1/Caio%20La%20c3%a9rcio%20Meyer.pdf>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2024.

PEREIRA, H. A. S.; GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; PEREIRA, L. S.; GARRITANO, F. N. Monitoramento da erosão hídrica no Brasil: dos métodos manuais aos digitais, 9. 33 p. 530-563, 2022.

PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C. Estudos sobre Voçorocas: uma avaliação da produção científica brasileira (2009/2019). Soc. nat.. 2022. P. 1-14. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/sn/a/gNzDS7zfwSw9gjmQ6xfX9hR/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2024.

PEREIRA, V. L.; BATEZELLI, A. Fácies e elementos arquitetônicos do Grupo Itararé na região de Salto (SP). In: XXVII Congresso de iniciação científica da Unicamp, 23., 2019, Campinas. Campinas: Universidade de Campinas, 2019. p. 1-1. Disponível em: < <https://econtents.bc.unicamp.br/eventos/index.php/pibic/article/view/2931/2926>>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024

ROJO, V. B. Processos erosivos em São Pedro (SP): Revisão bibliográfica sobre os fatores condicionantes e propostas de recuperação. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista



Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2020. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/23da256f-e0a0-465f-9751-700a2ff2bcfd/content>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2024.

ROTTA, C. M. S. Estudo da Recuperação de Áreas Degradadas por Processos Erosivos: procedimento e eficiência dos métodos. 180 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SÃO PAULO (1990) Secretaria de Energia e Saneamento de. Controle de Erosão. 21 ed. São Paulo: DAEE 1 IPT.

SILVA, T. S. M. Caracterização e Monitoramento de Voçoroca associada a técnicas de Controle através do Método de Estaqueamento. 2021. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Buri, 2021.

SILVA, T. S. M; ROTTA, C. M. S. Monitoramento e caracterização de voçoroca associada a técnicas de controle de erosão. In: 1º Regional South American Conference of IAEG and 2º Argentine Congress of Geology Applied to Engineering and the Environment, 1º e 2º, 2021, Córdoba, Argentina: Asagai, 2021.

\_\_\_\_\_. Caracterização dos processos erosivos de uma sub-bacia em área rural associado ao pastejo e técnicas de controle de erosão. In: 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 17º, 2021, Belo Horizonte (MG): ABGE, 2021. Disponível em: < [https://efaidnbmnribpcajpcglclefindmkaj/https://schenautomacao.com.br/cbge2022/envio/files/trabalho1\\_21.pdf](https://efaidnbmnribpcajpcglclefindmkaj/https://schenautomacao.com.br/cbge2022/envio/files/trabalho1_21.pdf)>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2024.

VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; VIEIRA, C. L. Reorganização do escoamento superficial e controle de ravinas e voçorocas. In: VERDUM, R.; VIEIRA, C. L. Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo. Rio Grande do Sul: Igeo/Ufrgs, 2016. p. 1-47.

VIVALDINI, A. R. S. Estudo de casos de erosões hídricas lineares e seu controle na cidade de São Carlos e comparativo com outras regiões. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021. Disponível em:< <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/14445/TCC-Vers%c3%a3oFinal-AmandaVivaldini.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2024.

ZACHAR, D. Soil Erosion: developments in soil sciene. New York: Elsevier/North-Holland. Inc, 1982. 522 p. (2º). Translation for M. Cowan. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=o8ny2dUkpm8C&oi=fnd&pg=PP1&dq=soil+erosion&ots=mL9ITNxiQv&sig=GbtZ5qZSIqiDWC8PEiEjogj92G4#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2024.





# ÍNDICE DE ERODIBILIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JARACATIÁ - PR

1Vanessa Kaupka, 2Julio Caetano Tomazoni

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus – Francisco Beltrão, e-mail: vanessakaupka@alunos.utfpr.edu.br;

2 Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus – Francisco Beltrão, e-mail: caetano@utfpr.edu.br

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica; Erodibilidade; Erosão.

## Resumo

A erosão é um processo natural responsável pela perda da camada superficial do solo como, por exemplo, a precipitação e os ventos, porém, essa erosão está sendo intensificada pelo manejo inadequado dos solos. Os principais impactos da degradação do solo são a perda de nutrientes, a diminuição da matéria orgânica e a compactação do solo. Dentre os principais fatores que intensificam a degradação do solo na produção de alimentos é a erosão hídrica devido ao manejo incorreto. A importância de estudar as bacias hidrográficas é de verificar o comportamento da erosão e promover técnicas de manejo para diminuir a redução dos efeitos negativos da exploração agrícola. O conhecimento da intensidade dos processos erosivos contribui para o planejamento ambiental das bacias hidrográficas. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), calcula as perdas de solo e leva em consideração os fatores de erosividade das chuvas, erodibilidade do solo, comprimento e grau de declive do terreno, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas. O fator avaliado neste trabalho foi a erodibilidade, que é o grau de susceptibilidade do solo a partir de uma ação externa, como a precipitação, o estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Jaracatiá localizado na região do sudoeste do Paraná, a erodibilidade foi calculada através das análises físicas de amostras coletadas no decorrer da bacia hidrográfica, resultando em um solo com erodibilidade média.

## Introdução

O processo de movimentação do solo é conhecido como erosão, causada por fenômenos naturais, como precipitação ou ainda por ações antrópicas como a utilização inadequada do solo na agricultura. A erosão do solo é um processo de degradação ambiental influenciada por alguns fatores como por exemplo a precipitação. Os processos erosivos no Brasil estão cada vez mais acelerados, causando problemas ambientais, econômicos e sociais. Os problemas ambientais são o assoreamento de lagos e canais fluviais, perda de nutrientes do solo devido ao escoamento superficial, os problemas econômicos são caracterizados pela destruição da infraestrutura urbana, intensificados pelo escoamento superficial e os problemas sociais ligados aos vetores patogênicos como, por exemplo, as inundações, diminuindo a qualidade de vida da população (RUBIRA; MELO; OLIVEIRA, 2016).

Com o acesso a informações sobre a conservação dos solos, a manutenção de características físicas e químicas do solo durante o plantio ainda é feito sem a devida manutenção das características físicas e químicas e sem um manejo adequado, essa diminuição da preocupação com a proteção do solo os efeitos das precipitações vêm acelerando os processos de erosão hídrica, um dos principais tipos de erosão que afetam os solos brasileiros, pela característica climática do país (CANTARINO TOLEDO, 2023). Quando o manejo é impróprio e intensivo provoca a degradação e influência nas suas características de textura e estrutura que influenciam diretamente na capacidade de infiltração de água, solos com maior porosidade absorvem mais água, a porosidade é relacionada com a densidade do solo, quanto maior a compactação do solo menor é a capacidade de infiltração de água (GUERRA et. al., 2009).

A erosão hídrica está entre os processos determinantes na degradação de terras na agricultura brasileira, necessitando de práticas adequadas de manejo para seu controle sendo um grande desafio na produção de grãos (MACHADO & WADT, 2021). A erosão hídrica do solo está associada aos efeitos da erosividade das chuvas e à erodibilidade dos solos, em que os principais fatores estão relacionados às suas características físicas, à topografia e ao uso do solo, como, por exemplo, tipo de cobertura vegetal, práticas de manejo e conservação (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

As perdas de solos ocorrem naturalmente ao decorrer dos anos, porém as ações antrópicas aceleram esses fenômenos sendo necessário o monitoramento das características físicas, químicas e biológicas (SILVA, et.al., 2021). As propriedades químicas, biológicas e mineralógicas influenciam no estado de agregação das partículas e estão diretamente ligadas a resistência do solo a erosão (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2009).

O clima, a topografia, os tipos de solo, a cobertura vegetal e as atividades antrópicas são condicionantes dos processos de erosão e tornam a erosão um sistema complexo, alguns fatores que influenciam na erosão são as trilhas de gado, as estradas vicinais, a concentração de águas pluviais e os locais submetidos ao manejo agrícola impróprio devido à remoção de cobertura vegetal (RUBIRA; MELO; OLIVEIRA, 2016).

O Brasil é um país de clima tropical, a maior parte do território possui chuvas bem distribuídas durante o ano, então à erosão hídrica, é a que mais ocorre no país. Cunha et al. (2014) corroboram que as mudanças relacionadas às chuvas interferem diretamente na vegetação e nos fatores associados ao ciclo hidrológico. Um dos maiores problemas para a sua manutenção em uma bacia é a erosão hídrica, que de acordo com Oliveira et. al (2023), consiste em três fases: o desprendimento ou desagregação, transporte, e escoamento superficial ocasionando a deposição.



Em 1954, nos Estados Unidos, foi elaborada a EUPS (Equação Universal de Perdas de Perdas de Solo), que é composta por fatores que são representados por letras, esses fatores são: perdas de solo (fator A), erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K), fator topográfico (fator LS), índice de cobertura vegetal (fator C) e práticas conservacionistas (fator P) (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A erodibilidade do solo é relacionada às propriedades físicas, biológicas, químicas e mecânicas do solo, baseia-se na resistência do solo e no transporte das partículas. As propriedades mecânicas referem-se à velocidade de permeabilidade, infiltração e capacidade de armazenamento de água, associada à resistência à desagregação e ao transporte pelo impacto da gota da chuva e pelo escoamento superficial (NASCIMENTO, et. al.,2018).

As perdas de solo podem ser influenciadas por todos os fatores da USLE, porém alguns solos podem erodir mais que os outros, mesmo sendo os fatores todos iguais (SCHMIDT,2017). Essa influência é causada pelas propriedades intrínsecas do solo e se referem então à erodibilidade (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Neste trabalho foi avaliado a erodibilidade do solo através de análises químicas e físicas do solo a partir de coletas realizadas ao longo da bacia hidrográfica do rio Jaracatiá.

De acordo com Tomazoni (2003) a área agrícola no Sudoeste do Estado do Paraná possui problemas ambientais de degradação do solo e erradicação da cobertura vegetal natural, problemas provocados principalmente pelo uso agrícola acelerado e intensificado pela erosão hídrica, aumentando o escoamento superficial, poluindo os recursos hídricos com material particulado, adubos e pesticidas. A bacia hidrográfica é importante por ser um sistema natural responsável pela manutenção dos biomas brasileiros e base para as atividades econômicas como a agricultura e a pecuária, o estudo busca avaliar a erodibilidade na bacia hidrográfica do rio Jaracatiá localizada na região Sudoeste do Estado do Paraná, é uma bacia de grande extensão e o resultado desse trabalho contribuirá para o correto manejo e uso do solo, contribuindo para a diminuição do transporte de sedimentos para os corpos hídricos e reduzindo os impactos ambientais.

### Material e Métodos

A área de estudo está localizada na região Sudoeste do Estado do Paraná e contempla os municípios de Francisco Beltrão, Enéas Marques, Nova Esperança do Sudoeste, Dois Vizinhos, Salto do Lontra, Boa Esperança do Iguaçu e Nova Prata do Iguaçu e a bacia possui uma área de 561,96 km<sup>2</sup> e 102,38 km de perímetro (figura 1).

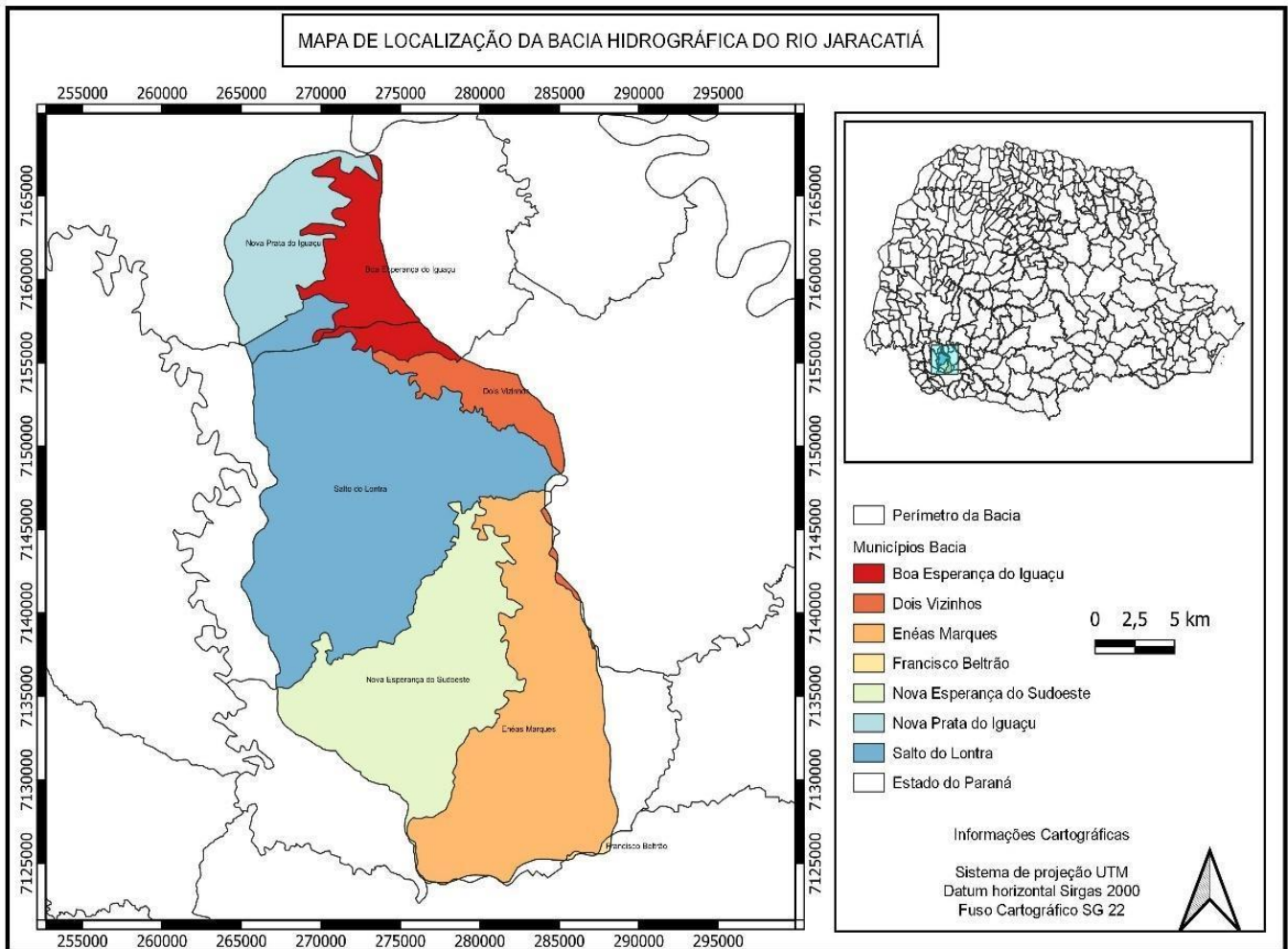


Figura 1: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica.



O Estado do Paraná apresenta diferentes microclimas com regimes térmicos e pluviométricos distintos. Possui clima subtropical com invernos mais amenos ao Norte e mais severos ao Sul. O Sudoeste do Paraná está classificado como Clima subtropical (Cfa) segundo Köppen, com verões quentes e chuvas mais frequentes nesta estação, menor ocorrência de geadas e sem estação seca definida, com precipitação média variando de 1800 a 2000 mm por ano, com temperatura média entre 18° a 20°C (ALVARES et al., 2013).

O QGIS é um software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre e gratuito, permite visualizar, editar, analisar dados georreferenciados e criar mapas com várias camadas usando diferentes projeções. Para analisar os dados do estudo foi utilizado a versão 3.16.5 com Grass 7.8.5.

Para a determinação do fator K de erodibilidade foi definida como a média de perda de solo de um local pelo índice de erosão da chuva, ou seja, enquanto a erosividade é calculada através de histórico de precipitação, o fator K está relacionado às propriedades físicas e químicas do solo. Para o cálculo da erodibilidade foi utilizada a equação 1 apresentada por Pinheiro et. al. (2022) a partir de vários estudos para solos brasileiros:

$$K = ([7,48 \cdot 10]^{-6M}) + [4,48059 \cdot 10]^{-3P} - ([6,31175 \cdot 10]^{-2DMP}) + [1,039657 \cdot 10]^{-2R} \quad (1)$$

Onde:

M = (areia fina + silte) x [(areia fina + silte) + (areia grossa)];

P = valor de permeabilidade do solo, adotando os valores: 1 = muito baixa, 2 = baixa, 3 = baixa a moderada, 4 = moderada, 5 = moderada a rápida e 6 = rápida;

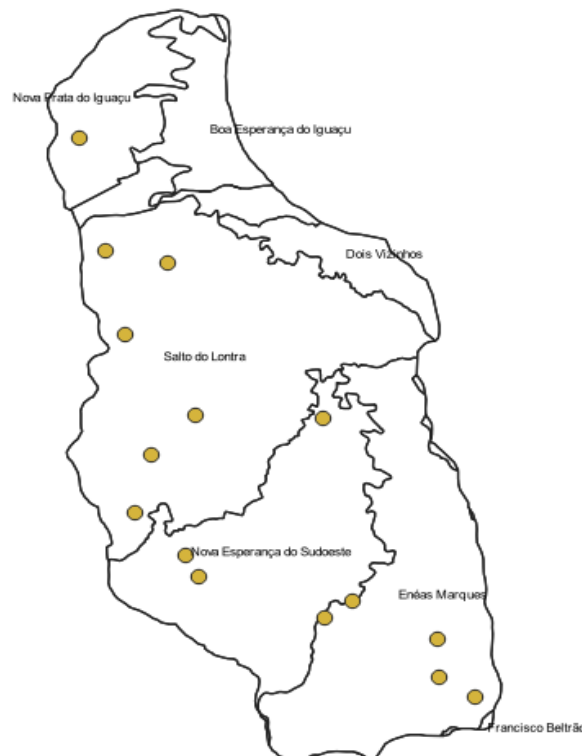
DMP = diâmetro médio ponderado das partículas de solo (mm); e

R = [areia grossa x (teor de matéria orgânica/100)].

O DMP é calculado através da equação 02:

$$DMP = ([0,65 \times \text{areia grossa}] + [0,15 \cdot \text{areia fina}] + [0,0117 \cdot \text{silte}] + [0,00024 \cdot \text{argila}]) / 100 \quad (2)$$

Para calcular o fator K, foram coletadas 15 amostras de solo no decorrer da bacia hidrográfica, foram demarcadas todas as coletas com o auxílio do GPS. As amostras foram coletadas com profundidade de 0 a 30cm, em diferentes locais como apresentado na figura 2, utilizando pá, enxada, sacolas plásticas, coletou-se um kg de amostra de solo devidamente identificada, as amostras foram entregues para análises químicas e físicas (Areia total (areia grossa e fina), silte e argila) das amostras pelo Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Campus Pato Branco.



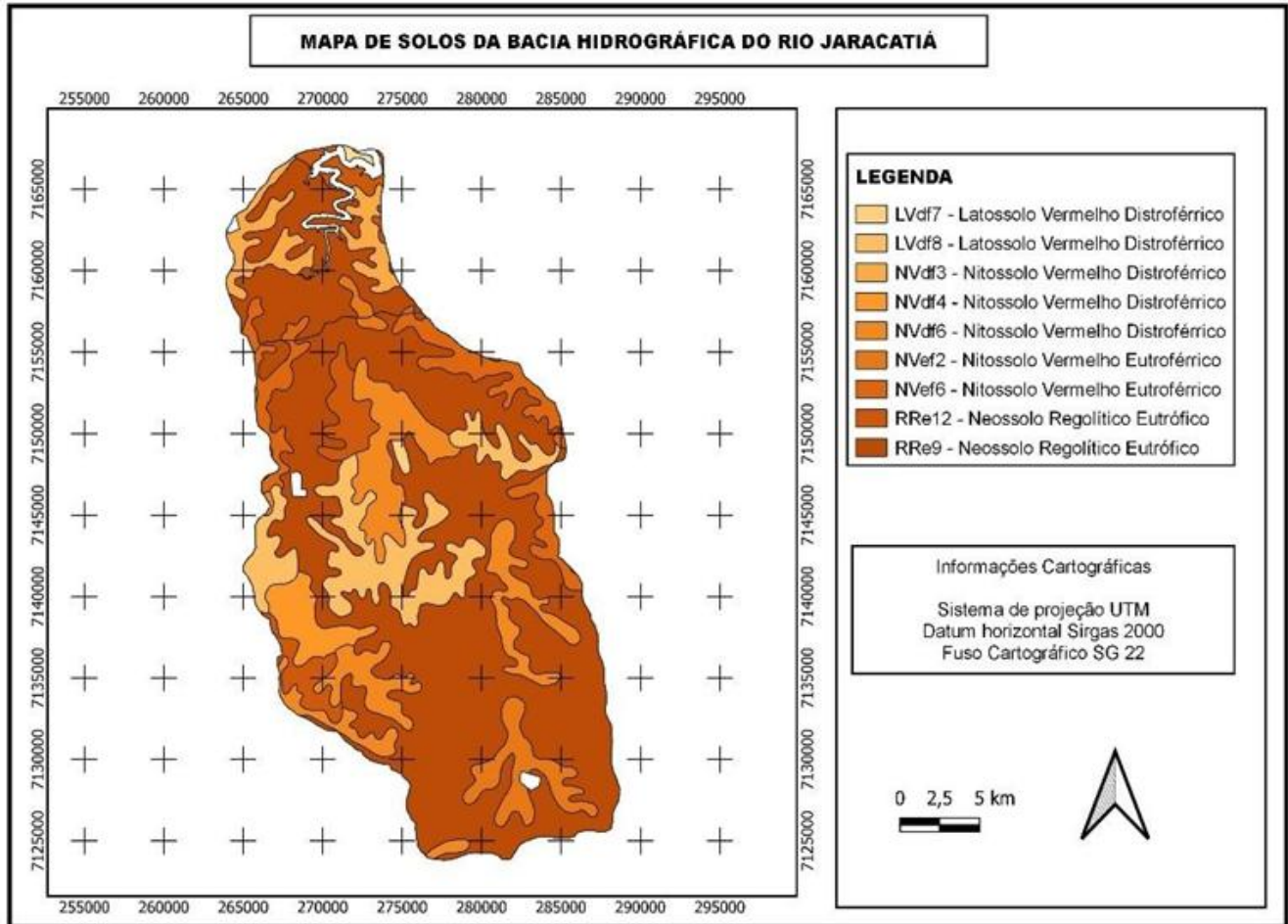
**Figura 2: Pontos de solo coletados ao longo da bacia.**





### Resultados e discussão

Utilizando o software QGIS e o mapa de solos da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo foi possível identificar os tipos de solos no perímetro da bacia, como representados na figura 3, onde foram identificados Latossolos, Nitossolos e Neossolos. Os solos encontrados na região da bacia, são solos que possuem alto potencial de uso agrícola, de acordo com o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná as três principais culturas paranaenses no ano de 2022 foram soja, milho e trigo, o estado é o segundo maior produtor nacional de milho e a soja é a mais cultivada do Estado o Paraná alcançando a terceira maior produção nacional (IDR, 2023).



**Figura 3: Tipos de solos encontrados na Bacia.**

Identificou-se os tipos de solo e analisou-se os resultados das 15 amostras coletadas na bacia hidrográfica, após a realização dos cálculos no software Microsoft Excel, utilizando a equação 1, com base nas proporções de areia, silte e argila presentes em cada classe de solo, os valores obtidos estão representados na tabela 1.

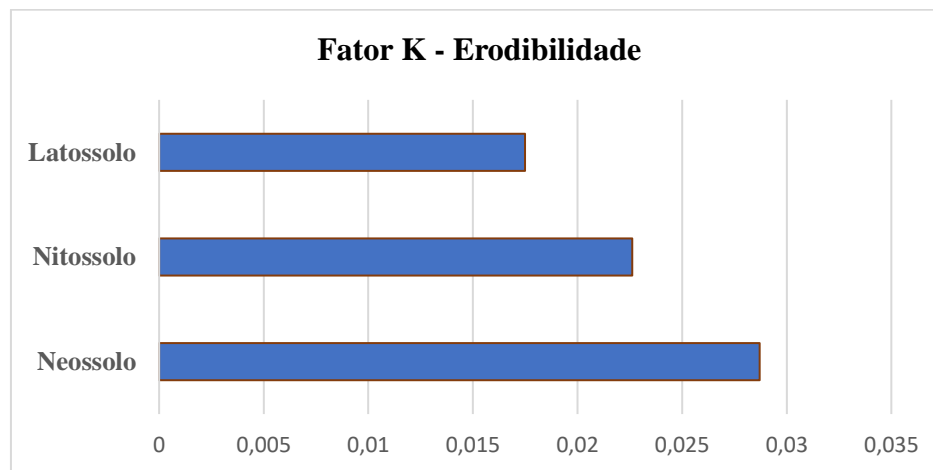
Os resultados da média da erodibilidade estão representados o gráfico 1, para cada tipo de solo encontrado na bacia hidrográfica do Rio Jaracatiá. Observa-se que o Latossolo possui uma menor erodibilidade e o Neossolo uma maior erodibilidade. Os Latossolos acordo com Pereira et. al., (2019) e a Santos et. al., (2022) tem maior infiltração da água, são profundos, boa permeabilidade, estrutura e é muito poroso, apresenta relevo suave e boas condições físicas tem alto potencial para o uso agrícola na produção de grãos, por isso apresentaram uma menor erodibilidade (SANTOS et. al., 2022).

Os Nitossolos são originados de rochas, são solos profundos, bem drenados, são encontrados em relevos suave ondulado a forte ondulado, em áreas mais declivosas, são mais suscetíveis aos processos erosivos e possuem alto potencial para uso agrícola e os Neossolos são solos pouco evoluídos variam de solos rasos até profundos e de baixa a alta permeabilidade, são encontrados em áreas de relevo ondulado, montanhoso e plano, apresentam potencial para o uso agrícola são mais arenosos e tem baixa retenção de umidade, por serem mais arenosos e estarem em relevo mais ondulado possuem são suscetíveis a erosão conforme encontrado nos resultados (SANTOS et. al., 2022).



**Tabela 1: Resultado de Erodibilidade do solo**

Amostra Solo	Tipo	MO%	Argila %	Silte%	Areia Fina%	Areia Grossa%	Fator K
S01	Nitossolo	3,619	62	31,6	1,7	4,6	0.02507
S02	Nitossolo	2,543	55	38,4	2,1	4,5	0.02922
S03	Nitossolo	3,619	64	27,9	1,2	6,9	0.02260
S04	Neossolo	3,351	58	32,7	2,5	6,8	0.02570
S05	Neossolo	3,753	54	37,8	2,0	6,2	0.02860
S06	Nitossolo	2,68	57	34,1	1,9	7,0	0.02171
S07	Latossolo	3,753	71	23,8	1,6	3,5	0.01716
S08	Latossolo	2,01	72	21,4	2,6	4,0	0.01641
S09	Latossolo	4,021	79	18,3	1,1	1,6	0.02006
S10	Nitossolo	3,887	77	17,1	3,2	2,6	0.01989
S11	Neossolo	2,68	53	42,3	1,9	2,8	0.03181
S12	Nitossolo	3,083	71	23,8	1,7	3,6	0.01717
S13	Latossolo	2,948	80	16,9	1,7	1,4	0.01535
S14	Latossolo	4,691	74	21,8	0,9	3,2	0.01627
S15	Latossolo	3,485	81	16,8	0,9	1,3	0.01968



**Gráfico 1: Média da Erodibilidade do solo.**

Para analisar a erodibilidade foi utilizada a classificação de Manning et al. (2008), em médias de fator K, sendo representados por: Extremamente Alta ( $K > 0,06$ ), muito alta ( $0,045 < K < 0,06$ ), alta ( $0,03 < K < 0,045$ ), média ( $0,015 < K < 0,03$ ), baixa ( $0,009 < K < 0,015$ ) e muito baixa ( $K < 0,009$ ). Os resultados para os solos da bacia hidrográfica do Rio Jaracatiá ficaram entre os valores de 0,017 e 0,028 se enquadrando na erodibilidade média.

### Considerações Finais

Identificou-se os tipos de solos da bacia hidrográfica do Rio Jaracatiá sendo Latossolo, Nitossolo e Neossolo, caracterizou-se cada amostra a partir das análises físicas e cálculos obtendo a erodibilidade, e os ficaram entre os valores de 0,017 e 0,028 se enquadrando na erodibilidade média.

Para que a erodibilidade não evolua são necessárias práticas de manejo conservacionista nas áreas agrícolas em toda a bacia hidrográfica, porque é de fundamental importância para o monitoramento e minimização dos processos de erosão, este estudo é



importante para disponibilizar dados para os gestores dessa unidade hidrográfica para tomada de decisão alinhada à economia, conservação e preservação ambiental.

### Referências Bibliográficas

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. de M., & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728.

Cantarino Toledo, Juliana Aparecida. 2023. Relações entre manejo do solo e erosão hídrica: uma revisão bibliográfica. *Revista Craibeiras de Agroecologia*, [S. l.], v. 8, n. 1.

Cunha, J. E. B. L., Taveira, I. M. L. M., Rufino, I. A. A., & Alcântra, H. M. 2014. Dinâmica Sazonal da Cobertura do Solo em uma Região Semiárida e seus Impactos no Ciclo Hidrológico. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19 n. 2, p. 197-207.

Guerra, J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M. 2009. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. *Bertrand Brasil*. 4ª ed. Rio de Janeiro.

Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR). 2023. Publicado em 17 de agosto de 2023. Disponível em: <<https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/Parana-lidera-producao-nacional-de-mandioca-com-finalidade-industrial>>. Acesso em: 05 de abril de 2024.

Machado, P. L. O. A.; Wadt, P.G. Boas práticas agrícolas: Terraceamento. Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/13599347/ID01.pdf>>. Acesso em: 05 de abril de 2024.

Mannigel, A. R., e Carvalho, M. de P., Moreti, D., & Medeiros, L. da R. 2008. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, n. 24, p. 1335-1340.

Nascimento, D. T. F., de Araújo Romão, P., & Sales, M. M. 2018. Erosividade e erodibilidade ao longo de dutovia cortando os estados de Minas Gerais e Goiás-Brasil. *Ateliê Geográfico*, v.12 n. 1, p. 97-117.

Pereira, M. G., dos Anjos, L. H. C., Pinheiro Junior, C. R., Pinto, L. D. S., da Silva Neto, E. C., & Fontana, A. 2019. Formação e caracterização de solos.

Pinheiro, R. J. B., Nummer, A. V., Fernandes, L. P., & Bastos, C. A. B. 2022. Erodibilidade obtida por métodos indiretos e diretos de uma voçoroca localizada na região oeste do estado do Rio Grande do Sul-Brasil. *Geotecnia*, n. 154, p. 25-46.

Rubira, F. G., de Melo, G. D. V., & de Oliveira, F. K. S. 2016. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. *Revista de Geografia (Recife)*, v.33, n. 1.

Rubira, F. G., de Melo, G. D. V., & de Oliveira, F. K. S. 2016. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. *Revista de Geografia (Recife)*, v.33, n. 1.

SANTOS, H. G., ZARONI, M. J., CLEMENTE, E. P. 2022. Solos Tropicais. Embrapa Solos, Curitiba. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs>>. Acesso em: 05 de abril de 2024.

SCHIMITZ, Luiz Antonio. 2017. Proteção de fontes de água em unidades de produção e vida familiares (UPVFS) no Sudoeste do Paraná: uma análise das ações desenvolvidas pela ACESI/STR, GETERR/UNIOESTE e EMATER-PR. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão. 258 f.

Silva, L. M., Oliveira, G. O. B., do Nascimento, R. S., Dalla Roza, A. E., Crispim, F. A., Gouveia, F. P., & de Alencar Junior, J. A. (2021). 2021. Avaliações diretas e indiretas da erodibilidade de solos do reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí. *Revista de Geociências do Nordeste*. p. 215-229.

TOMAZONI, Júlio Caetano. 2003. Morfodinâmica e transporte fluvial no Sudoeste do Estado do Paraná por método de levantamento de microbacias hidrográficas através de geoprocessamento. Tese de Doutorado em Geologia – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 279 f.

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*. Nº. 537.





# ANÁLISE DO IMPACTO DE VOÇOROCAS NO BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO TAMBAÚ/RIO VERDE

1Amanda Jorge da Cunha Krüger Piovesan, 2Geraldo de Freitas Maciel, 3Fabiana de Oliveira Ferreira, 4Laine Garcia Ferreira

1 Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, e-mail: amanda.piovesan@unesp.br; 2 Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, e-mail: geraldo.f.macieli@unesp.br; 3 Universidade Federal do ABC, e-mail: fabiana.ferreira@ufabc.edu.br, 4 Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, laine.g.ferreira@gmail.com

**Palavras-chave:** Voçoroca; MGB; Curva de Budyko.

## Resumo

O objetivo deste artigo é analisar a interação entre águas superficiais e subterrâneas na Bacia Rio Tambaú/Rio Verde, em São Paulo, e seus impactos na disponibilidade hídrica da região. A metodologia empregada será nas vertentes numérica e teórica, usando o Modelo de Grandes Bacias (MGB) e a Curva de Budyko. Ressalta-se que, devido à complexidade das interações entre águas superficiais e subterrâneas, os diagnósticos atuais não abordam plenamente esses aspectos. Por isso, propõe-se a utilização do Modelo de Grandes Bacias (MGB) e a elaboração da Curva de Budyko para analisar essa interação e seus impactos na disponibilidade hídrica da região. Na primeira etapa, foi realizada a caracterização da área de estudo, destacando o aquífero Tubarão, a topografia de colinas e morros com predominância de latossolo, o clima tropical de altitude e o uso da terra, com destaque para áreas de solo exposto e vegetação. Em seguida, o MGB foi aplicado para simular a geração de vazão na bacia, considerando dados de precipitação, solo, vegetação e relevo. Os resultados da calibração do MGB demonstraram uma boa correlação entre as vazões simuladas e observadas, indicando a utilidade do modelo para estudos de disponibilidade hídrica na região. A análise preliminar da Curva de Budyko revelou que o Ribeirão Lambari está perdendo fluxo de água subterrânea possivelmente devido à proximidade das voçorocas, enquanto o Rio Verde está ganhando água, apesar de se encontrar em estado de criticidade. Esses resultados ressaltam a importância da análise das voçorocas no balanço hídrico e a utilidade da metodologia de Budyko para estudar fluxos entre bacias.

## Introdução

É imprescindível desenvolver métodos para avaliar a disponibilidade de água de forma abrangente, garantindo um fornecimento seguro. A água na natureza circula entre componentes como água subterrânea e superficial, variando conforme as condições ambientais da região, mas mantendo uma ligação indissociável entre esses recursos. Para melhorar o gerenciamento hídrico, é fundamental adotar uma abordagem integrada dos recursos hídricos, conforme estabelecido pela Lei nº 9.433/97.

No Brasil, mas principalmente no Estado de São Paulo, algumas bacias estão em estado crítico, de acordo com a Lei Estadual nº 9.034 de 27/12/94 – Plano Estadual de Recursos Hídricos, porém os diagnósticos atuais não preveem os impactos dos usos na interferência entre águas superficiais e subterrâneas, ou seja, não consideram a influência de um fluxo no outro, mesmo que as águas estejam interligadas e em constante interação. Por exemplo, a Bacia Rio Tambaú/Rio Verde, em São Paulo, que é crucial para o desenvolvimento regional, mas enfrenta desafios de disponibilidade hídrica possivelmente devido à alta densidade de voçorocas em áreas como no município de Casa Branca. Embora haja estudos sobre essas erosões, ainda não se avaliou completamente seu impacto no regime hidrológico da bacia (Stefani, 2000; Amaral, 2014; Somekh, 2018; Almeida Filho et al. 2021).

Um dos métodos para analisar essa interação baseia-se em simular a geração de vazão na bacia, por meio de dados de precipitação e quantificar essa contribuição sobre o escoamento do rio, além de considerar dados relacionados ao tipo do solo e uso e ocupação da terra (Silva, 2007).

Diante do estado de criticidade da Bacia Rio Tambaú/Rio Verde e a constatação do grande número de voçorocas na região por meio da ferramenta Google Earth Pro e pelo levantamento bibliográfico, propõe-se utilizar o Modelo de Grandes Bacias (MGB) para a analisar a interação entre água subterrânea e superficial, e verificar se há possibilidade de a bacia estar sofrendo redução de fluxo devido às voçorocas. Além disso, propõe-se também elaborar a curva de Budyko, que poderá ser utilizada como ferramenta útil para a

gestão de recursos hídricos da região em estudo, uma vez que possibilita analisar os fluxos de inter-bacias do Rio Pardo e sua influência na Bacia Rio Tambaú/Rio Verde.

## Material e Métodos

Esta seção apresenta as fases e procedimentos desenvolvidos para a elaboração deste estudo e foi dividido em três etapas principais, sendo elas: caracterização da área de estudo, procedimentos para o modelo MGB e elaboração da Curva de Budyko.

A primeira etapa consiste na caracterização da área de estudo, a bacia hidrográfica do Rio Tambaú/Rio Verde que está inserida na bacia do Rio Pardo, Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 4 - UGRHI 4, localizada na região nordeste do estado de São Paulo e sudeste da Bacia do Rio Pardo. Integram essa bacia hidrográfica os municípios de Casa Branca, Tambaú, Itobi e Vargem Grande do Sul, onde se encontram as suas nascentes (CBH PARDO, 2017).



Na região, o principal reservatório subterrâneo é o aquífero Tubarão, caracterizado pelo movimento da água entre os espaços dos sedimentos clásticos, predominantemente compostos por rochas sedimentares (Oda et al., 2017). A topografia é marcada por colinas e morros, predominantemente com latossolo, que se destaca pela sua grande espessura e boa drenagem, favorecendo a agricultura (CBH PARDO, 2017).

Quanto ao clima, a bacia é em sua maioria classificada como "Cwa" (clima tropical de altitude) por Köppen, caracterizada por invernos secos e verões quentes. A média anual de precipitação varia de 1.400 a 1.500 mm (CBH PARDO, 2017). Quanto ao uso da terra, a maior parte é de solo exposto, cobrindo 67,48% da área, seguida por vegetação, que representa 18,45% e inclui tanto a vegetação rasteira quanto as áreas de preservação.

A segunda etapa compreende a utilização do modelo hidrológico MGB, desde a seleção dos dados de entrada, simulação e calibração do modelo.

O MGB é um modelo distribuído que considera a bacia hidrográfica como composta por múltiplas sub-bacias, modeladas individualmente através de um processo de discretização. Cada sub-bacia engloba diversos elementos como solo, vegetação, relevo e geologia, influenciando o comportamento hidrológico da bacia (Collischonn et al., 2020). Ele foi integrado ao software Quantum GIS (QGIS) versão 3.18, um Sistema de Informações Geográficas (SIG) de código aberto, essencial para visualização, criação, edição e análise de imagens georreferenciadas.

Para a bacia hidrográfica do Rio Tambaú/Rio Verde, o MGB foi aplicado, utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido da plataforma NASADEM com resolução de 30 metros. As Unidades de Resposta Hidrológica (URHs) foram delimitadas com base na combinação de tipos de solo e uso da terra, utilizando mapas do QGIS e da plataforma do DATAGEO, respectivamente.

Os dados climáticos diários foram obtidos de estações meteorológicas do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e interpolados para cada minibacia. Dados pluviométricos foram adquiridos do portal HidroWeb. Os dados de vazão observada foram obtidos do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), com apenas dois postos pluviométricos identificados na bacia do Rio Verde.

O MGB passa por duas etapas principais: pré-processamento, onde são definidas as características físicas da bacia, e processamento final. Na fase de pré-processamento, o MGB divide a área da bacia em minibacias e define a rede de drenagem. Na etapa subsequente, são calculados os processos hidrológicos verticais em cada URH em cada minibacia, representados pela Equação 1:

$$W_{i,j}^k = W_{i,j}^{k-1} + (P_{i,j} - E_{i,j} - Dsup_{i,j} - Dint_{i,j} - Dbas_{i,j} + Dcap_{i,j}) * \Delta t \quad (1)$$

Onde  $\Delta t$  (dias) é o tamanho do intervalo de tempo,  $W_{i,j}^k$  (mm) é a lâmina de água armazenada no solo ao final do intervalo de tempo,  $W_{i,j}^{k-1}$  (mm) é a lâmina de água armazenada no início do intervalo de tempo,  $P_{i,j}$  (mm.dia<sup>-1</sup>) é a precipitação menos a interceptação ao longo do intervalo de tempo,  $E_{i,j}$  (mm.dia<sup>-1</sup>) é a evapotranspiração da água do solo ao longo do intervalo de tempo,  $Dsup_{i,j}$  (mm.dia<sup>-1</sup>) é o fluxo de escoamento superficial ao longo do intervalo de tempo,  $Dint_{i,j}$  (mm.dia<sup>-1</sup>) é o fluxo de escoamento subsuperficial ao longo do intervalo de tempo,  $Dbas_{i,j}$  (mm.dia<sup>-1</sup>) é a percolação do solo para o aquífero ao longo do intervalo de tempo,  $Dinf_{i,j}$  (mm.dia<sup>-1</sup>) é o fluxo de infiltração e  $Dcap_{i,j}$  (mm.dia<sup>-1</sup>) é o fluxo de água ascendente do aquífero para o solo.

Na fase de processamento final, os processos hidrológicos horizontais dentro de cada minibacia são considerados, seguidos pelo escoamento na rede de drenagem. Por fim, na etapa de calibração os parâmetros do solo podem ser alterados para cada URH e sub-bacia, enquanto os parâmetros da vegetação não são calibráveis devido à sua pequena influência sobre o modelo (Collischonn et al., 2020).

Finalmente, a última etapa corresponde à elaboração da Curva de Budyko que parte do princípio do equilíbrio hidrológico, onde a entrada de água (precipitação) é igual à saída (evapotranspiração e escoamento superficial). Essa teoria utiliza um modelo matemático que simplifica a homogeneidade da bacia, relacionando a precipitação e a evapotranspiração com fatores ambientais. Em cenários extremos, como áreas extremamente áridas ou úmidas, a evapotranspiração é influenciada pelo índice de aridez (Otsuki, 2015). Durante longos períodos, os fluxos de águas subterrâneas não são considerados, permitindo uma simplificação desse balanço, onde assumi-se que o armazenamento de água na bacia é desprezível. Budyko derivou uma relação entre a evapotranspiração e o índice de aridez, identificando áreas onde a evapotranspiração é limitada principalmente pela disponibilidade de energia ou pela precipitação e dessa forma, propôs uma relação funcional entre a evapotranspiração atual (ET) e o índice de aridez ( $\Phi$ ), conforme a equação 2:

$$\frac{ET}{P} = \left[ \phi * \tanh\left(\frac{1}{\phi}\right) * (1 - \exp(-\phi)) \right]^{0,5} \quad (2)$$

Onde: ET representa a taxa de evapotranspiração (m<sup>3</sup>/s), P é o volume precipitado (m<sup>3</sup>/s) e  $\Phi$  representa o índice de aridez.

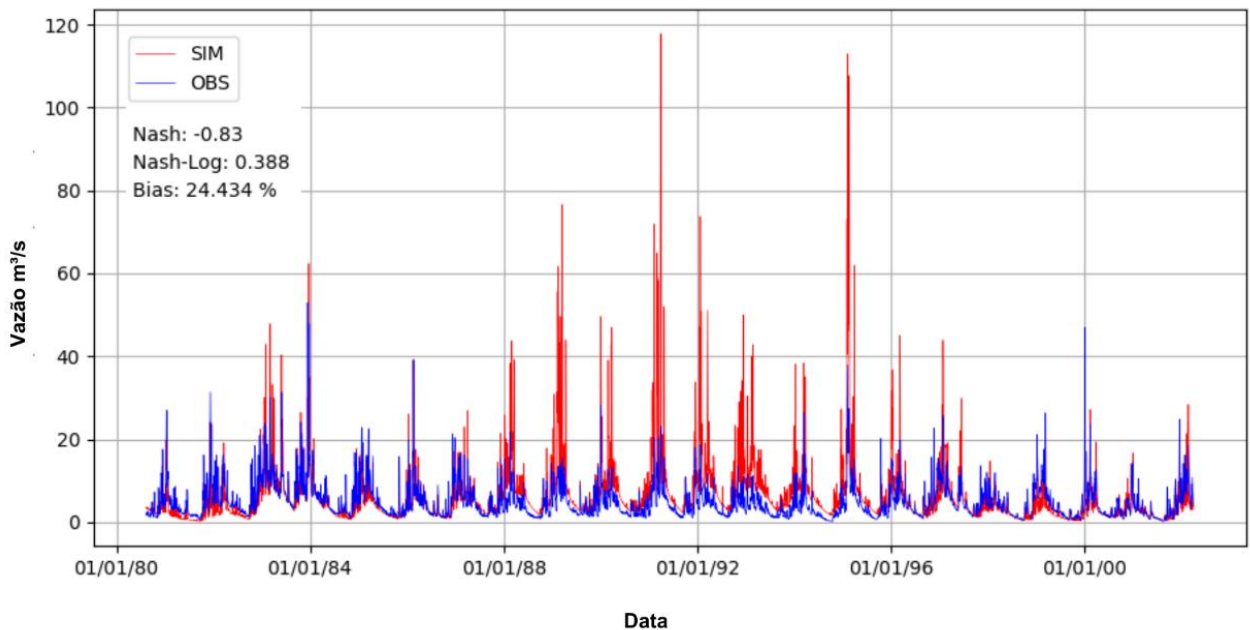
## Resultados e Discussão

Esta seção apresenta os resultados da calibração e interpretação dos parâmetros de entrar no modelo MGB para a bacia do Rio Tambaú/Rio Verde, assim como os resultados e análises acerca da Curva de Budyko.

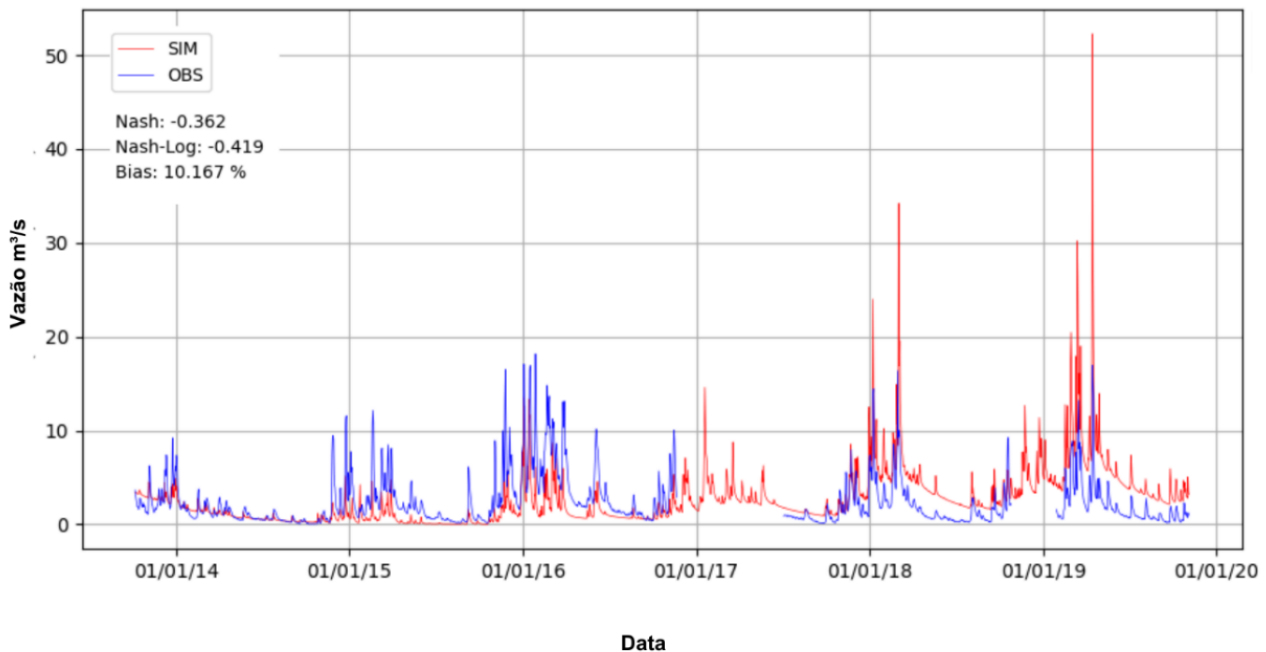


### Modelo MGB

Para avaliar a qualidade da calibração e validação do modelo hidrológico três índices estatísticos são utilizados: Nash-Sutcliffe (NS) e Nash-Sutcliffe logaritimizado (NSlog), que avaliam o ajuste para picos e recessões de vazões, e o Percentual de Tendência (PBIAS), que examina a tendência média dos dados simulados em relação aos observados. Valores superiores a 0,75 para NS e NSlog são considerados bons, entre 0,36 e 0,75, aceitáveis. Quanto ao PBIAS,  $|PBIAS| < 10\%$  é muito bom;  $10\% < |PBIAS| < 15\%$ , bom;  $15\% < |PBIAS| < 25\%$ , satisfatório; e  $|PBIAS| > 25\%$ , insatisfatório, onde PBIAS positivo/negativo indica, respectivamente, superestimação/subestimação do fluxo simulado. A Figura 1 mostra os hidrogramas simulados e observados para as etapas de calibração e validação.



(a)

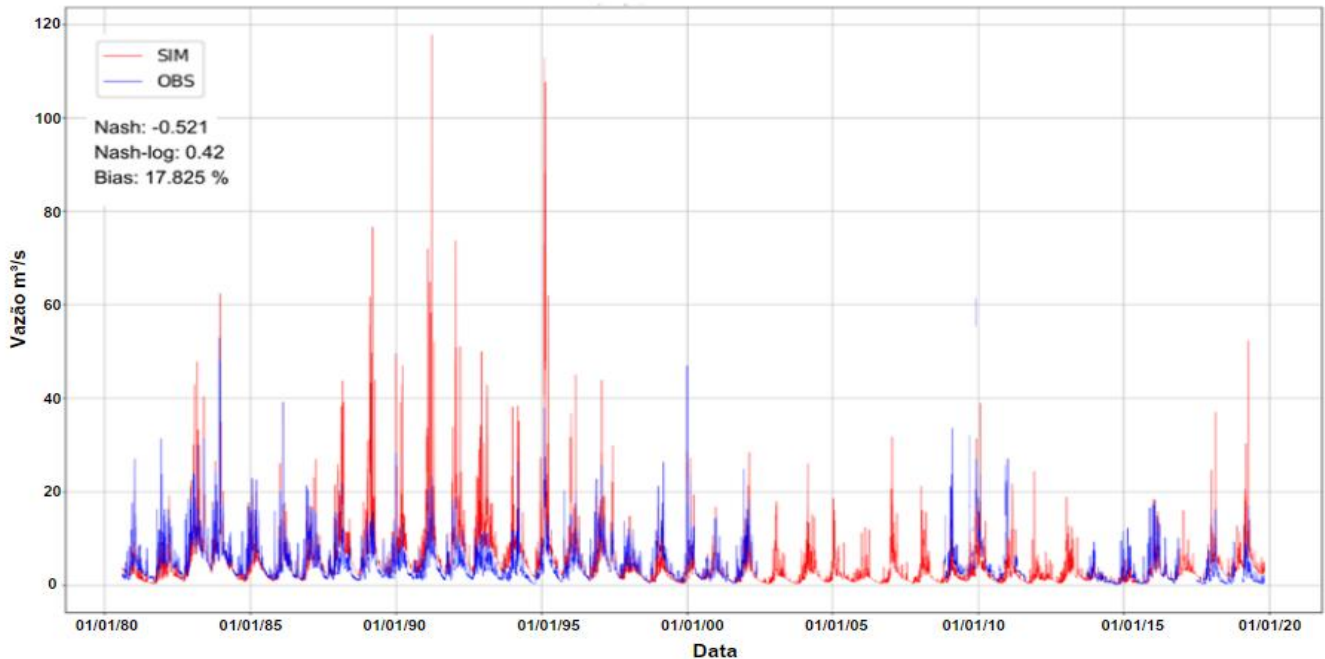


(b)

**Figura 1 - (a) Vazão observada e simulada no período de calibração, (b) Vazão observada e simulada no período de validação.**



Ao examinar a Figura 1, nota-se o sucesso da simulação, conforme os parâmetros dos índices estatísticos. Os hidrogramas simulados apresentam padrões semelhantes aos observados, embora em certos momentos as vazões observadas exibam picos, possivelmente relacionados a eventos extremos de chuva. Durante a calibração, foram priorizados os índices de Nash-Log e PBIAS, considerando que, para este estudo, as vazões mínimas e médias têm maior relevância do que os picos. A partir disso, os parâmetros do modelo calibrado/validado foram aplicados para simular o período de 1980 a 2020, conforme destacado na Figura 2.



**Figura 2 - Simulação da vazão em 40 anos.**

Verifica-se que as vazões simuladas superestimaram às observadas, sendo mais evidentes nos picos ocorridos entre os anos de 1988 e 1995. Apesar disso, a correlação entre as vazões pode ser considerada positiva. É importante mencionar que as vazões observadas exibem falhas notáveis no período entre 2003 e 2008.

### Curva de Budyko

Devido às inúmeras falhas nas séries históricas com dados de vazão, evapotranspiração e precipitação, os estudos iniciais da Curva de Budyko levaram em conta um período de apenas três anos (2016, 2017, 2018). A Figura 3 apresenta o resultado iniciais da curva para as bacias do Ribeirão Lambari, Rio Verde e Rio Pardo.

A Curva de Budyko, que correlaciona o coeficiente de escoamento ( $Q_{obs}/P$ ) com o índice de aridez ( $E_0/P$ ), possibilitou a análise do comportamento das bacias ao longo do tempo. Na análise, o Ribeirão Lambari apresentou proximidade com a linha de energia em 2017 e 2018, ultrapassando-a em 2019, sugerindo possíveis perdas de água subterrânea para bacias vizinhas, atribuídas às voçorocas presentes no município de Casa Branca que está próxima ao corpo hídrico ou à geologia sedimentar onde a percolação da chuva no solo sofre amortecimento, resultando em uma vazão de base mais lenta em direção ao curso d'água. O Rio Verde, por sua vez, permaneceu acima da linha limite de água nos três anos, indicando que sua evapotranspiração é determinada pela energia disponível, não pela falta de água para evaporar, apresentando um possível ganho de água. Já o Rio Pardo mostrou um equilíbrio próximo à Curva de Budyko em 2018, evidenciando um equilíbrio entre o volume precipitado, escoado e evaporado. Vale ressaltar que o posto fluviométrico, de onde foram obtidos os dados de vazão observada, está localizado à jusante da Usina Hidrelétrica Limoeiro, ocasionando uma provável regularização da vazão. Além disso, o principal tipo de solo encontrado na região é o latossolo vermelho, que possui como principal característica a boa capacidade de drenagem e por consequência, um bom armazenamento de água.

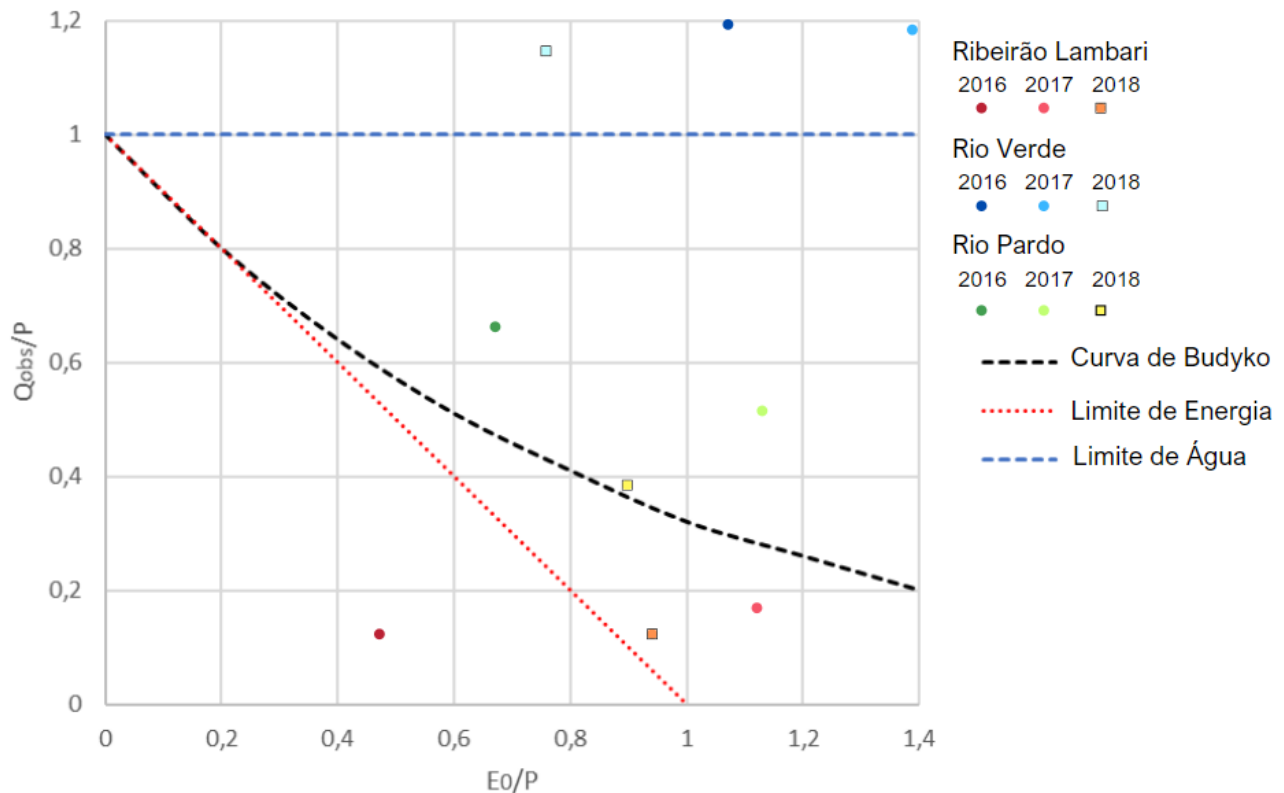


Figura 7 – Curva de Budyko demonstrando o comportamento do interfluxo do Ribeirão Lambari, Rio Verde e Rio Pardo.

### Considerações Finais

A pesquisa foi dividida em duas fases distintas. Inicialmente, modelou-se a bacia hidrográfica do Rio Tambaú/Rio Verde usando o modelo MGB, seguido pela elaboração da curva de Budyko para analisar o fluxo de águas subterrâneas nas bacias do Rio Pardo, Rio Verde e Ribeirão Lambari. Ambas as fases exigiram um levantamento inicial de dados, revelando falhas consideráveis e, em alguns casos, ausência completa de séries de dados de vazão.

Na calibração do MGB, o parâmetro mais influente foi a capacidade de armazenamento de água no solo ( $W_m$ ), variando entre 500 a 1500 mm para atender aos índices estatísticos apresentados. Com uma boa correlação entre as vazões simuladas pelo MGB e as vazões observadas no posto fluviométrico, os resultados da modelagem calibrada podem ser usados para estudos sobre a disponibilidade hídrica na bacia do Rio Tambaú/Rio Verde. A probabilidade de ocorrência de vazões inferiores a 5 m<sup>3</sup>/s foi estimada em mais de 60% para a série de dados de 40 anos.

Quanto à curva de Budyko, concluiu-se que o Ribeirão Lambari está perdendo fluxo de água subterrânea, possivelmente devido à proximidade das voçorocas em Casa Branca. Por outro lado, a bacia do Rio Verde está ganhando água, contradizendo a expectativa de uma redução no fluxo devido ao deságue do Ribeirão Lambari. Como resultado, determinou-se que o Rio Verde não está perdendo água devido às voçorocas, pois recebe de outro afluente uma vazão maior do que perde no Ribeirão Lambari.

Este estudo destacou a importância da análise do impacto das voçorocas no balanço hídrico, uma área ainda pouco explorada. Da mesma forma, a metodologia de Budyko para análise do fluxo de águas subterrâneas precisa de estudos mais detalhados, sendo uma ferramenta importante para analisar esses fluxos entre bacias adjacentes.

### Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015 pelo apoio técnico científico.

### Referências Bibliográficas

Almeida Filho, G. S. 2014. Uso das Terminologias de Processos Erosivos Lineares dos Tipos Ravina e Voçoroca. Revista Geonorte, Manaus, v. 10, n. 1, p.693- 699.

Amaral, A. M. C. 2014. Zoneamento Geoambiental do Município de Casa Branca (SP). Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP.



Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Brasil). Insolação, Pressão Atmosférica, Temperatura Média, Umidade Relativa e Vento.

Brasil. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União. Brasília, DF, p. 470-474, 09 jan. 1997.

Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO, 2020. Condições meteorológicas e agrometeorológicas no Estado de São Paulo. Campinas.

Collischon, W.; Gama, C; Siqueira, V.; Paiva, R.; Fleischmann, A. 2020. Apostila 02. Curso de Capacitação Tecnológica para Aplicações e Desenvolvimento.

Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – CBH PARDO. 2017. São Paulo. Plano de bacia hidrográfica 2018-2027.

Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE (São Paulo). Séries Históricas: Banco de Dados Hidrológicos BDH (Estações: 3C-012 e 4C-012), São Paulo: DAEE

Instituto Geológico – IG, 2007. Unidades Aquíferas, São Paulo: DATAGEO. 1 plano de informação vetorial das unidades aquíferas.

National Aeronautics and Space Administration - NASA (Estados Unidos). Casa Branca, Itobi, São José do Rio Pardo, São Sebastião da Gramma e Vargem Grande do Sul, São Paulo. The United States: NASA's Earthdata Search. 1 digital elevation model New Digital Elevation Model of Shuttle Radar Topography Mission – NASADEM. Lat. -22.41, Long. -47.60 e Lat. -21.35, Long. -46.52.

Open Source Geospatial Foundation - OSGEO. Quantum GIS – QGIS. Versão 3.10.

Otsuki, R. G. 2015. Estimativa de Séries Anuais de Evapotranspiração Real e Vazão em Bacias sem Monitoramento fluviométrico com Base nas Hipóteses de Budyko. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-170/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

São Paulo. Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH. São Paulo: Assembleia Legislativa, 1994.

Silva F. C. 2007 Análise Integrada de Usos da Água Superficial e Subterrânea em Macro-Escala numa Bacia Hidrográfica: O Caso do Alto Rio Paranaíba. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre - Rio Grande do Sul.

Somekh, Z. M. G. 2018. Estudo evolutivo de três voçorocas urbanas em Casa Branca (SP). Trabalho de Graduação Integrado. Orientador Prof. Dr. Luis Antonio Bittar Venturi, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo.

Sefani F. L. 2000. Zoneamento geoambiental da região de Casa Branca/SP. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Inpe, São José dos Campos-SP.





## AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE ENZIMAS BIOCATALISADORAS NA ERODIBILIDADE DO SOLO

1Bruna Ziolle, 2Raul Andrade de Assis, 3Mariana Ferreira Benessiuti Motta

1 Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá-UNESP, e-mail: bruna.ziolle@unesp.br; 2 Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá-UNESP, e-mail: raul.andrade@unesp.br; 3 Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá-UNESP, e-mail: mariana.motta@unesp.br

**Palavras-chave:** Erosão; Estabilização de solos; Aparelho de Inderbitzen.

### Resumo

A construção de estradas não pavimentadas é uma realidade em grande parte do Brasil, ocupando 78,5% da malha total. A erosão nessas construções impacta a vida útil das estradas, a segurança dos usuários e o ecossistema local. A estabilização química com biocatalisadores emerge então como alternativa economicamente vantajosa, reduzindo o impacto ambiental. Este estudo adota a metodologia de Inderbitzen para analisar como as bioenzimas estabilizantes, nas dosagens de 1/8 e 1/30 (expresso em L de aditivo para m<sup>3</sup> de solo), com tempos de cura de 7 e 28 dias e teor de umidade ótimo, afetam os parâmetros de estabilidade do solo, quando comparado ao solo natural, do bairro Pingo de Ouro, em Guaratinguetá, com o objetivo de mitigar a erosão e aprimorar a qualidade das estradas não pavimentadas. Para a rampa de Inderbitzen foi utilizada uma vazão de 0,003 m<sup>3</sup>/min durante um período de 10 minutos para inclinações de 20° e 45°, de forma que o material erodido das amostras fosse coletado em tempos pré-determinados. Os resultados revelaram que ambas as dosagens do agente melhoraram os parâmetros de erodibilidade do solo, onde o tempo de cura de 28 dias demonstrou maior eficácia.

### Introdução

As estradas são vetores do desenvolvimento e cumprem importante papel socioeconômico, proporcionando facilidade ao comércio, turismo, apoio ao acesso de recursos naturais e transporte de mercadorias e pessoas (SIDLE et al., 2014). No entanto, a construção de grandes rodovias pavimentadas não é uma realidade em diversas localidades do país, sendo necessária a adoção de trechos não pavimentados para exercer as necessidades de deslocamento antrópicas. Em 2021 dados da Confederação Nacional de Transportes apontam que 78,5% da malha rodoviária brasileira não é pavimentada, o equivalente a aproximadamente 1.350.100 quilômetros de extensão (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2022).

Dessa forma, faz-se importante entender as complicações e cuidados especiais atribuídos a esse tipo de construção não pavimentada. Dentre esses, a erosão ganha destaque, por impactar não somente no tempo de vida útil da obra entregue, mas também interferir diretamente na segurança dos usuários (LI et al., 2019; LIU et al., 2014) e nos ecossistemas ao redor (WEMPLE et al., 2017).

Carvalho et al. (2006) caracterizam a erosão como o conjunto de fenômenos naturais que envolvem materiais oriundos da decomposição e desagregação das rochas e dos solos. O processo ocorre na camada mais superficial da terra, recebendo assim impacto direto de agentes climáticos e da ação do homem. Ademais, a literatura indica que corredores rodoviários não pavimentados estão mais suscetíveis a ações de intempéries, como vento e chuva (BAESSO; GONÇALVES, 2003; BERTONI; LOMBARDI, 1999), culminando no aumento do fluxo superficial (LUCE, 2002; RAMOS-SCHARRÓN; MACDONALD, 2007) e no carregamento de sedimentos a corpos de água (ARAÚJO et al., 2014; RAMOS-SCHARRÓN, 2012). Tais fenômenos ocorrem pela oferta de grandes superfícies planas e compactas, de elevada densidade, mas sem complexos mecanismos de drenagem, que funcionam como direcionadores de todo o fluxo pluvial aos corpos hídricos existentes. Desse modo o volume de sedimentos produzidos depende da erodibilidade do solo, nível de tráfego, sistema de drenagem, geometria da estrada, cobertura vegetal, dentre outros fatores (FU et al., 2010). Basta então, aprimorar as propriedades de um, ou mais, desses princípios para suavizar os efeitos do carregamento pelo fluxo.

Um dos melhoramentos disponíveis para o substrato é a estabilização química, a qual busca melhorar a estabilização volumétrica, a resistência mecânica e o comportamento tensão-deformação por meio da inserção de aditivos, sendo os métodos mais comuns, a cal e o cimento. No entanto, nem sempre são requeridos os altos padrões de resistência dados ao solo através destes dois métodos, abrindo assim a possibilidade da utilização de produtos mais baratos e ecologicamente mais adequados, como são os biocatalisadores.

Estes aditivos oferecem diversas vantagens em relação aos métodos convencionais. Uma delas é a redução no uso de produtos sintéticos, que muitas vezes são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. Ao utilizar substâncias naturais, esses produtos são capazes de diminuir o impacto ambiental proveniente do processo de estabilização, tornando-o mais sustentável. Outro ponto positivo é a potencialização do benefício econômico, uma vez que esses insumos naturais podem ser produzidos em larga escala com baixo custo de produção agregado (RAMAJI, 2012).

Dessa forma, com o intuito de contribuir para o desenvolvimento da literatura específica, este estudo propõe-se a avaliar os parâmetros de erodibilidade, a partir dos ensaios de Inderbitzen, em um solo estabilizado quimicamente com biocatalisador concentrado EMC Squared, a fim de identificar a condição ideal de tempo de cura e dosagem do produto, com o potencial de promover um impacto positivo nos testes de erodibilidade de um solo em Guaratinguetá, São Paulo.



### Materiais e Métodos

O solo utilizado para o presente trabalho foi retirado da região periférica da cidade de Guaratinguetá, no interior do estado de São Paulo, Brasil. A caracterização geotécnica, para melhor compreensão do fenômeno da erodibilidade, foi estudada por Pereira (2022), apresentada de forma resumida na Tabela 1.

**Tabela 1: Caracterização física do solo estudado**

Propriedade	Unidade	Valor
Densidade Relativa dos Grãos	-	2,744
Limite de Liquidez	%	50,0
Limite de Plasticidade	%	33,2
Índice de Plasticidade	%	16,8
Pedregulho	%	5,6
Areia	%	31,6
Silte	%	6,9
Argila	%	55,9
Classificação USCS	-	ML
Classificação ABNT	-	Argila Arenosa
Índice de Atividade Coloidal	-	0,30 (Baixa atividade)
Teor de Matéria Orgânica	%	0,72

Fonte: Pereira, 2022

De posse desses dados, Pereira (2022) aferiu que os ensaios de avaliação qualitativa da erodibilidade para a amostra da área de estudo apresentaram classificações diretas que associam o solo com um grau de média a média-alta susceptibilidade à erosão hídrica.

A enzima, denominada EMC Squared, foi utilizada na estabilização do solo. Segundo o fabricante, o produto apresenta-se na forma de líquido super concentrado, solúvel em água, não tóxico, biodegradável, não inflamável e não corrosivo, formulado com o objetivo de estabilizar os materiais terrosos (BASE FORTE, 2022).

As enzimas presentes neste biocatalisador quando entram em contato com o solo e água, realizam reações de catálise, gerando produtos que encapsulam as partículas minerais, promovendo a cimentação. Entretanto, o aumento da resistência só ocorre devido a ações secundárias que diminuem a tensão superficial da água, resultando em maior densidade de compactação (ALENCAR; FERREIRA; SEVALHO, 2019).

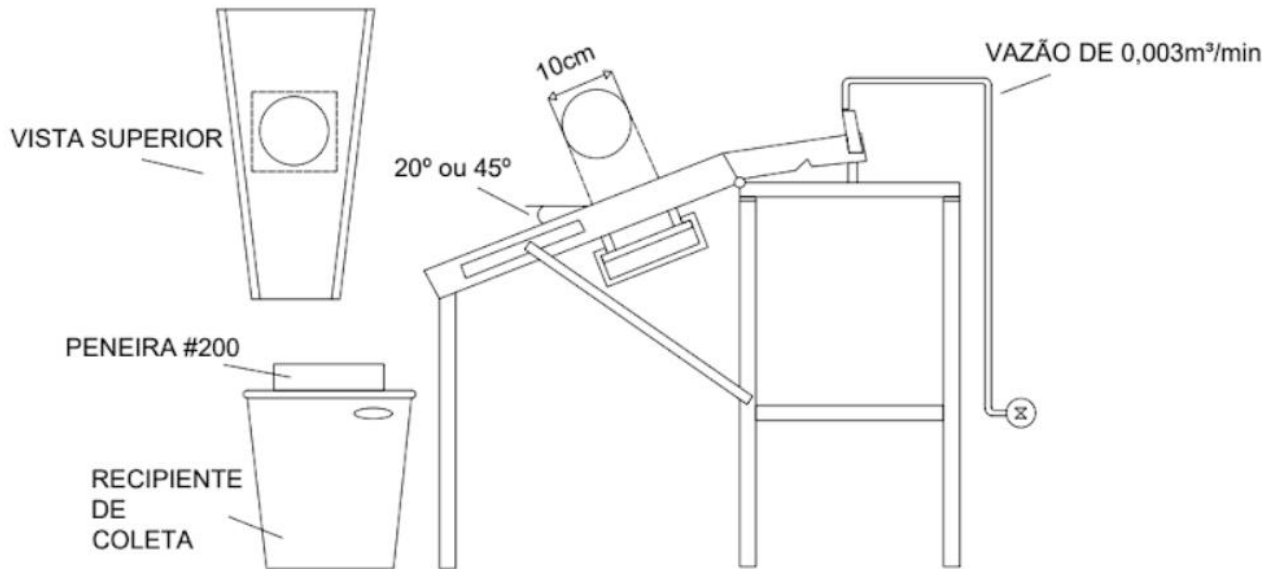
Para montagem das amostras foram estabelecidas duas dosagens do aditivo 1/30, a qual é indicada pelo fabricante, e 1/8 (escolhida com o intuito de compreender o efeito do exagero na dosagem do aditivo), além da análise do solo natural compactado (SN). Essas dosagens são apresentadas em função do aditivo, em L, e do solo em m<sup>3</sup>. A fim de determinar o efeito do aditivo nas amostras foram considerados períodos de cura de 7 e 28 dias, como fizeram Putra et al (2021) e Gbayan et al (2020), respectivamente em seus estudos.

Inicialmente, foi realizado o ensaio de compactação seguindo os procedimentos da ABNT NBR 7182 (2016) para as três dosagens, utilizado a compactação com Proctor Normal. Este ensaio consiste em realizar a compactação diante de uma determinada energia para diferentes condições de umidade, obtendo-se assim a curva de compactação e, conseqüentemente, a umidade ótima do solo ( $w_{ótima}$ ), na qual foram moldados todos os corpos de prova para os ensaios de erodibilidade, nas respectivas massas específicas secas máximas ( $\rho_d \text{ máx}$ ), apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2: Resultados dos ensaios de compactação utilizados para confecção das amostras**

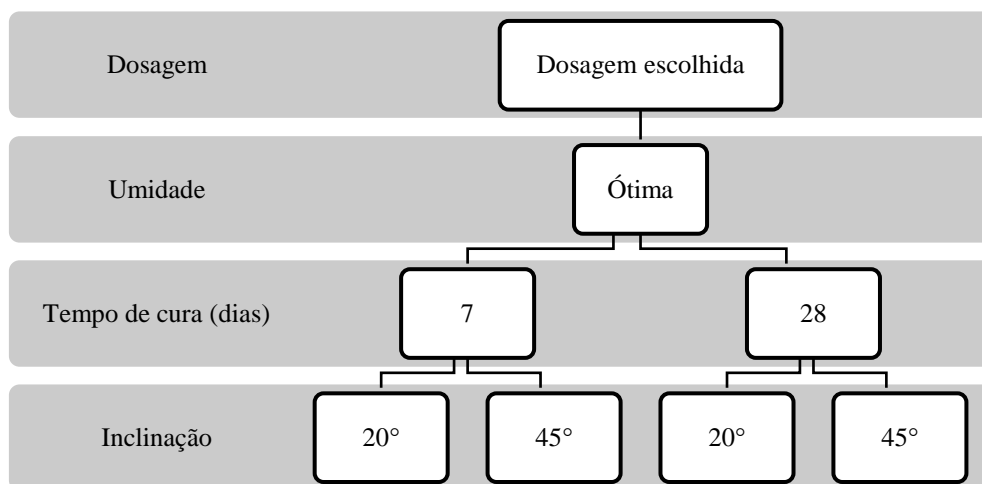
Dosagem	$w_{ótima}$	$\rho_d \text{ máx (g/cm}^3\text{)}$
SN	27,5%	1,40
1/30	26,1%	1,44
1/8	25,5%	1,47

O ensaio de Inderbitzen, proposto em 1961 por Anton L. Inderbitzen, consiste em um canal hidráulico de inclinação variável com um orifício central de 10 cm de diâmetro (Figura 1), onde é colocada a amostra, que tem como objetivo simular o comportamento do solo diante de um fluxo d'água de vazão controlada, permitindo analisar a influência de fatores como vazão, tempo, inclinação e umidade no processo erosivo (MASCARENHA, 2015).



**Figura 1: Esquema do aparelho de Inderbitzen adaptado para esta pesquisa.**

Com o objetivo de verificar o efeito das dosagens, as 10 amostras foram submetidas a parâmetros médios encontrados na literatura: vazão de 0,003 m³/min e inclinação de 20° e 45°, como proposto por Bastos (1999). Para cada inclinação, o corpo de prova ficou submetido a um fluxo de água durante 10 minutos, de forma que o material erodido fosse coletado em períodos pré-determinados de 1, 5 e 10 minutos, visto que segundo pesquisas, a maior taxa de erodibilidade do solo ocorre nos primeiros 5 minutos do ensaio (BASTOS, 1999). A Figura 2 ilustra um fluxograma do ensaio, e a Tabela 3 indica os parâmetros a que cada amostra foi submetida, com a sigla dada para cada uma.



**Figura 2: Fluxograma das variáveis experimentais utilizadas nesta pesquisa.**





**Tabela 3: Descrição das amostras e siglas utilizadas**

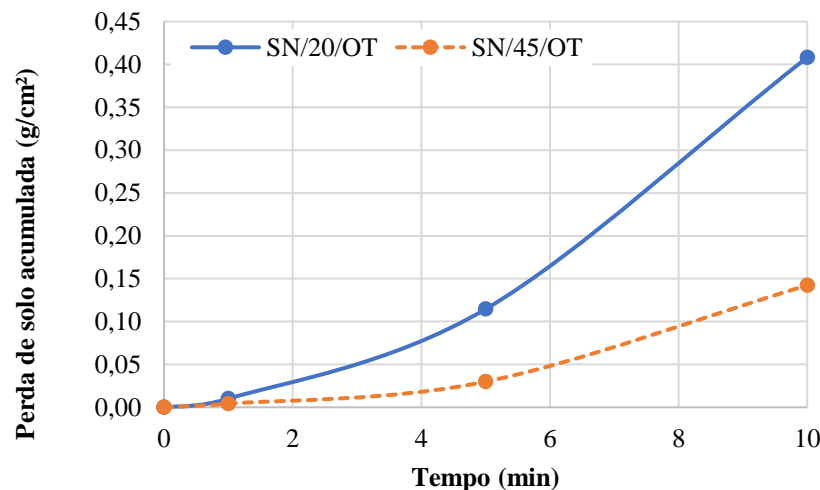
Amostra	Tempo de cura (dias)	Dosagem	Inclinação	Umidade	Sigla
1	-	Solo Natural	20°	Ótima	SN/20/OT
2	-	Solo Natural	45°	Ótima	SN/45/OT
3	7	2 gotas (1/30)	20°	Ótima	7/2/20/OT
4	7	2 gotas (1/30)	45°	Ótima	7/2/45/OT
5	7	6 gotas (1/8)	20°	Ótima	7/6/20/OT
6	7	6 gotas (1/8)	45°	Ótima	7/6/45/OT
7	28	2 gotas (1/30)	20°	Ótima	28/2/20/OT
8	28	2 gotas (1/30)	45°	Ótima	28/2/45/OT
9	28	6 gotas (1/8)	20°	Ótima	28/6/20/OT
10	28	6 gotas (1/8)	45°	Ótima	28/6/45/OT

O material erodido carregado pelo fluxo de água foi coletado, de forma que apenas os materiais retidos na peneira #200 (0,0075 mm) foram considerados para análise nos tempos pré-determinados. A partir dos dados de massa seca acumulada obtidos nos respectivos tempos, a medida de perda de solo foi determinada através da massa seca de solo acumulada por unidade de área da amostra (em g/cm<sup>2</sup>), e os resultados foram plotados em relação ao tempo de ensaio, como realizado por Bastos (1999).

### Resultados e Discussão

O primeiro passo para verificar se houve progressão com a utilização do aditivo para a erodibilidade do solo foi observar os resultados obtidos para a amostra in natura, seguidas respectivamente das dosagens 1/30 e 1/8.

A Figura 3 apresenta as curvas de erosão ao longo do tempo para o solo isento do produto. Observa-se para as duas amostras ensaiadas que quanto menor a declividade (SN/20/OT) maior a perda de massa ao longo do tempo estudado, com resultados superiores ao dobro da amostra ensaiada com 45° de declividade (SN/45/OT) em termos de material carregado. Bastos (1999) também observou momentos e configurações onde a perda de solo para a declividades menores supera as encontradas para declividades maiores, ocorrendo principalmente em solos argilosos ou com quantidade significativa de argila.



**Figura 3: Curva de perda de solo ao longo do tempo - amostra com SN (Solo Natural).**

No momento que as amostras foram submetidas a dosagem de 1/30 (indicada pelo fabricante) pode-se notar decréscimo expressivo nos valores de massa de solo perdida por unidade de área. O valor máximo para essa configuração alcançou resultado dezesseis vezes melhor que a maior erodibilidade aferida para o solo natural. Tal fato promove o entendimento de que o estabilizante influenciou positivamente os resultados de erodibilidade para essa dosagem. A Figura 4A apresenta a curva de perda de solo ao longo do tempo do ensaio conduzido.

A maior quantidade de massa desprendida ocorreu novamente para a inclinação de 20°, entretanto para os demais corpos de prova representados nas curvas foi diagnosticada similaridade nos valores obtidos, mesmo com a variação do grau de inclinação da rampa. Além disso, a adição do produto concedeu ao gráfico uma tendência de estabilização da massa de solo erodida em relação ao tempo, princípio não verificado na curva do solo natural.

Em relação aos tempos de cura as amostras que ficaram expostas ao produto durante 28 dias apresentaram resultados menores de material perdido, contudo com exceção da curva 7/2/20/OT as demais apresentaram comportamento muito



semelhante com variação da ordem de 0,002 g/cm<sup>2</sup>.

O exagero na dosagem do aditivo, com o ensaio sendo conduzido com relação produto/solo três vezes maior que o recomendado pelo fabricante, está demonstrado na Figura 4B. Também observa-se maior erodibilidade para amostras com menor tempo de cura. Para esta análise, o resultado mais crítico ocorreu com a inclinação de 45°, evidenciando a variação das leituras no que diz respeito à inclinação examinada. É importante observar que esse é o comportamento retratado em maior volume na literatura sobre o ensaio de Inderbitzen com variação da inclinação, onde há elevação da perda de massa de solo erodida com a adoção de declividades mais acentuadas devido à maior velocidade do escoamento e, conseqüentemente, à maior tensão hídrica (SILVA E MELO, 2016; THOMA et al, 2022).

Britto (2023) utilizou técnicas de avaliação estatística para os diferentes comportamentos encontrados entre as declividades testadas e, ao observar resultados estatisticamente iguais, concluiu que, muito provavelmente, as divergências estavam associadas principalmente às condições da amostra e não da inclinação. Os resultados alcançados na presente pesquisa seguem a mesma configuração de Britto (2023), com resultantes da declividade flutuando entre si, ora 20° detendo a maior perda de massa, ora 45°, tornando inviável atestar definitivamente a melhor ou a pior para o ensaio.

Para essa dosagem (1/8), apresentada na Figura 4B, visualiza-se melhoria expressiva no potencial de erosão do solo quando comparado ao observado para o solo em sua condição natural. Já para a dosagem indicada pelo fabricante, a baixa diferença (variação na quarta casa decimal) entre o obtido com a dosagem de 1/30 e a de 1/8, talvez não seja o suficiente para justificar a utilização do produto, visto que a abordagem da utilização de biocatalisadores tem como objetivo reduzir a utilização de químicos no solo e prover economia ao usuário. À luz disso, visando melhor visualização dos benefícios da utilização do produto, construiu-se o gráfico presente na Figura 5 sobre a perda de solo ao final do ensaio, para as dez amostras testadas.

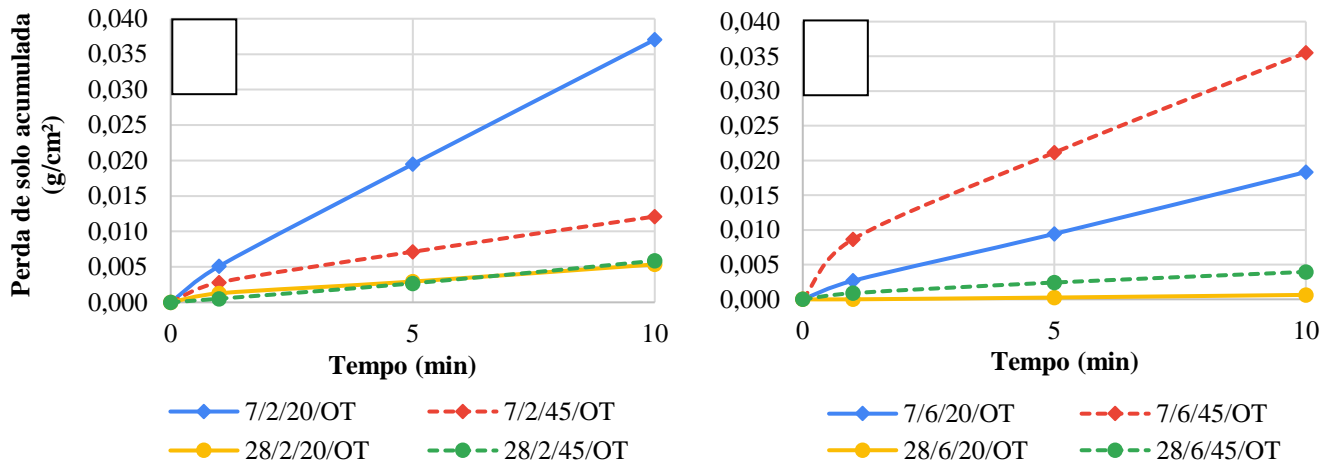


Figura 4: Curva de perda de solo ao longo do tempo. A) Amostras com dosagem 1/30. B) Amostras com dosagem 1/8.

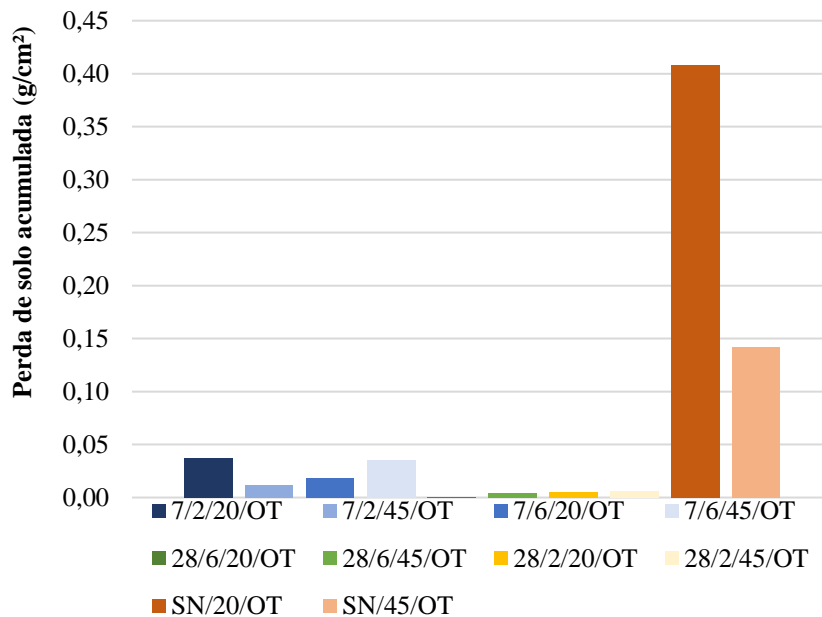


Figura 5: Comparativo de perda de solo acumulada para todas as amostras ensaiadas.



### Considerações Finais

Com base nos resultados obtidos neste estudo notavelmente, ambas dosagens da enzima estudada demonstraram aumentar a resistência à erosão do solo, sendo a dosagem 1/8 mais eficaz, entretanto o baixo ganho em relação a dosagem de 1/30 e a maior utilização de um produto restrito justifica discussões acerca da dosagem ideal.

A variação da inclinação da rampa revelou-se inconclusiva, com resultados com alta variabilidade quando comparadas às outras variáveis experimentadas. Por outro lado, o tempo de cura de 28 dias demonstrou resultados mais consistentes, melhorando a erodibilidade do solo em todos os ensaios.

Assim, o agente estudado revelou-se eficaz na mitigação dos efeitos da erosão hídrica superficial, tanto nas dosagens de 1/30 quanto de 1/8. Dada a considerável quantidade de produto necessária para grandes projetos de compactação de estradas, a abordagem com menor quantidade do aditivo pode ser mais favorável, estando em conformidade com a ideia do biocatalisador ser uma opção mais econômica e ecologicamente mais adequada. Além disso, a exposição da amostra ao reagente durante um período mais longo foi capaz de maximizar os efeitos sobre a erodibilidade.

Sendo assim, esse estudo sugere que a melhor condição em termos de custo-benefício, dentre as observadas, para melhoria da erosão em estradas não pavimentadas ocorre com a aplicação do aditivo biocatalisador, na dosagem indicada pelo fabricante (1/30), e com um período de cura igual ou superior a 28 dias.

### Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá (FEG-UNESP) pelo apoio recebido.

### Referências Bibliográficas

ALENCAR, I. S.; FERREIRA, E. A.; SEVALHO, E. S. 2019. Uso de enzimas para estabilização de solos. Revista Interscientia, v. 7, n. 1, p. 102-114.

ARAÚJO, H. A.; PAGE, A.; COOPER, A. B.; VENDITTI, J.; MACISAAC, E.; HASSAN, M.A.; KNOWLER, D. 2014. Modelling changes in suspended sediment from forest road surfaces in a coastal watershed of British Columbia. Hydrological Processes, 28, 4914–4927, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2020. NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro.

BAESSO, D. P.; GONÇALVES, F. L. R. 2003. Estradas Rurais: técnicas adequadas de manutenção, DER (Departamento Estadual de Infra-Estrutura), Florianópolis – SC, p. 236.

BASE FORTE. Paraná, 2022. Disponível em: <<https://baseforte.net/#baseforte>>.

BASTOS, C.A.B. 1999. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. 1999. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 1999. Conservação do solo. 4ª., Ícone, São Paulo, p. 355.

BRITTO, T. S. S. 2023. Influência da sucção na erodibilidade de um solo argiloso compactado da formação Guabirotuba. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CARVALHO, J. C et al. 2006. Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Anuário 2022 - Principais dados. [Brasília]: 2022. Disponível em:<<https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/Rodoviario/1-3-1-1-1-/Malha-rodovi%C3%A1ria-total>>.

FU, B.; LACHLAN, T.; NEWHAM, H.; RAMOS, S. C. 2010. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. Environmental Modelling and Software, 25, p. 1–14.

GBAYAN, T. N.; ELISHA, A. T.; AMADI, A. A. 2020. Use of Bio-enzymes in Soil Stabilization Construction and Sustainable Development. 18th International Conference of Nice.

LI, Y.; Qi, S.; LIANG, B.; MA, J.; CHENG, B.; Ma, C.; QIU, Y.; CHEN, Q. 2019. Dangerous degree forecast of soil loss on highway slopes in mountainous areas of the Yunnan–Guizhou Plateau (China) using the Revised Universal Soil Loss Equation, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 19, 757–774.

LIU, Y.J.; WANG, T.W.; CAI, C.F.; LI, Z.X.; CHENG, D.B. 2014. Effects of vegetation on runoff generation, sediment yield and soil shear strength on road-side slopes under a simulation rainfall test in the Three Gorges Reservoir Area, China. Science of the Total Environment 485–486: 93–102.





- LUCE, C. H. 2002. Hydrological processes and pathways affected by forest roads: What do we still need to learn?. *Hydrological Processes*, 16, 2901– 2904.
- MASCARENHA, M. M. A et al. 2015. Erosão. In: CAMAPUM DE CARVALHO et al. (coord.). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solo e Engenharia Geotécnica. p. 581-609.
- PEREIRA, C. R. B. 2022. Avaliação de erodibilidade em um solo do bairro Pingo de Ouro, Guaratinguetá/SP. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá.
- PUTRA, H. et al. 2021. Improvement of organic soil shear strength through calcite precipitation method using soybeans as bio-catalyst. *Crystals*, v. 11, n. 9, p. 1044.
- RAMAJI, A. A. 2012. Review on the Soil Stabilization Using Low-Cost Methods. *Journal of Applied Sciences Research*. 8. 2193-2196.
- RAMOS-SCHARRÓN, C. E. 2012. Effectiveness of drainage improvements in reducing sediment production rates from an unpaved road. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67, 87–100.
- RAMOS-SCHARRÓN, C. E.; MACDONALD, L. H. 2007. Runoff and suspended sediment yields from an unpaved road segment, St John, US Virgin Islands. *Hydrological Processes*, 21, 35–50.
- SIDLE, R. C.; GHESTEM, M.; STOKES, A. 2014. Epic landslide erosion from mountain roads in Yunnan, China – challenges for sustainable development. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 3093–3104.
- SILVA, A.P.N.; MELO, M.T.S. 2016. Análise do histórico de desenvolvimento de modelos de aparelho de Inderbitzen para a confecção de tabelas comparativas. In: NEVES, A.F.; PAULA, M.H.; ANJOS, P.H.R.; SILVA, A.G. *Estudos Interdisciplinares em Ciências Biológicas, Saúde, Engenharias e Gestão*. São Paulo: Blucher. p. 51-64.
- THOMA, A. C. et al. 2022. Erodibilidade de Neossolo Litólico pelo ensaio de Inderbitzen modificado e eficiência de blocos de solo para controle da erosão hídrica. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 27, p. 511-522.
- WEMPLE, B. C.; BROWNING, T.; ZIEGLER, A. D.; CELI, J.; CHUN, K. P. S.; JARAMILLO, F.; SAWYER, D. 2017. Ecohydrological disturbances associated with roads: Current knowledge, research needs, and management concerns with reference to the tropics. *Ecohydrology*, 11(3), e1881.



# EROSÕES HÍDRICAS LINEARES NA ÁREA URBANA DE BOTUCATU/SP: INDICAÇÃO DE DEMANDA POR ATUALIZAÇÃO DE CADASTRAMENTO

1Letícia Leão Barbosa Schmidt, 2Simone Andrea Furegatti

1Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), e-mail: leticia.schmidt@unesp.br; 2Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), e-mail: simone.furegatti@unesp.br

**Palavras-chave:** erosão linear; uso do solo; planejamento urbano.

## Resumo

Em áreas urbanas os processos erosivos ligados a lançamentos de águas pluviais em cabeceiras de drenagem, vales e sistema viário geram grandes impactos à população. A ocupação inadequada e falta de planejamento podem causar risco às pessoas, principalmente àquelas que se encontram em regiões de maior densidade populacional e maior fragilidade socioeconômica. O cadastramento e estudo dos processos erosivos, neste caso, pode ser utilizado para o planejamento técnico e de uso e ocupação do solo, quando vinculado aos processos de expansão do perímetro urbano. A cidade paulista de Botucatu apresenta um dos maiores índices de ocorrências erosivas urbanas no estado, segundo levantamento de 2012. A pesquisa apresentada teve como objetivo analisar algumas das principais feições erosivas existentes na área urbana de Botucatu/SP e comprovar a necessidade da atualização do cadastramento. Assim como, analisar a influência dos interesses socioeconômicos nas medidas preventivas e corretivas das feições erosivas. Para isso, o método utilizado foi a pesquisa documental, imagens de satélite e visitas *in loco*. Com a análise dos resultados foi confirmada a necessidade de atualizações periódicas de cadastramentos e reveladas diferenças no tratamento preventivo e corretivo das erosões de acordo com o padrão socioeconômico onde se encontra cada feição.

## Introdução

O ambiente urbano destaca-se na paisagem do relevo terrestre devido ao grande crescimento populacional e civilizatório que o transformou em um dos principais espaços de desenvolvimento humano. O ser humano interage e modifica o ambiente onde vive em prol de se estabelecer e se desenvolver da forma mais confortável. Apesar de o ambiente edificado proporcionar mais conforto ao homem, pode causar problemas de diversas ordens. De início, para que o homem usufrua dos benefícios do espaço urbanizado de forma saudável e controlada, deve geri-lo considerando o meio em que está inserido e sua dinâmica. Os processos que interferem no relevo são naturais da dinâmica terrestre, modificando a superfície por meio de agentes como: chuva, vento, ondas, marés, rios, gelo etc. Além dos processos naturais do meio físico, há os processos advindos do meio socioeconômico, cultural, biótico e tecnológico. As atividades humanas são, portanto, um importante agente modificador da dinâmica superficial. De forma simplificada, as ações antrópicas decorrem de ações diretas e indiretas. Escavações, construções *etc.*, configuram um novo processo modificador, infringindo diretamente a dinâmica, enquanto ações como remoção da cobertura vegetal e exposição dos horizontes dos solos intensificam os processos já expostos anteriormente (Fornasari Filho & Faria, 2018). Na área urbana os impactos influem diretamente no cotidiano da população. A ocupação inadequada do meio pode criar ou acelerar processos de degradação, gerando risco às pessoas, principalmente àquelas que se encontram em regiões de maior densidade populacional e maior fragilidade socioeconômica. Dos processos de degradação mais impactantes nas áreas urbanas, os processos erosivos estão diretamente associados à falta de planejamento das áreas de expansão e de infraestrutura inadequada ou inexistente. Boa parte dos processos erosivos que se desenvolvem na área urbana e periurbana (áreas de contato urbano/rural) está ligada a lançamentos de águas pluviais em cabeceiras de drenagens, vales e lançamentos do sistema viário (IPT, 2012).

O cadastro de informações geográficas, como de ocorrência de processos erosivos, em bases de dados tem grande importância para melhor compreensão das dinâmicas naturais intensificadas pelas atividades humanas. A atualização de cadastros existentes e a busca por dados mais detalhados também constituem fator de relevância, favorecendo a compreensão das dinâmicas erosivas por acadêmicos e a elaboração de mapas, como ferramentas auxiliares para órgãos públicos (Francisco, 2023). Essas bases de dados geográficos contribuem, por exemplo, para a atualização dos relatórios de situação de recursos hídricos das unidades de gerenciamento, orientando projetos de recuperação de áreas degradadas, restrição de uso de solo e implantação de práticas de conservação do solo adequadas (Francisco, 2023). O cadastramento de um problema gera informações num banco de dados, possibilitando maior conhecimento sobre determinada área (Silva & Martins, 2017) e maior poder analítico em âmbito preditivo, diagnóstico, prescritivo e descritivo. Loch (1990) afirma a importância de um cadastramento multifinalitário como método ideal para o planejamento técnico e de uso e ocupação do solo.

Com o passar dos anos, para se adequar a expansão do desenvolvimento e povoamento do território, as técnicas de cadastramento de erosões sofrem melhorias de desempenho, precisão e qualidade através de novos softwares de pesquisa, cadastro e análise de dados, tornando o cadastramento de erosões uma peça-chave para a gestão e planejamento do território (Camapum *et al.*, 2006). O aprimoramento da internet possibilitou o avanço na área de processamento e tratamento de dados no formato digital (Rosa & Brito, 1996). Nesse contexto, a ferramenta *Google Earth* se destaca como uma tecnologia acessível e eficaz na manipulação e recolhimento de dados com a representação tridimensional da superfície terrestre (Florenzano, 2011). O *Google Earth* possibilita o reconhecimento de feições erosivas e variações de relevo, por meio de interpretações visuais de



imagens de satélite e comparações temporais através de seu banco de imagens cronológicas. A partir do cadastro desse tipo de informações geográficas, tem-se que as primeiras ocorrências de erosões urbanas expressivas no Brasil foram identificadas nas regiões Sul e Sudeste, especialmente no Oeste paulista, na década de 1950 (Almeida Filho *et al.*, 2015). De acordo com estudo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que obteve dados num período de aproximadamente 60 anos, no estado de São Paulo foram registradas 1 398 ocorrências de processos erosivos lineares em áreas urbanas e 39 864 em áreas rurais (IPT, 2012).

Em 1991, no município de Botucatu foram identificadas 16 feições erosivas lineares urbanas, entre ravinas e boçorocas. Em 1995 novos cadastros foram efetuados, contabilizando o total de 23 feições (SIGRH, 2022). Nos estudos mais recentes Botucatu encontra-se dentre as cidades com mais registros de processos erosivos urbanos no estado de São Paulo, com 55 ocorrências registradas, ficando atrás apenas de Franca, com 56 registros. Esses dados foram obtidos em estudo desenvolvido pelo IPT, gerando o relatório técnico n.º 131.057-205 (IPT, 2012), que expõe a caracterização geral do meio físico e do uso e ocupação do solo em cada uma das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI do Estado de São Paulo, além da situação com relação aos processos erosivos urbanos e rurais. Dado que esses estudos foram atualizados pela última vez em 2012, nota-se a necessidade de atualização dos registros das feições existentes, a fim de se verificar possíveis mudanças, além de levantamento de novas ocorrências. A atualização é necessária para melhor continuidade da expansão da mancha urbana. Basear-se em estudo de 10 anos atrás pode acarretar análises diagnósticas, prescritivas, preditivas e descritivas equivocadas. Atualizar os dados tem como finalidade, também, a de avaliar o comportamento dos processos, surgimentos e desaparecimentos de feições, assim como definir métodos de contenção do crescimento de erosões, de acordo com as situações atuais.

Considerando, portanto, a relevância da atualização do cadastramento de feições erosivas lineares urbanas, para estudos dos processos naturais e antrópicos envolvidos, bem como para contribuir com o planejamento urbano, a pesquisa aqui apresentada teve como objetivo analisar algumas das principais feições erosivas existentes na área urbana de Botucatu/SP, com o intuito de comprovar a necessidade da atualização do cadastramento como um todo, verificando a evolução das características físicas das erosões, condições do entorno e soluções de prevenção e recuperação do solo ao longo do tempo, desde o último cadastramento até os dias atuais. Assim como, analisar a influência do uso e ocupação do solo do entorno, a atenção às medidas preventivas e corretivas e os interesses socioeconômicos na evolução das erosões visitadas.

### Localização da Área de estudo

O município de Botucatu está localizado no paralelo 22° 53' 09" sul e meridiano 48° 26' 42" oeste de Greenwich, na região centro sul do Estado de São Paulo (Figura 4), ocupando uma área de aproximadamente 1486 km<sup>2</sup>. Está a 235 km da capital estadual de São Paulo. Suas principais Rodovias de interligação com o Estado são: Rodovia Professor Hipólito Martins e Rodovia Marechal Rondon (Botucatu, 2022).

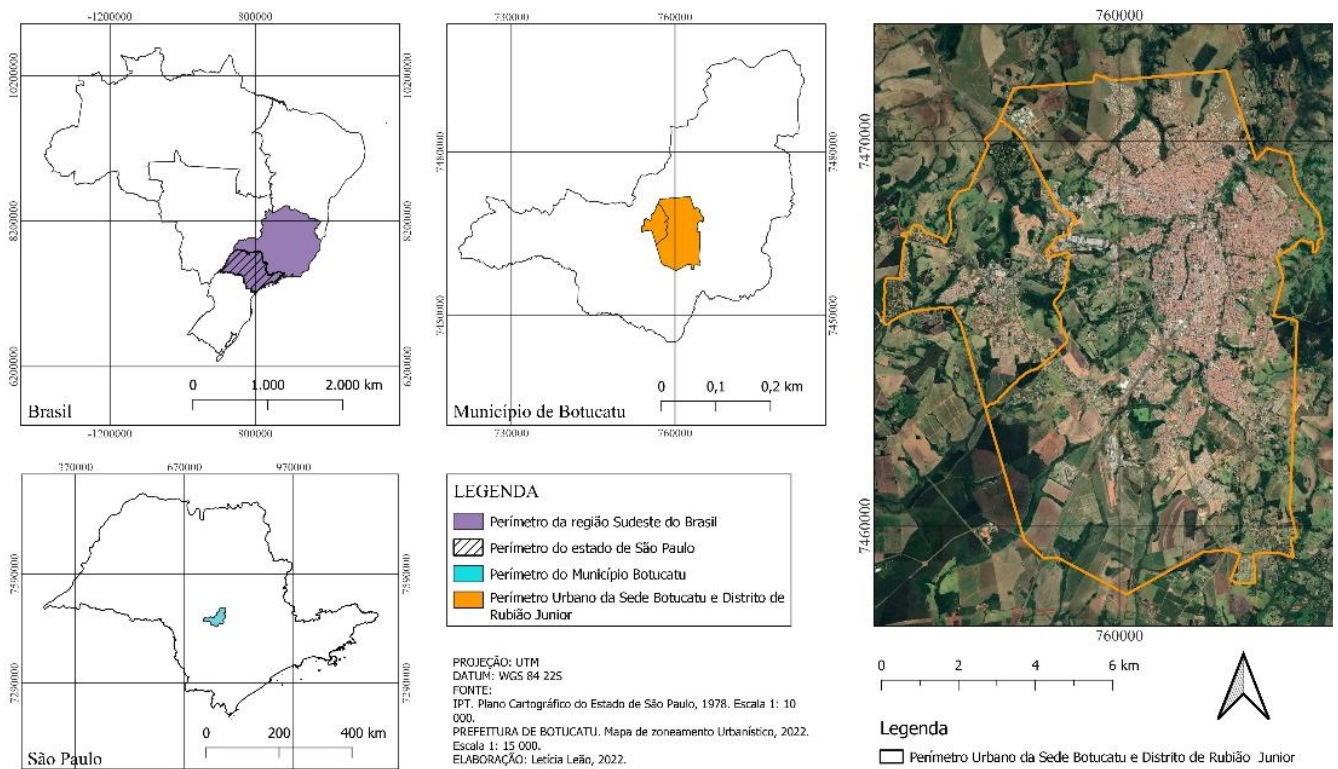


Figura 4: Contextualização territorial da área de estudo.



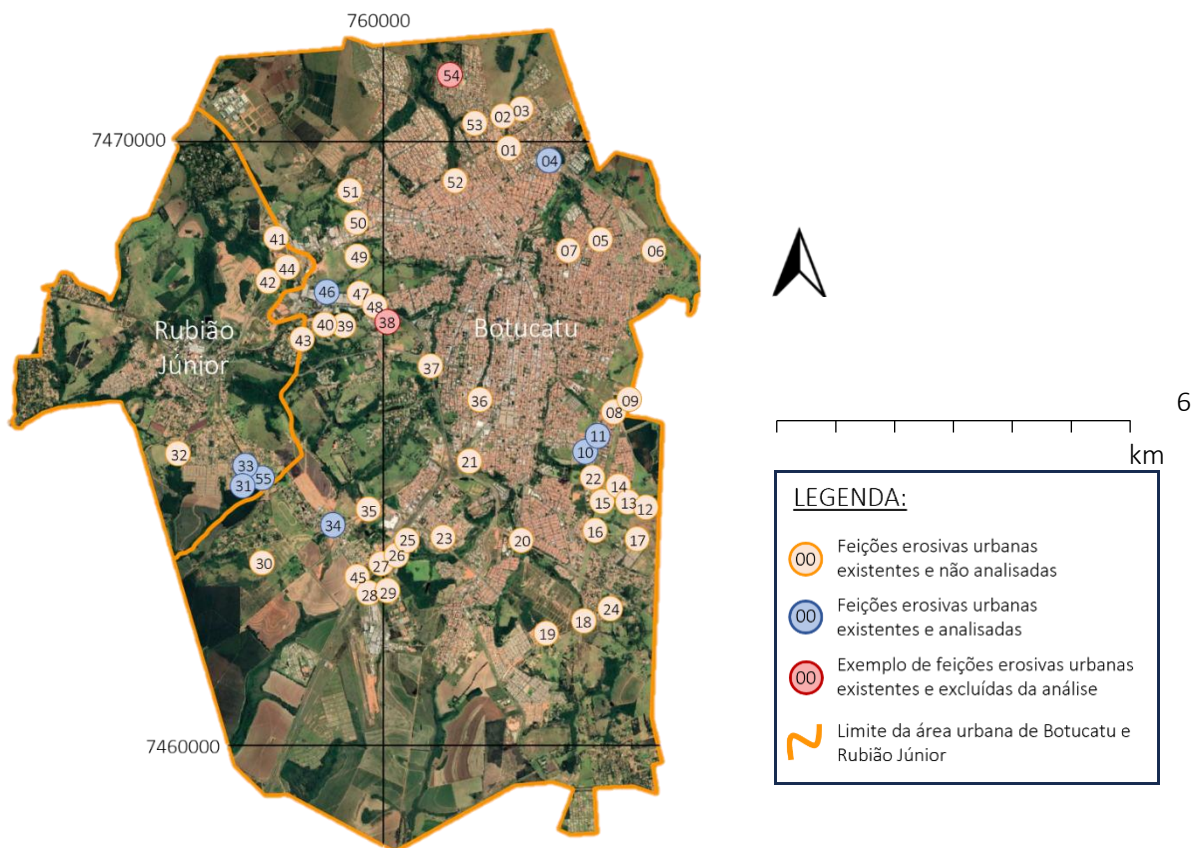
Segundo o sistema Köppen, o município é classificado como subtropical úmido (Cfa) (Rolim et al., 2007; Brasil, 1960) e se enquadra na vegetação natural do cerrado (Brasil, 1960). Uma característica marcante do município é sua inserção na província geomorfológica das Cuestas Basálticas, que correspondem às frentes escarpadas, principalmente por as faces leste e norte do perímetro urbano ser limitadas pelas cuestas, genericamente chamada de Serra de Botucatu (Almeida, 1964). A área de estudo foi delimitada através dos limites urbanos apresentados no Mapa da Nova Lei de Zoneamento Urbanístico (2022), incluindo a Sede do Município e o distrito adjacente, Rubião Júnior.

### Materiais e Métodos

Para a viabilização das análises com relação aos estudos de processos erosivos no município de Botucatu, o estudo foi dividido em 3 fases: obtenção de dados, verificação em campo e análise de resultados. O foco deste artigo são os resultados encontrados e analisados na fase de verificação de campo.

A obtenção do maior número de dados referentes às características físicas, geológicas, urbanas e socioeconômicas da cidade de Botucatu possibilitou a criação de mapas temáticos e as análises com relação ao estudo do solo e sua ocupação. Dos dados encontrados, os mais relevantes foram: Cadastramento de erosões urbanas e rurais no estado de São Paulo (IPT, 2012); Carta topográfica da cidade de Botucatu em escala 1:50.000 (IBGE, 1970); Levantamento aerofotogramétrico em escala 1:10.000 (IGC, 1978); Carta de macrozoneamento de Botucatu em escala 1:30.000 (SMG, 2017); Carta de zoneamento de Botucatu em escala 1:15.000 (CMB, 2017) e Mapa da Nova Lei de Zoneamento Urbanístico (CMB, 2022).

Das 55 feições urbanas cadastradas no município de Botucatu, cada feição é identificada por uma sequência de 12 dígitos, com variação apenas dos últimos 3 (Figura 5). No cadastramento feito pelo IPT, os pontos estão em formato *Shapefile* e os atributos em uma tabela no formato *Excel*. Os atributos utilizados no estudo de caso das erosões botucatuenses foram: Sigla, Coordenadas, Altitude, Identificação do Processo, Distância da Cabeceira da Erosão à Área Urbana (em metros), Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Uso a Montante, Uso a Jusante, Comprimento, Largura, Profundidade, Agente Desencadeador, Ano da Imagem do Google, Previsão de Evolução (IPT, 2012).



**Figura 5: Mapa de pontos de erosões urbanas cadastradas pelo relatório IPT (IPT, 2012), diferenciando-as de acordo com sua função (não analisada; analisada; e, excluída da análise) no estudo realizado pelas autoras.**

Algumas feições erosivas foram selecionadas no cadastramento para serem verificadas em campo. Levando-se em conta que o registro das erosões no cadastramento é datado de aproximadamente 10 anos atrás, a seleção foi feita a partir de uma análise comparativa entre as feições cadastradas e a situação atual de cada uma, observadas em imagens do *software Google Earth Pro*. Assim, foram utilizadas as imagens mais próximas à data do cadastramento (2010) e comparadas às imagens mais recentes



fornecidas pelo programa (2023 e 2024). Com a análise, algumas feições foram descartadas da verificação *in loco*, por terem sido recuperadas ou se apresentarem estabilizadas. Apesar de, a princípio ter se comparado duas imagens, ressalta-se que também foram descartadas as feições que ao longo desse período se apresentaram inalteradas, seja por recuperação ou estabilização.

Para exemplificar, são apresentadas duas feições que foram excluídas da verificação de campo. Comparando as imagens de 2010 e 2023, a feição de número 054 foi identificada como “Recuperada”. Verificaram-se, também, imagens dos anos 2013, 2015, 2017, 2019 e 2021 para confirmar que a recuperação foi eficiente, não ocorrendo incisão novamente. Pelo mesmo processo de comparação, a feição de número 038 também foi considerada recuperada, apresentando como solução para o controle da erosão a construção de uma bacia de contenção.

A etapa do trabalho de campo consistiu em realizar fotos de diversos ângulos das erosões para verificar se as imagens de satélite mais atuais condizem com as condições encontradas nos locais. Nessa etapa, algumas feições visitadas também foram excluídas da análise por impossibilidade de acesso. Nas visitas às erosões foi constatado que a observação das imagens de satélite pode distorcer a realidade da erosão, por exemplo, feições que pareciam menores nas imagens, *in loco* ainda se apresentavam com considerável profundidade; ou aquelas que pareciam ter aumentado ao longo do período, presencialmente se aparentavam recuperadas ou estabilizadas. Dessa forma, foram escolhidas para análise as feições 004, 010, 011, 031, 033, 034, 046 e 055. As feições cadastradas pelo IPT (2012) são apresentadas na Figura 5, separadas de acordo com sua função: não analisada; analisada; e, excluída da análise. As informações mais relevantes das feições selecionadas foram destacadas do relatório do IPT (2012). Assim, considerou-se para a análise o número de cadastro, a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) e bacia hidrográfica, o grupo e formação geológicos e a pedologia em que se encontra a erosão, bem como o tipo de erosão identificada (boçoroca ou ravina) e o agente desencadeador. Além da utilização do cadastramento de erosões para a análise, foi utilizada uma divisão de uso e ocupação do solo da área urbana de Botucatu, criada a partir do Mapa da Nova Lei de Zoneamento Urbanístico (CMB, 2022), incluindo estudos acerca do uso e ocupação do solo urbano paulista (Canil, 2000; Santoro, 2000).

### Resultados e Análise das Feições Selecionadas

Como resultado do estudo, serão apresentados os levantamentos das características das oito feições selecionadas e do entorno, seguidos da análise de cada feição ou conjunto de feições em uma mesma localidade.

A primeira apresentada é a feição 004, que se encontra no Parque Municipal de Botucatu e sofreu diversas mudanças ao longo do período considerado (2011-2024) (Figura 6). De forma comparativa entre as imagens de 2011 e de 2024 e o levantamento no local, pode-se observar o reflorestamento da área, a criação de um lago de contenção (Figura 7a) e a construção de dissipadores de energia junto à rotatória e ponte que dão acesso à Av. Dep. Brás de Assis Nogueira (Figura 6b). A feição, identificada como uma boçoroca ganhou destaque nesse estudo por se tratar de prolongamento de um canal de drenagem (Figura 7b) e se encontrar imersa numa parcela urbana consolidada, com características de elevados adensamento e impermeabilização da superfície.



Figura 6: Imagens comparativas da região da erosão 004 nos anos de 2011 (a) e 2024 (b) (Google Earth Pro, 2024).

A erosão foi estabilizada e mesmo com a expansão urbana ao longo do período, pode-se notar que o planejamento urbano levou em consideração o meio físico, utilizando de técnicas de contenção da erosão. Não é possível ver com clareza as dimensões e formas da feição pelas imagens de satélite, consequentemente, não foi possível delimitar seu perímetro. No local, porém, foi possível comprovar que a feição se estende mata adentro (Figura 7).





(a)



(b)

**Figura 7: Erosão 004 – (a) bacia de contenção no Parque Municipal de Botucatu; (b) vista da cabeceira. Fotos de dezembro de 2022.**

Quanto ao entorno da erosão, no que diz respeito ao uso e ocupação, foi identificado que a feição 004 está inserida em um contexto predominantemente residencial, cujas construções em sua maioria são de 1 a 2 pavimentos em alvenaria. Tanto as construções (residências e comércios), quanto à infraestrutura urbana (calçadas, sinalização e pavimentação de vias) se encontram em bom estado de conservação (Figura 8a). Além de apresentar rede de equipamentos urbanos próximos, como: escola, ciclovia, Poupatempo, restaurante, mercado, academia *etc.* (Figura 8b).



(a)



(b)

**Figura 8: Características da região onde se encontra a feição 004: (a) residência de 2 pavimentos em bom estado de conservação; (b) Poupatempo, comércio e escola municipal de ensino fundamental (StreetView, Google Earth Pro, 2024).**

As próximas feições apresentadas, as feições 010 e 011 encontram-se nas imediações do Conjunto Habitacional Roque Ortiz Filho e do Conjunto Habitacional Joaquim Vernini. Ambas sofreram diversas mudanças ao longo do período, como mostram a Figura 9a e a Figura 9b (imagens de 2010 e 2023, respectivamente). De forma comparativa pode-se observar, através das imagens de satélite, que a vegetação aumentou como um todo. A feição 010 deixou de ser visível na imagem de satélite, devido ao aumento da vegetação, enquanto a feição 011 aparenta ter as larguras aumentadas e perdido parte da cobertura vegetal (Figura 9b).





(a)



(b)

**Figura 9: Imagens comparativas da região das erosões 010/011 nos anos de 2010 (a) e 2023 (b) (Google Earth Pro, 2024).**

O entorno das feições 010 e 011, em relação ao uso do solo, apresenta semelhanças e divergências quando comparado à feição 004. Nota-se que essas erosões se localizam em uma área também residencial e consolidada, com características de adensamento e elevada impermeabilização da superfície, salvo alguns lotes vazios (Figura 10a), que provavelmente tendem a seguir o perfil de construção dominante. Também apresenta alguns vazios urbanos, em sua maioria, devidos à inclinação da superfície na região. Ademais, apesar de ser uma área predominantemente residencial e com acessos próximos a equipamentos urbanos (igrejas, escolas, restaurantes, posto de saúde, mercado, praça e quadra poliesportiva), nota-se diferença socioeconômica, quando comparado à região da feição 004. As residências em sua maioria de 1 pavimento, ora com acabamento na alvenaria (pintura e reboco) (Figura 10b) ora sem acabamento e infraestrutura urbana menos conservada (Figura 10a), se comparada a região da feição 004.

Para elucidar a hipótese sobre as transformações das erosões, foram tiradas várias fotografias podendo notar suas dimensões e formas aprofundadas (Figura 11a), assim como a presença de alguns itens interessantes. Na feição 010 foram constatadas variadas intervenções com a finalidade de diminuir a velocidade da água do escoamento superficial, elementos construídos para quebrar a energia da água. Em uma saída de águas pluviais, por exemplo, há uma canaleta em forma de “V”, feita em concreto, que conduz a água escoada das ruas à montante, até uma escada hidráulica construída em concreto e gabião (Figura 11b). Além da identificação de aterro construído com o talude escalonado, mostrando grande desnível dos terrenos adjacentes.



(a)



(b)

**Figura 10: Características da região onde se encontram as feições 010 e 011: (a) área com lote vazio e residências sem acabamento; (b) residências de 1 pavimento e com acabamento na alvenaria (StreetView, do Google Earth Pro, 2024).**





(a)

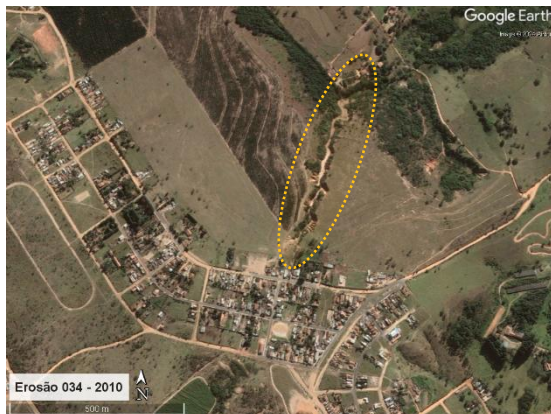


(b)

**Figura 11: Feições 010 e 011 – (a) Erosão ativa e com grandes dimensões; (b) Escada hidráulica em concreto e gabião.**

Na feição 011 há a construção de uma estrutura para diminuir a velocidade da água na saída da rede de águas pluviais, porém não se mostrou tão eficiente, visto que a erosão parece estar ativa (Figura 11a). Notaram-se funcionários da prefeitura fazendo o plantio de mudas na face oeste e leste da feição 011, técnica comum para a proteção do solo e dos cursos d'água. Contudo, as técnicas de conservação empregadas, diferente da feição 004, aparentam falta de manutenção por período considerável.

Outra erosão estudada foi a feição 034, localizada no bairro Vale do Sol nas imediações do Shopping Park Botucatu. A feição sofreu diversas mudanças ao longo do período (2010-2023) (Figura 12). De forma comparativa se observa, por meio das imagens de Satélite, a diminuição considerável das dimensões da feição, provavelmente aterrada devido à previsão de um empreendimento residencial na área, como pode se observar o início das obras na imagem de 2023. O empreendimento Parque Cidade em construção nas proximidades prevê 467 lotes de aproximadamente 200m<sup>2</sup> cada, área verde de 41.194,54m<sup>2</sup>, constituindo 20% do empreendimento.



(a)



(b)

**Figura 12: Imagens comparativas da região da erosão 034 nos anos de 2010 (a) e 2023 (b) (Google Earth Pro, 2024).**

Comparado às erosões anteriormente apresentadas, a feição 034 localiza-se em uma área de vazios urbanos, lotes residenciais ocupados e lotes vazios, sendo que as residências são de predominância de um pavimento e sem acabamentos externos (Figura 13b). Os equipamentos urbanos encontram-se mais escassos nas proximidades e as construções existentes apresentam padrão socioeconômico baixo. Além do grande loteamento previsto, há bastantes lotes que aparentam estar em processo de construção, o que indica uma área em plena expansão urbana.





**Figura 13: características da região onde se encontra a erosão 034: residências de 1 pavimento, sem acabamento na alvenaria e lote vazio (StreetView, Google Earth Pro, 2024).**

Com a verificação *in loco*, identificou-se a presença de métodos de contenção da erosão, a fim de evitar aumento da feição que outrora tinha dimensões muito maiores. Foi identificado um aterro feito para recuperar erosão e um poço de visita indicando a existência de sistema de drenagem de águas pluviais e aterro executado para represamento da água (bacia de contenção) (Figura 14a) e, ao fundo, o vertedouro com escada hidráulica (Figura 14b). Pode-se supor que a atenção em controlar a erosão deve-se às perspectivas de crescimento urbano e a presença de um empreendimento privado previsto onde a erosão tende a se expandir.



(a)



(b)

**Figura 14: Feição 034: (a) aterro feito para recuperação da erosão e um poço de visita indicando a existência de linha de tubos de drenagem de águas pluviais; (b) vertedouro com escada hidráulica. Fotos de dezembro de 2022.**

A próxima feição erosiva apresentada, a feição 046, encontra-se no bairro Recanto das Cascatas às margens da Rodovia Marechal Rondon e diferente das demais analisadas, não sofreu consideráveis mudanças ao longo do período (2010-2023) (Figura 15).



(a)



(b)

**Figura 15: Imagens comparativas da região da erosão 046 nos anos de 2010 (a) e 2023 (b), (Google Earth Pro, 2024).**





A feição ganhou destaque devido à parte considerável da bacia de contribuição da erosão ser ocupada por indústrias, caracterizando a alta taxa de impermeabilização. Durante a visita foram identificadas estruturas de saída de águas pluviais, advindas da grande área impermeabilizada, aparentando pouca manutenção (Figura 16a). A rodovia que corta a bacia de contribuição intercepta o escoamento de águas pluviais, que são captadas por sistema de drenagem e conduzidas por tubulações localizadas nas cabeceiras da erosão (Figura 16b). A descarga concentrada de elevado fluxo de água, junto a alta taxa de impermeabilização do solo da bacia de contribuição podem ser potencializadores da erosão. Nota-se, também, há grande parte de vazio urbano no entorno.



(a)



(b)

**Figura 16: Erosão 046: (a) saída de águas pluviais advindas do escoamento superficial da área industrial na proximidade; (b) vista de parte da erosão e de área industrial ao fundo. Fotos de dezembro de 2022.**

Finalmente, as feições 031, 033 e 055 encontram-se no bairro Parque Bela Vista e sofreram diversas mudanças ao longo do período (2010-2023) (Figura 17). De forma comparativa entre as duas imagens, se observou a diminuição da arborização, aterramento da face oeste da feição e asfaltamento da Rua Treze (indicada na Figura 17b). A erosão ganhou destaque por se encontrar imersa em uma parcela urbana em expansão e aparentar processo de recuperação quando vista através de imagens de satélite (Figura 17). Com relação ao entorno, percebeu-se que nessa região a deficiência socioeconômica é maior ao norte da linha ferroviária que passa no bairro, onde se encontram residências construídas com placas de compensado, ausência de muros de delimitação de lotes ou, quando existentes, feitos de ripas de madeira (Figura 18a). Também, a infraestrutura urbana é precária, com a ausência de asfaltamento nas ruas, de sinalização adequada e de calçadas. A oeste da erosão nota-se grande expansão urbana, com o aumento de lotes ocupados e desmatamento da área florestada para criação de novas ruas e, conseqüentemente, investimento de infraestrutura urbana, como asfaltamento. As residências na parcela oeste têm características socioeconômicas mais favoráveis, em relação à parcela norte, contudo com grande tendência de expansão de construções com características de impermeabilização da superfície e pouca vegetação nos lotes (Figura 18b).



(a)



(b)

**Figura 17: Imagens da região das erosões 031/033/055 nos anos de 2010 (a) e 2023 (b) (Google Earth Pro, 2024).**

Na verificação *in loco* diversos problemas foram identificados. Notou-se que o crescimento urbano na região foi acelerado, trazendo infraestrutura precária e mal planejada para a região. Contudo, os métodos de aterramento da erosão e pavimentação das vias não levaram em conta o potencial natural de crescimento da feição. Em determinado local da Rua Treze se notam fissuras no asfalto, em formato que sugere rompimento do solo por deslizamento (Figura 19a), apesar de aparentar manutenção recente, fato confirmado em conversa com morador próximo ao local. O local coincide com um dos braços da feição, existente no ano de 2010 e que aparece aterrado em 2023 (Figura 17). Enquanto na região da cabeceira da erosão há evidências de um aterro e cisalhamento do terreno, que indica o início de um deslizamento de terra (Figura 19b). Nesse mesmo



local há grande acúmulo de lixo e entulho jogado por moradores da região. O lixo que também é jogado em partes mais profundas da erosão é perceptível apenas *in loco*. A profundidade do braço mais próximo da cabeceira também é distinguível apenas *in loco*.



(a)



(b)

**Figura 18: características da região onde se encontra a erosão 046. (a) residências construídas com placas de compensado, ausência de muros de delimitação de lote ou feitos de ripas de madeira, rua sem asfaltamento; (b) construções impermeabilizando a superfície e pouca vegetação nos lotes (StreetView, Google Earth Pro, 2024).**



(a)



(b)

**Figura 19: Erosões 031/ 033/ 055– (a) fissuras no asfalto; (b) indicação de cisalhamento do solo na cabeceira da erosão. Fotos de dezembro de 2022.**

### Discussões

Após visitas *in loco* nas erosões e observação dos entornos, foi possível identificar algumas características predominantes, tanto no aspecto físico das erosões ao longo dos anos, quanto aos cuidados de contenção das erosões. As regiões que apresentaram maiores mudanças com relação à expansão urbana têm, também, as maiores mudanças nas características físicas das erosões relacionadas ao entorno. Apesar da localização da feição 004 estar em área residencial já consolidada, observa-se o surgimento de algumas novas residências. Com isso, foram feitas melhorias nos equipamentos urbanos e elementos de contenção do desenvolvimento da erosão no local como lago de contenção e equipamentos dissipadores de energia de águas pluviais, o que se mostrou eficiente em conter a evolução da erosão e encontram-se em ótimo estado de conservação. Aparentemente, tem-se a atenção do Estado para mantê-las em seu melhor exercício. Assim como a região da feição 004, a região das feições 010 e 011 não teve grandes mudanças na expansão urbana. Porém nota-se que elementos de contenção de erosão (canaleta em “v” para condução das águas, escada hidráulica feita com gabião para dissipar energia do fluxo de água, escalonamento do terreno em parte mais íngreme) já existiam no local e se mantiveram no mesmo estado, sem manutenção. E notou-se a plantação de novas mudas de árvore nas margens da feição com intuito de área de compensação e como método de contenção das porções de terra com inclinação elevada. Apesar do estado de conservação dos equipamentos estar pior que a feição 004, vê-se interesse na diversificação dos métodos de prevenção do avanço da erosão por parte do governo.

No entorno da feição 034 há uma expansão urbana considerável e a implantação de equipamentos de contenção. Apesar da diminuição considerável da feição ao longo do período, provocada pelo aterro executado, os equipamentos de controle de erosão aparentam ser provisórios, sem manutenção e pouco eficientes, quando comparados aos da erosão 004. A bacia de contenção revela sinais de construção ineficaz e, conseqüentemente, de pouca durabilidade para o impedimento da evolução da erosão. Sem melhoria nas estruturas do método aplicado e manutenção adequada a erosão tende a aumentar novamente.

De todas as feições visitadas, o entorno das de número 031, 033 e 055, que se encontram nas mesmas proximidades, teve maior evolução da expansão urbana, no período estudado e, conseqüentemente, o maior aumento populacional. Apesar dos



dados dos anos anteriores indicarem um diagnóstico preditivo e possibilitar um planejamento estratégico com relação às necessidades para a contenção das erosões, o aterro e asfaltamento da rua foram feitos sem levar em consideração as informações disponíveis. Com isso o equipamento urbano (asfaltamento da rua) se apresenta em mal estado de conservação e com perspectiva de colapso. Nota-se também um possível desinteresse por parte do poder público na criação de equipamentos de contenção da erosão que sejam eficientes e eficazes. Nos três exemplos pode-se diagnosticar uma proporção entre os interesses e ações do governo quanto ao investimento com cuidados de contenção do avanço de feições erosivas e a classe socioeconômica predominante nas imediações de cada erosão. Ou seja, quanto maiores as carências socioeconômicas da região, menor o interesse em investir na prevenção e contenção dos danos físicos, sociais e econômicos que podem ser causados por erosões hídricas pluviais. Por outro lado, quanto maior o poderio socioeconômico do local, maior é o interesse em implantar e conservar os equipamentos urbanos em bom estado, conseqüentemente, mantendo o local livre de incidentes erosivos.

Já a feição 046, que se encontra em uma área industrial, não apresentou expansão urbana e a erosão ali presente não sofreu grandes mudanças. Possivelmente nenhuma medida foi tomada para contenção do avanço da erosão, pois o processo não apresenta possibilidade alguma de dano aparente às indústrias ali implantadas. A feição gera impacto apenas no vazio urbano em que ela se encontra e muito provavelmente, se a região industrial fosse afetada pelo avanço da feição, tomar-se-ia alguma medida para contenção, visando exclusivamente o interesse econômico atrelado às proximidades do local.

### Considerações Finais

Analisando a periodização do cadastramento, é notável que em um período de aproximadamente 10 anos tem-se mudanças consideráveis nos registros. A atualização de cadastramentos em períodos mais curtos melhoraria a qualidade dos diagnósticos, facilitaria o estudo de viabilidade da implementação de equipamentos de contenção/prevenção de erosões, assim como poderia ajudar no planejamento do crescimento urbano da cidade de forma organizada sem prejudicar o meio ambiente e a população.

### Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Faculdade de Engenharia de Bauru, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/Unesp, pelo apoio recebido para o desenvolvimento da presente pesquisa.

### Referências Bibliográficas

Almeida Filho, G. S. de; Costa, S. B.; Júnior, Z. H.; Gomes, C. L. R.; Frota, A. S.; 2015. Processos Erosivos Lineares no Estado de São Paulo. Natal, p. 1-4.

Almeida, F. F. M.; 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. São Paulo, p. 167-263, Boletim 41.

Botucatu (Câmara Municipal de Botucatu); 2022. Dispõe Sobre Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo do Município de Botucatu, e Dá Outras Providências: Lei nº 6.336, de 07 de junho de 2022. Botucatu, p. 1-22.

Brasil; 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo: contribuição à carta de solos do Brasil. Rio de Janeiro, 620p.

Camapum, J; Sales, M. M.; Souza, N. M.; Melo, M. T. S.; 2006. Processos erosivos. Em Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro. Brasília, 1 ed., Vol. 1, pp. 39-91.

Canil, Kátia. 2000. Processos Erosivos e Planejamento Urbano: Carta de Risco de Erosão das Áreas Urbana e Periurbana do Município de Franca - SP. Universidade de São Paulo – FFLCH. Dissertação de Mestrado.

CMB (Câmara Municipal de Botucatu), 2017. Carta de Zoneamento de Botucatu em escala 1:15.000. Botucatu, 1p.

CMB (Câmara Municipal de Botucatu), 2022. Mapa da Nova Lei de Zoneamento Urbanístico. Botucatu, 1p.

Felicísimo, A. M.; 1994. Modelos digitais del terreno: Introducción aplicaciones en las ciencias ambientales. Oviedo.

Florenzano, T. G.; 2011. Iniciação em sensoriamento remoto. São Paulo, 3 ed.

Fornasari, N. F.; Faria, M.; 2018. Relevo e dinâmica superficial. Em Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo, p. 24.

Francisco, A. B.; 2023. Distribuição Geográfica das erosões lineares em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e argilossolos na bacia de Rio Santo Anastácio-SP. Presidente Prudente, p. 24-38.

IBGE (Instituto brasileiro de Geografia e Estatística); 1970. Carta topográfica da cidade de Botucatu em escala 1:50.000. Rio de Janeiro, 1p.





IGC (Instituto geográfico e Cartográfico); 1978. Levantamento aerofotogramétrico em escala 1:10.000. São Paulo.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas); 2012. Cadastramento de pontos de erosão e inundação no estado de São Paulo. São Paulo, relatório Técnico 131.057- 205.

Loch, C.; 1990. Importância do monitoramento global e integrado no planejamento municipal. Manaus, VI Congresso brasileiro de Sensoriamento Remoto.

Rolim, G. S.; Camargo, M. B. P.; Lania, D. G.; Moraes, J. F. L.; 2007. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. Campinas, p. 711-720.

Rosa, R.; Brito, J. L.; 1996. Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas. Uberlândia.

Santoro, J. 2000. Análise da ocorrência de processos erosivos no município de Campinas (SP): a partir da interação entre a suscetibilidade natural a erosão hídrica e o uso e ocupação do solo. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP. Tese de Doutorado, 145 p.

Silva, P. H.; Martins, I. M.; 2017. Desenvolvimento de aplicativo para auxílio do cadastramento de erosões lineares em meio urbano. Goiânia.

SIGRH (Sistema Integrado de Gerenciamento de Recurso Hídricos de Estado de São Paulo); 2022. UGRHI 10. São Paulo, p. 1-113.

SMG (Secretaria Municipal de Gestão); 2017. Carta de Macrozoneamento de Botucatu em escala 1:30.000. São Paulo, 1p.



# ESTUDO DAS ALTERAÇÕES NO DESEQUILÍBRIO SEDIMENTOLÓGICO OCORRIDAS NO CÓRREGO MUMBUCA NO MUNICÍPIO DE MONTE CARMELO, MG

1Carlos Eugenio Pereira, 2Marcio Ricardo Salla, 3Roseli Mendonça Dias, 4Maria Lyda Bolanos Rojas,  
5Bruno de Oliveira Lázaro, 6José Eduardo Alamy Filho, 7Caroline Yuka Mori Saito,  
8Thaís Cristina de Jesus Fábio Santos

1,2,3,4,5,6,7,8 Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, e-mail: cepereira@ufu.br

**Palavras-chave:** Córrego Mumbuca; Sedimentologia; HEC-RAS.

## Resumo

O grande potencial fluviométrico brasileiro garante a presença de hidrelétricas em diversos locais. O represamento hídrico gera alterações nos processos de transporte e deposição de sedimentos, podendo causar diferentes impactos operacionais e também ambientais. O presente estudo tem como objetivo medir a vazão líquida, analisar os sedimentos e quantificar a descarga sólida do córrego Mumbuca, localizado na cidade de Monte Carmelo-MG, a fim de possibilitar a minimização e remediação desses impactos. Para a medição da vazão líquida foi utilizado o equipamento micro-molinete fluviométrico. Para a coleta de amostras de sedimentos em suspensão foi utilizado um integrador de série Norte-Americana U.S.–DH 48, e um coletor Modelo *Petersen* para sedimentos do leito, em laboratório foram feitas análises granulométricas para a elaboração das curvas granulométricas. Os dados obtidos em trabalhos de campo em três afluentes e três trechos do córrego Mumbuca foram utilizados na determinação da quantidade de sólidos transportada por seção e aplicados no programa HEC-RAS, a fim de determinar na escala temporal o comportamento da massa erodida ou depositada nas estações no período de 01 de janeiro a 30 de abril de 2023, cuja sazonalidade é do período de cheias, e também foi considerado a seção transversal final de cada trecho no período definido acima. Assim, verificou-se que nos afluentes A1 e A2 existe respectivamente depósito da ordem de 3427,73 e 7296,12 toneladas de sedimentos, já nos primeiros dois trechos do córrego Mumbuca, sendo eles: A montante da confluência com o afluente A1 o arraste de sedimentos foi de 23,91 toneladas e a montante do afluente A2 o arraste foi de 7782,52 toneladas. Na sequência, no terceiro trecho do Mumbuca o arraste foi de 1950,00 toneladas e no afluente A3 foi de 3693,73 toneladas. No último trecho a montante do bueiro localizado na MG-190 constatou-se acúmulo de sedimentos da ordem de 1302,67 toneladas.

## Introdução

A carga de sedimentos nos rios é um indicador dos processos erosivos que estão ocorrendo na Bacia Hidrográfica (SUN et al, 2016). Além de fatores como a precipitação, Mohammad et al. (2016) e Silva et al. (2005), expõem que a carga de sedimentos nos rios é influenciada pelo tipo de solo, cobertura vegetal, uso da terra e topografia da bacia hidrográfica. No rio, devido a grande energia de escoamento de corrente os sedimentos são transportados, porém quando essa corrente chega a um determinado reservatório, a região passa a ser lântica e o sedimento é depositado.

Nos estudos sedimentológicos, os métodos diretos são mais complexos e caros, portanto, é mais recorrente o uso de metodologias indiretas, sendo os métodos mais conhecidos, os de Einstein (1950), Engelund e Hansen (1967), Toffaleti (1969), Ackers e White (1973) e Yang (1973). Esses métodos indiretos foram utilizados nos trabalhos de Sobrinho (2013), Brune (2014).

Em relação aos cálculos de descarga sólida total a partir de medições de rios, de acordo com Carvalho (2008) e Paiva (1988), o método de Colby é vantajoso devido à sua aplicação direta e pelo uso de poucos dados. Esse método utiliza informações simples das medições de descarga líquida, da concentração de sedimentos em suspensão, profundidade e velocidade média do escoamento e largura da seção transversal. Consiste em uma metodologia baseada no método modificado de Einstein, em que faz a estimativa da descarga não medida com o uso de três ábacos. Segundo Carvalho (1994) para se verificar a confiabilidade dos resultados é possível compará-los com os resultados obtidos pelo Método Modificado de Einstein.

São vários os modelos e metodologias que determinam o transporte dos sedimentos nos rios, porém vários deles não apresentam resultados precisos, concisos ou que se adaptem a realidade. Sendo importante o estudo contínuo e aprimorado para que haja novos modelos e equações mais eficientes.

Como exemplo, Paiva (1988) a partir de 22 medições no rio Mogi Guaçu e 353 séries de dados experimentais dos canais do Paquistão avaliou 16 métodos de estimativa disponíveis. O autor concluiu que dentre os métodos de estimativa indireta da descarga total de material de leito avaliados, os melhores resultados foram apresentados pelo Método de Yang (1973), seguido pelos métodos de Toffaleti (1969), Bishop (1965), Ackers e White (1973) e Van Rijn (1984) que mostraram desempenhos semelhantes.

Segundo Martin (2003), os métodos de descarga sólida desenvolvidos por Ackers e White (1973) e Van Rijn (1984), são utilizados para avaliar a descarga de material de arrasto em rios de leitos arenosos, porém na prática nem sempre é possível aplicá-las de forma eficiente, visto que nem sempre as concentrações se adequam a faixa de intervalo estabelecidas pelas equações de transporte.

Nesse sentido Hubbell (1987) alega que as medições exigem um esforço prático considerável, onde nem sempre são objetivas devido a variabilidade temporal e espacial, que estão associadas ao movimento da descarga sólida de arrasto, ou seja,



é possível dizer que estas equações disponíveis na literatura ainda continuam limitadas para estimar a descarga sólida de fundo (GOMES, 1989; CHURCH, 1989).

Por meio dos estudos e metodologias é possível não apenas conhecer sobre a sedimentologia e transporte, mas também apresentar medidas que possam mitigar ou corrigir os impactos causados pelo desequilíbrio sedimentológico, como medidas preventivas, o transporte de sedimentos nos cursos de água, e também evitar a formação de depósitos de sedimento no fundo do reservatório. Já as medidas corretivas, possuem o intuito de reparar os danos gerados pela deposição do sedimento no reservatório.

Um software muito utilizado em simulações de transporte de sedimentos de leito móvel em trechos de rios artificiais ou naturais, e que considera a erosão e deposição dos sedimentos ao longo do tempo é HEC-RAS. Algumas aplicações podem ser citadas, entre eles tem-se Mohammad et al (2016), Berghout e Meddi (2016), Lopes (2012), Haghiabi e Zaredehdasht (2012), Pereira et al (2021) e outros.

Neste contexto, o córrego Mumbuca localizado em boa parte no município de Monte Carmelo-MG é um local de relevância para se fazer estudos das descargas sólidas, já que atravessa a cidade e está sujeito a receber sedimentos provenientes da lavagem das ruas e gerados em seus afluentes, onde muitos apresentam-se em regiões urbanizadas, sem matas e impermeabilizadas.

### Material e Métodos

Para alcançar os resultados propostos nesse trabalho dividiu-se em três partes: A primeira foram os trabalhos de coleta de dados em campo, tais como a vazão e amostras de água e de sedimentos de fundo, a segunda foram as análises em laboratório para determinação de sólidos suspensos, e por fim, o cálculo do transporte de sedimentos com o uso do programa HEC-RAS.

### Local de Estudo

A bacia do córrego Mumbuca localiza-se na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, considerando como foz o bueiro localizado na MG-190, nas proximidades da cidade, a área da bacia hidrográfica tem aproximadamente 42,6 km<sup>2</sup>.

Os pontos de coleta foram definidos a partir de um planejamento e estudo do curso do rio e da bacia hidrográfica. Em todo trecho do córrego foram estabelecidos seis pontos de coleta de amostras de água e sedimentos de fundo, sendo três pontos localizados nos afluentes e os outros três pontos no próprio córrego, conforme mostrado na Figura 1.

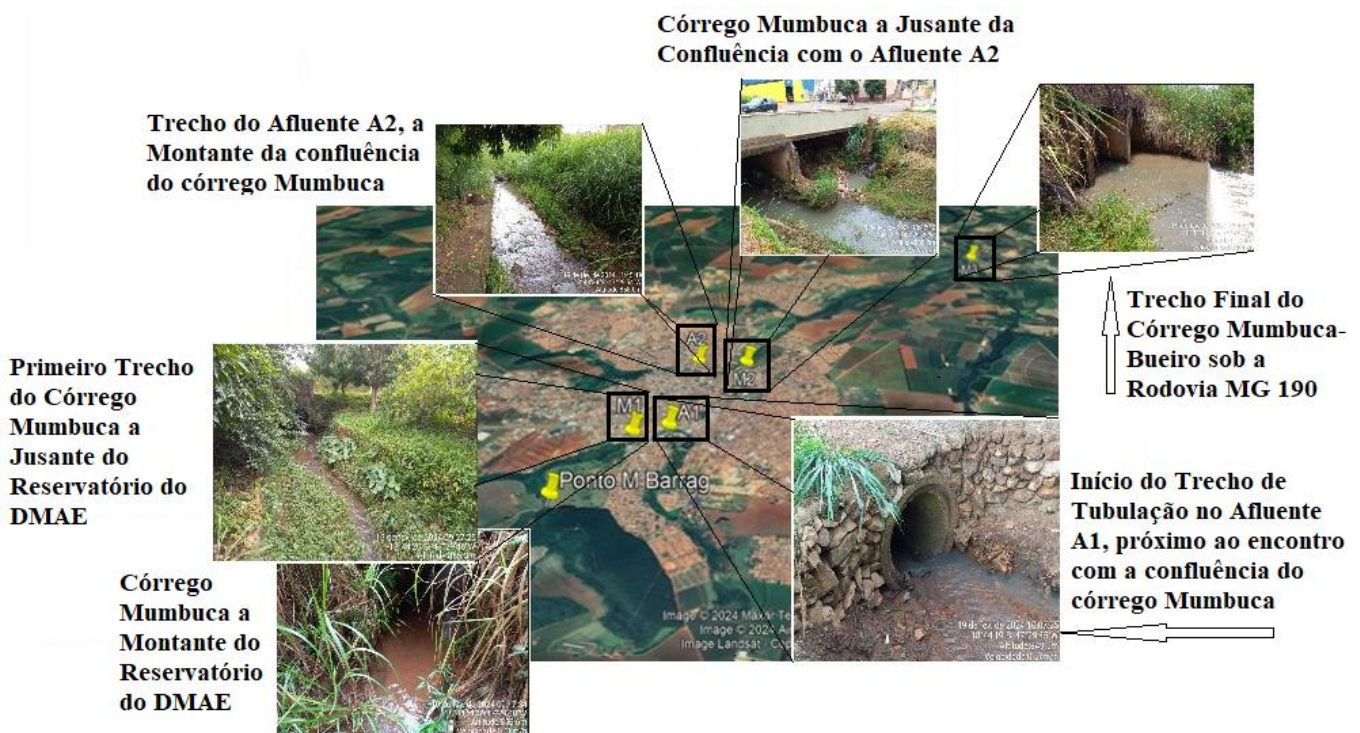


Figura 1: Trechos do córrego Mumbuca e afluentes estudados.

### Monitoramento Hidrossedimentológico

A vazão líquida foi medida utilizando-se o micro-molinete fluviométrico, enquanto que a coleta de amostras de sedimentos suspensos e de leito de fundo nos pontos escolhidos para monitoramento seguiu os procedimentos encontrados na literatura, conforme descrito por Carvalho et al. (2000) e no guia de práticas sedimentométricas da ANEEL (2003). Inicialmente, a amostragem dos sedimentos suspensos seguiu-se como base o método indireto de amostragem por igual incremento de largura





– III. A coleta da água é realizada com o auxílio do Amostrador integrador da série Norte-Americana (U.S.–DH 48) com diâmetro do bocal de coleta de 1/8. Para a coleta divide-se a seção transversal do rio em segmentos de larguras iguais com o auxílio de uma corda graduada, em que se selecionam 10 a 20 verticais, sendo o tempo e a velocidade máxima de descida e subida do equipamento nas verticais observando o tempo mínimo de percurso com base no talvegue e nas outras verticais observando a proporcionalidade. As coletas das amostras foram realizadas com a mesma velocidade de trânsito nas verticais, obtendo uma série de sub-amostras com volumes diferentes e as amostras foram alocadas em frascos de vidro devidamente etiquetados e acondicionados em uma caixa térmica para serem transportadas ao Laboratório de Saneamento (LABSAN) da Faculdade de Engenharia Civil, para posterior análise da concentração dos sedimentos em suspensão, pelos métodos de filtração e evaporação.

Enquanto que as amostras de material de leito foram obtidas utilizando-se o equipamento modelo *Petersen* e acondicionadas em saco plástico. A coleta é realizada percorrendo de margem a margem ao longo da seção transversal do rio, sendo etiquetadas e levadas ao Laboratório de Geotécnia (LABGEO) da Faculdade de Engenharia Civil da UFU.

A partir desses resultados pode-se então realizar o cálculo de descarga sólida por meio da equação 1.

$$Q_{ss} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_{ss} \quad (1)$$

em que:

$Q_{ss}$  : descarga sólida em suspensão ( $T/dia$ );

$Q$  : Vazão total da seção ( $m^3/s$ );

$C_{ss}$  : Concentração de sedimentos suspensos ( $mg/L$ ).

No LABGEO foram conduzidas conforme as normas ABNT NBR 6457: 1986 para o preparo das amostras e ABNT NBR 7181: 2016 para análise do tamanho das partículas os ensaios de granulometria dos sedimentos coletados no leito do rio. O aparato e materiais utilizados neste teste foram: agitador mecânico de peneiras circulares de metal com os seguintes diâmetros, # 50, # 38, # 25, # 19, # 9.5, # 4.8, # 2.0, # 1, 2, # 0.6, # 0.42, # 0.25, # 0.15 e # 0.075mm, balança, cápsulas e estufa. Os ensaios foram conduzidos em triplicata com amostras de 2,0 kg de amostra cada.

### Programa HEC-RAS

O programa HEC-RAS – *River Analysis System*, atualmente na versão 6.5, de fevereiro de 2024, foi desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* para o *U. S. Army Corps of Engineers*.

Neste estudo foi utilizado para simular o transporte de partículas sólidas em três trechos do córrego Mumbuca e três afluentes principais. Assim, foi possível analisar ao longo do tempo estudado, que foi de janeiro a abril de 2023, os locais onde ocorrem erosão e depósito de sedimentos.

Durante as simulações o programa HEC-RAS em seu sistema integrado permitiu a manipulação e visualização dos dados de entrada, a simulação do escoamento, denominado em regime quase permanente (transporte sedimentar em fundo móvel) e análise dos resultados em tabelas e gráficos, além da emissão de relatórios. O cálculo e a apresentação gráfica foram conduzidos em regime denominado quase permanente, numa rede de canais com seção natural.

Para a simulação no modelo HEC-RAS foi necessário introduzir informação de base de diferentes tipos, a partir dos levantamentos de campo obtidos durante as coletas realizadas, sendo elas: a) Dados geométricos e hidráulicos obtidos durante as medidas de vazão com o Micro Molinete. Esses dados ao longo do trecho de simulação, em seis seções foram adicionadas manualmente. As outras seções foram obtidas por meio da ferramenta RAS Mapper, interface do próprio HEC-RAS, sendo adicionadas por meio de Geometria – Seções Transversais, com distância entre elas a cada 500 metros e principalmente nos locais com a presença de bueiros perpendiculares as vias na cidade de Monte Carmelo-MG. Na sequência foram criadas seções interpoladas entre as existentes, com recurso da função interpoladora existente no HEC-RAS. O coeficiente de Manning foi adotado igual a 0,035 de acordo com as características gerais do córrego e seus afluentes.

O procedimento computacional é baseado na solução da equação unidimensional da conservação da energia. As perdas de carga são tidas em conta por meio do atrito (equação de Manning) e pela contração/expansão (produto do coeficiente de contração/expansão pela variação da altura cinética). A equação de conservação da quantidade de movimento é utilizada em situações onde a curva de regolfo varia muito rapidamente. Estas situações ocorrem quando existe a mudança do regime de escoamento (por exemplo no ressalto hidráulico), no atravessamento de pontes e nas confluências de trechos de rio.

Após a criação da geometria os dados de vazões obtidos nas coletas foram inseridos como condições de contorno para o escoamento quase-permanente. Para inserir os dados, primeiramente considerou-se as estações nascentes, respectivamente nos três afluentes e no início do córrego Mumbuca. A condição de contorno a jusante, junto ao bueiro da rodovia MG-190 foi considerada a declividade da linha de água no último trecho. No editor de série de escoamento os dados de vazões, a duração do escoamento e o incremento computacional foram inseridos. As vazões foram aquelas obtidas em cada campanha, a duração do escoamento consiste na diferença em horas de uma coleta para outra e o incremento computacional considerou-se de 24 horas.

Antes de inserir os dados de sedimentos de fundo e suspensos e da bacia hidrográfica foram realizados testes com simulações do modelo hidráulico, pois os resultados de sedimentos são muito sensíveis a parâmetros hidráulicos.

Para entrada de dados de sedimentos no programa, primeiramente foi inserida a distribuição granulométrica do leito das seis estações a partir das análises e curvas granulométricas criadas nas campanhas realizadas em campo, o tipo de solo predominante na bacia e a concentração de sedimentos suspensos em função da vazão medida em campo. A distribuição



granulométrica em cada seção no programa foi considerada a da estação mais próxima em que ocorreram coletas e análises de sedimentos de leito, o mesmo foi feito para os sedimentos em suspensão. Em todas as seções foi definido que a máxima mudança na dinâmica vertical do leito ficaria em 0,5 m.

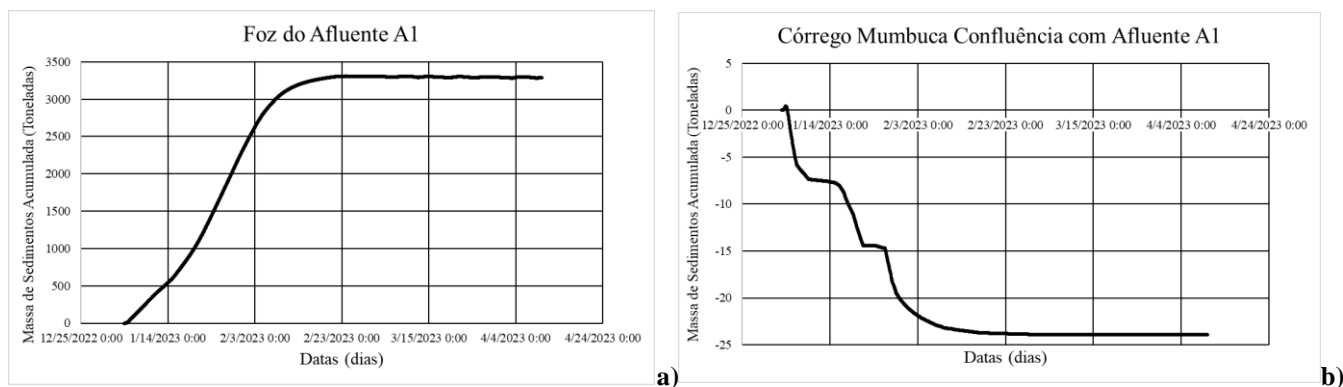
As simulações no programa foram definidas entre os meses de janeiro e abril de 2023, sendo utilizado os métodos de Ackers-White para o transporte dos sedimentos (função de transporte), para o método de classificação a fim de calcular a espessura da camada ativa na caixa “Sorting Method”, utilizou-se o método de Thomas (Ex 5), por fim, o método de Soulsby foi definido para a velocidade de sedimentação. Os resultados obtidos são apresentados por seção transversal, onde optou-se por apresentar seções junto a foz de cada afluente estudado, e também a montante dessas confluências, e junto ao bueiro da MG-190 no córrego Mumbuca. O registro da alteração total na massa do leito acumulada pode ser realizado analisando os gráficos gerados no tempo e no espaço, sendo que o tempo de simulação foi definido entre 1 de janeiro a 30 de abril de 2023, e o espaço é dado pela variação de massa do leito entre as seções transversais, partindo de montante até jusante, sendo a última seção sempre próxima a confluência no córrego Mumbuca com seus afluentes.

### Resultados e Discussão

Para apresentação dos resultados, optou-se por seções transversais mais próximas as confluências entre os córregos afluentes ao córrego Mumbuca. Como são três afluentes, o córrego principal (Mumbuca) foi dividido em 4 (quatro) partes, ou seja, primeiro trecho até a confluência com o afluente A1, o segundo trecho entre os afluentes A1 e A2, o terceiro trecho entre os afluentes A2 e A3 e o quarto trecho até a rodovia MG 190.

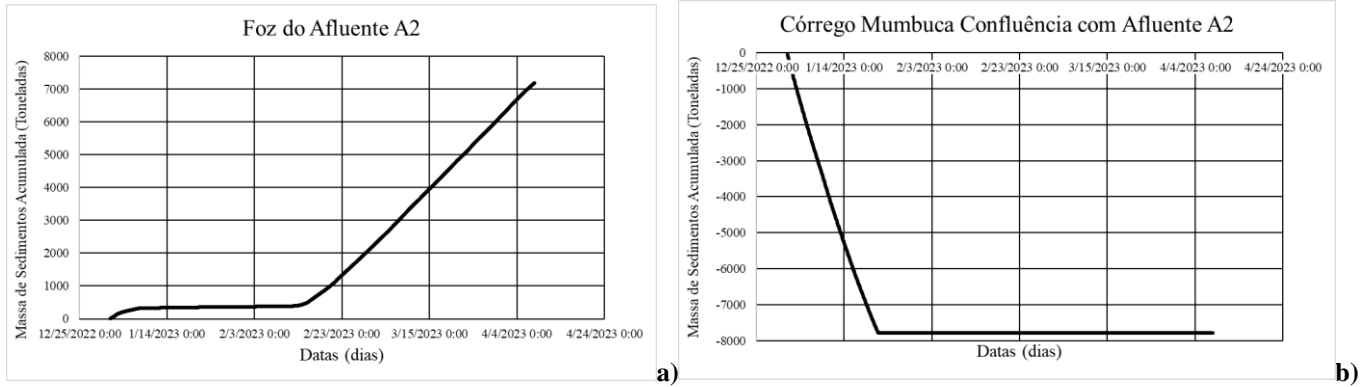
Assim, observa-se na Figura 3a que apresenta o gráfico em uma seção transversal próxima da confluência com o córrego Mumbuca, que existe acúmulo de sedimentos gerados durante o período analisado de 3427,73 toneladas no afluente A1. Sendo que a carga máxima nessa seção ocorreu durante o mês de fevereiro, ou seja, em menos de 2 meses de simulação. Contudo, isso representa somente o ocorrido nas proximidades da foz desse afluente. Pela observação de imagens e visitas ao local desse afluente, verificou-se que a região é caracterizada pelo desenvolvimento urbano em progresso, embora sua nascente ainda apresente características agrícolas e de mata ciliar.

Na continuidade dessa análise, observa-se que o primeiro trecho do córrego Mumbuca, entre o reservatório do DMAE e a confluência com o afluente A1, ocorre arraste de sedimentos e na seção transversal escolhida para representar esse trecho do córrego ocorreu o transporte de 23,91 toneladas no final do período analisado, conforme pode ser visto na Figura 3b.



**Figura 3: Massa de sedimento acumulada: a) na foz do afluente A1; b) a montante da confluência do córrego Mumbuca com o afluente A1.**

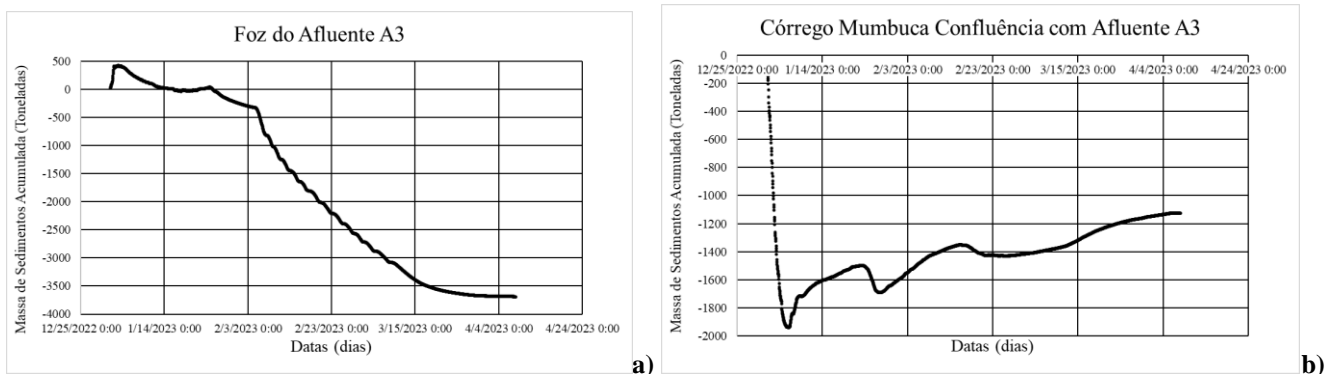
Nota-se nas Figuras 4a e 4b que o comportamento é parecido com os trechos anteriores, com o afluente A2 apresentando acúmulo de sedimentos na seção próxima a confluência com o córrego principal, cuja quantidade de sedimentos acumulados chegam a 7296,12 toneladas. O transporte de sedimentos passou a ser considerável em meados do mês de fevereiro, alcançando seu máximo no final do período simulado, que foi no início do mês de abril. Em contrapartida houve arraste de sedimentos de 7782,52 toneladas no segundo trecho do córrego Mumbuca entre os afluentes A1 e A2. Ressalta-se que na Figura 4b o arraste foi considerável nos primeiros dias após o início da simulação na seção a montante da confluência, tornando-se zero após esse período, talvez devido a canalização do córrego Mumbuca, presente nesse trecho.



**Figura 4: Massa de sedimento acumulada: a) na foz do afluente A2; b) a montante da confluência do córrego Mumbuca com o afluente A2.**

O afluente A2 tem as mesmas características do afluente A1, contudo, o desenvolvimento urbano atual é maior com a presença de novos loteamentos na área dessa sub-bacia. Mas o fato de se verificar uma quantidade de sedimentos acumulados maior nesse segundo afluente, pode estar relacionado a presença de bueiros nas vias urbanas em maior quantidade e mais próximos um do outro, algo que deve ainda ser investigado com mais detalhes.

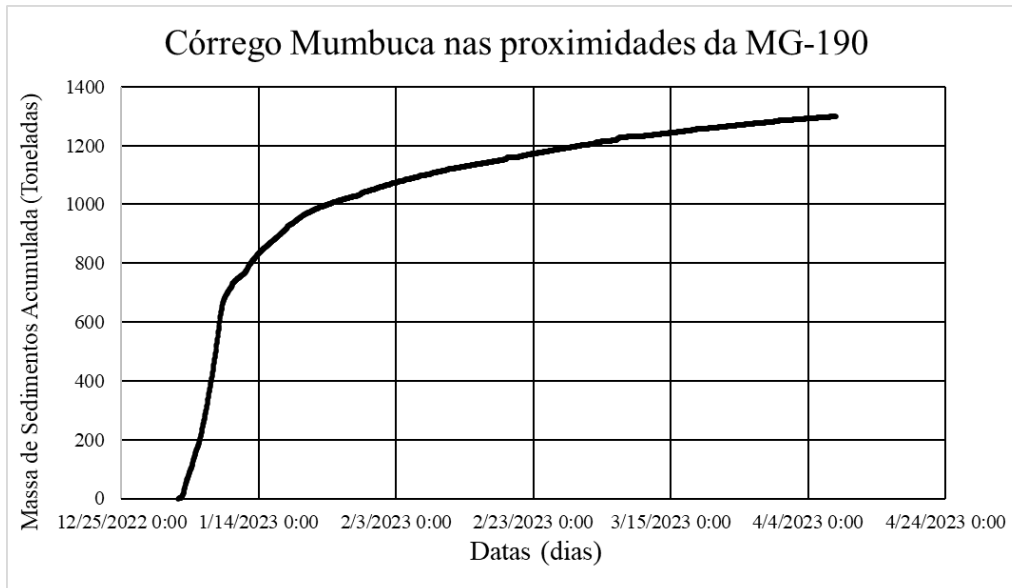
Por fim, no afluente A3, observa-se arraste de sedimentos, que chega a 3693,73 toneladas ao longo da simulação conforme Figura 5a. A montante da confluência deste afluente, no trecho 3 do córrego Mumbuca o arraste de sedimentos variou em valores aproximados entre 1950 toneladas logo no início da simulação, sendo reduzida abaixo de 1200 toneladas no final, conforme a Figura 5b, confirmando-se inclusive acúmulo de sedimentos conforme o desenvolvimento da simulação.



**Figura 5: Massa de sedimento acumulada: a) na foz do afluente A3; b) a montante da confluência do córrego Mumbuca com o afluente A3.**

O último trecho de simulação no córrego Mumbuca (M4), conforme a Figura 6 mostra que a montante ao bueiro localizado na MG-190, que serviu de foz do referido córrego para este estudo, existe acúmulo de sedimentos no final do período analisado da ordem de 1302,67 toneladas.





**Figura 6: Massa de sedimento acumulada junto ao bueiro da MG-190.**

Até aqui as análises foram realizadas nas seções transversais próximas a cada confluência, contudo, observando os trechos por completo, verifica-se no primeiro trecho do córrego Mumbuca (M1) que houve arraste de sedimentos de maneira crescente, já no afluente A1 tem-se trechos com arraste, devido a declividades maiores e acúmulo de sedimentos em locais com declividades menores. Em locais com a presença de bueiros, que cortam as vias da cidade esse arraste é favorecido, já que essas obras de arte são instaladas com dimensões menores do que o curso de água, o que favorece no aumento de velocidade, principalmente após o escoamento ultrapassá-los.

No segundo trecho do córrego Mumbuca (M2) tem-se a mesma análise feita para o córrego A1, em declividades maiores tem-se arraste e nas menores acúmulo de sedimentos, e também a influência devido aos bueiros.

Em sequência analisou-se o afluente A2, que é caracterizado por apresentar muitos bueiros. Nesse trecho observou-se o acúmulo de sedimentos na maioria das seções transversais, diferenciando o que se imaginou que pudesse ocorrer e evidenciado nos trechos M2 e A1, ou seja, que os bueiros auxiliassem no arraste dos sedimentos devido ao aumento da velocidade.

No terceiro trecho do córrego Mumbuca (M3) e o afluente A3 têm poucos bueiros e a urbanização é predominante na margem esquerda. Nesses córregos observou-se arraste crescente no trecho inicial, seguido de um trecho com acúmulo de sedimentos, essa variação entre arraste e acúmulo ocorreu em todo esse trecho, sempre de acordo com a variação da declividade.

O último trecho do Mumbuca (M4) é caracterizado pelo acúmulo de sedimentos nas seções transversais analisadas ao longo de todo o trecho do córrego, isso pode ser devido a essa região apresentar relevo praticamente plano.

### Considerações Finais

Assim, pode-se ver que existe acúmulo de sedimentos nas seções próximas as confluências em dois afluentes do córrego estudado, ou seja, A1 e A2, e retirada de sedimentos por meio de arraste no afluente A3. Contudo, em uma análise completa dos trechos dos afluentes observou-se arraste de sedimentos em seções transversais, devido a altas declividades e nos trechos com a presença de bueiros, que atravessam as vias urbanas, a jusante deles há arraste devido ao aumento da velocidade de escoamento e especialmente devido a força trativa.

No afluente A2 a presença de bueiros é maior devido a quantidade de vias urbanas presentes nessa sub-bacia, que faz com que os locais de acúmulos de sedimentos, sejam maiores, mesmo a jusante dos bueiros, contrapondo-se a análise geral feita no parágrafo anterior.

Enquanto que no córrego Mumbuca, nos três primeiros trechos ocorrem arraste de sedimentos, o que coincide com os trechos que atravessam a cidade de Monte Carmelo-MG, e a jusante da cidade, no último trecho, especialmente na seção junto ao bueiro da MG-190 verifica-se acúmulo de sedimentos.

Sabe-se que são muitos os fatores que afetam o transporte de sedimentos em córregos e rios, mas percebeu-se no geral que a declividade tem influência devido a variação da velocidade, que desempenha papel importante no arraste e deposição dos sedimentos. Contudo, ainda não foi possível concluir sobre a influência dos bueiros nesse transporte, já que se trata de estruturas com largura muito pequenas se comparadas com a largura do trecho estudado.

Os altos valores de sedimentos em alguns meses do ano, na maioria das vezes são justificados pelo aumento da precipitação, porém também pelo impacto gerado pelo uso e ocupação do solo ao redor. Várias são as consequências negativas geradas pela maneira com que se usa o solo, sendo estes facilmente observados pelos moradores locais. Seria interessante, que ocorresse campanhas de educação ambiental e preservação da mata ciliar no entorno dos córregos, especialmente dos afluentes que ainda não foram totalmente urbanizados.



### Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), por meio do projeto 1699/2017, pelo suporte a essa pesquisa e a Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por garantir as bolsas de iniciação científica dos discentes de graduação envolvidos.

### Referências Bibliográficas

- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica); 2003. Comunicação Pessoal. [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br).
- Berghout, A.; Meddi, M.; (2016). Sediment transport modelling in wadi Chemora during flood flow events. *Journal of Water and Land Development*. v. 31, p. 23–31.
- Brune, G. M.; Allen, R. E.A; 1941. Consideration of Factors Influencing Reservoir- Sedimentation in the Ohio Valley Region. *American Geophysical Union Transaction*. v. 2, pp. 649-655.
- Candiani, G. et al. ; 2013. Estudo de Caso: Aspectos Socioambientais da Pequena Central Hidrelétrica (PCH)- Queluz-SP, na Bacia do Rio Paraíba do Sul. *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo*, v. 25, pp. 98-119.
- Carvalho, N.O.; (2000). Assoreamento de reservatórios – consequências e mitigação dos efeitos. In: IV Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos. Santa Maria-RS. Cdrom. pp.1-22
- Carvalho, N. O; Filizola Jr., Santos, P. M. C; Lima, J. E. F. W.; (2000). Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios Brasília : ANEEL, pp.185.
- Carvalho, N.O. (1994). *Hidrossedimentologia Prática. CPRM e ELETROBRÁS*. Rio de Janeiro, RJ. pp. 384.
- Carvalho, N. O.; (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. 2 ed.: Rio de Janeiro: Interciência.
- Church, M.; Hassan, M.; Wolcott, J.; (1998). Stabilizing self-organized structures in gravel-bed stream channels: field and experimental observations. *Water Resources Research* 35, pp. 3169–3179.
- Fernandes, D., & Castro, J. W. A. (2020). TRANSPORTE DE SEDIMENTOS INDUZIDO POR ONDAS NO SEGMENTO NORTE DA ENSEADA DA BAÍA FORMOSA, RIO DAS OSTRAS, ESTADO DO RIO DE JANEIRO. *Revista Brasileira De Geomorfologia*, v. 21, n.4. <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1900>
- Glymph, L.M.; (1973). Sedimentation of Reservoirs. IN; ACKERMANN.W.C et al , ed. *Man –made lakes: their problems and environmental*. Washington DC. American Geophysical Union pp. 342-348.
- Gomez, B.; Church, M. (1989). An assessment of bed load sediment transport formulae for gravel bed rivers. *WaterResourcesResearch* 25, pp.1161–1186.
- Hilu, A.; (2003). Estudo da Erosão Hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi no Estado do Paraná, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, UFPR, Brasil.
- Hubbell, D.W.; (1987). Bed load sampling and analysis. In: Thorne, C., Bathurst, J., Hey, R. (Eds.), *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers*. Wiley, Chichester, pp. 89– 106.
- ICOLD, International Commission on Large Dams; (1989). *Sedimentation control of reservoirs/Maîtrise de l'alluvionnement des retenues*. Committee on Sedimentation of Reservoirs. Paris.
- Leopold, L.B. & Maddock, T. (1953) The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *Professional Paper, United States Geological Survey, Washington*, 252: pp.57.
- Lopes; (1993). Estudo do assoreamento do reservatório de Americana. Dissertação de Mestrado em Geociências. Universidade Estadual Paulista-UNESP-RC. pp. 85
- Maia, A.G.; Villela, S.M.; (2006). A necessidade da consideração do processo de assoreamento no planejamento e operação de reservatórios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 11, n. 2, pp. 187 – 193.
- Martin, Y.; (2003). Evaluation of bed load transport formulae using field evidence from the Vedder River, British Columbia. *Geomorphology* 53, pp.75–95.
- Morris, G. L; Fan, J.; (1997). *Reservoir sedimentation handbook*. McGraw-Hill. New York. pp.365



- Mohammad, M. E., Al-Ansari, N., Issa, I. E., et al. (2016). Sediment in Mosul Dam reservoir using the HEC-RAS model. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*. V.21, n. 3, pp.235–244.
- Paiva, J. B. D.; (1988). Avaliação dos Modelos Matemáticos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios. pp.315 Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Peixoto, R. A. O., Pereira, C. E., Salla, M. R., et al. (2021). Study of sediment transport in the Jordão River, located in the mesoregion of the Triângulo Mineiro-MG. *Acta Scientiarum. Technology*. 43, pp. 1-14.
- Pereira, C. E., Peixoto, R. A. O., Salla, M. R., et al. (2021). Application of measurement methods for solid discharge in the ribeirão jordão stream and tributaries in UPGRH PN-1. *International Journal of Hydrology*. v.5, n.4, pp. 170-180.
- Ramos.C.L.; (1999). Critérios indicativos para a caracterização da potencialidade do assoreamento em reservatórios urbanos. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte. CDrom. pp.1-15.
- Salla, M. R.; Pereira, C. E.; Alamy Filho, J. E.; Paula, L. M.; Pinheiro, A.M.; (2013). Estudo da autodepuração do Rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Dourados. *Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro*, v.18,n.2,pp.105-114.
- Santos, I.; Fill, H. D.; (2001). *Hidrometria Aplicada*. Curitiba, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento.
- Simons, D. B.; Sentürk, F.; (1977). *Sediment Transport Technology*. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.
- Tarela, P.A; Menendez, A.N.; (1999). A model to predict reservoir sedimentation. IN: *Lake & Reservoirs: Research and Management*. V4. pp. 121-133
- Vanoni, V.A.; (1977). *Sedimentation Engineering*. ASCE, American Society of Civil Engineers. New York, NY. pp.743
- Vicent, J. G.; (2003). Improvement of the reservoir capacity and of the operation of the dewatering components. In: Conferencia de Jesús Granell Vicent. Disponível em <[http://www.seprem.com/imagenes/JesusGranell\\_TemaII.pdf](http://www.seprem.com/imagenes/JesusGranell_TemaII.pdf)>. Acesso em: 20 Ag. 2003.
- WILSON JR, G.; PAIVA L. E. D.; (2003). Estimativa da descarga sólida por arraste a partir do registro das configurações de fundo: aplicação ao córrego Horácio, Noroeste do Estado do Paraná: In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, 23 – 27 nov. de 2003. Curitiba/PR. Anais, Curitiba.