

A
N
A
I
S

3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AMBIENTAL

VOLUME 1 A - RESUMOS



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 A – RESUMOS

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 A / 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.

191p.: 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.^a Maria Cristina de Almeida Silva

IPH/UFRGS

Dr.^a 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
Felippe 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. O. 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 |

RESUMOS

A MULTI-OBJECTIVE APPROACH TO URBAN FLOOD FORECASTING: CASE STUDY OF CAVEIRAS RIVER, LAGES, SANTA CATARINA.....	12
ANÁLISE TEMPORAL DE RECORRÊNCIA DE ÁREAS INUNDADAS EM PORTO ALEGRE UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT E SENTINEL-1.....	15
RECURSOS HÍDRICOS NOS CONTEÚDOS CURRICULARES DO ENSINO TÉCNICO	18
EDUCAÇÃO AMBIENTAL SOBRE DOMÓTICA E MATERIAIS ALTERNATIVOS APLICADOS EM RESIDÊNCIAS ECOEFICIENTES.....	21
PROJETO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL COMO ESTRATÉGIA DE PREVENÇÃO E CONTROLE DE ARBOVIROSES	24
COMBATE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: APROVEITAMENTO DE GÁS RENOVÁVEL A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	27
MODEL FOR UTILIZING NATURAL GAS ASSOCIATED WITH HYDROGEN IN PRE-SALT OFF-SHORE EXPLORATIONS.....	30
GERAÇÃO DE BIOGÁS E METANO NA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE ANTIBIÓTICOS EM REATORES DE BATELADA	33
AUTOMATIZACIÓN DEL MAPEO TEXTURAL DE SUELOS EN MICROCUENCA AUQUISH URAN, YUNGAY, PERÚ: ENFOQUE Y APLICACIÓN	36
DEMANDA HÍDRICA DO ABASTECIMENTO ANIMAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA E BACIAS CONTÍGUAS.....	38
O IMPACTO DAS DIVULGAÇÕES ESG E DAS PARTES INTERESSADAS NO GREENWASHING: UMA PERSPECTIVA SOBRE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	39
ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE QUEIJO TIPO MUSSARELA VENDIDOS COMERCIALMENTE NA CIDADE DE MACAPÁ	42
ANÁLISE DOS ASPECTOS AMBIENTAIS NOS PLANOS DIRETORES MUNICIPAIS NA REGIÃO OESTE DE SANTA CATARINA	44
A EVOLUÇÃO DO MODELO AMBIENTAL, SOCIAL E DE GOVERNANÇA (ESG): UMA REVISÃO DE SUA TRAJETÓRIA ASCENDENTE.....	46
ÁREAS VERDES URBANAS, TIPOLOGIA E DISTRIBUIÇÃO: DOURADOS, MATO GROSSO DO SUL.....	50
MATHEMATICAL MODELING OF HYDROGEN SULFIDE GAS EMISSION REMOVAL IN A BIOFILTER	53
MODELAGEM MATEMÁTICA DE DISPERSÃO REVERSA AERMOD: UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE ODORES	56
EVOLUÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL DA PESQUISA EM MINERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS.....	60
COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC RECEBIDOS NOS ECOPONTOS MUNICIPAIS DE SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP	64

PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE GESTÃO DIFERENCIADO DE RSU PARA OS MUNICÍPIOS DA MESORREGIÃO OESTE DO PARANÁ	67
PANORAMA DA REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE BAURU-SP, BRASIL	69
PROPRIEDADES ADSORTIVAS DO LODO DE ETA E DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	73
BIODIGESTORES ANAERÓBIOS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS E INTENSIFICAÇÃO DA RENDA DE PEQUENOS PRODUTORES SUÍNOS NO ESTADO DO MARANHÃO	76
ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR LIXIVIADOS (ICL) DEL RELLENO SANITARIO DE ANDAHUAYLAS Y RELLENO SANITARIO DE ANCO-HUALLO, APURÍMAC, PERÚ - 2023 .	79
ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS RETIRADOS DE MANANCIAL URBANO, UTILIZANDO MACRÓFITAS AQUÁTICAS DA REPRESA GUARAPIRANGA COMO FERTILIZANTE	80
DESAFIOS DA PARTICIPAÇÃO CIVIL NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM MOÇAMBIQUE: UMA REVISÃO	83
PERFIL DE SENSIBILIDADE DE ISOLADOS DE <i>ESCHERICHIA COLI</i> OBTIDOS DE EFLUENTE TRATADO PROVENIENTE DE AGROINDÚSTRIA DE PISCICULTURA	85
ANÁLISE DO TEOR DE AQUOQUÍMICOS NAS ÁGUAS DO RIO LONQUEADOR, PARANÁ-BRASIL	88
MONITOREO DE CALIDAD DE RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES DEL EMBALSE PASTO GRANDE Y SUS RÍOS TRIBUTARIOS - MOQUEGUA, PERÚ	91
A OCORRÊNCIA DO ARSÊNIO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E A SUA POSSÍVEL RELAÇÃO COM FONTES ANTRÓPICAS	94
AVALIAÇÃO DE ATIVIDADE MUTAGÊNICA EM <i>LITHOBATES CATESBEIANUS</i> DAS ÁGUAS DO RIO URUTAGO NO SUDOESTE DO PARANÁ, EM BAIXA VAZÃO	97
DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO QUATERNÁRIO COSTEIRO I - RS	100
ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA PORÇÃO NORDESTE DA BACIA DO MAMPITUBA NO RS	103
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DO LAGO VACA BRAVA EM GOIÂNIA - GO... ..	106
VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA DE UM RIO INTERNACIONAL NO SUL DO BRASIL.....	110
APLICABILIDADE DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRANEAS IQNAS E IRQ NO SISTEMA AQUIFERO SERRA GERAL	111
MONITORAMENTO AÉREO E SUBAQUÁTICO DE TRAÇADORES FLUORESCENTES DE QUININO PARA DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO	114
A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL: UM PANORAMA GERAL ATUALIZADO	116
ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA DE UNA CUENCA ALTOANDINA DEL PERÚ	119
ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS MEDIANTE METODOLOGÍAS EMPÍRICAS Y DETERMINÍSTICAS EN MICROCUENCAS ALTOANDINAS DEL PERÚ	122

A IMPORTÂNCIA DA AUTOMATIZAÇÃO PARA O MONITORAMENTO HIDROBIOLÓGICO DA QUALIDADE DA ÁGUA- FLOWCAM CYANO	125
PROYECCIÓN DE CAUDALES DE LA CUENCA PATIVILCA BAJO MODELOS CLIMÁTICOS DEL CMIP6 EN EL ESCENARIO SSP5-8.5 USANDO SWAT	128
MODELAÇÃO PREDITIVA DE CIANOTOXINAS EM ÁGUAS DE CONSUMO	132
DETERMINAÇÃO TEÓRICA DO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO A SER APLICADO EM NA CALIBRAÇÃO DE UMA REDE REAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	134
MOVIMENTO SOS REPRESA DE NOVA PONTE, RIO ARAGUARI E AFLUENTES	138
ESTIMATIVA DO CUSTO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO EM CAXIAS DO SUL, RS	142
USO DE SISTEMAS BASEADOS EM MICROALGAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES E A SEGURANÇA HÍDRICA URBANA - REVISÃO SISTEMÁTICA	145
SEGURANÇA HÍDRICA NO COMPLEXO HIDRELÉTRICO DE URUBUPUNGA.....	148
PROPOSIÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS COMO CRITÉRIOS PARA ANÁLISES DE VAZÕES MÍNIMAS RESIDUAIS DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS DE DERIVAÇÃO DE FLUXO.....	151
REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONÍACAL EM REATOR DE LEITO FIXO COM CERÂMICA SILICOSA PARA PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE ANAERÓBIO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO.....	154
POTENCIAL DO TANINO COMO COAGULANTE ORGÂNICO NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE GALVANOPLASTIA	157
ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS ORIUNDO DE REATORES UASB NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	160
USO DE ESTRATÉGIA HIDRÁULICA PARA PROMOVER A GRANULAÇÃO DE LODO ANAMMOX.....	169
ENHANCED ANTIBIOTIC REMOVAL IN WASTEWATER USING CONSTRUCTED WETLANDS AND MICROBIAL FUEL CELLS: IMPACT OF VEGETATION AND ELECTRODE MATERIALS.....	172
PARTIDA OTIMIZADA DE UM REATOR MBBR EM ESCALA REAL NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO.....	175
EVALUACIÓN DE UN NUEVO COAGULANTE NATURAL A BASE DE <i>NOSTOC SPHAERICUM</i> PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	178
AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE HPAS E FIXAÇÃO DE CO ₂ POR MICROALGAS MARINHAS EM EFLUENTES INDUSTRIAIS UTILIZANDO UM FOTOBIORREATOR AIRLIFT PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.....	180
ANÁLISE MORFOLÓGICA DE FIBRAS DE POLIESTIRENO COM ÓXIDO DE GRAFENO PARA APLICAÇÃO COMO FIBRAS ADSORVENTES	181
UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE COCO RESIDUAIS PRÉ-TRATADAS COM BIOSURFACTANTE NA RECUPERAÇÃO DE AMBIENTES MARINHOS IMPACTADOS POR PETRÓLEO CRU...	184
SELEÇÃO DE COLÔNIAS DE BACTÉRIAS PRODUTORAS DE BIOSURFACTANTES DE AMOSTRAS DE SOLO DO LEITO DO RIO AMAZONAS, MACAPÁ - AP.....	187
CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO DO BIOMA MATA ATLÂNTICA BASEADO EM SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY.....	189

RESUMOS



3º CONGRESSO INTERNACIONAL DE
**ENGENHARIA
AMBIENTAL**

– EDIÇÃO LUSO-BRASILEIRA –



2024

A MULTI-OBJECTIVE APPROACH TO URBAN FLOOD FORECASTING: CASE STUDY OF CAVEIRAS RIVER, LAGES, SANTA CATARINA

1Renata Bulling Magro, 2Silvio Luis Rafaeli Neto, 3Olavo Pedrollo, 4Alexandre C. Botazzo Delbem

1Universidade de São Paulo (USP), e-mail: renatamagro@usp.br; 2Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), e-mail: silvio.rafaeli@udesc.br; 3Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: pedrollo.olavo@gmail.com, 4Universidade de São Paulo (USP), e-mail: acbd@usp.br

Keywords: Multiple responses; Computational intelligence; Artificial neural network.

Abstract

In recent decades, floods have emerged as a growing global threat. The increase in urbanization of floodplain regions coupled with the impacts of climate change, has significant effects on the hydrological processes on Earth's surface (MILLER; HUTCHINS, 2017). To address this challenge, developing robust and accurate flood forecasting models is imperative. However, the complex interactions among hydrological and hydrodynamic factors within urban environments present a significant obstacle to developing such models (PARQUIER; BAZIN, 2014).

While physically-based models offer accurate representations of water flow and dynamics, their complexity and computational requirements often make them impractical for real-time flood forecasting. As an alternative, machine learning models can provide cost-effective solutions (MOSAVI, et al., 2018). Artificial Neural Networks (ANNs), for instance, offer advantages in flood disaster contexts due to their ability to learn from data and capture intricate relationships with less computational time, making them a valuable tool for flood forecasting. However, traditional ANN-based models often rely on upstream data to forecast downstream river levels, potentially introducing uncertainties when converting these forecasts into actual water depths across the urban floodplain (ALFIERI, et al. 2012). Additionally, predicting water depths at various locations in floodplains is highly valuable for disaster response agencies. This flood forecasting strategy, which considers spatialized multiple control points in space, can be translated into a multi-objective optimization problem. The multi-objective approach treats the accuracy of various control points as simultaneous goals, optimizing multiple objectives at once. This is different from single-objective algorithms that focus on a single criteria (or objective) (GASPAR-CUNHA; VIEIRA, 2005). In the context of this work, a multi-objective approach means predicting water depth at many points while exploring the trade-offs between their accuracy. This study aimed to investigate a multi-objective approach for multi-site water depth forecasting using ANNs.

The study area corresponds to Lages, Santa Catarina, Brazil, focusing on a section of the Caveiras River. Flood events from May 2005, August 2011, and June 2017 were selected for developing the ANN-based forecasting models. These events were chosen due to the significant negative impacts they caused on the urban floodplain residents. Two water depth control points (CAV3 and CAV4) were employed to assess the single and multi-objective approaches for flood forecasting water depth (Figure 1). The ANN models were fully implemented by the authors on MATLAB 2019a. Three-layer ANNs were used, consisting of an input layer, a hidden one, and an output one. Hydrographs from HEC-HMS 4.2 (FIELDMAN, 2000) and water depth from HEC-RAS 2D (BRUNNER, 2016) were used as input data. The output is the predicted water depth at each control point for the lead times of 3, 6, 8, 12, 14, 18, and 20 hours, respectively. These lead times were chosen to test the forecasting capability of the models. Data were partitioned into training, validation, and verification datasets. The final model performance was assessed with the verification dataset.

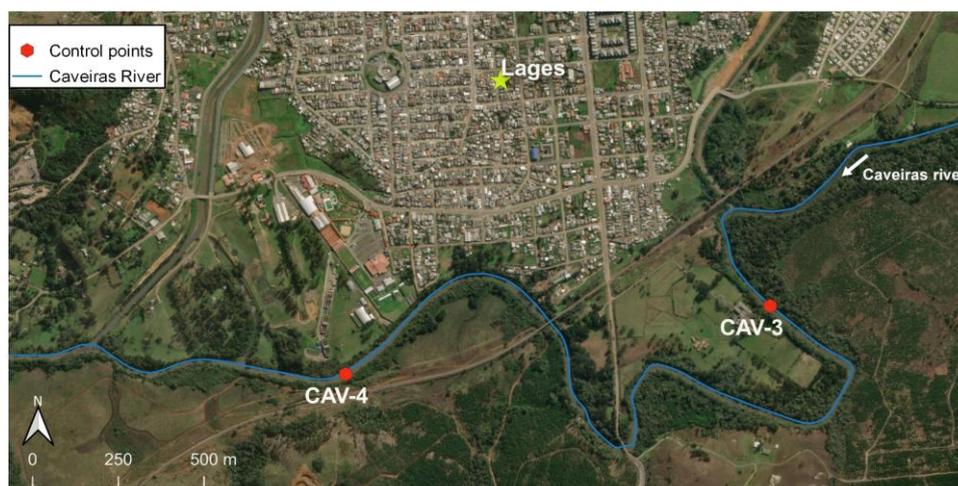


Figure 1: Schematic representation of the location of control points.



One of the great benefits of ANNs is their ability to generate multiple outputs for a given set of inputs. In this study, we investigated the use of single-objective and multi-objective ANNs. Initially, single-objective models were developed to forecast water depth at one individual control point. Subsequently, a multi-objective approach was utilized to simultaneously forecast water depth at multiple control points (Table 1). To evaluate the model's performance, we used the mean absolute error (MAE), the Nash-Sutcliffe coefficient (NS) (MORIASI, et al. 2015), and the 90th percentile (E90), which indicates the error values not exceeded in 90% of the predictions.

Spatial input information	Model	Objective
CAV3	ANN _{CAV3}	Accuracy of CAV3 forecasting (single-objective)
CAV4	ANN _{CAV4}	Accuracy of CAV4 forecasting (single-objective)
CAV3 and CAV4	ANN _{CAV3,4}	Accuracy of CAV3 and CAV4 (multi-objective)

Table 1: Summary of single and multi-objective models used to forecast water depth at each control point. The objective corresponds to the model's accuracy at each control point (single-objective) or both control points (multi-objective).

Figure 2 compares single and multi-objective models' performance using the verification dataset. The NS is dimensionless, ranging from -1 to +1, with +1 as optimal; MAE values are measured in meters, where lower values indicate superior performance. The NS results for an 8 h lead time were 0.96 or higher for all models (Figure 2). The MAE confirmed the good results, with less than 0.10 m for lead times from 3 h to 8 h. The multi-objective approach demonstrated superior performance in terms of E90, which was reduced for the lead times from 3 h to 18 h. The lower E90 values suggest the multi-objective model captured extreme values, such as peak values, with a small error.

Additionally, the multi-objective model demonstrated superior consistency compared to single-objective ones. When examining a lead time of 14 h, single-objective models had lower NS and higher MAE. In contrast, the multi-objective model was more stable for all lead times. It had less drastic variations. This stability may come from the joint optimization of both objectives in the multi-objective approach, unlike the individual optimization approach followed by the simpler alternative.

In this work we evaluated single- and multi-objective approaches to forecast distributed (spatialized) water depths at the urban floodplain. The multi-objective model was better at minimizing extreme errors and had more stable results. These findings translate to more robustness and reliability. The model's errors, which are inherent to any model, were less pronounced in the multi-objective approach. Furthermore, the multi-objective model was advantageous in delivering water depth forecasts at many control points across the floodplain. Future research will focus on automating multi-objective optimization of flood modeling techniques, ultimately contributing to more robust flood modeling outcomes.

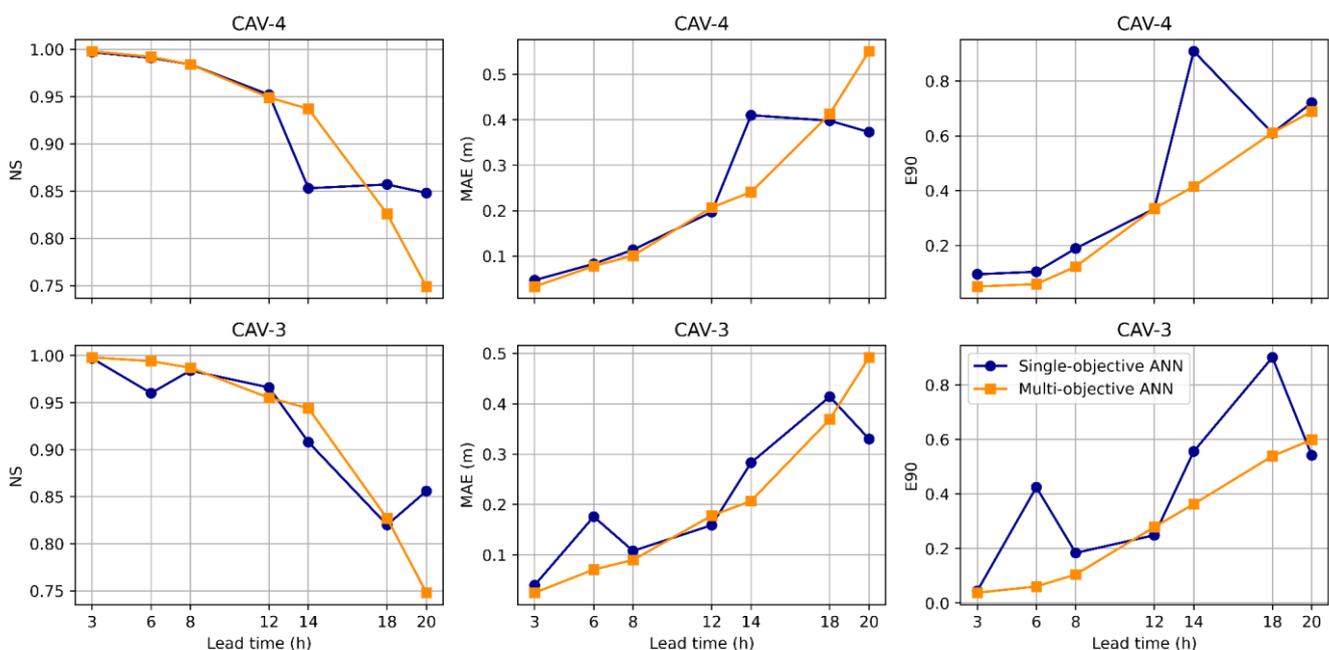


Figure 2: Performance comparison of the single-objective and multi-objective ANNs at each control point (row) and for each evaluation metric (column) for the verification dataset.



Acknowledgments

The authors would like to thank the Center for Artificial Intelligence (C4AI-USP) and the support from the São Paulo Research Foundation (FAPESP grant #2019/07665-4) and from the IBM Corporation, and the CEPID-CeMEAI-ICMC-USP (CEPID, FAPESP grant #2013/07375-0); and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil (CAPES PROAP/AUXPE)—Finance Code 001. The authors thank Dr. Eric Keiji Tokuda for his significant contributions and support in refining this article.

Bibliographic References

- Paquier, A.; Bazin, P. H. 2014. Estimating uncertainties for urban floods modelling. *La Houille Blanche*, v. 6, p. 13-18.
- Mosavi, A.; Ozturk, P.; Chau, K.-w. 2018. Flood Prediction Using Machine Learning Models: Literature Review. *Water*, v. 10, p. 1536.
- Alfieri, L.; Salamon, P.; Pappenberger, F.; Wetterhall, F.; Thielen, J. 2012. Operational early warning systems for water-related hazards in Europe. *Environmental Science and Policy*, v. 21, p. 35-49.
- Brunner, G. W. 2016. HEC-RAS river analysis system user's manual: version 5.0. US Army Corps of Engineers, 962.
- Fieldman, A.D. 2000. HEC-HMS hydrologic modeling system user's manual: Technical Reference Manual. US Army Corps of Engineers.
- Miller, J. D.; Hutchins, M. 2017. The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 12, p. 345-362.
- Moriasi, D. N.; Gitau, M. W.; Pai, N.; Daggupati, P. 2015. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, v. 58, p. 1763-1785.
- Gaspar-Cunha, A.; Vieira, A. 2005. A Multi-Objective Evolutionary Algorithm Using Neural Networks to Approximate Fitness Evaluations. *Int. J. Comput. Syst. Signals*, v. 6, p. 18-36.



ANÁLISE TEMPORAL DE RECORRÊNCIA DE ÁREAS INUNDADAS EM PORTO ALEGRE UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT E SENTINEL-1

1Vinícius de Azevedo Silva, 2Francisco Lledo dos Santos, 3André Luis Sotero Salustiano Martim, 4Cristiano Poletto, 5Hugo de Oliveira Fagundes

1 Universidade Estadual de Campinas, e-mail: vinicius@azevedoambiental.com; 2 Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: franciscolledo@unemat.br; 3 Universidade Estadual de Campinas, e-mail: asmartim@unicamp.br; 4 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: cristiano.poletto@ufrgs.br; 5 Universidade Estadual de Campinas, e-mail: hugoo@unicamp.br

Palavras-chave: Áreas inundadas; MNDWI; Porto Alegre.

Resumo

Este estudo utiliza a coleção de imagens Landsat para analisar a recorrência de áreas inundadas na região de Porto Alegre, destacando sua vasta escala temporal entre o ano de 1984 até o momento atual. Adicionalmente, o uso de dados Sentinel-1, apesar de sua menor escala temporal, é explorado para complementar a análise de áreas inundadas.

Introdução

Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, tem enfrentado eventos de inundação decorrentes de chuvas intensas na região. Tais inundações causam impactos significativos tanto na infraestrutura urbana, quanto na qualidade de vida de seus habitantes, visto que acarretam o transbordamento dos rios e à consequente submersão de áreas ribeirinhas. Esses eventos não apenas causam danos econômicos substanciais, mas também representam um risco à saúde pública e ao meio ambiente.

A análise e o monitoramento das áreas inundadas são essenciais para o planejamento urbano e para a implementação de estratégias de mitigação de desastres. Nos últimos anos, o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e o acesso a grandes volumes de dados satelitais têm proporcionado novas oportunidades para o estudo de fenômenos hidrológicos. Dentre as diversas ferramentas disponíveis, o Google Earth Engine (GEE) se destaca por sua capacidade de processar e analisar vastas coleções de dados geoespaciais de maneira eficiente. O uso de imagens satelitais, como as da série Landsat e do Sentinel-1, permite a identificação e o mapeamento de áreas inundadas com alta precisão.

O Landsat é um satélite óptico multiespectral, o que significa que capta informações em várias bandas do espectro eletromagnético e, assim, permite a detecção de diferentes características da superfície terrestre. A resolução espacial de 30 metros das imagens Landsat oferece um equilíbrio adequado entre detalhamento espacial e cobertura geográfica, tornando-o ideal para estudos em larga escala. Logo, a série Landsat, com uma cobertura temporal que se estende desde o ano de 1984, fornece uma base de dados robusta para análises históricas.

Para a detecção de áreas inundadas, utiliza-se o índice modificado de diferença normalizada de água (MNDWI), que é calculado a partir das bandas Green e SWIR das imagens Landsat. Este índice é eficaz na identificação de corpos d'água, diferenciando-os de outras superfícies como solo e vegetação. Estudos anteriores, como o de Mehmood, Conway e Perera (2021), demonstraram a eficácia do MNDWI na detecção de áreas alagadas utilizando a plataforma GEE, o que corrobora a metodologia adotada neste trabalho.

Além das imagens Landsat, este estudo incorpora dados do Sentinel-1, um satélite equipado com um sensor SAR (Radar de Abertura Sintética). O SAR é um tipo de sensor ativo que emite sinais de radar que penetram nas nuvens, permitindo a aquisição de imagens em qualquer condição meteorológica, dia ou noite. A resolução espacial das imagens SAR é de aproximadamente 10 metros, proporcionando maior detalhamento espacial em comparação com o Landsat. A utilização do Sentinel-1 é particularmente vantajosa para a detecção de inundações recentes, uma vez que o radar é menos suscetível a interferências meteorológicas.

Por conseguinte, este estudo combina dados de duas importantes missões satelitais, Landsat e Sentinel-1, para fornecer uma análise abrangente das recorrências de áreas inundadas na região de Porto Alegre. O uso combinado de índices como o MNDWI e de técnicas de detecção de radar permite uma abordagem robusta e detalhada, essencial para o planejamento urbano e a mitigação de desastres naturais. Esta metodologia avançada oferece uma contribuição significativa para o entendimento dos padrões de inundação e para a formulação de estratégias eficazes de gestão de riscos na área urbana.

Adicionalmente, a plataforma GEE facilita a integração e análise dos dados satelitais, permitindo o processamento de grandes volumes de imagens de forma eficiente. Essa combinação de dados multiespectrais e radar oferece uma perspectiva abrangente, cobrindo tanto os aspectos históricos das inundações quanto a detecção precisa em condições meteorológicas adversas; este estudo, portanto, pretende fornecer dados valiosos para o planejamento e gestão de desastres em áreas urbanas vulneráveis a inundações.



Metodologia

Utilização do Google Earth Engine (GEE) e Python

Para realizar a análise temporal das recorrências de áreas inundadas, utilizamos a plataforma Google Earth Engine (GEE) em conjunto com Python. O GEE permite o processamento eficiente de grandes volumes de dados geoespaciais, enquanto o Python facilita a automação e personalização das análises.

Coleção Landsat e MNDWI

A coleção Landsat é escolhida pela sua ampla disponibilidade desde o ano de 1984. O Landsat é um satélite óptico multiespectral, o que significa que ele capta informações em várias bandas espectrais do espectro eletromagnético, permitindo a análise de diferentes características da superfície terrestre. A resolução espacial das imagens Landsat é de 30 metros, o que oferece um equilíbrio entre detalhamento espacial e cobertura geográfica.

O MNDWI (Índice Modificado de Diferença Normalizada de Água) é utilizado para detectar áreas inundadas (Figura 1), sendo calculado com as bandas Green e SWIR das imagens Landsat. Para garantir a qualidade das imagens, aplicamos um filtro para cobertura de nuvens de até 20%. O limiar adotado para a detecção de água foi de 0.4 – valor ajustado para minimizar a inclusão de áreas de solo encharcado. Variações acima desse limiar indicam a presença de água, enquanto valores abaixo podem incluir solo úmido e vegetação.

Dados Sentinel-1 e Índice de Detecção de Água

O Sentinel-1 é um satélite equipado com um sensor SAR (Radar de Abertura Sintética), que é um tipo de sensor ativo. Diferente dos sensores ópticos, o SAR emite sinais de radar que penetram nas nuvens e podem adquirir imagens em qualquer condição meteorológica, dia ou noite. A resolução espacial das imagens SAR é de aproximadamente 10 metros, proporcionando maior detalhamento espacial em comparação com o Landsat.

Para a detecção de água nas imagens Sentinel-1, utilizamos a intensidade do retorno do radar na banda VV. A água reflete menos o sinal de radar, resultando em valores de intensidade mais baixos. O limiar utilizado para a detecção de água foi de -17 dB. Valores abaixo deste limiar indicam a presença de água, enquanto valores acima indicam superfícies secas ou vegetação.

Resultados

A análise dos resultados, obtidos a partir das imagens Landsat (Figura 1), mostra uma recorrência significativa de áreas inundadas na região de Porto Alegre ao longo do tempo. O uso do MNDWI permitiu identificar extensas áreas urbanas que foram inundadas, demonstrando a eficácia desse índice na detecção de locais com presença de água. No entanto, a detecção pode ser afetada pela cobertura de nuvens, o que justifica o uso de um filtro para imagens com até 20% de cobertura de nuvens.

Em contraste, os dados do Sentinel-1, embora com menor disponibilidade temporal, proporcionam uma detecção contínua de áreas inundadas devido à capacidade do SAR de ultrapassar a cobertura de nuvens. Os resultados mostraram que o Sentinel-1 conseguiu detectar áreas inundadas (Figura 2) recentes com alta precisão, mas a menor quantidade de imagens disponíveis nos anos mais recentes, pode ter influenciado a identificação de áreas inundadas na região urbana.

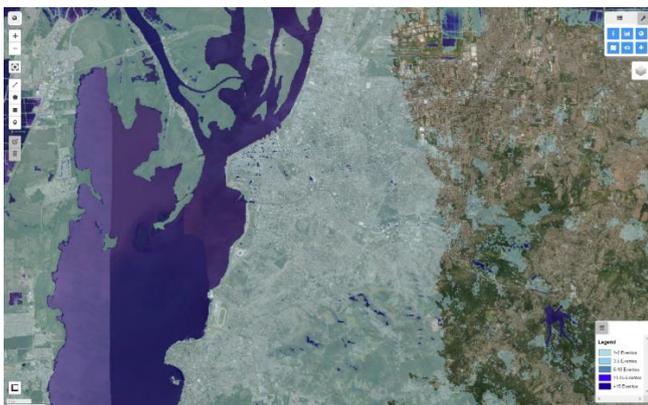


Figura 2: Recorrência de Áreas Inundadas com Landsat
Fonte: Próprios autores (2024).

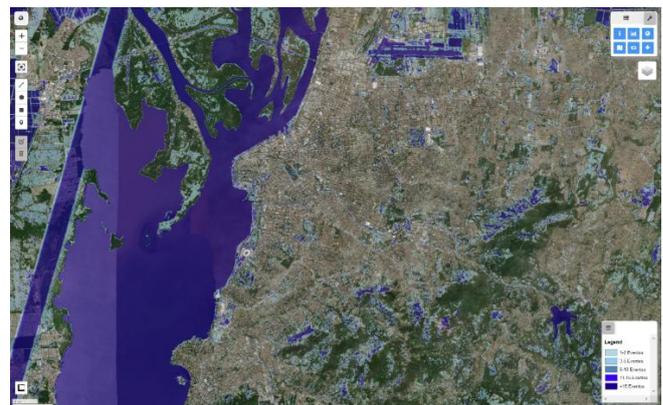
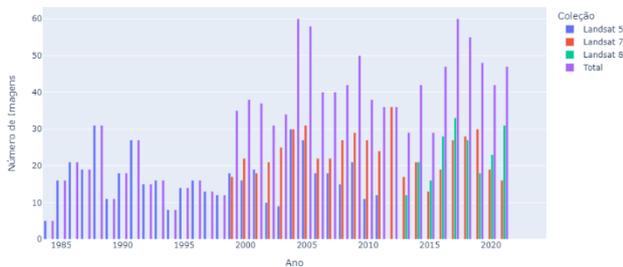


Figura 3: Recorrência de Áreas Inundadas com Sentinel-1
Fonte: Próprios autores (2024).



Os gráficos (Gráfico 1) que mostram o número de imagens analisadas por ano para Landsat e Sentinel-1 evidenciam a disponibilidade variável de dados ao longo do tempo. A série temporal mais extensa do Landsat desde o ano de 1984 oferece uma base de dados robusta para análises históricas, enquanto a série mais curta do Sentinel-1, desde 2014, ainda oferece dados valiosos para a detecção de áreas inundadas em condições meteorológicas adversas.

Número de Imagens Landsat Analisadas por Ano



Número de Imagens SAR Sentinel-1 Analisadas por Ano

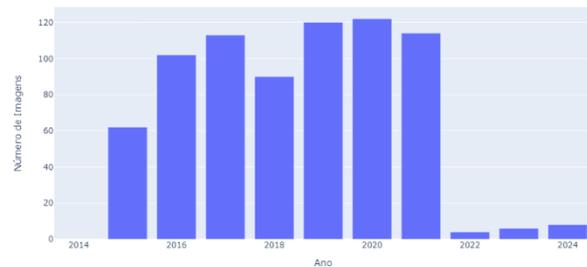


Gráfico 1: Landsat e Sentinel - disponibilidade variável de dados ao longo do tempo
Fonte: Próprios autores (2024).

Discussão

Vantagens do Uso de Landsat

- Extensa cobertura temporal desde o ano de 1984.
- Regularidade nas aquisições de imagens, permitindo análises históricas detalhadas.
- Resolução espacial de 30 metros, proporcionando um bom equilíbrio entre detalhamento e cobertura.

Limitações do Uso de Landsat

- Sensibilidade a condições meteorológicas, necessitando filtragem por cobertura de nuvens.

Vantagens do Uso de Sentinel-1

- Capacidade de aquisição de dados em qualquer condição meteorológica.
- Alta precisão na detecção de áreas inundadas recentes.
- Resolução espacial de 10 metros, oferecendo maior detalhamento espacial.

Limitações do Uso de Sentinel-1

- Cobertura temporal mais limitada, disponível apenas desde o ano de 2014.
- Menor disponibilidade de imagens em alguns períodos pode influenciar a detecção de áreas inundadas.

Comentários Finais

A combinação de dados Landsat e Sentinel-1 oferece uma análise abrangente das recorrências de áreas inundadas na região de Porto Alegre. O uso do MNDWI ajustado e a incorporação de dados SAR permite uma detecção precisa e detalhada de áreas inundadas, contribuindo significativamente para o planejamento e gestão de riscos.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer à Universidade Estadual de Campinas pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Mehmood, H.; Conway, C.; Perera, D.; 2021. Mapping of Flood Areas Using Landsat with Google Earth Engine Cloud Platform. *ATMOSPHERE* 2021, 12, 866. <https://doi.org/10.3390/atmos12070866> Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/7/866> Acesso em: 23 jun. 2024.



RECURSOS HÍDRICOS NOS CONTEÚDOS CURRICULARES DO ENSINO TÉCNICO

1Gleise Regina Bertolazi dos Santos, 2Jefferson Nascimento de Oliveira

1Universidade Estadual Paulista, Campus Ilha Solteira, e-mail: gleise.santos@unesp.br; 2Universidade Estadual Paulista, Campus Ilha Solteira, e-mail: jefferson.nascimento@unesp.br

Palavras-chave: Currículo; Ensino Técnico; Recursos Hídricos.

Introdução

Este trabalho de pesquisa trata-se de uma investigação e análise sobre os conteúdos relacionados aos recursos hídricos presentes ou não em currículos de ensino técnico profissionalizante na rede pública do país. Teve início em junho de 2021, a partir da possibilidade de ser inserido no Programa ProfÁgua - Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos oferecido pela Faculdade de Engenharia da Unesp, campus de Ilha Solteira, na modalidade de pesquisa de Pós Doutorado.

Esta pesquisa apresenta-se como interessante e necessária a partir do perfil dos egressos de cursos técnicos, que pleiteiam a inserção no mercado de trabalho após adquirirem habilitação profissional nas diversas áreas que irão trabalhar com a questão dos recursos hídricos. A partir dos fatos que ocorreram nos últimos anos em relação a escassez de recursos hídricos, mudanças climáticas, catástrofes climáticas, fenômenos atmosféricos nunca registrados, e em especial sobre a relação do homem e a água, sua necessidade, e seu consumo, pôde-se analisar e avaliar os conteúdos curriculares inerentes aos cursos técnicos de vários eixos tecnológicos, observando a necessidade de cumprimento de leis específicas e o caráter científico dos currículos de formação profissional.

Os objetivos desta pesquisa aspiravam identificar as disciplinas e conteúdos encontrados nos currículos investigados; analisar o grau de inferência dos conteúdos às necessidades do perfil do técnico egresso; e analisar a relação dos conteúdos, suas competências e habilidades em relação ao processo de gerenciamento dos recursos hídricos enquanto proposta de educação ambiental.

O trabalho teve início delimitando-se a pesquisa aos cursos de ensino técnico em que os recursos hídricos deveriam ser mais presentes, e a modalidade de oferta deste ensino, que neste caso optou-se pelas modalidades Concomitante e/ou Subsequente ao ensino médio. Essas modalidades de oferta correspondem a cursos de pequena duração, variando de três a quatro semestres. O universo da pesquisa refere-se aos currículos de ensino técnico ofertados pela rede pública nacional de ensino técnico, ou seja, currículos oriundos dos Institutos Federais (IF's), das escolas das Secretarias Estaduais de Educação (SEE's) e do Centro Paula Souza (CPS), este último referência na educação técnica no estado de São Paulo. Quanto aos cursos investigados, elencou-se 19 curso técnicos e seus respectivos eixos tecnológicos, segundo o Catálogo Nacional de Curso Técnicos, 4ª edição, 2020, editado pelo Ministério da Educação.

O cenário a ser investigado levou em conta a importância das bacias hidrográficas na territorialidade nacional, e a utilidade da temática “água na educação” de nível técnico, o qual compõe o sistema da educação básica. A Unesco (2016) aponta que o ensino sobre a água precisa ser aperfeiçoado em todos os níveis educacionais, desde o avanço do conhecimento científico em meio acadêmico até capacitações direcionadas a profissionais e tomadores de decisão, que para alcançar estes níveis de formação a educação hídrica deve transcender a ciência hidrológica, deve ser multi e interdisciplinar. Deve-se expandir à formação de técnicos em áreas relacionadas ao uso múltiplo da água, formando líderes em gestão integrada sustentável, melhorando a qualidade da educação profissionalizante.

Metodologia

O trabalho desenvolveu-se sob forma de pesquisa bibliográfica documental, pelas seguintes etapas: (a) elencou-se os cursos técnicos e as instituições que apresentam em seu currículo conteúdos relacionados aos recursos hídricos; (b) analisou-se informações pertinentes ao desenvolvimento da pesquisa descritiva dos conteúdos sobre recursos hídricos que compõem os currículos das disciplinas específicas de cada um dos cursos investigados; (c) elaborou-se um inventário quanti-qualitativo a respeito das propostas curriculares junto aos órgãos responsáveis em cada instituição, por meio da análise de seus planos de cursos/ projetos pedagógicos, visando colher informações sobre a formulação curricular; (d) realizou-se a tabulação e análise dos dados colhidos; (e) discutiu-se hipóteses e comparações levantadas; (e) conclusão do trabalho.

Resultados

A pesquisa não obteve o universo desejado pois não foi possível colher os dados curriculares dos cursos oferecidos pelas Secretarias Estaduais de Educação, somente os disponíveis no site MEC- Sistec, os quais encontravam-se defasados, pois observa-se disponível apenas dados de 2009 a 2019. Os dados levantados via site MEC-Sistec apontaram 70 unidades de ensino que poderiam ser investigadas, sendo a maior concentração nas temáticas agrícola/agropecuária/florestas (39) e meio ambiente (21); outros cursos técnicos ofertados aparecem de forma isolada, como técnico em Recursos Pesqueiros, técnico em Mineração, técnico em Portos, técnico em Sistemas de Energia Renovável e técnico em Petróleo e Gás.



Assim, a população amostral revelou-se pelos dados colhidos das unidades de ensino dos IF's e do Centro Paula Souza. Analisou-se um total 153 documentos, dos quais observou-se um considerável número de disciplinas (252) que se relacionam ao universo dos recursos hídricos. Os cursos técnicos investigados foram: Agricultura, Agroecologia, Agropecuária, Aquicultura, Cafeicultura, Controle Ambiental, Energias Renováveis, Florestas, Fruticultura, Geologia, Meio Ambiente, Mineração, Pesca, Petróleo e Gás, Portos, Recursos Pesqueiros, Saneamento, Sistema de Energia Renovável, Transporte Aquaviário.

As disciplinas analisadas apresentavam em suas ementas assuntos relacionados ao uso múltiplo das águas, à gestão dos recursos hídricos, à legislação ambiental hídrica, à qualidade das águas, aos ecossistemas aquáticos, às fontes de energia hídrica. Desta forma, elas foram agrupadas por semelhança nominal, ou ainda por semelhança de conteúdos, representando grupos de conteúdos equivalentes como à "Irrigação e Drenagem" que aparece com maior frequência nos cursos técnicos de Agropecuária e Agricultura, segundo a Figura 1.



Figura 1. Grupo de Disciplinas relacionadas aos Recursos Hídricos. Fonte: autores, pesquisa de campo.

Alguns dos cursos técnicos em Mineração, todos os cursos de Petróleo e Gás, Portos e Transporte Aquaviário oferecidos, e que foram analisados, não apresentam nenhuma disciplina ligada aos recursos hídricos. Esses currículos totalizam 13 planos de cursos sem expor a relação direta com a questão das águas, seu uso, sua gestão e conservação. O plano de curso de Transporte Aquaviário apresenta menção de legislação ambiental ligado à EIA/RIMA e à poluição marinha. Já dos cursos técnicos de Geologia e Sistemas de Energia Renovável não se obteve informações pois não foram encontrados planos de cursos específicos e vigentes na época da pesquisa.

Foram analisadas as cargas horárias das disciplinas envolvidas na investigação em relação as cargas horárias totais de cada curso. Alguns planos de cursos (49) apresentavam a carga horária total e de disciplina em horas-relógio, mas a maioria deles apresentava a carga horária total e por disciplina contabilizada em horas-aulas, o que significa que cada aula pode ter de 40 a 50 minutos. Os cursos apresentam carga horária total variando de 916 a 2.466 horas, já contabilizadas horas de atividades extras e horas de estágio obrigatório. Observa-se nesta questão uma imensa disparidade entre as horas de aprendizagem, pois os cursos podem variar de 3 a 5 semestres de duração. O Catálogo Nacional de Cursos Técnicos, do Ministério da Educação (Brasil, 2020) normatiza 1200 horas totais para os cursos investigados. Entretanto, os cursos de Aquicultura, Pesca, Recursos Pesqueiros, Portos e Transporte Aquaviário que apresentam planos com 1000 horas de carga horária total, normatizados pelo CNCT. Assim, há cursos com menor carga horária estimada, ou seja, não atendem a legislação.

A relação entre a carga horária das disciplinas e a carga horária total do curso revelou-se em porcentagens mínimas direcionadas aos estudos dos recursos hídricos e assuntos correlacionados. Essas disciplinas não ultrapassam 7% da carga horária total de cada curso. Os conteúdos mínimos sobre "recursos hídricos" apresentados nos currículos disparou um alerta quando se debate a formação profissional, pois trata-se da minimização de temas científicos que alicerçam a formação de mão de obra técnica.

Conclusões

Característica comum de oferta entre os sistemas estaduais de educação, os IF's e o CPS, é a predominância dos cursos técnicos voltados à agropecuária e ao meio ambiente.

Os conteúdos relacionados aos recursos hídricos, de forma geral, atendem parcialmente os perfis de egressos de cada um dos cursos técnicos analisados. Isto se deve a minimização dos assuntos tratados por conta da carga horária das disciplinas. Outra hipótese é a formação docente, a qual deve ser pertinente aos conteúdos que se leciona. Contudo, este fato não foi analisado nesta pesquisa.

Analisou-se que os currículos elaborados não levam em conta leis que tratam da importância dos recursos hídricos como temática em processos de educação ambiental, nem tampouco a formação de mão de obra técnica habilitada ao mercado de trabalho. Neste caso, apresenta-se a Resolução CNRH Nº 98/2009 do Ministério de Meio Ambiente, que "Estabelece princípios, fundamentos e diretrizes para a educação, o desenvolvimento de capacidades, a mobilização social e a informação para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em seu Artigo 3º "Constituem-se como orientadores dos programas de educação ambiental, desenvolvimento de capacidades, mobilização social e de disseminação da informação para a GIRH, os princípios e fundamentos contidos na Política Nacional de Educação Ambiental (Lei no 9.795, de 1999), na Política Nacional de Recursos Hídricos e os complementares definidos por essa resolução, (...)"; a Moção CNRH Nº 57/ 2010, do Ministério do Meio Ambiente, a qual recomenda como prioridade o investimento em ciência e



tecnologia para ampliar o conhecimento científico do ciclo hidrológico e suas alterações em função do uso e ocupação do solo, bem como das mudanças climáticas (CNRH, 2010), propostas estas as quais não são atendidas em sua totalidade pelos planos de cursos técnicos analisados. Os planos de cursos e seus currículos se mostram aquém das expectativas quanto a necessidade de formação de mão de obra técnica, capacitada para trabalhar com inovações na área de estudos hidrológicos e hidráulicos, estabelecendo um grau de prioridade e urgência (CNRH, 2010).

De forma geral, as disciplinas analisadas evidenciam conteúdos aplicados ao desenvolvimento de competências e habilidades requeridas pelo mercado de trabalho, ou seja, são conteúdos explicitamente técnicos, que não convergem para um olhar mais apurado sobre as questões ambientais que permeiam os recursos hídricos, seus usos múltiplos e gestão necessária. Assim, não se evidencia na formulação curricular o inciso VII, Artigo 4º, da Política Nacional de Educação Ambiental (Brasil, 1999), o qual trata da “abordagem articulada das questões ambientais locais, regionais, nacionais e globais;” e tampouco do inciso XVI, Artigo 3º, das Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais para a Educação Profissional e Tecnológica (Resolução CNE/CP Nº1/2021), o qual define que a “identidade dos perfis profissionais de conclusão de curso, que contemplem as competências profissionais requeridas pela natureza do trabalho, pelo desenvolvimento tecnológico e pelas demandas sociais, econômicas e ambientais;”.

Em comum, nos currículos analisados dos IF's, os planos de cursos possuem uma identidade maior com a localização das unidades escolares, em virtude da flexibilidade concedida a cada “campi”. Todavia, observou-se que o IF do Amazonas mantém planos de cursos igualitários para o mesmo curso técnico independente dos “campis” que o ofertam. Por outro lado, o CPS, no estado de São Paulo, considera um mesmo plano de curso para todas as Escolas Técnicas (Etecs), porém com ressalvas para uma viabilização regional de conteúdos mediante o arranjo produtivo local/regional.

A análise dos planos cursos revela que a formação dos egressos dos cursos técnicos é deficiente quando se trata da gestão e regulação dos recursos hídricos, principalmente nas áreas de conhecimento e formação de mão de obra para o trabalho com a questão hídrica. É imprescindível reavaliar a qualidade do profissional egresso dos cursos técnicos frente às necessidades de manejo e gestão dos recursos hídricos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço 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 aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Política Nacional de Educação Ambiental. Lei Nº9.795/1999. Brasília, 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm . Acesso em: 11/01/2024.

BRASIL. Ministério da Educação (2020). Catálogo Nacional de Cursos Técnicos. 4ª Edição. Brasília, 510p. Disponível em: <http://cnct.mec.gov.br/> . Acesso 09-09-2023.

BRASIL. Resolução CNE/CP Nº 1, de 5 de Janeiro de 2021. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais para a Educação Profissional e Tecnológica. Diário Oficial da União, Brasília, 6 de janeiro de 2021, Seção 1, pp. 19-23.

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 98, de 26 de Março de 2009. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2098.pdf> . Acesso em: 11/01/2024.

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2010). Moção CNRH Nº 57, de 16 de Dezembro de 2010. Recomenda princípios e prioridades de investimento em ciência, tecnologia e inovação em recursos hídricos. Diário Oficial da União: Seção 1. Brasília, n. 24, p.58, 03 fev. 2011.

UNESCO. Unesdoc Biblioteca Digital. IHP-VIII Tematic Area 6: water education, key for water security - activities and outcomes 2014-2015. 2016. 11 p. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245186>. Acesso em: 31 mai. 2021. Base de dados.



EDUCAÇÃO AMBIENTAL SOBRE DOMÓTICA E MATERIAIS ALTERNATIVOS APLICADOS EM RESIDÊNCIAS ECOEFICIENTES

1 Marcela Tersi Pereira, 2 Isabel Cristina de Barros Trannin, 3 Teófilo Miguel de Souza

1, 2, 3 Universidade Estadual Paulista - UNESP, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá - FEG.

E-mails: marcela.tersi@unesp.br; isabel.c.trannin@unesp.br; teofilo.souza@unesp.br

Palavras-chave: Conscientização ambiental, Construções sustentáveis, Automação residencial.

Resumo

Em 2015, foi estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU), 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), entre eles, o objetivo de cidades e comunidades sustentáveis, que visa tornar os assentamentos humanos mais inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, até o ano de 2030 (ONU, 2015).

Para atender às políticas públicas em prol deste ODS, a indústria da construção civil tem passado por mudanças progressivas e vem se adaptando constantemente ao uso de materiais alternativos mais sustentáveis e técnicas construtivas inovadoras, que possam minimizar os impactos ambientais relacionados ao consumo excessivo de recursos naturais e energia, além de melhorar o desempenho dos ambientes internos nas habitações. Neste cenário, as inovações tecnológicas em ecotécnicas e domótica têm demonstrado potencial para revolucionar o *design* e a funcionalidade dos modelos de habitação, fundindo a tecnologia e a sustentabilidade para criar ambientes inteligentes e ao mesmo tempo mais ecoeficientes (Luizzi *et al.*, 2020).

Desta forma, o uso de materiais ecologicamente amigáveis e práticas de *design* sustentável permitem reduzir o impacto ambiental das construções (Villafuerte; Guevara, 2019). Além disso, Pinheiro (2003) destacou que edificações construídas com materiais sustentáveis aliados a projetos arquitetônicos inteligentes promovem o sentimento de satisfação em seus ocupantes, devido à maior eficiência e durabilidade, que reduzem a necessidade de manutenção e o custo operacional das residências e à possibilidade de monitorar e controlar os recursos utilizados, garantindo o uso eficiente do espaço residencial. Por estes motivos, as residências inteligentes têm ganhado atenção especial no setor da construção civil, sendo elencadas como grande prioridade, por exemplo, nas ações da União Europeia, no Plano de Tecnologias Estratégicas de Energia (*Strategic Energy Technology Plan*) (Wilson; Hargreaves; Hauxwell-Baldwin, 2017).

Embora seja notável a relevância das construções residenciais inteligentes e sustentáveis para o mundo moderno, sua implementação ainda é incipiente no mercado brasileiro de construção civil, o que pode estar associado à falta de conhecimento da relação custo-benefício destes projetos em médio e longo prazo (Lôbo; Francisquini, 2022). A percepção ambiental é, sem dúvida, o elemento que dá início ao deslocamento de grupos sociais em direção às práticas de responsabilidade socioambientais (Okamoto, 2014), que é imprescindível para o desenvolvimento sustentável, uma vez que a percepção engloba os conhecimentos dos valores e problemáticas ambientais, colocando o indivíduo como agente responsável pelo seu meio, e caracterizando a sua necessidade de ação na proteção do meio ambiente (Unesco, 2017).

A Unesco (2021a) apontou a educação para o desenvolvimento sustentável (EDS) como ferramenta para sensibilizar e mobilizar os indivíduos, visando o fortalecimento do comportamento cidadão, o despertar de aptidões, a construção de saberes e valores para a deliberação de condutas em prol da integridade ambiental e sustentabilidade. Além disso, a Unesco (2021b) estabeleceu como meta que até o ano de 2025 a EDS se torne um componente central para todos os sistemas educacionais e em todos os seus níveis. Esta necessidade também tem sido apontada pela literatura, uma vez que muitos acreditam que a Educação Ambiental (EA) possa promover a conscientização e a sensibilização necessária para modificar a problemática da indústria da construção civil e possa, minimamente, diminuir as degradações ambientais (Ramos *et al.*, 2011; Almeida *et al.*, 2004).

O escopo deste estudo foi analisar a literatura no período de 1979 a 2023, quanto às publicações que relacionaram simultaneamente os termos “construções inteligentes”, “residências sustentáveis” e “educação ambiental”, com o objetivo de identificar as possíveis lacunas da pesquisa e a necessidade de contribuições científicas sobre estes temas. Esta análise foi realizada por meio de duas pesquisas estruturadas. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliométrica nas bases de dados *Scopus* (Elsevier) e *Web of Science* (WOS), utilizando-se critérios booleanos e palavras-chave que incluíssem todos os documentos que abordassem os termos associados a construções inteligentes, residências sustentáveis e educação ou percepção ambiental. Posteriormente, foi realizada a análise e o processamento dos dados, utilizando o programa de domínio público *R Core Team* (R Foundation for Statistical Computing) para a concatenação, exclusão de duplicatas e análise biométrica a partir dos pacotes *bibliometrix* e *tidyverse*.

Após a exclusão de trabalhos que não fossem artigos, revisões, livros ou capítulos de livros, a pesquisa retornou:

- 4 documentos na busca de termos que associassem construções inteligentes, residências sustentáveis e educação ou percepção ambiental na base *Scopus* (Elsevier);
- 1 documento na busca de termos que associassem construções inteligentes, residências sustentáveis e educação ou percepção ambiental na base *Web of Science*;
- 150 documentos na busca de termos que associassem residências sustentáveis e educação ou percepção ambiental na base *Scopus* (Elsevier); e



- 90 documentos na busca de termos que associassem residências sustentáveis e educação ou percepção ambiental na base *Web of Science*.

As pesquisas bibliométricas junto às bases *Scopus* e *Web of Science* agruparam as publicações no período de 1979 a 2023, permitindo a localização de trabalhos de 919 autores nestes 44 anos, sendo verificada uma taxa de crescimento anual de publicações equivalente a 7,49 %, com uma média de 17,92 citações por documento, cuja idade média foi de 6,7 anos. Estes documentos corresponderam a 193 artigos e boletins, um livro, 13 capítulos de livros e 18 artigos de revisão. Com base nestes resultados foi verificado um aumento na abordagem destes temas emergentes ao longo dos anos, se aproximando do crescimento exponencial com pequenas flutuações no período de 1990 a 2000 (Figura 1). Este comportamento se manteve até 2022 e, a partir de 2023 houve deformação no final da curva exponencial, tendo em vista que, a pesquisa às bases de dados foi realizada no dia 25 de dezembro, antes do término de 2023.



Figura 1: Produção científica no período de 1979 a 2023 abordando os temas deste estudo.

Fonte: Adaptada de *Scopus* e *Web of Science* (2023).

Glänzel (2003) caracteriza que a função associada ao modelo do crescimento da produção científica pode ser dividida em três fases até que atinja sua saturação, sendo uma faixa *quasi*-exponencial, seguida de uma faixa *quasi*-linear e, por fim, seguida por faixa exponencial negativa, que caracteriza um platô que antecede o início do decréscimo nas publicações, quando a produção científica sobre o tema tenta atingir a saturação. Assim, apesar da aparente queda de publicações após 2022, foram identificadas lacunas nas publicações sobre os temas analisados, uma vez que os dados apresentam tendência exponencial, estando, portanto, na primeira faixa descrita por Glänzel (2003).

Estes resultados indicam que ainda existe pouca exploração dos temas analisados nas bases científicas consultadas, considerando que a média de produção foi inferior a 30 trabalhos publicados por ano, havendo uma grande demanda por pesquisas. Esta baixa produção científica resultou em poucas citações, que não ultrapassaram a marca de seis citações anuais por publicação, atingida no período de 1990 a 2000, provavelmente devido ao surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável, que ganhou força nos órgãos governamentais internacionais a partir de 1990, após a crise do petróleo (Conceição; Santos, 2021) e também devido à realização em 1992, no Rio de Janeiro, da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Eco-92, que criou na Agenda 21, metas para o desenvolvimento sustentável.

Além das lacunas identificadas na pesquisa, este estudo indicou a necessidade imperativa da interseção entre práticas educacionais voltadas para a conscientização ambiental sobre os benefícios da implementação de tecnologias sustentáveis, como o uso de materiais alternativos e de automação das residências, para que a indústria brasileira da construção civil caminhe em direção ao atendimento do ODS referente às cidades e comunidades sustentáveis. Políticas públicas que promovam programas educacionais, workshops, campanhas de conscientização e integração desses conceitos nos currículos escolares, podem contribuir para capacitar os indivíduos a tomarem decisões conscientes em relação ao consumo de recursos naturais, energia e na gestão de resíduos em suas residências. Portanto, a educação ambiental não apenas promove a compreensão dos benefícios das tecnologias sustentáveis, mas também incentiva ações concretas para a construção de um ambiente residencial mais ecológico e eficiente.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Guaratinguetá para a realização deste estudo.



Referências Bibliográficas

- Almeida, L. F. R.; Bicudo, L. R. H.; Borges, G. L. A. 2004. Educação ambiental em praça pública: relato de experiência com oficinas pedagógicas. *Ciência & Educação*. Bauru, v. 10, n. 1, p. 121-132.
- Conceição, J. F.; Santos, M. P. 2021. Construção sustentável. *Epitaya e-books*, v. 1, n. 6, p. 426-458.
- Glänzel, W. 2003. Bibliometrics as a research field a course on theory and application of bibliometric indicators. Universidade Católica de Leuven, Leuven, Bélgica, p. 115.
- Lôbo, A. L. de S.; Francisquini, V. J. A. 2022. Sustentabilidade na construção: como aplicá-la e os benefícios das práticas sustentáveis na Engenharia Civil. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 5(3), p. 3019-3035.
- Luizzi, S. Rubino, C.; Martellotta, F.; Stefanizzi, P.; Casavola, C.; Pappalettera, G. 2020. Characterization of biomass-based materials for building applications: the case of straw and olive tree waste. *Ind. Crops Prod.*, v. 147.
- Okamoto, J. 2014. Percepção ambiental e comportamento: visão holística da percepção ambiental na arquitetura e na comunicação. Ed. Mackenzie, São Paulo, Coleção Academack, n. 2, p. 200.
- Organização das Nações Unidas (ONU). 2015. Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.
- Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco). 2017. Accountability in education: meeting our commitments - summary. *Global Education Monitoring (GEM) Report*, 2017.
- Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco). 2021a. Educação para o desenvolvimento sustentável - um roteiro. *Educação 2030*. 67p.
- Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco). 2021b. Unesco declares environmental education must be a core curricular component by 2025.
- Pinheiro, M. D. 2003. Construção sustentável: mito ou realidade? VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, Lisboa.
- R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023.
- Ramos, F. F.; Costa, A. C. M.; Vargas, I. A. 2011. Percepção ambiental e a construção do conceito de meio ambiente entre estudantes de Ensino Fundamental em Montese/MS. In: *Anais VI Encontro de Pesquisa em Educação Ambiental - A Pesquisa em Educação e a Pós-Graduação no Brasil*, 2011, Ribeirão Preto, p. 13.
- Villafuerte, Y. Y. A.; Guevara, O. C. C. 2019. Plan de ecoeficiencia para la mejora de la gestión ambiental en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia Agrária, Indústrias Alimentícias e Ambiental, Universidade Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú, p. 161.
- Wilson, C.; Hargreaves, T.; Hauxwell-Baldwin, R. 2017. Benefits and risks of smart homes technologies. *Energy Policy*, v. 103, p. 72-83.



PROJETO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL COMO ESTRATÉGIA DE PREVENÇÃO E CONTROLE DE ARBOVIROSES

1 Isabel Cristina de Barros Trannin, 2 Lília dos Anjos de Freitas, 3 Natália da Silva Toledo, 4 Arthur Pinto Marques Lima, 5 Mayla de Cássia Fernandes Barbosa, 6 Nicolas Araujo Correa

1, 2, 3, 4, 5, 6 Universidade Estadual Paulista - UNESP, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá - FEG.
e-mails: isabel.c.trannin@unesp.br; lilia.freitas@unesp.br; natalia.toledo@unesp.br; arthur.pinto@unesp.br; mayla.fernades@unesp.br; na.correa@unesp.br

Palavras-chave: *Aedes Aegypti*; Saneamento básico; Saúde pública.

Resumo

Nos últimos anos o Brasil vem enfrentando sérios desafios de saúde pública relacionados ao aumento de doenças causadas por vírus transmitidos pelo mosquito *Aedes aegypti*, como dengue, Zika e Chikungunya, conhecidas como arboviroses. Os impactos dessas doenças na saúde pública são alarmantes, com sintomas que variam de febre alta a complicações mais graves, que podem levar à morte.

As condições climáticas favoráveis e a precariedade da infraestrutura urbana e do saneamento básico, estão entre os principais fatores que contribuem para a proliferação do *Aedes aegypti* e disseminação das arboviroses em todo o território brasileiro (Queiroz et al., 2020). No Brasil, apesar dos avanços tecnológicos e da promulgação do Novo Marco do Saneamento pela Lei Federal nº 14.026/2020, que estabelece metas ambiciosas para a universalização do acesso ao saneamento básico, as desigualdades persistem e, de acordo com o Ranking do Saneamento 2024, publicado pelo Instituto Trata Brasil (2024), cerca de 35 milhões de brasileiros não têm acesso à água potável encanada, levando-os a armazenarem água de forma irregular e 100 milhões de pessoas não são atendidas pelos serviços de coleta de esgoto, situações que favorecem a propagação de vetores como o *Aedes aegypti*, que se reproduz em água parada, aumentando a ocorrência de arboviroses. Além disso, das 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos coletadas no Brasil em 2022, cerca de 39% foram descartados de forma incorreta, sendo 23% em aterros controlados e 16% em lixões a céu aberto (Abrelpe, 2022), que representam um risco significativo para a saúde pública e contribuem para a proliferação de vetores como o *Aedes aegypti*.

Entre as arboviroses emergentes, destacam-se os casos registrados de dengue, que têm atingido índices alarmantes, aumentando exponencialmente nos últimos verões, sendo decretada situação de emergência em diferentes regiões do país nos primeiros meses de 2024. De acordo com o Painel de Monitoramento das Arboviroses do Ministério da Saúde (Brasil, 2024), de janeiro até 25 de abril de 2024 foram contabilizados 3.852.901 de casos prováveis de dengue registrados no país, representando mais que o dobro dos casos ocorridos ao longo de todo o ano de 2023, que foi de 1.649.144; sendo confirmados neste período 1.792 óbitos causados por dengue e 2.216 mortes que ainda estão em investigação (Figura 1).

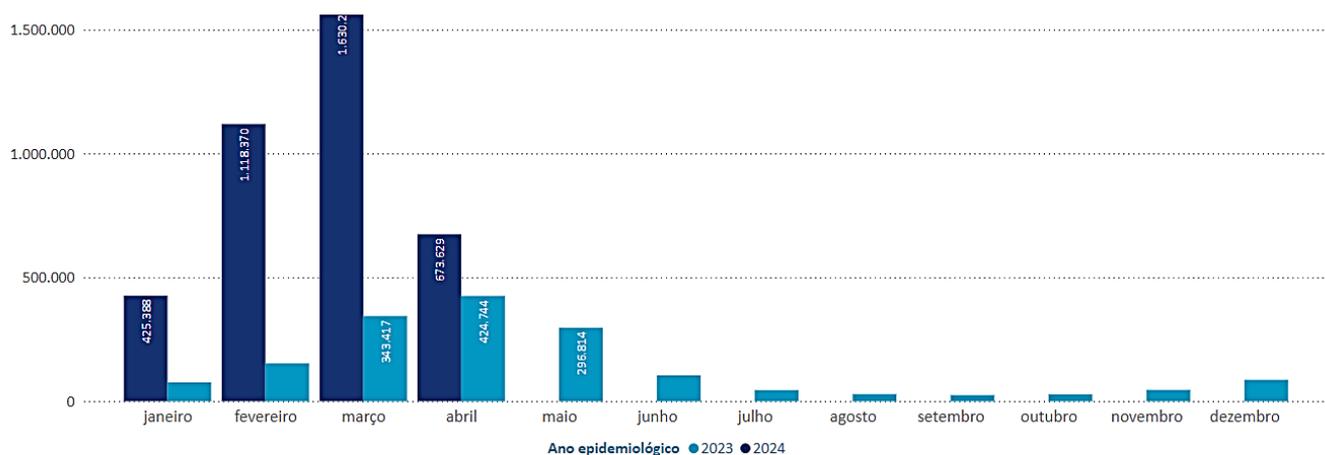


Figura 1: Casos de dengue registrados no Brasil no ano de 2023 e nos primeiros meses de 2024.

Fonte: Ministério da Saúde (2024).

O município de Guaratinguetá, localizado no Vale do Paraíba, Estado de São Paulo, com uma população de cerca de 118.044 habitantes (IBGE, 2022), registrou 3763 casos prováveis de dengue nos primeiros quatro meses de 2024, com a confirmação de um óbito e outro em investigação, atingindo um pico de 1.568 casos registrados no mês de março (Ministério da Saúde, 2024), que correspondeu a um aumento de 96% em relação ao mês de março de 2023, quando foram registrados 57 casos de dengue (Figura 2).

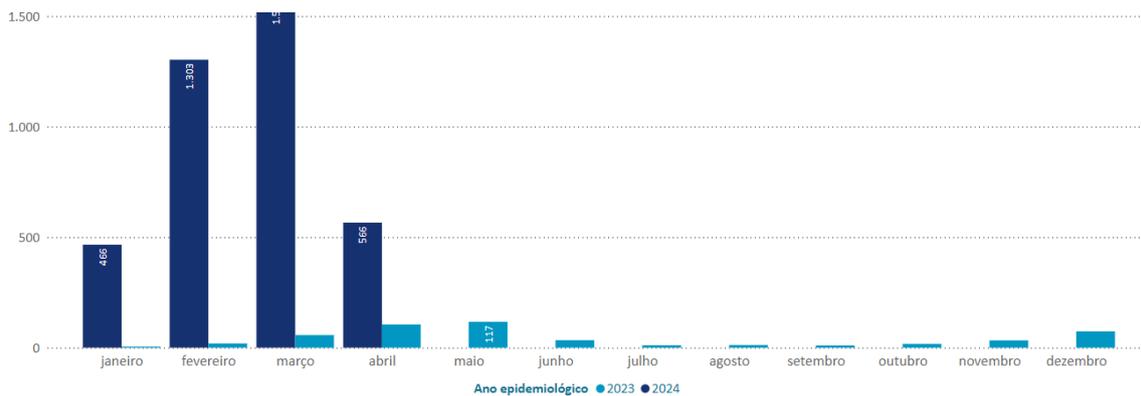


Figura 2: Casos prováveis de dengue registrados no município de Guaratinguetá/SP nos primeiros meses de 2024.
Fonte: Ministério da Saúde (2024).

Neste contexto, este projeto pretende integrar melhorias no saneamento básico com medidas de controle do vetor para reverter o atual quadro epidemiológico, por meio de ações que promovam a educação ambiental e sanitária e a conscientização da população, como estratégia de intervenção coletiva para a prevenção e eliminação dos criadouros do *Aedes aegypti*.

As ações do projeto terão como foco a implementação de práticas simples, mas eficazes para o engajamento da sociedade, como a vedação correta das caixas d'água e de outros recipientes de captação de água de chuva, que garantam o acesso à água limpa, sem favorecer a proliferação de vetores de doenças; a coleta seletiva e a destinação correta dos resíduos, incluindo a possibilidade de criação de associações ou cooperativas de reciclagem, que permitam a inclusão das comunidades e estimulem o trabalho decente e o crescimento econômico; bem como a adoção de sistemas de baixo custo e acessíveis de tratamento de esgoto, como as fossas sépticas biodigestoras, que contribuam para a melhoria da saúde e bem-estar da população, além de promover a sustentabilidade.

Para a execução do projeto, inicialmente serão contempladas as comunidades dos bairros Jardim do Vale I e Cohab, do município de Guaratinguetá/SP, que apresentam situação de vulnerabilidade socioeconômica e saneamento básico precário. Estas comunidades foram selecionadas porque atendem aos critérios necessários para o desenvolvimento das várias etapas deste projeto (Figura 3), tendo em vista que são providas de associações engajadas em ações sociais, que poderão servir de referência para a posterior difusão deste projeto em outros bairros do município.

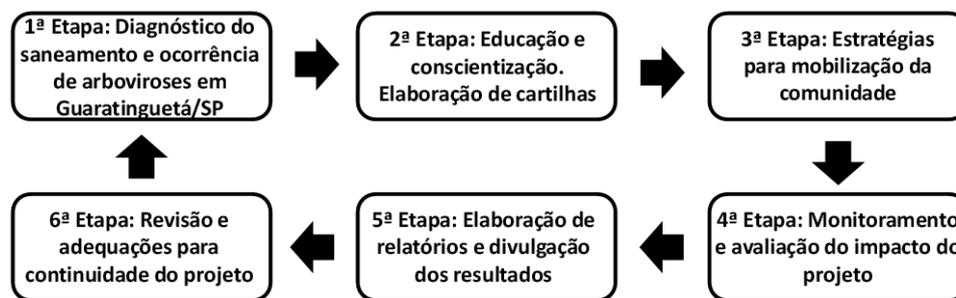


Figura 3: Fluxograma das etapas de desenvolvimento do projeto

Na primeira etapa do projeto será realizado um diagnóstico das condições de saneamento básico e identificação do número de casos de doenças transmitidas pelo *Aedes aegypti* registrados nos postos de saúde de Guaratinguetá e nas comunidades contempladas pelo projeto, por meio de formulários entregues aos representantes das unidades de saúde do município de Guaratinguetá e de consulta aos representantes das associações dos postos de saúde dos bairros contemplados pelo projeto. Na segunda etapa, serão elaborados folhetos e cartilhas, contendo informações sobre o ciclo de vida do *Aedes aegypti* e como ele se relaciona com as condições de saneamento básico precário, abordando a coleta e destinação adequada dos resíduos sólidos, com possibilidade de reciclagem; coleta e tratamento de esgotos e técnicas acessíveis para este fim; sistemas de captação de águas de chuva; vedação de caixas d'água e drenagem das águas pluviais.

Também serão promovidas ações de interação dialógica com as comunidades por meio de rodas de conversa, reuniões, cursos/oficinas, palestras e visitas às escolas de ensino fundamental e médio, com distribuição das cartilhas e folhetos, contendo informações sobre boas práticas sanitárias e técnicas simples de engenharia, acessíveis às comunidades contempladas pelo projeto, como estratégia de intervenção coletiva na prevenção e controle das epidemias causadas pelo *Aedes aegypti*. Na terceira etapa serão apresentados casos bem-sucedidos da adoção de boas práticas sanitárias e de técnicas simples de engenharia, com impactos positivos na melhoria da saúde e bem-estar; na qualidade da educação; na geração de trabalho decente e crescimento econômico, e na sustentabilidade das comunidades envolvidas. Na quarta etapa serão desenvolvidas atividades de monitoramento para acompanhar a



evolução das condições sanitárias e a incidência de casos de arboviroses e para avaliar o real impacto das ações desenvolvidas em cada etapa do projeto por meio de questionários aplicados nas comunidades contendo indicadores como: conscientização sobre o tema, engajamento e participação ativa dos integrantes das comunidades nas ações do projeto; potencial de redução das doenças transmitidas pelo *Aedes aegypti* e, a longo prazo, avaliar a melhoria da saúde das comunidades, por meio de consultas à secretaria da saúde e aos postos de saúde locais. Na quinta etapa serão compilados os resultados de todas as ações desenvolvidas no projeto. Os resultados alcançados com as ações realizadas em cada etapa do projeto serão divulgados no *Instagram* no endereço @sanearbo.2024 (Figura 4); publicados em eventos técnicos, científicos e de extensão universitária e em periódicos nacionais e internacionais.



Figura 4: Página do *Instagram* (@sanearbo) visando a educação sanitária para controle de arboviroses.

Espera-se com a execução deste projeto:

1) conscientizar os cidadãos de suas responsabilidades socioambientais para que atuem como agentes propagadores de práticas sanitárias sustentáveis, visando a intervenção coletiva na prevenção e controle das epidemias causadas pelo *Aedes aegypti*, contribuindo com o ODS 3 - Saúde e Bem-estar; ODS 4: Educação de qualidade; ODS 6 - Água potável e saneamento e ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis;

2) difundir e implementar em comunidades em situação de vulnerabilidade socioeconômica, boas práticas sanitárias e técnicas simples de engenharia, como a adoção de fossas sépticas biodigestoras para tratar o esgoto; sistemas eficazes para a captação de água de chuva; e a coleta seletiva de resíduos, que além de contribuir para a prevenção e controle da proliferação do *Aedes aegypti*, permita a criação de associações ou cooperativas de coleta e reciclagem de resíduos sólidos urbanos, para a melhoria da qualidade de vida das comunidades, atuando em prol do ODS 8 - Trabalho decente e crescimento econômico;

3) promover a interação dialógica da equipe universitária com as comunidades externas, para contribuir para a formação profissional e humanística dos estudantes de engenharia e, ao mesmo tempo, com a transformação da realidade das comunidades na solução de problemas relevantes para a sociedade brasileira, que é a melhoria do saneamento básico e, conseqüentemente, da saúde pública;

4) Estimular a reflexão, o espírito crítico, a criatividade e o intercâmbio de diferentes percepções dos envolvidos com as ações do projeto, para possibilitar a construção de políticas públicas em prol da melhoria do saneamento básico e do desenvolvimento sustentável.

Agradecimentos

Os Autores agradecem à Coordenadoria de Ações Afirmativas, Diversidade e Equidade (CAADI) e à Coordenadoria de Permanência Estudantil (COPE) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) pela concessão de Bolsas de Ações Afirmativas e Diversidade (AADI), para o desenvolvimento deste projeto, que atende o Edital nº 02/2024 - CAADI/COPE/UNESP 2024.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. 2022. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022. São Paulo: ABRELPE. 59p. DOI: <https://abrelpe.org.br/panorama/>

Brasil. 2024. Ministério da Saúde. Painel de Monitoramento das Arboviroses. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/aedes-aegypti/monitoramento-das-arboviroses> Acesso em: 26/04/2024.

Instituto Trata Brasil. 2024. Ranking do Saneamento 2024. 15ª ed. 88p. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2024/> Acesso em: 26/04/2024

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2022. Censo Demográfico Brasileiro 2022. Cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/guaratingueta/panorama> Acesso em: 26/04/2024.

Queiroz, J. T. M.; Silva, P. N.; Heller L. 2020. Novos pressupostos para o saneamento no controle de arboviroses no Brasil. Cadernos de Saúde Pública. v.36, n.4. e00233719. DOI: 10.1590/0102-311X00223719.



COMBATE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: APROVEITAMENTO DE GÁS RENOVÁVEL A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

1Janks Karbdala Leal de Paiva, 2Lucas Felipe Ogradowski, 3Marcelo Rodrigues dos Anjos

1Instituto Politécnico de Bragança (IPB), e-mail: karbdala@gmail.com; 2Instituto Politécnico de Bragança (IPB), e-mail: lukasogradowsk@gmail.com; 3Universidade Federal do Amazonas (UFAM), e-mail: anjos.ufam@gmail.com

Palavras-chave: Biogás; Energia Renovável; Sustentabilidade.

Resumo

Este estudo aborda a crescente preocupação global com as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e seu impacto nas alterações climáticas. Dessa forma, enfatiza-se a importância do tratamento de resíduos sólidos urbanos, especialmente resíduos orgânicos, como uma estratégia crucial para reduzir as emissões de metano na atmosfera terrestre. Uma vez que o desperdício de alimentos orgânicos ainda é significativo em diferentes partes do mundo, o que possibilita com que esses tipos de resíduos orgânicos possam gerar gases prejudiciais ao meio ambiente. Assim, o biogás, derivado desses resíduos, é destacado como uma fonte promissora, valiosa e competitiva de energia renovável que pode ser empregado no processo de captura desses gases, a partir de diferentes tipos de processos. O processo de purificação para produzir biometano é discutido como uma alternativa promissora para mitigar as emissões de GEE e ampliar as utilizações desses gases renováveis, avançando em direção a um futuro mais sustentável e climaticamente responsável.

Introdução

O cenário socioambiental atual estabelecido pela competição econômica desenfreada e disputa permanente entre os países, coloca a situação de vida das diferentes espécies em risco devido ao avanço acelerado das alterações climáticas (Lee et al., 2023). As emissões de gases de efeito estufa (GEE) se tornou uma grande preocupação global, uma vez que a destruição da camada de ozônio é intensificada pelos gases provenientes das ações antrópicas (Yaman et al., 2020). Dessa maneira, o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ressalta a importância de se limite o aumento da temperatura global a 1,5 °C, a fim de evitar impactos adversos nos ecossistemas e nas populações humanas (Brémond et al., 2021).

Existem diferentes fontes de emissões de GEE presente no planeta, os resíduos representam uma parcela significativa de emissão de metano (CH₄) para a atmosfera. O crescimento da população global em diferentes partes do território é acompanhado do aumento de geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), porém, nem sempre esses não são descartados da maneira correta. Por essa razão, os resíduos orgânicos ou alimentares constituem entre 42% e 69% dos RSU a nível mundial, assim, se tornam um grande vilão ambiental, porque a decomposição da matéria orgânica acarreta a liberação de metano no ambiente (Triviño-Pineda et al., 2024).

Uma alternativa para conter a problemática das emissões de GEE provenientes dos RSU, ocorre através do processo de tratamento dos efluentes gasosos. O biogás, composto principalmente por metano (CH₄), 45-75% em volume, e dióxido de carbono (CO₂), é amplamente utilizado na geração de calor, eletricidade e em atividades domésticas, como cozinha e aquecimento. No entanto, para ampliar suas aplicações, esse gás de baixo carbono precisa passar por um processo de purificação para se converter em biometano, e posteriormente, ser utilizado como combustível (Bakkaloglu & Hawkes, 2024).

Diante dessa alternativa sustentável, esse trabalho tem por objetivo abordar as formas de aproveitamento do biogás proveniente dos resíduos mediante a transformação do mesmo em biometano. Esses processos são essenciais para o combate das alterações climáticas nas diferentes localidades do planeta. Uma vez que essas práticas são implementadas, é possível reduzir significativamente as emissões de GEE para atmosfera, substituir a utilização de combustíveis fósseis e produzir eletricidade.

Material e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido no nordeste de Portugal entre o segundo semestre de 2024 e o primeiro semestre de 2024. No desenvolvimento desse trabalho, foi utilizada a técnica de revisão da bibliográfica no desenvolvimento da discussão contextualizada sobre o aproveitamento de biogás e biometano produzidos a partir dos resíduos. Essa ferramenta permitiu que essa análise fosse desenvolvida a partir de análises críticas e abrangente das evidências disponíveis nas bases de dados, além disso, foi possível identificar as lacunas existentes para orientar o desenvolvimento de futuras investigações e práticas sobre o tema de estudo (Gil, 2008).

Utilizou-se uma base de dados científica abrangente e renomada, onde foi introduzido no campo de busca a string booleana contendo as principais palavras-chave do trabalho em inglês: TITLE-ABS-KEY ("biogas" AND "waste" AND "energy" AND "gas emissions"). É importante ressaltar as limitações da utilização dessa técnica, porque a restrição da busca a estudos publicados em determinados idiomas e a potencial heterogeneidade entre os estudos incluídos em termos de desenhos metodológicos e medidas de resultado são aspectos a serem ponderados.

Por fim, os resultados objetivaram um estudo dos materiais mais recentes, publicados a partir do ano de 2020, em que foram selecionados apenas os artigos e as revisões publicados, uma vez que esses trabalhos oferecem uma base robusta e atualizada para contextualização da discussão aprofundada sobre o tema em questão (Rowley; Slack, 2004). Por último, foram selecionadas as áreas temáticas de ciências ambientais, energia, engenharia, engenharia química e ciências agrárias e biológicas.



Resultados e discussões

A partir da metodologia utilizada no trabalho, foram encontrados 357 documentos os quais foram escritos a partir do ano de 2020 até fevereiro de 2024. O gráfico abaixo (Figura 1) mostra que o número de artigos e revisões publicadas estão crescendo ao longo dos anos.

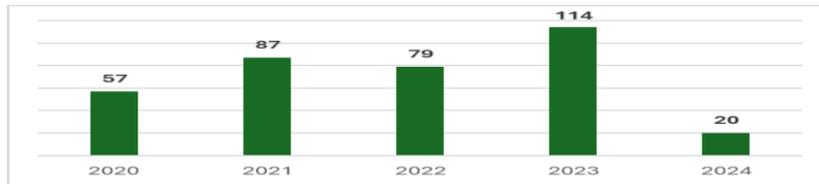


Figura 1 - Número de publicações por ano

Analisando a origem dos países que mais contribuíram no período avaliado pelo trabalho, nota-se pelo gráfico (Figura 2) que os países que mais se destacaram quanto ao número de trabalhos realizados, foram: Estados Unidos (44), Índia (40), China (39) e Brasil (35). Esses números demonstram uma pequena diferença no número de publicações sobre o tema estudado entre os quatro primeiro país que mais publicaram. Esse fato pode ser justificado por uma possível competitividade entre esses países no desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis, aproveitamento energético a partir dos resíduos orgânicos, redução da geração de resíduos e benefícios econômicos.

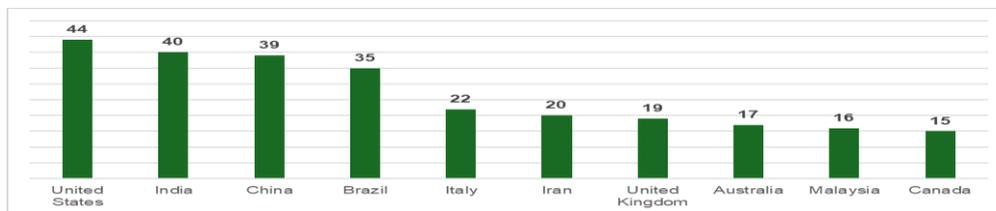


Figura 2 - Top 10 dos países que mais publicaram

Diante os dados apresentados, é importante ressaltar o interesse dos diferentes países em descobrir novos caminhos relacionados ao assunto. Esse fato se justifica porque a produção do biogás é uma alternativa de emprego da economia circular pautado no desenvolvimento sustentável. Sendo assim, a transição para energias renováveis, aliada a um setor industrial descarbonizado, poderá ser alcançada antes de 2050, desde que os investimentos sejam sustentáveis a partir de 2030 e a eletricidade proveniente da rede esteja completamente descarbonizada (Mignogna et al., 2023). Os países que possuem aterro sanitário, aterro controlado ou lixões, a geração de biogás se torna um caminho socioambiental atrativo. Uma vez que o esse gás biológico surge da degradação de matéria orgânica por microrganismos anaeróbicos, em um processo conhecido como digestão anaeróbica. Dessa forma, os principais produtos resultantes deste processo são o CO₂ e CH₄, juntamente com impurezas como sulfeto de hidrogênio, siloxanos, água, oxigênio, nitrogênio e partículas em suspensão (Sales Silva et al., 2022).

Os métodos para o descarte final de RSU englobam uma variedade de procedimentos distintos, incluindo aterros sanitários. Nos aterros, ocorre a produção de chorume, líquido escuro altamente concentrado contendo diversos poluentes e o gás de aterro, principalmente metano, que dá origem o biogás. Desse modo, o material orgânico presente nos itens descartados é decomposto por microrganismos presentes no solo (Ghosh et al., 2023). Segundo Sales Silva et al. (2022) existem diversas aplicações para o biogás, tais como a geração de eletricidade, energia térmica ou mecânica. Além disso, o biogás purificado (biometano) pode ser utilizado como alternativa ao gás natural em veículos ou ser diretamente inserido nas redes de distribuição de gás natural.

A conversão de resíduos em energia, implementada em fazendas leiteiras da América Latina, onde o esterco de vaca é utilizado para a produção de biogás e a aplicação de diversas soluções derivadas do biogás também é uma solução sustentável para os meios rurais. Essas soluções não apenas fornecem os serviços energéticos necessários para as operações leiteiras, como gás para cozinhar, eletricidade, refrigeração e energia térmica para aquecimento de água, mas também geram fertilizantes orgânicos, como nitrogênio, fósforo e potássio (Villarroel-Schneider et al., 2022).

A eficiente co-digestão, ou seja, a mistura de diferentes materiais orgânicos, como a do esterco animal é uma peça-chave para impulsionar a produção desse importante insumo, ao mesmo tempo em que proporciona uma oportunidade para economizar resíduos orgânicos através da comercialização de energia (Tasmaganbetov et al., 2020).

Atualmente a Europa é líder global na geração e utilização de biogás, com 17.783 usinas produzindo aproximadamente 30 bilhões de metros cúbicos por ano, ou seja, 50% da produção mundial, e 63.504 gigawatts-hora de eletricidade derivada do biogás em 2018. Dessa forma, 74% do biogás europeu gerado é da digestão anaeróbica de resíduos agrícolas, estrume e culturas energéticas; 17% vêm de aterros sanitários; e 9% provêm de lamas de estações de tratamento de águas residuais (Farghali et al., 2022).

De acordo com o estudo de Moraes et al. (2024) desenvolvido no Brasil, a implementação de usinas de biogás em aterros sanitários contribuiria para uma redução média anual de 467,1 milhões de toneladas de emissões de CO₂, esse fato demonstra um impacto ambiental positivo expressivo e sustentável. Diante o exposto, observa-se que a utilização tecnologias energéticas de baixo carbono são benéficas para o meio ambiente e possuem distintas oportunidades de aplicações. Sendo assim, esses gases fontes de energia oferece vantagens ambientais significativas, que vão desde a redução das emissões de gases de efeito estufa até a substituição de combustíveis fósseis e o incremento da eficiência na geração de energia (Mignogna et al., 2023).



Considerações finais

Com base nas análises anteriores, o biogás e o biometano desempenham papéis fundamentais no avanço do desenvolvimento sustentável, uma prioridade para muitos países na busca por soluções às mudanças climáticas. Além disso, a versatilidade desses recursos oferece vastas oportunidades para sua aplicação em diferentes contextos ao redor do globo. Um ponto importante a ser destacado é que a produção de combustíveis renováveis de baixo teor de carbono a partir de resíduos sólidos urbanos não apenas contribui para a redução das emissões de GEE, promovendo uma transição para uma economia de baixo carbono, mas também possibilita a implementação efetiva da economia circular. Além disso, ao substituir combustíveis fósseis e reduzir a dependência de fontes não renováveis, o uso desses recursos promove uma maior sustentabilidade e resiliência nos sistemas energéticos globais. Em suma, o biogás e o biometano desempenham um papel relevante na proteção do meio ambiente e na promoção de um futuro mais sustentável e saudável para as gerações presentes e futuras.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Universidade Federal do Amazonas (UFAM) possibilitarem a oferta da disciplina de Comunicação Científica e a ARJEAS.

Referências Bibliográficas

- Bakkaloglu, S., & Hawkes, A. (2024). A comparative study of biogas and biomethane with natural gas and hydrogen alternatives. *Energy and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1039/d3ee02516k>
- Brémond, U., Bertrandias, A., Steyer, J.-P., Bernet, N., & Carrere, H. (2021). A vision of European biogas sector development towards 2030: Trends and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125065>
- Farghali, M., Osman, A. I., Umetsu, K., & Rooney, D. W. (2022). Integration of biogas systems into a carbon zero and hydrogen economy: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(5), 2853-2927. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01468-z>
- Gil, A. C. (2008). Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. Ed. Editora Atlas AS.
- Ghosh, A., Kumar, S., & Das, J. (2023). Impact of leachate and landfill gas on the ecosystem and health: Research trends and the way forward towards sustainability. *Journal of Environmental Management*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117708>
- Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P., ... & Zommers, Z. (2023). 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.
- Mignogna, D., Ceci, P., Cafaro, C., Corazzi, G., & Avino, P. (2023). Production of Biogas and Biomethane as Renewable Energy Sources: A Review. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/app131810219>
- Moraes, C. A., Santos, L. D. L. C. D., Oliveira, A. C. L. D., Botelho, D. F., Moltó Berenguer, J., & Renato, N. D. S. (2024). Biogas-based electricity production from landfills in places of irregular disposal: Overview for the southeast region of Brazil. *Energy*, 290. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.130161>
- Rowley, J., & Slack, F. (2004). Conducting a literature review. *Management research news*, 27(6), 31-39.
- Sales Silva, S. T., Barros, R. M., Silva dos Santos, I. F., Maria de Cassia Crispim, A., Tiago Filho, G. L., & Silva Lora, E. E. (2022). Technical and economic evaluation of using biomethane from sanitary landfills for supplying vehicles in the Southeastern region of Brazil. *Renewable Energy*, 196, 1142-1157. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.020>
- SCOPUS, 2024. Access to the SCOPUS database. Available at: <https://www.scopus.com/>. Accessed on: 01/15/2024.
- Tasmaganbetov, A. B., Ataniyazov, Z., Basshieva, Z., Muhammedov, A. U., & Yessengeldina, A. (2020). World practice of using biogas as alternative energy. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 348-352. <https://doi.org/10.32479/ijeep.9805>
- Triviño-Pineda, J.-S., Sanchez-Rodriguez, A., & Peláez, N. P. (2024). Biogas production from organic solid waste through anaerobic digestion: A meta-analysis. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100618>
- Villarroel-Schneider, J., Höglund-Isaksson, L., Mainali, B., Martí-Herrero, J., Cardozo, E., Malmquist, A., & Martin, A. (2022). Energy self-sufficiency and greenhouse gas emission reductions in Latin American dairy farms through massive implementation of biogas-based solutions. *Energy Conversion and Management*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115670>
- Yaman, C., Anil, I., & Alagha, O. (2020). Potential for greenhouse gas reduction and energy recovery from MSW through different waste management technologies. *Journal of Cleaner Production*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121432>



MODEL FOR UTILIZING NATURAL GAS ASSOCIATED WITH HYDROGEN IN PRE-SALT OFF-SHORE EXPLORATIONS

1 Antonio Carlos Dutra de Sousa, 2 Luís Frólén Ribeiro, 3 Thiago Americano do Brasil

1 Instituto Politécnico de Bragança, e-mail: a58853@alunos.ipb.pt; 2 Instituto Politécnico de Bragança, 2 GICoS, Suitanable Construction Research Group, e-mail: frolen@ipb.pt; 3 Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, e-mail: thiago.brasil@cefet-rj.br

Keywords: Associated Natural Gas; Carbon Capture, Utilization, and Storage; Greenhouse Gas

Introduction

In the race towards energy transformation, countless efforts are being made to improve efficiency and mitigate emissions, such as Greenhouse Gas (GHG). In oil exploration and production (E&P), Natural Gas (NG) is a primary product exploited alongside crude oil due to its excellent energy potential. NG is composed mainly of methane, which makes up over 90% of its contents. Under primitive conditions, NG can be classified as associated and non-associated. Associated Natural Gas (GASA) is produced from the reservoir, still in the geological reservoir, dissolved in oil or in contact with saturated oil as a gas layer. Non-Associated Natural Gas is made from a dry gas field, free of crude oil and water, or from a gas and condensate field, thus allowing almost exclusive NG production. In Brazil, the NG produced from offshore reservoirs is predominantly of associated origin and in varying proportions. GASA is commonly used for power generation and artificial lifting, injected into reservoirs, and is a recovery method widely used in E&P, which is part of the strategy to increase the recovery factor of reservoirs besides being exported. The use of GASA for export, injection, artificial lifting, own consumption, and electricity generation is provided for in Resolution No. 806 of 2020 of the Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), which regulates the procedures for controlling losses and flaring of oil and NG.

Regulatory milestone

In 1997, Brazil established a regulatory framework for energy policy under Law No 9.478. This law created the Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE) and the ANP, which is responsible for proposing national policies and specific measures for the rational utilization of energy sources, including guidelines for the use of natural gas (NG). In 2000, ANP Ordinance No 249 regulated procedures for flaring and losses of oil and NG. This regulation received considerable attention and was recently updated by ANP Resolution No 806, establishing more stringent procedures for controlling and reducing flaring and losses. For maritime production, Resolution No 806 specifies that the flaring and loss of gas associated with oil production (GASA) must correspond to a volume equal to or less than:

- a) 3% (Associated Gas Utilisation Index (IUGA) greater than or equal to 97%) of the monthly production of GASA, not cumulative to any other reason for flaring or loss, carried out in a maritime production unit that is already in production or whose production begins within five years of the publication of Resolution No 806;
- b) 2% (IUGA greater than or equal to 98%) of the monthly movement of GASA, not cumulative to any other reason for burning or loss, carried out in a maritime production unit whose production begins at least five years after the publication of Resolution No 806;
- c) 1.5% (IUGA greater than or equal to 98.5%) of the monthly movement of NG, not cumulative to any other reason for flaring or loss, carried out in an offshore production unit that circulates gas for oil lifting or receives gas from other units in volumes equal to or greater than 50% of the volume of gas handled.

Objective

To reduce greenhouse gas emissions, it is crucial to constantly decrease reliance on fossil fuels and increase the use of renewable energy sources with low carbon emissions. We must also strive for sustainable economic growth. To achieve this, we need to adopt control and mitigation actions. This project aims to evaluate the use of surplus gas associated with oil (GASA) as a source of energy and raw material. The GASA will feed an offshore modular plant coupled to a Floating Production Storage Offloading (FPSO) unit to produce hydrogen. This system will provide another option for monetization besides those already being studied. The goal is to increase the utilization of GASA and reduce the burning and loss of this valuable resource. A summary of the proposed solution is presented in Figure 1.

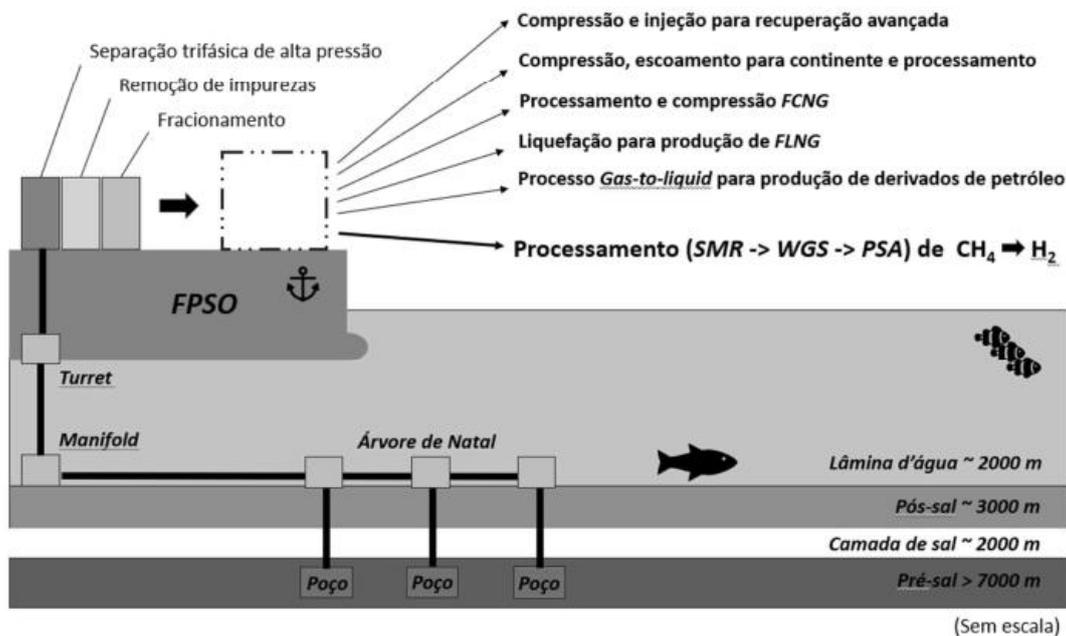


Figure 1 - Synthetic diagram of E&P in the Pre-Salt (Adapted from [EPE2020])

The primary goal of this scientific study is to increase IUGA in E&P units using NG from the Brazilian pre-salt. This goal is in line with CNPE's public policies. The study proposes an alternative way of using surplus GASA and focuses on the processing of H₂ by NG through SMR, which is adapted to E&P in the Brazilian Pre-Salt. It should be noted that the Brazilian Energy Research Company (EPE) predicts continuous growth in NG production for this decade, driven by the entry into operation of dozens of FPSOs. Moreover, H₂ is a potential solution for the energy transition without GhG releases, or at least mitigating the impacts predicted for the future.

Theoretical Frameworks and State of the Art

Hydrogen (H₂) is a promising solution that can play a significant role in the world's leading energy matrix due to its high energy per unit weight. Compared to hydrocarbons, H₂ has a higher energy potential since it is a lighter element and has a high carbon neutralization potential. Steam Methane Reforming (SMR) is the most widely used method in the industry for producing H₂. It uses natural gas (NG) as a raw material and is responsible for an estimated 75% of the entire supply of H₂ globally [Massarweh, 2023]. The market committed to mitigating greenhouse gas (GHG) emissions views H₂ production favourably because it effectively reduces GHG emissions. Compared to electrolysis, SMR consumes much less water and allows for a modular production unit of skids on a platform, resulting in increased utilization of CH₄ and increasing the International Union of Gas Associations (IUGA), the subject of this study. The efficiency of H₂ production processes using the SMR method is around 72% for decentralized production (size < 1,500 kg/day) [D-GEG]. As we transition towards greater energy efficiency, there is growing interest in developing strategies for producing H₂. Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) technology is a potential solution for a low-carbon energy production chain. Therefore, this scientific study proposes equipping the H₂ processing system with devices fitted with CCUS technology. Approximately 9.35 kg of CO₂ is generated for every kg of H₂ produced using the SMR method [Franchi, 2020], [Sun, 2019], [Abdul, 2022], and [Spath, 2000]. However, when coupled with CCUS systems, these emissions fall below 3.00 kg CO₂ kg⁻¹ H₂ [Oni, 2022] and [ieaghg]. Integrating CCUS technology with H₂ production using SMR is a promising approach to reducing GHG emissions and establishing a low-carbon energy production chain.

Methodology and Preliminary Results

Initially, the methodology used to estimate the curve of flaring attenuation and loss of surplus gas was to collect monthly historical data series released by the ANP and analyze statistical data. The respective curves were then generated by identifying and using trend models extended to the coming decades. Next, equations were generated using non-linear regression, a widely used method to analyze data and estimates to verify statistical hypotheses. These equations describe the relationships between the variables involved and their respective coefficients of determination, among other indicators. The non-linear regression method was used in the context of the growth curve because it sought to be a non-empirical and simple model whose parameters are interpretable. This method established a simple, functional relationship between production, injection burning, and loss in the time domain whose predictions could be extended beyond the observed data. Similarly, based on the consumption of methane needed to process hydrogen from a modular plant attached to an FPSO, the flaring and loss attenuation curve was estimated,



increasing IUGA. The conceptual flow for the construction and assembly of the modular hydrogen processing plant using the SMR, Water Gas Shift (WGS), and Pressure Swing Adsorption (PSA) methods, equipped with the CCUS concept, was based on published works [Massarweh, 2023] and [El-Emam, 2023], as well as supplier datasheets.

Conclusion

Numerous studies have shown that the hydrogen production chain, equipped with complementary devices that result in extra low carbon emissions, should be a determining factor in public policy agendas to generate energy with the most negligible environmental impact. However, there are still challenges to overcome. Is there any knowledge of an energy matrix as efficient and economically viable as that of oil derivatives? The consequences of excessive use of oil have led to environmental pathologies that could be irreversible. Hydrogen is the most abundant element in nature, and the production of hydrogen via steam methane reforming (SMR) of natural gas, a mature technology, has many advantages as an alternative to fossil fuels. The production of hydrogen has increased significantly over the last few decades, and the SMR method using carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technology highlights the promotion of carbon neutralization. The financial stalemate of these investments is an obstacle that needs to be understood and supported globally. Increasing hydrogen production capacity in an economy of scale is promising for meeting the challenge of decarbonizing the planet. In the face of the inevitable flaring and loss of natural gas in offshore exploration and production, the implementation of a decentralized system for processing hydrogen in floating production, storage, and offloading (FPSO) vessels becomes an attractive alternative for increasing the use of gas and, consequently, reducing flaring and loss. This approach offers a safe, reliable, and profitable alternative to conventional supply, putting into practice a way of using surplus gas.

Bibliographical References

EPE.; 2020. Estudo de Aproveitamento do Gás Natural do Pré-Sal. Anais do EPE.

Mendes, T.; Saulo, R.; 2012. Antes do pré-sal: emissões de gases de efeito estufa do setor de petróleo e gás no Brasil. Anais do Estudos Avançados, pp.201-218.

Massarweh, O.; Al-khuzaei, M; Manal and Bicer; Yusuf and Abushaikha, Ahmad S; 2023. Blue hydrogen production from natural gas reservoirs: A review of application and feasibility. Anais do Journal of CO2 Utilization, pp.102438.

Spath, P.; Mann, M; 2000. Life cycle assessment of a natural gas combined cycle power generation system. Anais do National Renewable Energy Lab. (NREL).

Fernandez, G; Rough; Daniella; 2023. Hydrogen Considerations Tree: Executive Deck. Anais do National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Oni, AO.; Anaya, K.; Giwa, T.; Di Lullo; Giovanni; Kumar; Amit; 2022. Comparative assessment of blue hydrogen from steam methane reforming, autothermal reforming, and natural gas decomposition technologies for natural gas-producing regions. Anais do Energy Conversion and Management, pp.115245.

Franchi,G.; Capocelli, M.; De Falco, M. ; Piemonte, V.; Barba, D. ; 2020. Hydrogen production via steam reforming: A critical analysis of MR and RMM technologies. Anais do MDPI, pp.10.

Sun, P.; Eçğowainy, A.; 2019. Updates on hydrogen production from the SMR process in GREET. Anais do Technical report.

Abdul'A.; 2022. New IEAGHG Technical Report: 2022-07 Low Carbon Hydrogen from Natural Gas: Global Roadmap. Anais do IEAGHG.

Volcovici, V.; Abnett, K.; Green, M.; 2020. Cleaner but not clean - Why scientists say natural gas won't avert climate disaster. Anais da Reuters;

Direção-Geral de Energia e Geologia; 2019. Roteiro e Plano de Ação para o Hidrogénio em Portugal. Anais da Direção-Geral de Energia e Geologia.



GERAÇÃO DE BIOGÁS E METANO NA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE ANTIBIÓTICOS EM REATORES DE BATELADA

Marcos Henrique Gomes Ribeiro¹, Mariana Leitune Machado², Vinícius Duarte Soroka³, Maria Cristina de Almeida Silva⁴, Odorico Konrad⁵, Antônio Domingues Benetti⁶

^{1,2,3,4,6}Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: ¹mhgribeiro@ufrgs.br; ²marileitune@gmail.com; ³vinicius.soroka@gmail.com; ⁴maria.almeida@ufrgs.br; ⁶benetti@iph.ufrgs.br; ⁵Universidade do Vale do Taquari e-mail: ⁵okonrad@univates.br;

Palavras-chave: biogás; metano; antibióticos.

Resumo

Contaminantes de preocupação emergente (CPEs) envolvem uma série de substâncias, muitas vezes de natureza complexa, cujos danos à saúde humana e ambiente ainda não são totalmente entendidos. Entre os CPEs mais usados, tanto a nível industrial quanto doméstico, estão os fármacos da classe dos antibióticos. O tratamento biológico anaeróbio de esgoto é uma alternativa para a remoção de CPEs, evitando ou mitigando seu descarte no meio ambiente, além da possibilidade de geração de biogás e metano. Dessa forma, o presente trabalho avaliou a geração de biogás e metano durante o processo de digestão anaeróbia de antibióticos usando reatores em batelada. Foram conduzidos experimentos utilizando diferentes concentrações dos antibióticos sulfametoxazol (SMX) e norfloxacino (NOR), separados e em conjunto, em reatores anaeróbios operados em batelada e temperatura mesofílica. A digestão anaeróbia do SMX e do NOR em conjunto, amostra composta (SMX 100 + NOR 40), resultou no maior volume acumulado de biogás, maior porcentual de metano no biogás (62,1%) e no maior valor de potencial bioquímico de metano (105,75 mL/gSV). Estes resultados indicaram um possível efeito sinérgico no processo quando do uso dos dois antibióticos em conjunto.

Introdução

Contaminantes emergentes, ou contaminantes de preocupação emergente (CPEs), podem ser definidos como produtos de origem sintética ou natural cujo uso e presença podem ocasionar danos metabólicos para um ou mais seres vivos. São considerados emergentes pelo fato do seu risco potencial ainda ser pouco ou mal documentado na literatura científica, mesmo que já sejam amplamente usados (SAUVÉ & DESROSIERS, 2014). Os antibióticos são exemplos de CPEs amplamente usados. Estudos mostram que o tratamento biológico em estações de tratamento de esgoto, especialmente o anaeróbio, é uma medida eficaz para a remoção de CPEs (PESCARA, 2014). A digestão anaeróbia (DA) é realizada por uma diversidade de microrganismos que interagem entre si ao longo de diversos processos interdependentes. A DA ocorre em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, em que o substrato da etapa anterior desempenhará um papel na subsequente. Como substrato para crescimento, os microrganismos presentes nos reatores podem utilizar, por exemplo, fármacos como fontes de carbono e energia. Tendo em vista que estes compostos normalmente estão presentes em baixas concentrações, outro substrato é adicionado para que a abundância microbiana seja sustentada (AZIZAN *et al.*, 2021). Durante a última etapa do processo de DA, metanogênese, há a transformação do carbono contido na biomassa em dióxido de carbono e gás metano por arqueas metanogênicas, responsáveis pela geração do biogás (KUNZ *et al.*, 2022). É vantajoso obter biogás e metano em ambiente controlado, como um biodigestor anaeróbio, por ser uma fonte de energia renovável e possibilidade de aproveitamento pela própria estação de tratamento. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a digestão anaeróbia dos antibióticos sulfametoxazol e norfloxacino em reatores de batelada quanto a geração de metano e remoção na fase líquida.

Materiais e Métodos

Nos experimentos foram utilizados dois fármacos da classe dos antibióticos, sulfametoxazol (SMX) e norfloxacino (NOR). Para o SMX foram analisadas concentrações de 20, 100 e 200 ppm e para o NOR concentrações de 10, 40 e 80 ppm. Também foi realizado experimento com reatores contendo solução conjunta de SMX e NOR com, respectivamente, 100 e 40 ppm. Foram usados reatores de vidro de 500 mL de volume útil, operados em temperatura mesofílica (35°C) controlada durante 15 dias. O conteúdo dos reatores foi formado por uma combinação de inóculo, substrato, e diferentes concentrações dos antibióticos, calculada com base na quantidade de matéria orgânica baseada no teor de sólidos voláteis totais. O substrato usado como controle foi composto por glicose, acetato e peptona (16:9:3) com 78,2% de sólidos voláteis totais. Cada reator apresentou 6,87 g/SV, sendo 4,60 g/SV referentes ao inóculo e 2,27 g/SV ao substrato. Os experimentos foram realizados em quintuplicata, somando ao todo 40 reatores. A quantificação do biogás produzido durante os ensaios de digestão anaeróbia foi feita de acordo com o volume de líquido deslocado pelo processo e pela determinação do potencial bioquímico de metano (PBM). Para a determinação do PBM, o volume acumulado de metano, calculado a partir do biogás, da amostra foi dividido pela quantidade de material orgânico adicionado ao reator, expressa em g/SV. Através do uso de sensor específico (Advanced Gasmitter - Pronova) foi feita a determinação do percentual de CH₄ presente no biogás produzido.



Figura 1: Reatores anaeróbios em batelada usados nos experimentos

Resultados e Discussões

A Figura 2 apresenta o volume acumulado de biogás (mL). Observa-se que a produção de biogás teve início a partir do terceiro dia de experimento, com pico e estabilização sendo alcançados no sexto e oitavo dia, respectivamente. A amostra composta (SMX 100 + NOR 40) apresentou expressiva produção de metano quando comparada com as demais. Isso demonstra possível efeito sinérgico do uso dos antibióticos em conjunto para o processo de digestão anaeróbia. As outras amostras apresentaram produção biogás similar à amostra controle, com exceção da amostra NOR 10, que teve volume de biogás acumulado ligeiramente superior. Resultados similares aos obtidos para a amostra controle demonstraram que possivelmente a adição dos antibióticos não causou toxicidade aos microrganismos metanogênicos.

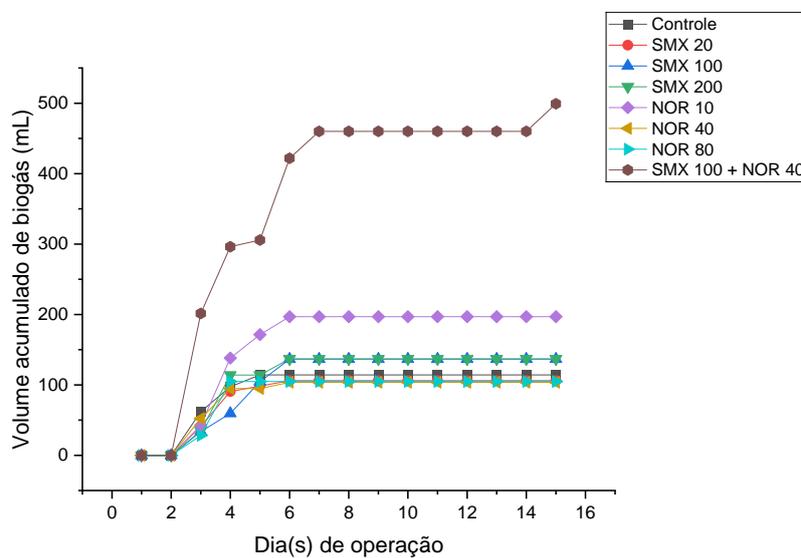


Figura 2: Volume acumulado de biogás (mL) produzido pelos reatores ao longo do experimento.

A Tabela 1 mostra a porcentagem média de metano no biogás produzido nos reatores e o potencial bioquímico de metano (PBM). Os valores médios das porcentagens de metano no biogás variaram entre 50 e pouco mais de 60% para as amostras. Ao contrário do observado para o volume de biogás acumulado (Fig. 2), os menores valores obtidos em relação à amostra controle, exceto para a amostra NOR 10 e para a amostra composta de SMX 100 + NOR 40, mostram possível toxicidade para com os microrganismos metanogênicos por parte dos antibióticos. A amostra composta apresentou valor de PBM (105,75 mL/gSV) três vezes maior que o observado na amostra controle (30,33 mL/gSV). Isto sugere possível efeito sinérgico no processo de digestão anaeróbia quando utilizado os dois antibióticos juntos.



Tabela 1: Porcentagem média de metano presente no biogás e PBM.

Amostra	(%) média de CH ₄ no biogás	PBM (mL/gSV)
Controle	59,88	30,33
SMX 20	56,80	27,85
SMX 100	54,06	31,01
SMX 200	51,78	31,32
NOR 10	62,06	50,82
NOR 40	59,46	27,01
NOR 80	53,50	25,83
SMX 100 + NOR 40	62,06	105,75

Antibióticos como o sulfametoxazol e o norfloxacino estimulam a produção de metano no processo de digestão anaeróbia com altos teores de sólidos, melhorando a capacidade de processamento do sistema e a comunidade microbiana (ZHI et al., 2019). Segundo TANG *et al.* (2022) o sulfametoxazol estimula a produção de metano através do estímulo as etapas de acetogênese e homoacetogênese, sendo a maior parte dos produtos de transformação formados menos tóxicos que o composto inicial. No entanto, de acordo com estudo de ZHU *et al.* (2020) o norfloxacino inibe a digestão anaeróbia, diminuindo em até 9 vezes o rendimento de metano. Já o sulfametoxazol inibe a produção de metano e o uso de ácidos graxos de cadeia curta em condições anaeróbias (CETECIOGLU & ORHON, 2018). A maneira como os microrganismos reagem com determinados fármacos e demais contaminantes emergentes, o seu desenvolvimento e rendimento eficiente de metano ainda carecem de melhor compreensão, especialmente em situações em que o próprio contaminante inibe ou diminui a atividade dos microrganismos, corroborando para sua permanência no ambiente.

Conclusões

A digestão anaeróbia conjunta do sulfametoxazol e do norfloxacino resultou em maiores valores de volume acumulado de biogás, porcentagem de metano no biogás e percentual bioquímico de metano, em comparação aos resultados obtidos pelas diferentes concentrações dos antibióticos separados. De forma geral, os resultados com valores próximos em relação ao controle indicam possivelmente que não houve efeito tóxico das concentrações dos antibióticos para o processo.

Agradecimentos

Autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pelo apoio financeiro por meio do projeto CLUSTER MEMPOA; à Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado; à Universidade do Vale do Taquari e Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela infraestrutura para realização do experimento.

Referências Bibliográficas

- AZIZAN, N. A. Z.; YUZIR, A.; ABDULLAH, N. 2021. Pharmaceutical compounds in anaerobic digestion: A review on the removals and effect to the process performance. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 5, p. 105926.
- CETECIOGLU, Z.; ORHON, D. 2018. How do sulfamethoxazole and tetracycline affect the utilization of short chain fatty acids under anaerobic conditions?. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 6, n. 1, p. 1305-1313.
- KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; DO AMARAL, A. C. 2022. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. 2ª edição. Concórdia: Sociedade Brasileira dos Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial -Sbera. Embrapa Suínos e Aves. 211 p.
- PESCARA, I. C. 2014. Ocorrência e remoção de contaminantes emergentes por tratamentos convencionais de água e esgoto. [sn]. Tese (Doutorado em Ciências - Química). Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.
- SAUVÉ, S.; DESROSIERS, M. 2014. A review of what is an emerging contaminant. *Chemistry Central Journal*, v. 8, p. 1-7.
- TANG, T. et al. 2022. Influence of sulfamethoxazole on anaerobic digestion: Methanogenesis, degradation mechanism and toxicity evolution. *Journal of Hazardous Materials*, v. 431, p. 128540.
- ZHI, S. et al. 2019. How methane yield, crucial parameters and microbial communities respond to the stimulating effect of antibiotics during high solid anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, v. 283, p. 286-296.
- ZHU, K. et al. 2021. Inhibition of norfloxacin on anaerobic digestion: Focusing on the recoverability and shifted microbial communities. *Science of the Total Environment*, v. 752, p. 141733.

AUTOMATIZACIÓN DEL MAPEO TEXTURAL DE SUELOS EN MICROCUENCA AUQUISH URAN, YUNGAY, PERÚ: ENFOQUE Y APLICACIÓN

1Pachac Huerta Yenica Cirila, 2Delgado Garcia Fanny Esnaida, 3Rojas Rufino Jhonatan Omar, 4Norabuena Nolasco Yessica Primitiva, 5Mendez Gonzales Cristhopher.

1 Universidad Nacional Santiago Antunes de Mayolo, fdelgado@unasam.edu.pe; 2 Universidad Nacional Santiago Antunes de Mayolo, fdelgado@unasam.edu.pe; 3 Universidad Nacional Santiago Antunes de Mayolo, orojasr@unasam.edu.pe; 4 Universidad Nacional Santiago Antunes de Mayolo, ynorabuenan@unasam.edu.pe; 5 Universidad Nacional Santiago Antunes de Mayolo, cmendezg@unasam.edu.pe.

Palabras - clave: Textura del suelo; ArcGIS; Interpolación geoespacial.

Resumen

La textura del suelo es un factor crucial para la gestión sostenible de recursos agrícolas y ambientales, influyendo en la fertilidad, elección de cultivos, control de erosión y retención de agua. La necesidad de mapas texturales precisos ha impulsado el desarrollo de métodos automatizados, aprovechando tecnologías avanzadas de georreferenciación y análisis de datos. Eventos como lluvias intensas e incendios forestales, registrados por el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN), resaltan la importancia de contar con información detallada para la planificación y mitigación de desastres naturales. Sin embargo, la creación manual de estos mapas es laboriosa y depende de múltiples insumos. Este estudio se centra en la automatización mediante ArcGIS, integrando datos georreferenciados y de laboratorio para optimizar la eficiencia y precisión en la generación de mapas texturales. El objetivo es desarrollar modelos automatizados de interpolación para estimar clases texturales del suelo, evaluando su aplicabilidad en contextos específicos para mejorar la gestión ambiental.

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo y descriptivo para analizar la microcuenca Auquish Uran en Perú, durante octubre de 2023 a marzo de 2024. Se utilizó un diseño no experimental. Se muestrearon 64 puntos aleatoriamente a profundidades de 0,15 a 0,25 metros, georreferenciados con precisión. Se caracterizó la zona utilizando herramientas geoespaciales y un Modelo Digital de Elevación. La determinación de la textura del suelo se realizó mediante el método del tacto y el hidrómetro de Boyocus en laboratorio para determinar los porcentajes de arcilla, limo y arena. La zona se describe como un entorno natural con altas cumbres y servicios de regulación hídrica proporcionados por los ecosistemas altoandinos. (Mendoza et al., 2018; Cervantes et al., 2021; Tadesse & Tokuma, 202)

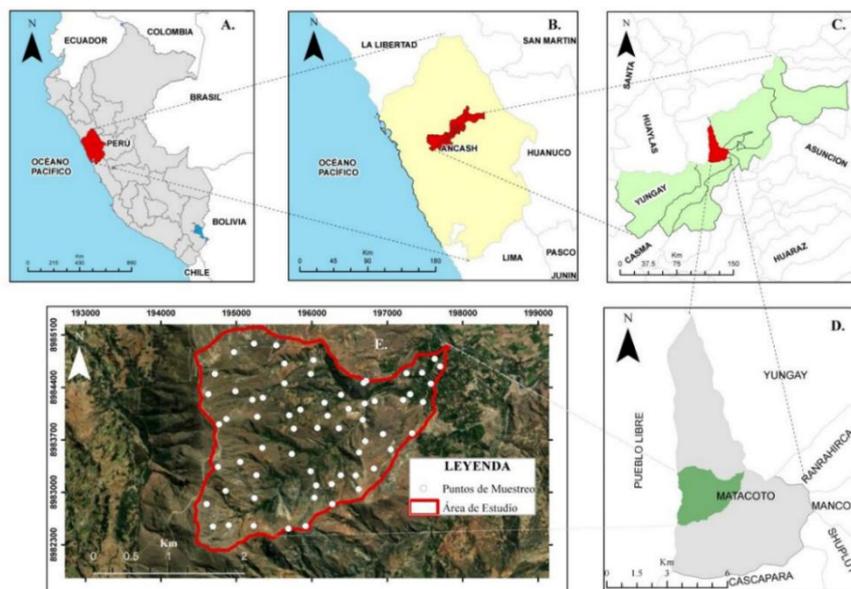


Figura 1: muestra la ubicación del área de estudio, Mapa del Perú (A), Departamento de Ancash (B), Provincia de Yungay (C), Distrito de Matacoto (D) y distribución de puntos de muestreo (E).

Los resultados del laboratorio guiaron la automatización con ArcGIS v10.8, utilizando técnicas de interpolación como Kriging, IDW, Vecino Natural, el Spline, el Spline con Barreras y el Topo to Ráster. Se aplican códigos matemáticos basados en el triángulo textural del USDA para obtener mapas texturales en formato ráster. (Moreno-Maroto & Alonso-Azcárate, 2022). Siguiendo los procesos de la figura 2.

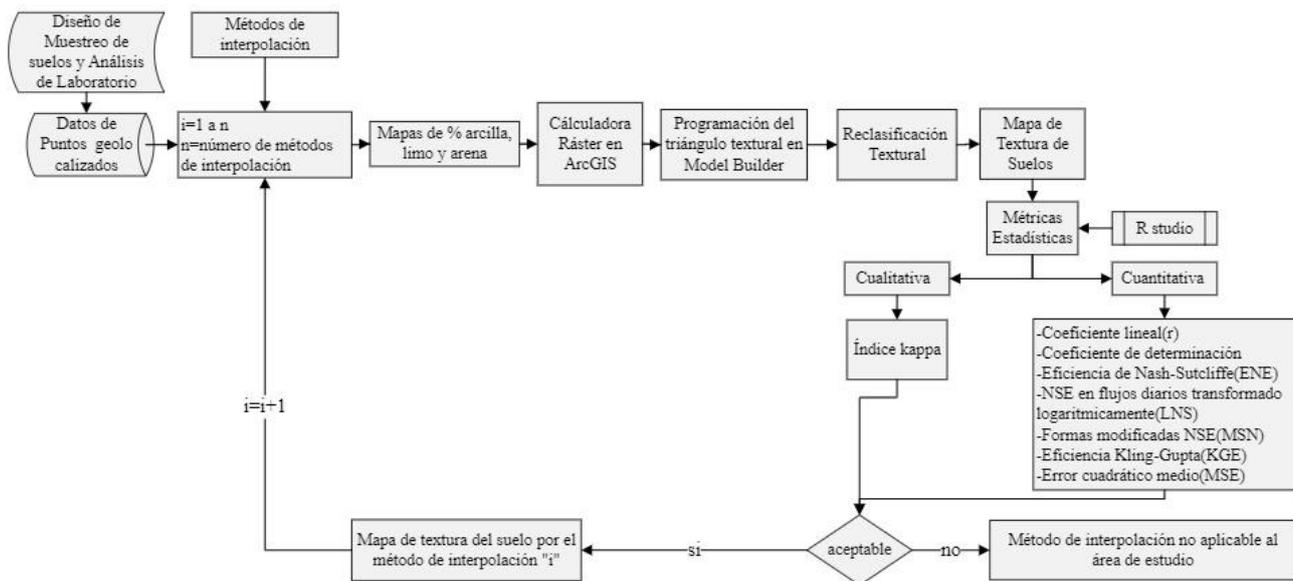


Figura 2. Flujograma del procesamiento y generación de mapas texturales de suelos para cada interpolación.

A partir del mapa textural, se analizó sus porcentajes de limo, arena y arcilla para cada método, con el programa Rstudio de forma cualitativa y cuantitativa comparando con los porcentajes del laboratorio para determinar su correlación lineal. La métrica cualitativa empleó el índice kappa de Cohen (k), eficaz con dos datos de comparación, su rango varía de -1 a +1. Valores cercanos a +1 indican alta concordancia, cercanos a -1 alta discordancia, y 0 representa concordancia esperada por azar (Cerdeira & Villarreal, 2008). Para la interpretación del k, dispone de escalas de medidas (Lopez de Ullibarri & Pita, 1999). A su vez las métricas cuantitativas como el coeficiente lineal (r), índice de determinación (r²), eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), NSE logarítmico (LNS), formas modificadas NSE (MNS), eficiencia Kling-Gupta (KGE) y error cuadrático medio (MSE) se utilizaron para analizar la relación entre las fracciones de partículas del suelo y las estimaciones interpoladas. Estos indicadores proporcionan información sobre la precisión y habilidad predictiva de los modelos utilizados. (Myeni et al., 2021; Cavaglione, 2018; Nevárez-Favela et al., 2021)

Los resultados del coeficiente kappa arrojaron que el método de interpolación topo to raster fue la que mejor se adaptó a los resultados de laboratorio con un índice de 0.9401, y seguidamente spline, spline barriers, vecino natural y IDW, considerados de muy buena concordancia, los cuales son indicados en la generación del mapa textural de suelo; por otro lado, el método que no genera tanta confianza es el kriging con un 0.2865, obteniendo una concordancia débil, esto puede ser debido a la topografía de la quebrada o del método en estudio. Por otro lado el análisis cuantitativo para arcilla, el método Kriging tiene una alta valoración (0,998). Para limo, Kriging también es alto (0,9994). En arena, IDW destaca (0,9999). IDW y Kriging muestran alta eficiencia y bajo error en todos los índices de determinación, NSE, LNS, MNS, KGE y MSE, con valores. Por lo tanto para la zona de estudio los métodos que se ajustan mejor son el topo to ráster y spline.

Gracias

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) y su Vicerrectorado de Investigación por el apoyo financiero crucial para llevar a cabo este estudio. Agradecemos al Centro de Investigación Earth Science and Technology (ESAT) y al Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD) por su valiosa contribución. También queremos agradecer a la Municipalidad de Matacoto y a sus habitantes por su colaboración esencial en la recolección de datos de muestreo.

Referencias

- Beretta, A. N., Silbermann, A. V., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., & García-Lamohte, A. (2014). Análisis de textura del suelo con hidrómetro: modificaciones al método de Bouyoucus. *Ciencia e Investigación Agraria*, 41(2), 263–271. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202014000200013>
- Barrena-González, J., Lavado Contador, J. F., & Pulido Fernández, M. (2022). Mapping Soil Properties at a Regional Scale: Assessing Deterministic vs. Geostatistical Interpolation Methods at Different Soil Depths. *Sustainability*, 14(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/su141610049>.



DEMANDA HÍDRICA DO ABASTECIMENTO ANIMAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUTINGA E BACIAS CONTÍGUAS

1 Rafael Leão, 2 Cristhiane Michiko Passos Okawa, 3 Maria Cristina de Almeida Silva

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, e-mail: eng.rafaelleao@gmail.com; 2 Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil, e-mail: cmpokawa@uem.br. 3 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, e-mail: maria.almeida@ufrgs.br

Palavras-chave: Abastecimento Animal; Consumo.

Resumo

A Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e Bacias Contíguas (BHRJ) corresponde apenas a 3,5% do território de Santa Catarina, porém, no ano de 2022 foi responsável pela produção e abate de 24% dos suínos, 18% dos frangos e 5% do rebanho de gado no Estado. Esta concentração da produção exige grande demanda de recursos naturais, principalmente de água, para abastecimento da produção animal. Além desse fato, o Plano de Recursos Hídricos, que é o principal documento de apoio ao gerenciamento da água, encontra-se desatualizado e incompleto. Nesta direção, a pesquisa teve como objetivo elaborar o prognóstico da demanda hídrica da produção de suínos, frangos de corte e gado, na área de abrangência da BHRJ, para os horizontes de curto (5 anos), médio (10 anos) e longo (15 anos) prazo. A metodologia utilizada contemplou a análise dos dados históricos, disponibilizados pelo Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola - CEPA, centro incorporado à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI, referente as espécies de animais objeto da pesquisa. Também foram consultados e comparados aos dados do Cadastro Estadual de Usuários de Recursos Hídricos (CEURH). Foram agrupados os dados da produção animal nos municípios da BHRJ e determinada a concentração em cada bacia hidrográfica que compõem a área de estudo. Posteriormente, foi calculada a demanda de água para abastecimento em função do número de animais. Com esta mesma sequência de etapas, e utilizando a taxa média de variação no período estudado, realizou-se a projeção de animais e a demanda hídrica para os horizontes temporais. Os resultados apontam que a maioria das espécies animais apresentaram crescimento ao longo dos anos do diagnóstico e, por conseguinte nos horizontes temporais, com ênfase a produção de suínos e gado. O cenário tendencial da demanda hídrica também se mostrou crescente: o total da demanda calculada para o abastecimento animal no ano base (2022) passou de 4.446 L/s para 11.999 L/s no horizonte de longo prazo (2037). As bacias que terão a maior demanda hídrica são a do Rio Jacutinga, do Rio Engano e do Rio Rancho Grande. O resultado do diagnóstico, calculado com os dados da Epagri/Cepa é aproximadamente 3,9 vezes maior que a vazão requerida nos dados do CEURH. Os resultados alertam sobre a necessidade para que sejam realizadas ações de cadastramento de usuário de recursos hídricos e espera-se que os resultados contribuam efetivamente para o Comitê Jacutinga frente ao eminente e necessário processo de revisão, atualização e complementação do Plano de Recursos Hídricos, além de subsidiar tecnicamente as discussões sobre a gestão da água para este importante setor produtivo, econômico e social da Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga e Bacias Contíguas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço 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 aportado até o momento.



O IMPACTO DAS DIVULGAÇÕES ESG E DAS PARTES INTERESSADAS NO GREENWASHING: UMA PERSPECTIVA SOBRE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Mariana C R Ribeiro Russano^{a,1}, Daniela Prando da Silva^{a,2}, José Francisco Mantovani^{a,3}, José Arnaldo F Roveda^{a,4}, Renan Angrizani de Oliveira^{b,5}, Sandra R M Masalskiene Roveda^{a,6}

a Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciências e Tecnologia, Sorocaba, b Universidade de Sorocaba, Sorocaba, 1 e-mail: mariana.russano@unesp.br; 2 e-mail: daniela.prando@unesp.br; 3 e-mail: jose.mantovani@unesp.br; 4 e-mail: jose.roveda@unesp.br; 5 e-mail: renan.oliveira@prof.uniso.br; 6 e-mail: sandra.regina@unesp.br

Palavras-chaves: stakeholders; mudanças climáticas; sustentabilidade.

Introdução

O surgimento de questões sobre mudanças climática e responsabilidade socioambiental corporativa trouxeram para o centro do debate empresarial a atenção sobre o desempenho do Meio Ambiente, Social e Governança (ESG), acrônimo do inglês *Environmental, Social and Governance*, influenciando o interesse de governos, investidores e órgãos reguladores, refletindo em um aumento nas divulgações ESG e nos relatórios de sustentabilidade como ferramentas voltadas para a atenção demandada pela sociedade e a sua busca por produtos e serviços mais sustentáveis (Li et al., 2024; Liao et al., 2020).

Neste sentido, as partes interessadas passam a legitimar a conduta de ESG das empresas (Deegan, 2009 apud Lee e Raschke, 2023), transformada-a em uma nova maneira de legitimação para as questões ambientais (Liao et al., 2020, Lee e Raschke, 2023), sustentado que as responsabilidades empresariais vão além do lucro do acionista, pois as estratégias de ESG irão envolver três componentes.

O ambiental (E), que garantirá a preservação do meio ambiente, o social (S) que diz respeito a sociedade e aos recursos humanos da empresa, envolvendo questões sobre condições de trabalho, salário, direitos humanos, responsabilidade pelo produto, saúde e segurança da comunidade, e por fim a componente governança (G) que implica na forma de gestão, na maneira como a empresa lidera e supervisiona a sua autoridade organizacional (Lee e Raschke, 2023). O conceito de ESG irá então integrar os interesses sociais e ambientais no sistema de valores corporativos, avaliando não apenas os fatores financeiros, se transformando em uma ferramenta para o alcance de um desenvolvimento econômico sustentável, trazendo uma mudança na perspectiva da governança, que historicamente impulsionada pelos interesses próprios, visava apenas o desempenho de mercado e a maximização dos lucros, ignorando os danos ao meio ambiente e aos interesses das partes interessadas, e o seu impacto a longo prazo na sociedade (Li et al., 2024).

A partir desta perspectiva as estratégias de ESG se entrelaçam aos interesses e pressões das partes interessadas, assim, o presente estudo visa entender até que ponto essas pressões podem atuar de maneira positiva ou negativa no greenwashing dentro das divulgações e dos relatórios de ESG e de sustentabilidade.

A legitimação da conduta ESG, só será atingida, quando as partes interessadas estiverem satisfeitas, e para que se tenha essa satisfação é preciso integrar as necessidades e posições delas nas suas estratégias, práticas e condutas sociais e ambientais (Lee e Raschel, 2023), assim, ligar de forma eficiente a sustentabilidade ao seu negócio principal, passará obrigatoriamente pela gestão de suas partes interessadas, incluindo-as em sua governança (Nishitani et al., 2021).

Considerando a Teoria das Partes Interessadas, a realização do propósito de uma empresa dependerá da forma como ela as gerencia, uma vez que cada parte interessada terá interesses distintos, desta forma, a empresa deverá trabalhar essas necessidades de maneira que o maior número possível de grupos de partes interessadas sejam contemplados e estejam em um mesmo sentido (Nishitani et al., 2021).

A pressão das partes interessadas irá fazer com que as empresas se engajem nas condutas e divulgações ESG, entretanto, em alguns casos essa resposta não será acompanhada de uma nova mudança de estratégia em seus programas de sustentabilidade, e sim de uma divulgação enganosa, o *greenwashing*, principalmente quando as empresas tendem a atender as necessidades de clientes e reguladores (Henao-Rodríguez et al., 2024).

Por isso, busca-se entender melhor quando uma parte interessada pode beneficiar as condutas ESG de uma empresa de forma a torná-la sustentável, e quando elas podem pressionar por relatórios e divulgações que apenas digam que são sustentáveis, afinal quando integram de maneira eficiente as condutas ESG, as empresas tendem a mudar seus padrões de governança e buscam realmente cumprir as metas que contribuem para a mitigação das mudanças climáticas, com uma perspectiva financeira, social e ambiental.

Metodologia

O estudo foi realizado na literatura, através da busca de três palavras chaves - ESG, *greenwashing* e *stakeholders*, em um primeiro momento vinte artigos relevantes foram encontrados pela leitura do título e do resumo, esses artigos passaram por um novo processo de refinamento, a leitura do resumo e da sua conclusão, após esse processo identificou-se dez artigos relevantes para o tema. Esses artigos passaram novamente por um processo de seleção mais minuciosa, contando com sua leitura na íntegra, a partir disso reduzimos a amostra para seis artigos pertinentes ao escopo do estudo.



Resultados e discussão

Três artigos discorrem sobre o impacto do *greenwashing* diretamente nos indicadores de ESG, um deles relaciona o impacto de relatórios financeiros e a reações por parte das empresas em suas divulgações ESG, outro estuda os mecanismos para diminuir o *Greenwashing* das empresas nas dimensões ESG de forma holística, e por último há o exame na contribuição do *greenwashing* sobre o desempenho ESG, se o mesmo impacta o desempenho financeiro além da identificação das práticas empresariais que apoiam o *greenwashing*, baseado na teoria da legitimidade. Os outros três trabalhos analisam o *greenwashing* a nível empresarial relacionando-o aos sistemas de gestão ambiental, investigando qual a influência das partes interessadas nas divulgações e atitudes sustentáveis empresariais.

Observamos que as partes interessadas podem ter um efeito negativo ou positivo no *greenwashing* da empresas, como descreve Lee e Raschke (2023) o ativismo proveniente dos stakeholders exerce uma pressão crescente sobre as empresas para que adotem condutas mais ecológicas, conforme a conscientização e o ativismo crescem, as organizações acabam pressionadas e incorrem as práticas como o *greenwashing* em suas divulgações, mesmo que isso gere um efeito negativo por parte de ativistas, influenciadores e consumidores, em forma de ataques imediatos através de redes sociais.

Ainda considerando a perspectiva negativa, o Liao, et al (2023), verificam em seu estudo, que quando confrontadas por relatórios financeiros, empresas listadas com ações, acabam realizando *greenwashing* em suas divulgações ESG, confirmando a hipótese dos autores sobre a gestão de crise, se possuem pressões financeiras o *greenwashing* será ainda maior.

Henao-Rodríguez et al. (2024), afirmam que as pressões das partes interessadas, como clientes e reguladores, podem levar as empresas a praticar *greenwashing*, neste sentido, eles questionam a eficácia das certificações, e concluem que muitas vezes empresas certificadas não aderem às práticas ambientais, exemplificando mais um caso negativo das partes interessadas sobre o *greenwashing*.

Gatti et al. (2021), sugerem que o *greenwashing* tem um impacto negativo maior na intenção de investir do que o mau comportamento em si, pois ele amplifica o efeito de tal comportamento, afinal implica em uma mentira causando uma quebra de expectativa. Neste sentido, o estudo aponta um efeito positivo das partes interessadas no *greenwashing*, uma vez que eles tendem a punir empresas envolvidas, principalmente quando se há a intenção de investimento na mesma.

O efeito positivo também é abordado por Yu et al., (2020), os autores concluem que um maior escrutínio das partes interessadas importantes pode dissuadir tal comportamento, assim as empresas se tornam menos propensas a se envolver em casos de *greenwashing*, Nishitani et al. (2021) defendem no estudo que a pressão de *stakeholders* importantes é fundamental para melhorar o desempenho ambiental das empresas no Vietnã. Os autores discorrem também sobre a importância de se encontrar quem são os stakeholders importantes para cada empresa, se atentando para que todas as partes interessadas sejam contempladas em suas estratégias, uma vez que existe a tendência de se priorizar apenas os mais importantes.

Nishitani et al. (2021), defendem também que o governo é um *stakeholder* importante, e suas atitudes pode ser um diferencial para coibir práticas de *greenwashing*, o que é bem exemplificado no estudo, afinal o governo vietnamita age ativamente para incorporar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), e cria um ambiente propício para que as empresas tenham um desempenho ambiental verdadeiramente positivo. Yu et al. (2020) também chamam a atenção para a participação governamental como ferramenta para a diminuição de *greenwashing* nas divulgações ESG.

Considerações finais

O presente estudo realizou uma busca nas bases de dados, visando entender a relação entre os *stakeholders* com o *greenwashing*, afinal conforme as partes interessadas adquirem consciência, a pressão exercida sobre as empresas aumenta, neste sentido, é importante analisar se essa pressão está indicando um ponto de chegada sustentável para elas, pois em resposta às pressões, muitas vezes as empresas acabam divulgando informações enganosas sobre os seus feitos em relação aos seus compromissos ambientais, e isso pode ser corroborado por todos os estudos apresentados.

O que nos leva a um cenário no qual precisamos urgentemente de regulamentações para coibir práticas de *greenwashing*, tal feito pode ser realizado através de esforços governamentais, e regulamentações contra as ações de *greenwashing*, além de ações que regulamentem e possibilitem a auditoria nos relatórios de sustentabilidade, uma vez que eles não são auditados, logo não são padronizados, não dando garantias da precisão de suas informações prestadas.

O *greenwashing* está presente cada vez mais no cenário empresarial, e os estudos estão acompanhando a sua evolução, buscando ferramentas e possibilidades para diminuí-lo, de forma que ele não seja uma ferramenta de propaganda enganosa utilizada nas divulgações de ESG e nos relatórios de sustentabilidade, uma vez que, o desempenho de ESG pode ser a chave para as questões sobre as alterações climáticas, pois elas empregam riscos as atividades humanas, tais riscos geram efeitos na economia real, afetando o sistema produtivo e os comportamentos das partes interessadas, assim a conduta ESG se transforma na base para alcançar um desenvolvimento econômico mais sustentável, quando utilizada sem *greenwashing*.

Referências Bibliográficas

Gatti, L.; Pizzetti, M.; Seele, P. 2021. Green lies and their effect on intention to invest. **Journal of Business Research**, v. 127, p. 228-240.

Henao-Rodríguez, C.; Liz-Gutiérrez; J. P.; Angulo-Bustinza, H. D. 2024. Unveiling greenwashing in Colombian manufacturing: A machine learning approach. **Research in Globalization**, v. 8, p. 100196.



Lee, M. T.; Raschke, R. L. 2023. Stakeholder legitimacy in firm greening and financial performance: What about greenwashing temptations? **Journal of Business Research**, v. 155, p. 113393.

Li, C.; Wei, T.; Liang, F.; Wang, Z. 2024. The impact of climate change on corporate ESG performance: The role of resource misallocation in enterprises. **Journal of cleaner production**, v. 445, p. 141263.

Liao, F.; Sun, Y.; Xu, S. 2023. Financial report comment letters and greenwashing in environmental, social and governance disclosures: Evidence from China. **Energy Economics**, v. 127, p. 107122.

Nishitani, K; Nguyen, T. B. H.; Trinh, T. Q.; Wu, Q.; Kokuba, K. 2021. Are corporate environmental activities to meet sustainable development goals (SDGs) simply greenwashing? An empirical study of environmental management control systems in Vietnamese companies from the stakeholder management perspective. **Journal of Environmental Management**, v. 296, p. 113364.

Yu, E. P.Y.; Luu, B. V.; Chen, C. H. 2020. Greenwashing in environmental, social and governance disclosures. **Research International Business and Finance**, v. 52, p. 101192.

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE QUEIJO TIPO MUSSARELA VENDIDOS COMERCIALMENTE NA CIDADE DE MACAPÁ

¹Quezia Cavalcante do Rosário, ²Marcelo Silva Andrade²

¹Universidade do Estado do Amapá, e-mail: cavalcante.quezia.r@gmail.com; ²Universidade do Estado do Amapá, e-mail: marcelo.andrade@ueap.edu.br

Palavras-chave: *Staphylococcus* spp; *Salmonella* spp; caldo Rappaport-Vassiliadis (RV)

Resumo

O queijo mussarela é obtido coando uma massa acidificada. Durante a produção, armazenamento, transporte e manuseio desses alimentos pode ocorrer contaminação cruzada por bactérias. O gênero *Staphylococcus* spp. e *Staphylococcus* spp. fazem parte da microbiota humana normal, encontrada na pele, conjuntiva, cavidades nasais e intestinos. A presença de ambos em alimentos indica contaminação cruzada. Segundo a IN60/2019, as bactérias do gênero *Salmonella* spp. devem estar ausentes nos queijos e as do gênero *Staphylococcus* spp. Devem conter uma contagem de unidade formadoras de colônias de 100 a 1000/g. O objetivo deste estudo foi realizar a análise microbiológica de queijos mussarela comercializados na cidade de Macapá. As amostras de queijos foram obtidas a partir de três estabelecimentos comerciais de Macapá, de três marcas diferentes e mantidas refrigeradas até o momento da análise no Laboratório. No interior câmara de fluxo laminar em condições assépticas, as amostras foram divididas em pedaços menores e 25 g de cada amostra foi agitada em 225mL de água peptonada por 30 minutos e incubados a 37°C por 24 h para produção do inóculo pré-enriquecido (IPE). Para a pesquisa de *Staphylococcus* spp. 0,1mL de IPE foi inoculado em ágar Baird-Parker enriquecido com gema de ovo com telurito (BP-GOT). Sua presença foi confirmada pelo aparecimento de colônias brancas com centro preto (Figura 1). Para a busca por *Salmonella* spp. 0,1mL de IPE foi inoculado em 9 mL de caldo Rappaport-Vassiliadis (RV) e incubado a 43°C por 48 h em banho-maria. Após esse período, utilizando alça de platina, a cultura do caldo RV foi estriada em Ágar Salmonella-Shiguella (SS) e incubada a 37°C por 24 h. A presença de *Salmonella* spp. foi confirmada pelo aparecimento de colônias transparentes com centro negro (Figura 1). Ao mesmo tempo, foi observada presença de *E. coli* devido ao aparecimento de colônias rosas (Figura 1) conforme instruções do manual do fabricante. A presença de *Salmonella* spp foi identificada em 33,33% das amostras, a de *Staphylococcus* spp. foi observada em duas 18,52%. Diferentemente, a presença de *E. coli* foi observada em todas as 81,48% das amostras (Tabela 1). Os resultados estudados também diferem dos resultados de Silva et al. (2019) que não identificaram a presença de *Salmonella* spp em amostras de queijo Minas in natura, uma vez que o material estudado na análise microbiológica apresentou resultados positivos para colônias deste microrganismo, podendo ser patogênico se ultrapassar os números estabelecidos em a legislação em vigor na RDC n°. 331, visto que a presença desses microrganismos indica contaminação, que ocorre por diversos fatores, como falta de cuidados higiênicos na compra, no manuseio, na execução, bem como no seu armazenamento e no processo de produção do queijo (Figuras 1,2 e 3). Este estudo demonstrou a presença de microrganismos como *Salmonella* spp, *E. coli* e *Staphylococcus* spp em queijos mussarela comercializados em estabelecimentos comerciais de Macapá, obtêm contaminação possivelmente originado da manipulação incorreta dos alimentos.



Figuras 1 a 3 - Resultados das colônias positivas para *Salmonella* spp., *Staphylococcus* spp. e *E. coli*.



Microrganismos	Presença (%)	Ausência (%)	Inconclusivo (%)
<i>Salmonella</i> spp.	33,33	59,25	7,41
<i>Staphylococcus</i> spp.	18,52	62,97	18,52
<i>E. coli</i>	81,48	11,11	11,11

Tabela 1- Presença de Microrganismo em cada coleta

Agradecimentos

A Universidade do Estado do Amapá e, a todo apoio e aparato do Laboratório de Microbiologia da mesma, mediados pelo professor Dr. Marcelo Silva Andrade. A PROGRAD ao apoio e desenvolvimento à pesquisa dos acadêmicos.

Referências Bibliográficas

ANVISA; 2019. Resolução RDC nº 331 de 23 de dezembro de 2019. Dispõe sobre os padrões microbiológicos dos alimentos e sua aplicação.

Buzi, K.A.; Pinto, J.P.A.N.; Ramos, P.R.R.; Biondi, G.F; 2009. Análise microbiológica e caracterização eletroforética do queijo mussarela elaborado a partir de leite de búfala. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v. 29, n. 1, p. 7-11.

Silva, L.F.B.; Bortoluci, F.; Vivan, A.C.P; 2019. Análise microbiológica de queijos tipo minas frescal oriundos de diferentes formas de produção. *SALUSVITA*, Bauru, v. 38, n. 2, p. 329-343.



ANÁLISE DOS ASPECTOS AMBIENTAIS NOS PLANOS DIRETORES MUNICIPAIS NA REGIÃO OESTE DE SANTA CATARINA

1 Leticya Bellei da Silva, 2 Marlon Luiz Neves da Silva, 3 Leandro Bordin

1 Universidade Federal da Fronteira Sul, e-mail: leticyabellei05@gmail.com; 2 Universidade Federal da Fronteira Sul, e-mail: marlon.silva@uffs.edu.br; 3 Universidade Federal da Fronteira Sul, e-mail: leandro.bordin@uffs.edu.br

Palavras-chave: plano diretor; legislação ambiental; sustentabilidade.

Resumo

Segundo Costa e Rios (2014), o surgimento das cidades visa atender às necessidades humanas, visando o bem-estar coletivo e enfatizando a garantia de saúde, segurança, cultura e educação. O processo de urbanização global teve início por volta do século XX, com o crescimento do número de indústrias, levando as pessoas do interior a migrarem para as cidades em busca de salários melhores e melhores condições de vida (Britto e Vidigal, 2015).

No Brasil, esse processo de urbanização ocorreu principalmente a partir da década de 1940, motivado pelas mesmas razões. Esse influxo populacional gerou diversas demandas para acomodar os migrantes, muitas vezes excedendo a capacidade de suporte dessas cidades (Costa e Rios, 2014).

No intuito de "ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes", a Constituição Federal de 1988, em seu artigo 182, estabeleceu o Estatuto da Cidade, regulamentado pela Lei Federal nº 10.257/2001. Este estatuto, também conhecido como Estatuto da Cidade, estabelece as diretrizes gerais da política pública urbana e ambiental. Segundo Wamms e Lima (2022), o Estatuto da Cidade é de grande importância para a sociedade, uma vez que, em seu artigo 2º, inciso primeiro, assegura o direito a uma cidade sustentável, abrangendo direitos como acesso à terra, moradia, serviços públicos, saneamento ambiental e infraestrutura urbana, tanto para as gerações presentes quanto futuras. Os autores ressaltam que o estatuto não se limita apenas a aspectos sociais e econômicos, mas também aborda questões ambientais.

O Estatuto da Cidade dispõe de ferramentas essenciais, como o ordenamento e controle do uso do solo, que buscam evitar o uso inadequado das propriedades, o parcelamento do solo e o uso excessivo em relação à infraestrutura existente, além de combater a poluição e a degradação ambiental. Observa-se também, no Estatuto, a adequação de instrumentos políticos, econômicos, tributários e financeiros relacionados ao desenvolvimento urbano, com o objetivo de promover investimentos que beneficiem o bem-estar social coletivo e estimulem a preservação, proteção e recuperação do meio ambiente natural e construído, incluindo patrimônios históricos, artísticos, paisagísticos e arqueológicos (Wamms e Lima, 2022).

É dever do poder público municipal adotar o Estatuto da Cidade, elaborando o Plano Diretor de acordo com suas diretrizes e em conjunto com a busca por um ambiente equilibrado, essencial para uma vida saudável. Não se pode esquecer que os órgãos públicos também têm responsabilidades na implementação do Estatuto da Cidade (Barros e Rezende, 2019).

Metodologia

O presente estudo adotou uma abordagem quali-quantitativa, ou mista, que combina métodos qualitativos e quantitativos de investigação. Esta abordagem transcende suposições filosóficas ao integrar tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos em um único estudo, visando assim obter uma compreensão mais abrangente do fenômeno em questão (Creswell, 2010). A coleta e análise de dados envolvem tanto informações qualitativas quanto quantitativas, aproveitando as vantagens de ambas as abordagens e destacando que a integração desses métodos fortalece o estudo de forma geral.

Este estudo empregou a pesquisa documental para reunir os Planos Diretores (PD) disponíveis nos sites dos municípios da região Oeste de Santa Catarina, composta por 21 municípios. A pesquisa documental é caracterizada pela busca de informações em documentos que não tenham sido analisados previamente, sendo considerada fonte primária de dados. Neste caso, os dados são originais e o pesquisador estabelece uma relação direta com os fatos a serem analisados (Marconi e Lakatos, 2008). As buscas pelos PDs foram realizadas por meio de plataformas eletrônicas de pesquisa disponíveis na legislação de cada município, como os sites das prefeituras.

Resultados

De acordo com os dados analisados, verifica-se que dos 21 municípios que compõem a região, apenas 9 deles possuem Planos Diretores (PD), a saber: Caxambu do Sul, Chapecó, Cordilheira Alta, Guatambu, Nova Itaberaba, Pinhalzinho, Planalto Alegre, São Carlos e Serra Alta, os quais serão objeto de análise. Além disso, constatou-se que 4 municípios deram início ao processo para elaboração do PD, incluindo Coronel Freitas, Nova Erechim, Sul Brasil e União do Oeste. Observa-se ainda que o município de Quilombo possuía um PD, mas encontra-se em processo de revisão, estando indisponível para análise no momento.

É importante ressaltar que, entre esses 21 municípios, 7 não possuem PD. Essa ausência evidencia a dificuldade desses municípios em realizar um planejamento eficaz para seu desenvolvimento futuro. O PD é uma ferramenta crucial de organização e planejamento municipal, com o objetivo de promover a qualidade de vida da população nos anos seguintes (Bernardy, Zuanazzi e Monteiro, 2008).



Conclusão

É essencial que os Planos Diretores (PDs) priorizem as questões ambientais, dada sua influência na sociedade e no meio ambiente. Um PD que relega o aspecto ambiental a segundo plano não é eficaz na mitigação dos problemas ambientais, destacando a necessidade de uma abordagem sustentável no planejamento urbano. Para aprimorar essa abordagem, os PDs devem ser elaborados de forma a planejar e propor ações que considerem as características específicas de cada município, como sua localização geográfica e seu bioma. Isso os torna instrumentos eficazes para promover a justiça social e a equidade ambiental. Além disso, é importante garantir a execução efetiva das medidas propostas nos PDs, incluindo itens de fiscalização e monitoramento. Recomenda-se a implementação de PDs nos municípios que ainda não possuem, pois são ferramentas eficazes para orientar o crescimento urbano de forma sustentável e melhorar a qualidade de vida da população.

Referências Bibliográficas

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

Barros De Mesquita, T.; Rezende E. N.; 2019. Expansão Urbana E a Manutenção Da Reserva Legal No Plano Diretor: Uma Análise Do Crescimento Dos Grandes Centros Urbanos Frente à Imperiosa Proteção Ambiental. Revista De Direito Econômico E Socioambiental 10.3: 182-204.

Bernardy, R. J.; Zuanazzi, J.; Monteiro, R. R.; 2008. Território, planejamento e gestão: um estudo do Oeste Catarinense a partir da região da Amosc. Chapecó: Palotti.

BRASIL; 1988. Constituição da República Federativa do Brasil, Artigo 225. Brasília.

BRASIL. Lei nº. 10.257, de 10 de jul. de 2001. Estatuto da cidade.

Britto, A. B.; Vidigal, I. P. N.; 2015. Cidades sustentáveis: As restrições urbanísticas ambientais convencionais como instrumentos de não agressão ambiental, p. 105-127. In: NOGUEIRA, Luiz Fernando Valadão. Direito Ambiental e urbanístico - Belo Horizonte: Editora D'Plácido.

Costa, B. S.; Rios, M.; 2014. In: RIOS, Mariza. Et al. (Coord.). A cidade real e a cidade ideal: em uma reflexão transdisciplinar. Belo Horizonte: Del Rey.

Creswell, J. W.; 2010. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. 296 p.

Marconi, M.A.; Lakatos E.M; 2008. Fundamentos da metodologia científica. 6. ed. São Paulo: Atlas.

Wamms, L. M., Silveira, L.; 2022. O Estatuto Da Cidade Que Queremos: Discutindo Os Porquês, Quem E O Como, Sob a Perspectiva Do Urbano E Do Direito à Cidade. Agora (Santa Cruz Do Sul, Brazil) 24.1.



A EVOLUÇÃO DO MODELO AMBIENTAL, SOCIAL E DE GOVERNANÇA (ESG): UMA REVISÃO DE SUA TRAJETÓRIA ASCENDENTE

1 Morgana Vigolo, 2 Camila Baldasso, 3 Taison Anderson Bortolin, 4 Bianca Breda e
5 Juliano Rodrigues Gimenez

Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC) da Universidade de Caxias do Sul (UCS), mvigolo1@ucs.br; 2 Doutora em Engenharia Química e docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC) da Universidade de Caxias do Sul (UCS), cbaldasso@ucs.br; 3 Pós-Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), tabortol@gmail.com; 4 Engenheira Ambiental - Instituto de Saneamento Ambiental (ISAM/UCS), Pós-Graduanda em ESG e Sustentabilidade Corporativa da Fundação Getúlio Vargas (FGV), bbreda@ucs.br; 5 Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, docente da Universidade de Caxias do Sul (UCS) e Diretor do Instituto de Saneamento Ambiental (ISAM/UCS), jrgimene@ucs.br.

Palavras-chave: ASG; Sustentabilidade Corporativa; Desenvolvimento Sustentável; Teoria das Partes Interessadas

Resumo

O desenvolvimento sustentável tem ganhado crescente importância tanto no âmbito acadêmico quanto no corporativo nos últimos anos, especialmente após o início de um debate crescente sobre diferentes preocupações ambientais e sociais causadas pelo modelo convencional de produção e consumo. Desafios como as mudanças climáticas, o esgotamento dos recursos naturais e as desigualdades sociais representam ameaças aos ecossistemas e aos meios de subsistência humanos e econômicos, gerando preocupações que permeiam toda a sociedade, em particular entre investidores e gestores empresariais (LIU, LUO & LU, 2023). Em resposta a essas preocupações, houve uma adoção crescente do modelo de desenvolvimento socioeconômico conhecido como ESG, que corresponde a *Environmental, Social and Governance*, no original em inglês, ou ASG, referindo-se à Ambiental, Social e Governança, na tradução para o português. Este acrônimo refere-se à maneira como as empresas incorporam problemas ambientais, sociais e de governança em seus processos de tomada de decisão e estratégias empresariais, rompendo com o conceito tradicional de obtenção de lucros como único objetivo (GILLAN, KOCH & STARKS, 2021). Apesar do aumento do uso de práticas ESG por diversos setores em prol do bem-estar global, a maioria das pesquisas ainda se concentra na forma como as empresas podem lucrar por meio da implementação dessas práticas, deixando uma lacuna no entendimento da sua origem e evolução. Portanto, este trabalho tem como objetivo preencher essa lacuna fundamental, oferecendo uma perspectiva sólida sobre os fatores, eventos e teorias que moldaram sua concepção atual e o transformaram em um componente essencial do cenário empresarial contemporâneo. Para tanto, foi realizada uma revisão da literatura utilizando a plataforma *ScienceDirect*, fornecida pela Elsevier, e da base de dados *Web of Science*, que abrangem uma ampla variedade de periódicos e publicações científicas. Primeiramente, a sua origem remonta à segunda metade do século XX, quando a preocupação com a preservação ambiental e o uso responsável dos recursos naturais foram impulsionados por uma série de tendências socioeconômicas, como o aumento da população, o crescimento econômico, a urbanização e outros aspectos decorrentes do desenvolvimento industrial e da globalização. Desde então, a comunidade científica já demonstrava inquietações com os efeitos da industrialização sobre o meio ambiente, uma vez que as indústrias estavam concentradas em produzir para atender as demandas dos consumidores (DUDA *et al.*, 2022). As crescentes preocupações científicas e públicas motivaram a realização do primeiro grande encontro internacional focado na questão ambiental em 1972, em Estocolmo, conhecido como a Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente Humano (UNITED NATIONS, 1972; BASTE & WATSON, 2022). No entanto, o conceito de desenvolvimento sustentável começou com a criação da *World Commission on Environment and Development* (WCED) em 1983. Em 1987, essa comissão divulgou o relatório “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como Relatório de Brundtland, que definiu “desenvolvimento sustentável” como aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir às suas próprias necessidades, passando a ser adotado como expressão oficial nos documentos da ONU (WCED, 1987; SAETRA *et al.*, 2024). A conferência resultante deste Relatório foi realizada em 1992 no Rio de Janeiro, Brasil, onde foi estabelecida a Agenda 21, um plano de ação global para promover o desenvolvimento econômico sem prejudicar o meio ambiente, e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) (BASTE & WATSON, 2022). Em resposta ao chamado da ONU, as empresas passaram a ser responsabilizadas por suas práticas e, conseqüentemente, começaram a considerar os conceitos de Responsabilidade Social Corporativa (RSC) e *Triple Bottom Line* (TBL), ou “tripé da sustentabilidade”. A RSC representa o compromisso voluntário das empresas em ser socialmente responsáveis além do que é exigido por lei (KIRCHMAIR & WAGNER, 2024). Já a abordagem TBL, proposta por John Elkington em 1998, integra aspectos sociais e ambientais ao desempenho financeiro, visando um crescimento a longo prazo (ELKINGTON, 1998). Pela primeira vez, em 2004, o termo ESG foi introduzido no relatório “*Who Cares Wins*”, lançado pelo Pacto Global em parceria com o Banco Mundial. Esse relatório incentivou as instituições financeiras a considerarem as dimensões ESG em suas decisões de investimentos, visando fortalecer e tornar mais resilientes os mercados financeiros por meio do desenvolvimento sustentável (UNITED NATIONS, 2004; ALNAFRAH, 2024). Um marco mais recente e significativo foi a conferência da ONU sobre



Desenvolvimento Sustentável, realizada no Brasil em 2012, conhecida como Rio+20, que resultou na adoção da Agenda 2030 em 2015 por 193 países membros da ONU. A Agenda 2030 é um apelo universal para acabar com a pobreza, proteger o planeta e garantir a prosperidade para todos, com um plano de ação global composto por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), 169 metas e 255 indicadores específicos (UNITED NATIONS, 2015). Embora os governos sejam os principais condutores na promoção dos ODS e do Acordo de Paris, as empresas também desempenham um papel importante devido aos seus recursos, capacidade de inovação, escala e alcance. Uma maneira eficaz de envolver e integrar as empresas na busca pelos ODS e pelo cumprimento do Acordo de Paris é avaliar como suas práticas e atividades sustentáveis contribuem para alcançar seus objetivos com base no desempenho ESG (KHALED, ALI & MOHAMED, 2021). Nesse contexto, à medida que a Teoria dos Acionistas (ou Capitalismo de *Shareholders*) proposta por Friedman (1970), que visa a maximização do lucro a curto prazo, dá lugar à teoria das Partes Interessadas (ou Capitalismo de *Stakeholders*) de Freeman (1984), que reconhece que as empresas são responsáveis não apenas perante os acionistas, aos quais têm responsabilidade fiduciária, mas também perante todas as partes interessadas, às quais têm uma responsabilidade moral, as práticas ESG surgem como impulsionadoras dessa transformação, uma vez que permitem que as empresas atendam às necessidades e expectativas de suas diversas partes interessadas (MARTINY *et al.*, 2024). Entretanto, o ESG ainda carece de uma definição acadêmica clara, o que gera incertezas sobre seu real significado. O termo ESG não é um conceito em si, mas é um acrônimo que abrange as dimensões ambiental (E), social (S) e de governança (G), conforme já mencionado, o qual é adotado pelo mercado para destacar um conjunto de práticas e ferramentas para avaliar a sustentabilidade corporativa. No que diz respeito às suas dimensões, o “E” concentra-se nos impactos das operações corporativas no meio ambiente; o fator “S”, envolve as relações das empresas com seus funcionários, clientes, fornecedores e comunidades locais; e o fator “G”, trata da estrutura administrativa da empresa (WAN, YIN & WU, 2024). De acordo com Martiny *et al.* (2024), o ESG serve como uma medida quantitativa específica da sustentabilidade corporativa, permitindo assim entender melhor o impacto dos esforços de responsabilidade social e ambiental nos resultados financeiros e operacionais quantificáveis da empresa. Embora o termo ESG tenha sido introduzido oficialmente em 2004, foi a partir de 2019 que ele popularizou amplamente, apresentando um rápido crescimento nos últimos anos tanto no meio acadêmico quanto no mundo dos negócios (TIAN *et al.*, 2024). Entretanto, a ascensão do ESG não se deve apenas a uma mudança de paradigma em relação à crença tradicional de Friedman (1970), mas a uma combinação de diversos fatores globais. Um fator significativo foi a "Declaração sobre o Propósito de uma Corporação" de 2019, assinada por 181 grandes empresas da Business Roundtable (BRT), que adotou a Teoria das Partes Interessadas (GAFNI *et al.*, 2024). Em 2020, o debate em torno do ESG intensificou-se com a carta anual do Larry Fink, CEO da maior gestora de ativos do mundo, a *BlackRock*, que enfatizou a necessidade de as empresas considerarem o impacto social e ambiental, além da maximização do lucro, declarando que aquelas que não incorporarem ESG em suas estratégias colocarão sua perenidade em sério risco (WANG, 2024). A pandemia de Covid-19 em 2020 e sua extensão até 2023 também destacou a importância do ESG, com empresas com altas classificações ESG atraindo mais investimentos e alcançando retornos de ações mais altos do que aquelas que não abordavam questões ESG. Segundo Xu *et al.* (2024), a crise global de saúde e financeira desencadeada pela pandemia de Covid-19 evidenciou a interconexão entre pessoas, planeta e lucros, fazendo que questões como segurança, bem-estar e gestão do capital humano passaram a ocupar um lugar central nas preocupações das organizações. Também em 2020, o Relatório de Riscos Globais (*Global Risks Reports*, no original em inglês), produzido pelo Fórum Econômico Mundial (2020), apresentou pela primeira vez que entre os dez maiores riscos globais em termos de probabilidade, cinco estavam relacionados ao meio ambiente, indicando as condições climáticas extremas como o risco com maior probabilidade de desencadear uma crise global nos próximos 10 anos. Outro impulso para a adesão ao ESG vem da pressão das gerações Y (ou *Millennias*) e Z, que ao contrário das gerações anteriores, são motivados pelo propósito mais do que por dinheiro e preferem estabelecer relações de negócio com empresas éticas e transparentes, bem como aquelas comprometidas com as pessoas e o meio ambiente (FAFALIOU *et al.*, 2022). Além dos fatores globais mencionados, há também outros relevantes que impulsionam as atividades ESG das empresas, que podem variar de acordo com as características do país ou do estado, tais como cultura, legislação e nível de desenvolvimento econômico (GILLAN, KOCH & STARKS, 2021). Entretanto, um dos fatores mais fundamentados pela literatura para o crescente interesse pelas práticas ESG é a correlação positiva com o desempenho financeiro corporativo, especialmente em um horizonte de tempo mais longo. Isso inclui o fácil acesso a recursos financeiros, maior retorno sobre o patrimônio, melhores registros contábeis, custo de capital reduzido e melhor desempenho do preço das ações (WHELAN *et al.*, 2021; FU *et al.*, 2024). Contudo, cabe ressaltar diversos fatores que influenciam a relação entre o desempenho ESG e os resultados financeiros. O primeiro deles é a forte ligação entre a reputação de uma empresa e as suas atividades ESG, uma vez que uma boa reputação aumenta a atração e fidelização de clientes, bem como a criação de valor e a vantagem competitiva (FAFALIOU *et al.*, 2022). O segundo fator é a redução de custos, pois o bom desempenho ESG das empresas pode gerar economias significativas por meio da melhoria da eficiência operacional, como a redução do desperdício de energia e água, além do aumento da produtividade (FAFALIOU *et al.*, 2022; WU *et al.*, 2024). O terceiro diz respeito às relações regulatórias, pois empresas que adotam práticas ESG robustas geralmente se antecipam às mudanças regulatórias e adotam medidas preventivas que ultrapassam os requisitos mínimos exigidos pelas leis, evitando assim penalidades e multas onerosas que poderiam prejudicar o desempenho financeiro da empresa (RAHAT & NGUYEN, 2024). Por fim, o quarto fator refere-se à capacidade de atrair e reter talentos de alta qualidade e com diversidade de equipes, que provavelmente desfrutaram de uma maior produtividade, inovação e melhor desempenho financeiro a longo prazo (SONG, 2024). Em suma, a literatura indica que o ESG contribui para as empresas na gestão de riscos, atração de capital, competitividade e conformidade com regulamentações em evolução. Assim, as empresas com bom desempenho ESG destacam-se ao melhorar o reconhecimento das partes interessadas, como a fidelização de funcionários e clientes, além de alcançar melhores resultados econômicos e uma maior tolerância aos riscos, sejam eles internos ou externos.



Agradecimentos

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

Referências Bibliográficas

- Alnafrah, I. 2024. ESG practices mitigating geopolitical risks: Implications for sustainable environmental management. *Journal of Environmental Management*, v. 358. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120923>.
- Baste, I. A.; Watson, R. T. 2022 Tackling the climate, biodiversity and pollution emergencies by making peace with nature 50 years after the Stockholm Conference. *Global Environmental Change*, v. 73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102466>.
- Duda, E. do N.; Da Silva, D. J. C.; Lagioia, U. C. T.; Santos, M. A. 2022. Sustainable Culture Rings With Good Performance? A Study of Companies Listed in the Business Sustainability Index (Ise). *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 16, n. 2, p. 1-18. DOI: 10.24857/rgsa.v16n2-013.
- Elkington, J. 1998. Cannibals With Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. *Journal of Business Ethics*, v. 23, p. 229-231. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006129603978>. 3
- Fafaliou, I.; Giaka, M.; Konstantios, D.; Polemis, M. 2022. Firms' ESG reputational risk and market longevity: A firm-level analysis for the United States. *Journal of Business Research*, v. 149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.05.010>.
- Friedman, M. 1970. The social responsibility of business is to increase its profits. *Corporate Ethics and Corporate Governance*, p. 173-178.
- Freeman, R. E. 1984. Definition and Evaluation of Computer Support Systems for Instruction. *AEDS Journal*, v. 17. DOI: <https://doi.org/10.1080/00011037.1984.11008377>.
- Gillan, S. L.; Koch, A.; Starks, L. T. Firms and social responsibility: A review of ESG and CSR research in corporate finance. 2021. *Journal of Corporate Finance*, v. 66, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2021.101889>.
- Song, J. 2024. Corporate ESG performance and human capital investment efficiency. *Finance Research Letters*, v. 62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105239>.
- Khaled, R.; Ali, H.; Mohamed, E. K. A. 2021. The Sustainable Development Goals and corporate sustainability performance: Mapping, extent and determinants. *Journal of Cleaner Production*, v. 311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127599>.
- Kirchmair T.M. B.; Wagner, E. 2024. The impact of corporate social responsibility on the performance of mergers and acquisitions: European evidence. *Cleaner Environmental Systems*, v. 12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100167>.
- Liu, M.; Luo, X.; Lu, W. Z. Public perceptions of Environmental, Social, and Governance (ESG) based on social media data: evidence from China. 2023. *Journal Of Cleaner Production*, v. 387. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135840>.
- Martiny, A.; Tagliatalata, J.; Testa, F.; Iraldo, F. 2024. Determinants of environmental social and governance (ESG) performance: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*. v. 456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142213>.
- Rahat, B.; Nguyen, P. 2024. The impact of ESG profile on Firm's valuation in emerging markets. *International Review of Financial Analysis*, v. 95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103361>.
- Saetra, H. S. 2024. Science fiction, sustainability, and scenario use: Comprehensive scenarios for improved strategy development and innovation. *Technovation*, v. 132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2024.102976>.
- Tian, L.; Sun, K. Yang, J.; Zhao, Y. 2024. Does digital economy affect corporate ESG performance? New insights from China. *International Review of Economics & Finance*, v. 93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.05.015>.
- United Nations. 1972. United Nations General Assembly Resolution 2997 (XXVII). Disponível em: <https://documents-ddsny.un.org/doc/RESOLUTION/GEN/NR0/270/27/IMG/NR027027.pdf?OpenElement>.
- United Nations. 2004. Who Cares Wins: connecting financial markets to a changing world. Disponível em: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/de954acc-504f-4140-91dc-d46cf063b1ec/WhoCaresWins_2004.pdf?MOD=AJPERES&CVID=jqeE.mD.



United Nations. 2015. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>.

Wan, j.; Yin, l.; Wu, Y. 2024. Return and volatility connectedness across global ESG stock indexes: Evidence from the time-frequency domain analysis. International Review of Economics & Finance, v. 89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.10.038>.

Whelan, T.; Atz, U.; Holt, T.; Clark, C. 2021. ESG and financial performance: Uncovering the Relationship by Aggregating Evidence from 1,000 Plus Studies Published between 2015 - 2020. Center for Sustainable Business.

World Commission on Environment and Development (WCED). 1987. Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. United Nations: New York.



ÁREAS VERDES URBANAS, TIPOLOGIA E DISTRIBUIÇÃO: DOURADOS, MATO GROSSO DO SUL

1Andreliz Silva Souza, 2Luiz Antonio Paiva, 2Thalysson Kopes Souza Nogueira, 1Artur Henrique Leite Falcette 3Sheyla Thays Vieira Barcelos

1Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação, e-mail: asouza@semadesc.ms.gov.br; e-mail: afalccette@semadesc.ms.gov.br; 2Rastrear consultoria ambiental e mineração, e-mail: la.paiva.lp@gmail.com; e-mail: thalyssonnogueira@hotmail.com; 3Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul, e-mail: svieira@imasul.ms.gov.br; e-mail

Palavras-chave: Malha Urbana; Áreas Verdes, Geoprocessamento; Políticas Públicas Ambientais; Mato Grosso do Sul.

Resumo

À medida que os problemas ambientais urbanos vêm tomando proporções, surge a preocupação com o ambiente natural e as reais necessidades do ser humano, em todos aspectos, desde territorial para uso de moradias como para produção de alimentos e conservação da biodiversidade. Os benefícios gerados pelas áreas verdes urbanas são imprescindíveis para o controle do clima, eliminação de poluentes atmosféricos, fornecimento do lazer, turismo, sequestro de carbono, dispersão de sementes e minimização dos impactos negativos como assoreamento e enchentes, causados pela antropização. Esse artigo disponibiliza a tipologia e quantificação da vegetação na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul. O mapeamento das áreas verdes urbanas de Dourados foi realizado através das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, o que possibilitou a identificação espacial dessas áreas, assim como a quantificação em relação aos diversos setores urbanos da cidade. A partir dos dados levantados foi possível diferenciar as áreas verdes em duas classes de cobertura vegetal consideradas como: Vegetação Arbórea/Arbustiva e Vegetação Herbácea. Com base na análise dos resultados obtidos no presente trabalho, o poder público municipal pode elaborar um planejamento estratégico e direcionar ações de gestão urbana voltadas ao reestabelecimento da cobertura vegetal nos bairros com pouca ou nenhuma área verde.

Introdução

A busca pela compreensão da diversidade dos aspectos do espaço urbano, relacionados às suas dimensões físico-territoriais e seus habitantes tornou-se uma preocupação para o planejamento e gestão urbana (BARGOS; MATIAS, 2012). Lima e Amorim (2006), consideram as áreas verdes como um indicador na avaliação da qualidade ambiental urbana. Além de ser um fator importante na qualidade de vida, pela sua vegetação, também apresenta condições consideradas boas para o setor imobiliário, pois, são locais de lazer e recreação da população.

Conforme o Art. 8º, § 1º da Resolução do CONAMA 369/2006: “Considera-se área verde de domínio público o espaço de domínio público que desempenhe função ecológica, paisagística e recreativa, propiciando a melhoria da qualidade estética, funcional e ambiental da cidade, sendo dotado de vegetação e espaços livres de impermeabilização”.

O Novo Código Florestal Brasileiro, instituído pela Lei Federal 12.651 de 25 de maio de 2012 - “Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa”. Conforme o Art. 25º. O poder público municipal contará, para o estabelecimento de áreas verdes urbanas, com os seguintes instrumentos: Inciso II. Reservas legais ao serem inseridas no perímetro urbano possuem tutela jurídica para serem transformadas em Áreas Verdes Urbanas.

As Geotecnologias, principalmente os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto orbital, GPS (Sistema de Posicionamento Global) e o Geoprocessamento possibilitam meios e técnicas para tratamento das informações espaciais, permitindo visualizá-las em forma de mapas, relatórios e tabelas, constituindo ferramenta de análise e subsídio à tomada de decisão (SILVA e ZAIDAN, 2004). O Geoprocessamento é um conjunto de técnicas ligadas à informação espacial, que vão desde a coleta, tratamento, manipulação, até a análise dos dados espaciais voltado para um objetivo específico (Rosa, 2013).

Materiais e métodos

O município de Dourados, Mato Grosso do Sul situa-se a 220 km da capital do estado. O município estende-se por 4.086,237 km² e possui cerca de 222.949 mil habitantes (Fonte IBGE/2019). A vegetação da área de estudo é composta por dois biomas: Mata Atlântica e Cerrado. O bioma predominante é o de Mata Atlântica, que abrange maior área da concentração urbana e conseqüentemente, maior população. O bioma Cerrado ocorre na porção sudoeste da área de estudo e contém menor parcela da população. (SISLA, 2019).

O presente trabalho utiliza os recursos geotecnológicos que envolvem técnicas de aquisição, tratamento, armazenamento e análise espacial dos dados extraídos via SIG com a utilização do software ArcGis ® 10.5.

Inicialmente foram obtidos os arquivos shape referentes ao perímetro urbano, aos setores urbanos, praças, parques, canteiros e rotatórias, passarelas, bosques, zonas especiais de interesse ambiental (ZEIA), disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Dourados. As unidades de conservação, e biomas foram obtidos os arquivos shape disponíveis no SISLA (Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental) MS. Para o levantamento dos dados das áreas verdes públicas localizados na área urbana foram utilizadas as informações obtidas de imagens de Sensoriamento Remoto geradas a partir do recobrimento aerofotogramétrico



digital com GSD de 10 cm fornecidos pela SEPLAN de Dourados (SEPLAN, 2019). Tendo como base o arquivo shape dos 41 setores urbanos estabelecidos pela Prefeitura de Dourados, a imagem aérea foi recortada de acordo com os mesmos possibilitando melhor eficiência no processamento dos dados. Para cada setor urbano foi realizado o mapeamento, a classificação e a quantificação das áreas verdes através da técnica de Classificação Supervisionada em ambiente ARCGIS. Para tal foram coletadas amostras que permitiram a criação da assinatura espectral referentes às duas classes consideradas no mapeamento: Vegetação Arbórea/Arbustiva; e Vegetação Herbácea. Como resultado dessa classificação foram gerados arquivos no formato raster referentes às áreas verdes urbanas, em termos de vegetação arbórea/arbustiva e vegetação herbácea, em cada setor urbano. Posteriormente o produto raster foi convertido em arquivos vetoriais no formato shape, contendo as classes interpretadas.

A partir desse processamento foram quantificadas, por setor urbano, as áreas verdes bem como as classes de vegetação das mesmas. Utilizou-se os bancos de dados gerados em ambiente de geoprocessamento, para realizar os cálculos dessas áreas, utilizando o software EXCEL, o qual permitiu a construção dos gráficos que demonstram essa quantificação.

Resultados e discussões

O processamento das informações consideradas no presente trabalho, através das técnicas de Geoprocessamento e de Sensoriamento Remoto, permitiu o mapeamento da distribuição espacial das áreas verdes urbanas do município de Dourados, de acordo com os 41 setores urbanos. O mapeamento permitiu observar uma grande variação na quantidade de áreas verdes nos diferentes setores. Enquanto que, em alguns apresenta-se em maior quantidade, em outros é reduzida e até inexistente, conforme pode ser observado na Figura 1.

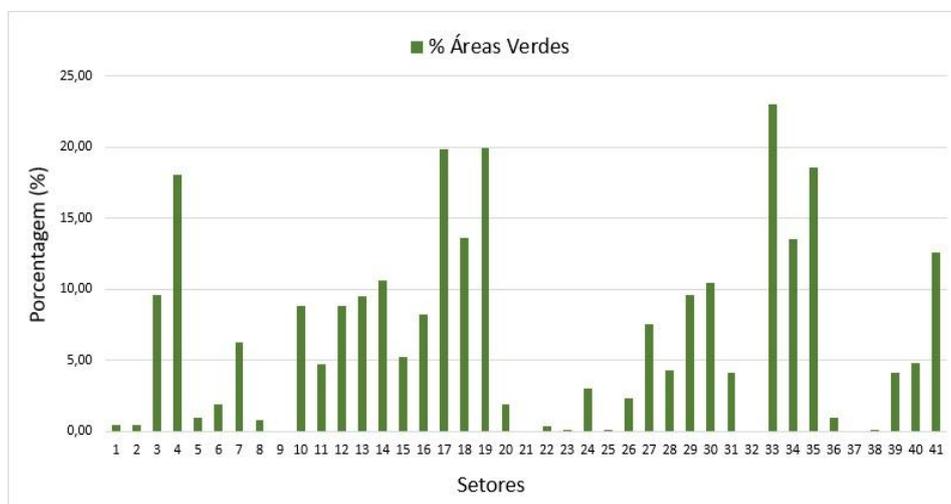


Figura 1: Áreas verdes distribuídas pelos diferentes setores urbanos de Dourados.

O mapeamento gerado permitiu a identificação e quantificação das duas classes de vegetação, considerando a área das áreas verdes em cada setor, conforme a Figura 2.

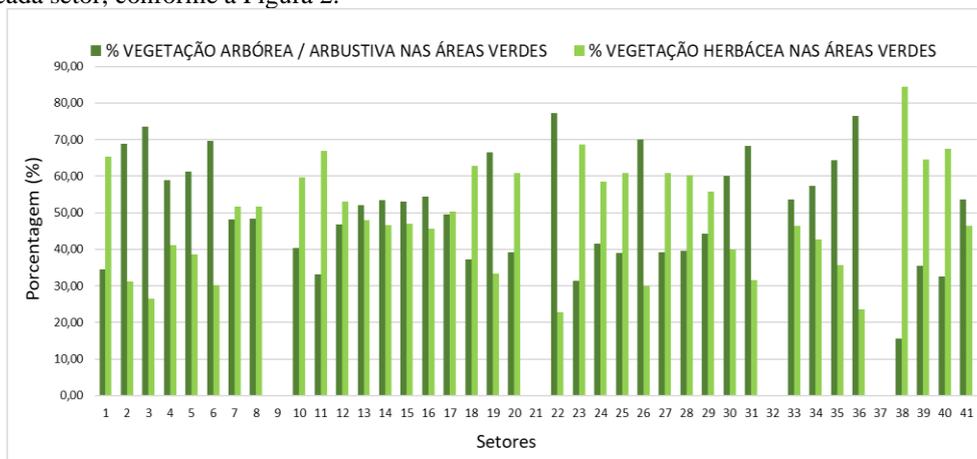


Figura 2. Vegetação arbórea/arbustiva e vegetação herbácea por setor urbano com relação as áreas verdes.

Observa-se que alguns setores não apresentam áreas verdes, tais como os setores: 9, 21, 32 e 37. Com relação a variação entre a predominância da classe de vegetação, constata-se que o setor 22 apresenta maior quantidade de vegetação arbórea/arbustiva sendo total de 77,21 % e 22,79 de vegetação herbácea, enquanto que o setor 38 apresenta maior quantidade de vegetação herbácea, sendo 84,44 % e 15,56 de vegetação arbórea/arbustiva.



A informação com relação às classes de vegetação também pode ser avaliada considerando a área total de cada setor urbano, conforme ilustrada na Figura 3.

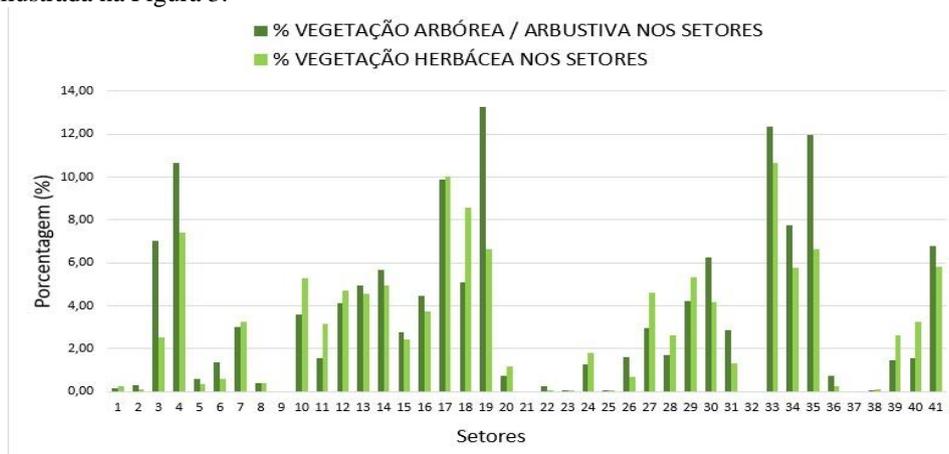


Figura 3. Vegetação arbórea/arbustiva e vegetação herbácea por setor com relação as áreas dos setores.

De acordo com as 3 Figuras apresentadas, foi possível observar que a porcentagem de Vegetação Arbórea/Arbustiva é de 49,54%, considerando a área total das áreas verdes urbanas, e 3,31% com relação a área total da setores urbanos.

A Vegetação Herbácea é equivalente a 50,46%, considerando a área total das áreas verdes urbanas, e 3,36% com relação a área total da setores urbanos. Logo, as Áreas Verdes Urbanas ocupam a 6,67% do território.

Conclusões

O mapeamento das áreas verdes urbanas de Dourados foi realizado através das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, o que possibilitou a identificação espacial dessas áreas, assim como a quantificação em relação aos diversos setores urbanos da cidade. A partir dos dados levantados foi possível diferenciar as áreas verdes em duas classes de cobertura vegetal consideradas como: Vegetação Arbórea/Arbustiva e Vegetação Herbácea. Com base na análise dos resultados obtidos no presente trabalho, o poder público municipal pode elaborar um planejamento estratégico e direcionar ações de gestão urbana voltadas ao reestabelecimento da cobertura vegetal nos bairros com pouca ou nenhuma área verde.

Considerando que as áreas verdes tem impacto nos aspectos ecológicos, estéticos, de lazer, saúde e educação, conclui-se que a necessidade de aumento dessas áreas é uma estratégia essencial para a melhoria da qualidade de vida da população.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Secretaria Municipal de Planejamento, Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação e a Comissão Organizadora do 3 Congresso Internacional de Engenharia Ambiental pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

BARGOS, D.C; MATIAS, L.F. Áreas Verdes Urbanas: **Mapeamento e análise de áreas verdes urbanas em paulínia (sp): estudo com a aplicação de geotecnologias**. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba - SP. Artigo recebido em 13/03/2012 e aceito para publicação em 25/04/2012.

BRASIL. **Lei Federal Nº 12.651, de 12 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938; 9.393; 4.771 e revoga a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Cidades Sustentáveis; Áreas Verdes Urbanas; Área de Preservação Permanente Urbanas/ Parque e Áreas Verdes. Acessado em 30/10/2019. Disponível em < <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas>>.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia, laboratório de geoprocessamento. Uberlândia, EDUFU, junho de 2013.

SISLA - Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental. Acessada em 28/10/2019. Disponível em <http://sisla.imasul.ms.gov.br/sisla/pagina_inicial2.php 2019>.

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. (orgs.). **Geoprocessamento e Análise amb.:** Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.



MATHEMATICAL MODELING OF HYDROGEN SULFIDE GAS EMISSION REMOVAL IN A BIOFILTER

1Matheus José Marques Moreira de Góes, 2Beatriz Cruz Gonzalez,
3Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho

1 UFSCar, e-mail: Matheus.goes@estudante.ufscar.br; 2 UFSCar, e-mail: beatriz_cgonzalez@ufscar.br;

3 UFSCar, e-mail: jorge.pantoja@ufscar.br.

Keywords: Biofilter; Mathematical Modeling; Kinetics.

Introduction

Air pollution, a growing concern in contemporary society (Shaddick et al., 2020), is exacerbated by urban development, which significantly contributes to increased emissions of pollutants such as hydrogen sulfide (H₂S) (Rubright et al., 2017; Zwain, 2020). This compound, known for its high toxicity and environmental harm (Peighami et al., 2022), poses considerable challenges for conventional treatment methods due to their costliness and potential to generate secondary pollutants. Consequently, biofilters have emerged as a more economical and environmentally friendly alternative (Rittmann & Stilwell, 2002; Baquerizo et al., 2005; Sheoran, 2022).

Various mathematical models, including the one proposed by Ottengraf & Van de Oever (1983), have been developed to describe the biofiltration process. However, their practical application for design purposes varies from feasible to uncertain, with most models offering numerical solutions. While mathematical modeling holds promise for enhancing the reliability and effectiveness of biofilters, existing models are often complex and impractical for routine design and analysis.

Addressing a scientific gap, this study focuses on the performance of biofilters under conditions of high fluctuation in H₂S concentration, leveraging analysis of experimental data from bench-scale biofilters previously published (Pantoja-Filho et al., 2010). Additionally, this research investigates kinetic parameters of the bioreactor, considering fluid dynamic and mass transfer effects, to optimize its performance and H₂S removal efficiency. The overarching objective is to develop a mathematical model for three distinct biofilters - filled with polyurethane foam, sugarcane bagasse, and coconut fiber - with the aim of predicting efficiency and optimization.

Materials and Methods

Data Collection for Kinetic Modeling. The data collection process involved a system comprising three biofilters previously examined by Pantoja-Filho et al. (2010). These biofilters were constructed from acrylic and measured 0.052 m in diameter and 1.0 m in length. The quantity of filling material for each biofilter was determined based on its density, with polyurethane foam, sugarcane bagasse, and coconut fiber utilized as the filling materials in this study for hydrogen sulfide treatment for the first time ever. Before filling, the materials were saturated with pre-enriched sludge, and care was taken to prevent fluid dynamic short-circuits during the filling process. Perforated plates were positioned at both the bottom and top of the columns to support the materials and ensure uniform gas distribution at the inlet. Additionally, seven sampling devices were strategically placed along the biofilter walls (at intervals corresponding to L/D ratios of 3, 5, 7, 9, 11, 13, and 15) to enable monitoring of pollutant removal across the reactor's longitudinal length.

Model Calibration. The calibration of the models involved adjusting parameters within acceptable ranges to ensure that the model accurately represents the observed data or real phenomena. In other words, it is the process of adjusting the parameters or settings of the models to ensure that it accurately reflects observed data.

Results and Discussion

Key assumptions for the modeling conducted thus far include: a) The flow in the reactors follows a plug-flow pattern, ensuring uniform and constant fluid flow without significant velocity fluctuations along its length; b) The reactors maintain a steady state, with inputs and outputs balanced to prevent substantial accumulation or depletion of substances within the system over time; c) The reactors operate within a stable steady-state regime, exhibiting consistent responses to changes in input or operational conditions; d) Biodegradation primarily occurs within the liquid-phase biofilm, characterized by a thickness significantly smaller than the diameter of the packing material; e) Biomass concentration remains uniform throughout the reactor volume; f) Mass transfer resistance in the gas phase is considered negligible.

With these assumptions in mind, the mass balance can be effectively modeled as follows:

$$\frac{dm}{dt} = M_{in} - M_{out} + M_r$$

$$0 = M_{in} - M_{out} + M_r$$

Wherein: $\frac{dm}{dt}$ = Mass volume variation [$M \cdot T^{-1}$]; M_{in} = Input mass flow [$M \cdot T^{-1}$]; M_{out} = Output mass flow [$M \cdot T^{-1}$]; M_r =

Reaction mass flow [$M \cdot T^{-1}$].



Which results in: $dc = r \cdot \frac{V}{Q}$; and as: $\frac{V}{Q} = t_{EBRT}$

Thus: $dc = r \cdot dt$

It is known that Reactions Rate Law can be expressed as: $-\frac{dc}{dt} = k \cdot c^n$

Wherein: k = Velocity constant; C = Pollutant concentration; n = Reaction order; t = Empty Bed Residence Time

For zero order kinetics (k_0), it results:

$$C_{out} = -k_0 \cdot t_{(EBRT)} + C_{in}$$

For kinetics of order 1 (k_1), it results:

$$C_{out} = C_{in} \cdot e^{-k_1 \cdot t_{(EBRT)}}$$

For kinetics of order 2 (k_2), it results:

$$\frac{1}{C_{out}} = k_2 \cdot t_{(EBRT)} + \frac{1}{C_{in}}$$

Application of kinetic models

After adjusting the mass balance and acquiring the reaction kinetic models, it was used the experimental results achieved by Pantoja-Filho et al. (2010). The following results were obtained:

Table 1: Experimental results used in modeling

$EBRT_{(s)}$	Polyurethane Foam		Sugar Bagasse		Coconut fiber	
	C_{in}	C_{out}	C_{in}	C_{out}	C_{in}	C_{out}
52	328	0	490	2	360	0
26	318	118	425	87	370	145
17	341	168	429	196	362	225

Table 2: Values of R^2 , k_0 , k_1 , k_2 , the Model equations and the concentration ranges evaluated.
(PF = Polyurethane Foam; SB = Sugarcane Bagasse; CF = Coconut Fiber)

No.	Model	Calibration		Equation	Range
		R^2	k		
1	Zero-order reaction	PF = 0,998	PF ($k_0 = - 4,74$ ppm.s ⁻¹)	$C_{out} = -4,74 \cdot t_{(EBRT)} + C_{in}$	318 to 341 ppm and 17 to 52 s
		SB = 0,886	SB ($k_0 = - 5,04$ ppm.s ⁻¹)	$C_{out} = -5,04 \cdot t_{(EBRT)} + C_{in}$	425 to 490 ppm and 17 to 52 s
		CF = 0,988	CF ($k_0 = - 6,24$ ppm.s ⁻¹)	$C_{out} = -6,24 \cdot t_{(EBRT)} + C_{in}$	360 to 370 ppm and 17 to 52 s
2	First-order reaction	PF = 0,917	PF ($k_1 = - 0,0393$ ppm.s ⁻¹)	$C_{out} = C_{in} \cdot e^{-0,0393 \cdot t_{(EBRT)}}$	318 to 341 ppm and 17 to 52 s
		SB = 0,995	SB ($k_1 = - 0,1030$ ppm.s ⁻¹)	$C_{out} = C_{in} \cdot e^{-0,1030 \cdot t_{(EBRT)}}$	425 to 490 ppm and 17 to 52 s



		CF = 0,956	CF ($k_1 = -0,0488$ ppm.s ⁻¹)	$C_{out} = C_{in} \cdot e^{-0,0488 \cdot t(EBRT)}$	360 to 370 ppm and 17 to 52 s
3	Second-order reaction	PF = 0,732	PF ($k_2 = -2,05$ ppm.s ⁻¹)	$\frac{1}{C_{out}} = -2,05 \cdot t(EBRT) + \frac{1}{C_{in}}$	318 to 341 ppm and 17 to 52 s
		SB = 0,995	SB ($k_2 = -5,04$ ppm.s ⁻¹)	$\frac{1}{C_{out}} = -5,04 \cdot t(EBRT) + \frac{1}{C_{in}}$	425 to 490 ppm and 17 to 52 s
		CF = 0,673	CF ($k_2 = -1,58$ ppm.s ⁻¹)	$\frac{1}{C_{out}} = -1,58 \cdot t(EBRT) + \frac{1}{C_{in}}$	360 to 370 ppm and 17 to 52 s

Partial Conclusions

The first-order model $C_{out} = C_{in} \cdot e^{-k_1 \cdot t(EBRT)}$ appears to more adequately represent substrate consumption within the reactors. The substrate degradation rate was faster ($k_1 = -0.1030$ ppm.s⁻¹) in the reactor filled with sugarcane bagasse compared to the other two reactors, which suggests that the sugar bagasse reactor performed better in substrate removal under the experimental conditions evaluated. The choice and validation of the kinetic model are crucial for understanding and optimizing biological processes, such as H₂S treatment. The preference for the first-order model suggests that substrate consumption occurs proportionally to its concentration. However, it is important to emphasize that this is a partial conclusion, subject to further investigation and validation. The first half of the research focused on an analysis of kinetic parameters and the verification of the chosen model's suitability against collected experimental data. In summary, although the first-order model initially demonstrates the most promise, the importance of continuing to explore other possibilities and refining the understanding of the alternative biological reactor's behavior for effective hydrogen sulfide gas treatment is acknowledged.

Acknowledgments

The authors would like to thank Extension and Research Center of Water and Effluents (CEPAE-UFSCar), the Federal University of São Carlos (UFSCar) - Lagoa do Sino Campus and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for their support.

References

- Filho, J., Sader, L.T., Damianovic, M.H., Foresti, E. and Silva, E., 2010. Performance evaluation of packing materials in the removal of hydrogen sulphide in gas-phase biofilters: polyurethane foam, sugarcane bagasse, and coconut fibre. *Chemical Engineering Journal*.
- Ottengraf, S. P. P., & Oever, van den, A. H. C. (1983). Kinetics of organic compound removal from waste gases with a biological filter. *Biotechnology and Bioengineering*
- Peighami, R., Motamedian, E., Rasekh, B. et al., 2022. Investigating role of abiotic side and finding optimum abiotic condition for improving gas biodesulfurization using *Thioalkalivibrio versutus*. *Sci Rep*.
- Rubright, S. L., Pearce, L. L., & Peterson, J. (2017). Environmental toxicology of hydrogen sulfide. Nitric oxide : biology and chemistry.
- Rittmann, B. E.; Stilwell, Douglas; 1 February 2002; Modelling biological processes in water treatment: the integrated biofiltration model. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*.
- Shaddick, G., Thomas, M.L., Mudu, P. et al. 2022. Half the world's population are exposed to increasing air pollution. *npj Clim Atmos Sci*.



MODELAGEM MATEMÁTICA DE DISPERSÃO REVERSA AERMOD: UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE ODORES

1Daniela Montanari Migliavacca Osório, 2Juliana Pilato Rodrigues, 3Leonardo da Silva Gomes, 4Sergio Gonçalves Rodrigues Reis, 5Marcio Barreiro de Souza Gonçalves, 6Simone Andréa Pozza

1Ambiental RB, e-mail: daniela.migliavacca@ambientalrb.com; 2Ambiental RB, e-mail: juliana.pilato@ambientalrb.com;

3Ambiental RB, e-mail: leonardo.gomes@ambientalrb.com; 4Ambiental RB, e-mail: sergio.reis@ambientalrb.com;

5Ambiental RB, e-mail: marcio.barreiro@ambientalrb.com; 6UNICAMP, e-mail: spozza@unicamp.br

Palavras-chave: Modelagem de Odor; Amônia, Sensores Eletroquímicos

Resumo

A poluição atmosférica gerada pelas emissões de gases odoríferos emitidos em processos produtivos causar problemas para o equilíbrio do meio ambiente e da saúde pública. A gestão de resíduos orgânicos, como por exemplo o sistema de compostagem, são responsáveis pelas elevadas concentrações de NH_3 no ambiente. Altas concentrações de NH_3 no ambiente podem contribuir para o impacto na saúde humana, alterando a qualidade do ar. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a concentração de NH_3 em pontos internos e externo de uma empresa de compostagem, aplicando, posteriormente, a modelagem reversa, com o AERMOD, para simular o impacto das emissões de NH_3 nas áreas internas e no entorno da empresa. Para avaliar a concentração de NH_3 foi utilizado um sensor Cairsens para medições em pontos de amostragem a nível do solo, dentro e fora da empresa, combinando com a modelagem matemática, com AERMOD. As taxas de emissão para as leiras foram estimadas a partir da técnica denominada modelagem reversa. No Brasil não existe legislação aplicável para substâncias odoríferas, desta forma foram utilizados os limites de percepção da província Alberta, no Canadá, com limite máximo de 2000 ppb para NH_3 em ar ambiente. Os resultados das medições identificaram valores máximos de NH_3 de 8119 ppb, próximo a leira semi-acabada e, no peneiramento, com 7386 ppb. Já, os resultados da modelagem matemática reversa indicaram valores de 2486 ppb, localizada no interior da empresa, concentração acima do limite de percepção de odor. Entretanto, na área externa da empresa as concentrações foram inferiores a 100 ppb. A integração de dados de monitoramento *in loco* de gases odoríferos e a modelagem de dispersão reversa de gases odoríferos simulados usando AERMOD mostrou-se importante para estimar o impacto e prevenir possíveis riscos da presença desses gases odoríferos em empreendimentos e no seu entorno, contribuindo assim, para a tomada de decisões para diminuir e/ou minimizar os danos ao meio ambiente e à população.

Introdução

A poluição atmosférica pode ser causada de forma natural, gerada por processos como atividade vulcânica, decomposição de plantas e animais, dispersão de pólen e até mesmo pela emissão de hidrocarbonetos voláteis pela vegetação. Já a poluição antropogênica, causada por atividades humanas, vem aumentando ao longo dos anos (OMS, 2023). Neste contexto, cita-se a poluição do ar por gases odoríferos, que representam um indicador ambiental e podem contribuir para o impacto na saúde e bem-estar da população ao alterar a qualidade do ar (Guadalupe-Fernandez et al., 2021). O impacto causado por gases odoríferos pode representar um incômodo na vizinhança do empreendimento, bem como afetar a saúde dos seus colaboradores. Compostos odorantes, originados naturalmente ou de atividades industriais, são resultantes de reações e de transferências químicas e/ou biológicas (Souza et al., 2020). A amônia (NH_3) é um gás incolor, com odor irritante e muito perceptível, tendo como principais fontes de emissão indústrias, veículos de transporte terrestre, fertilizantes agrícolas e processos de compostagem de resíduos, sendo os dois últimos considerados as maiores fontes antrópicas de emissão de amônia na atmosfera (Guadalupe-Fernandez et al., 2021). Backes et al. (2016) revelou que 96% do total de amônia emitida na Europa é devido à gestão de resíduos orgânicos e fertilizantes de solos agrícolas. A amônia, em baixas concentrações, pode ser prejudicial a pessoas suscetíveis a doenças respiratórias e também causar irritação nos olhos, nariz e garganta, além de diminuir a taxa respiratória em pessoas normais (Souza et al., 2020). A percepção olfativa deste gás indica valores em torno de 1580 até 2000 ppb (Nagata, 2003).

No Brasil, atualmente, não existe legislação federal específica que estabeleça limites máximos de impacto ou incômodo de gases odoríferos. Entretanto, na Europa, Nova Zelândia, Austrália, EUA, Canadá e Japão, são adotados valores-alvo a serem cumpridos, empregando critérios para limitar o odor, utilizando unidades de odor e/ou limites para compostos químicos específicos medidos em ppb (partes por bilhão). Para NH_3 , o Canadá estabelece um limite de percepção de odor de 2000 ppb para a exposição de 1 hora (Alberta Environment, 2002). A integração de medições de gases odoríferos com modelos matemáticos de dispersão de odores pode ser uma ferramenta eficiente para estimar o impacto desses gases em uma determinada região. O AERMOD é capaz de estimar a dispersão de odores devido ao seu desempenho, apresentando vantagens como a previsão de emissões de odor em receptores da rede com uma elevada resolução temporal. Ele é capaz de utilizar características topográficas e estimar resultados satisfatórios com suas simulações, além de permitir a criação de cenários futuros para a predição de resultados (Dinçer et al., 2020).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi aplicar o modelo matemático de dispersão atmosférica reversa AERMOD como ferramenta para avaliar o impacto do odor de NH_3 no entorno de uma empresa de compostagem, localizada no interior do Paraná (Brasil).



Material e Métodos

A área de estudo está localizada em uma cidade do estado do Paraná (Brasil). As medições de NH₃ foram realizadas com os sensores Cairsens (marca Envea), que utilizam medição eletroquímica, automática e contínua, registrando as medições em ppb a cada minuto. As medições foram realizadas nas áreas interna e externa de uma empresa de compostagem durante quatro dias consecutivos. Foram monitorados 34 pontos internos e quatro pontos externos, abrangendo as fontes de emissão da empresa e seu entorno (Figura 1).



Figura 1: Pontos interno (a) e externos (b) do monitoramento de gases odoríficos.

A modelagem matemática da dispersão de odores foi realizada utilizando o AERMOD View (USEPA, 2004). Os dados meteorológicos de entrada do modelo foram obtidos para o período de 2013 a 2017, a partir da estação meteorológica da cidade de Maringá/PR. Os dados do terreno foram obtidos do SRTM30, um banco de dados on-line de uso da terra (WebGIS, 2023). Os dados de emissão das fontes foram estimados com base nas medições de gases realizadas em campo. Uma grade quadrada de receptores com tamanho de 10 km x 10 km foi definida em dois níveis de refinamento. O primeiro nível, com dimensões de 2 km x 2 km, possui receptores espaçados a cada 100 m, e o segundo nível possui receptores espaçados a cada 500 m.

Para a modelagem matemática com o AERMOD, foram consideradas as emissões de NH₃ das leiras de compostagem da empresa. As taxas de emissão para as leiras foram estimadas a partir da técnica denominada modelagem reversa, seguindo a metodologia descrita em Bonifacio et al. (2013). Essa metodologia consiste em iniciar com uma taxa de emissão arbitrária no modelo matemático para determinar a concentração modelada em um receptor específico, com valor de concentração medido (pontos de monitoramento). A concentração fornecida pelo modelo foi comparada com a medida realizada em campo para ajuste da taxa de emissão (Equação 1), sendo aplicada sucessivas vezes até que se obtenha uma taxa de emissão que forneça uma concentração próxima à medida. As taxas de emissão estimadas para as fontes consideradas para a modelagem de NH₃ foram de 0,23 g/s na leira semiacabado, 0,27 g/s na leira de mistura + leira de maturação, 0,01 g/s nas leiras especiais.

$$Q = \frac{Q_0 \times C_m}{C_p} \quad (1)$$

onde:

Q: taxa de emissão estimada (g/s);

Q₀: taxa de emissão inicial (g/s);

C_p: concentração predita pelo modelo matemático (concentração modelada) (ppb);

C_m: concentração medida (ppb).

Resultados e Discussão

As concentrações máximas de NH₃ obtidas no monitoramento com o sensor apresentaram valores máximos de 8119 ppb próximo a leira semiacabada, seguido pelo peneiramento com 7386 ppb. Para a modelagem matemática reversa, os resultados são apresentados na Figura 2, que representa a interpolação das concentrações máximas de NH₃ sobrepostas na imagem da área de estudo.

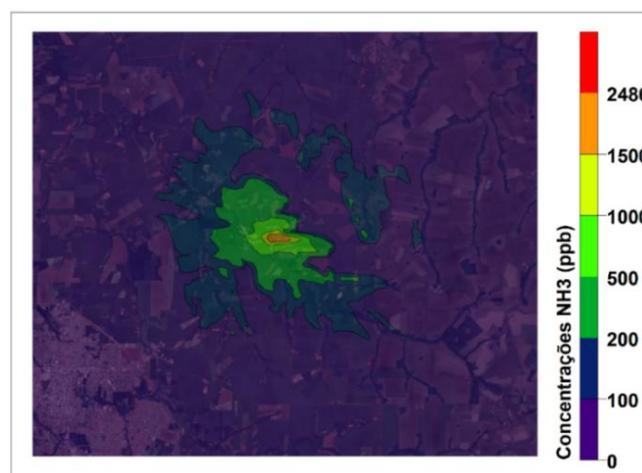


Figura 2: Concentrações máximas estimadas por hora de NH₃.



A pluma de dispersão de NH_3 observada ao longo de 5 anos foi causada pela pior condição meteorológica para dispersão atmosférica naquele instante, portanto, não representa o comportamento padrão de dispersão. O modelo matemático calculou 43.824 valores de concentração em cada ponto da malha de receptores, correspondendo à quantidade de horas de dados meteorológicos contida na série histórica de 5 anos utilizada na modelagem. Devido à ausência de legislação brasileira, as máximas concentrações de 1 hora obtidas para NH_3 foram comparadas ao padrão adotado pela província de Alberta, no Canadá, que estabelece um limite máximo de 2000 ppb para NH_3 no ar ambiente, acima do qual o odor pode ser percebido.

De acordo com a Figura 2, a maior concentração registrada na modelagem matemática reversa foi de 2.486 ppb, localizada no interior da empresa, valor acima do limite de percepção de odor de 2000 ppb (Alberta Environment, 2002). Na área externa da empresa, as concentrações foram inferiores a 100 ppb. Assim, com base nas condições medidas em campo durante o monitoramento de NH_3 e na modelagem matemática reversa, foi possível observar que o odor de NH_3 emitido pelas atividades da empresa não impacta a população vizinha. A não identificação de NH_3 mais distante das fontes de emissão de amônia, relacionadas ao processo de compostagem neste estudo de caso, pode ser explicada pela elevada solubilidade do NH_3 em água. Este composto se dissolve nas gotículas de água da atmosfera, promovendo uma reação de neutralização com espécies iônicas como nitratos e sulfatos, neutralizando assim as emissões ácidas que formam a água da chuva (Migliavacca et al., 2004). Além disso, estima-se que a amônia pode neutralizar cerca de 32% da produção anual de H^+ proveniente de fontes naturais e antropogênicas (Feliz e Cardoso, 2004).

Considerações Finais

A partir do monitoramento dos gases odoríferos e da modelagem matemática reversa de dispersão de odor, foi possível identificar a magnitude das concentrações de NH_3 emitidas pelo processo de produção do adubo orgânico e seu impacto no entorno. As medições realizadas indicaram que as principais fontes de geração de NH_3 da empresa são as leiras. O processo de peneiramento também promove elevadas concentrações de NH_3 , mas ocorre no interior de um barracão, onde as concentrações reduzem consideravelmente a uma curta distância do local, não representando, portanto, um processo com elevado potencial de dissipação de odor para o ar externo a longas distâncias. As leiras tendem a causar um impacto maior com o odor em comparação aos processos de descarregamento de matéria-prima e peneiramento, que são realizados no interior dos barracões. Nos pontos externos à empresa, as concentrações de NH_3 foram inferiores aos limites de percepção de odor. Na modelagem matemática do NH_3 , as concentrações acima do limite de percepção de odor ficaram restritas ao interior da empresa. Na área urbana, as concentrações desse gás foram inferiores a 100 ppb, indicando que o odor de NH_3 gerado na empresa tende a não atingir a população. Assim, a modelagem matemática reversa mostrou-se uma ferramenta importante para estimar o impacto das emissões de NH_3 , com aplicabilidade prática que permite um planejamento na tomada de decisão para melhorias no processo produtivo da empresa. Foi possível identificar que o impacto do odor se restringe apenas à área interna da empresa, não se estendendo para seu entorno.

Referências Bibliográficas

- ALBERTA ENVIRONMENT. Assessment Report on Ammonia for Developing Ambient Air Quality Objectives. Volumes I and II. Alberta, Canada, 2002.
- BACKES, Anna M. et al. Ammonia Emissions in Europe, Part II: How Ammonia Emission Abatement Strategies Affect Secondary Aerosols. *Atmospheric Environment*, v. 126, p. 153-161, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.039>. Acesso em: 7 jul. 2024.
- BONIFACIO, B. F. et al. Comparison of AERMOD and WindTrax dispersion models in determining PM10 emission rates from a beef cattle feedlot. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 63, n. 5, p. 545-556, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10962247.2013.768311>.
- DINÇER, F. et al. Dispersion modeling and air quality measurements to evaluate the odor impact of wastewater treatment plant in Izmir. *Atmospheric Pollution Research*, v. 11, n. 12, p. 2119-2125, 2020.
- FELIZ, E. P.; CARDOSO, A. A. Amônia (NH_3) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. *Química Nova*, v. 27, n. 1, p. 123-130, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000100022>.
- GUADALUPE-FERNANDEZ, V. et al. Industrial odour pollution and human health: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health*, v. 20, n. 1, p. 1-21, 2021.
- MIGLIAVACCA, D. M. et al. Study of chemical elements in atmospheric precipitation in South Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 38, n. 11, p. 1641-1656, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.08.062>.
- NAGATA, Y. Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method. In: ODOR MEASUREMENT REVIEW. Japan Environmental Sanitation Center. Japan: Office of Odor, Noise and Vibration Environmental Management Bureau, Ministry of the Environment, Government of Japan, 2003. p. 118-127.



SOUZA, F. F. C. et al. Análise de NO₂, NH₃ e PTS na Atmosfera de Paranaguá - PR. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 9, n. 1, p. 212-229, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i1.p212-229>.

WEBGIS. WebGIS is proudly sponsored by Lakes Environmental Software. Disponível em: <www.webgis.com>. Acesso em: 7 jul. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. p. 290, 2023.

USEPA. AERMOD: Description of Model Formulation, EPA-454/R-03-00. United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA, 2004.



EVOLUÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL DA PESQUISA EM MINERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

1Anaxsandra da Costa Lima Duarte, 2Taíse Bonfim de Jesus, 3Alessandra Cristina Silva Valentim

1 UFRB/UEFS, e-mail: anaxsandra@ufrb.edu.br; 2 UEFS, e-mail: taíse@uefs.br; 3 UFRB, e-mail: alessandra@ufrb.edu.br

Palavras-chave: Análise bibliométrica; Economia Circular; Fração Fina

Resumo

A Mineração de Aterros Sanitários (MAS) visa a recuperação de recursos pela escavação parcial ou total dos resíduos armazenados em aterros, contribuindo para a Economia Circular. O objetivo deste artigo é apresentar a dinâmica da estrutura conceitual deste campo do conhecimento científico, com base nas redes de coocorrência. Os artigos analisados foram recuperados em 05 de janeiro de 2023 na Scopus, com a equação de busca: “Landfill* Mining” e analisados com base nos gráficos elaborados com o software VOSviewer. Pode-se observar quatro vertentes proeminentes na pesquisa de MAS: 1. como estratégia eficiente para a gestão completa de resíduos; 2. similaridade entre os objetivos da Mineração e da Economia Circular; 3. emprego de técnicas avançadas para identificação de metais e de elementos químicos; e 4. necessidade da avaliação ecológica e ecotoxicológica, e da determinação dos microrganismos e de microplásticos no minerado.

Introdução

O modelo econômico da Economia Linear se baseia no fornecimento de matérias-primas às indústrias, em ciclo aberto, ou seja, todos os resíduos gerados são simplesmente depositados em aterros sanitários. Visando a sustentabilidade econômica e ambiental esta prática deve ser substituída pelo ciclo fechado concebido pela Economia Circular. Neste, os materiais residuais são considerados como recursos secundários que devem ser recuperados e reinseridos na cadeia produtiva.

Contudo, ainda que a Economia Circular fosse praticada em todo o planeta, existiria um passivo a ser considerado: os materiais imobilizados nos aterros. Neste contexto, a Mineração de Aterros Sanitários (MAS) visa a exploração desses aterros, através da escavação, processamento, tratamento e/ou reciclagem de materiais depositados, proporcionando a recuperação de material e energia, bem como a recuperação de terras.

A MAS teve início em Israel, em 1953, para obtenção de fertilizantes para pomares (KROOK; SVENSSON; EKLUND, 2012) e atualmente busca a valorização combinada e integrada de fluxos distintos de resíduos aterrados, tanto como materiais (waste-to material, WtM) quanto como transportadores de energia (waste to-energy, WtE), além da recuperação de terrenos (para usos residenciais e industriais) e do aumento da vida útil do aterro. Por causa dessa evolução conceitual, hoje também é conhecida como Mineração Aprimorada de Aterros Sanitários (MAAS).

Devido ao crescimento do campo de pesquisa, vários autores dedicaram à sistematização da literatura publicada (KROOK; BAAS, 2013; KROOK; SVENSSON; EKLUND, 2012; JAIN; KUMAR, 2023; VOLLPRECHT; MACHIELS; JONES, 2021) sem, contudo, realizar uma análise bibliométrica, o que permitiria aos pesquisadores observar a trajetória dos temas mais explorados, dentro da gestão dos resíduos domésticos. Dessa forma, o objetivo deste artigo é apresentar a dinâmica da estrutura conceitual deste campo do conhecimento científico, com base nas redes de coocorrência.

Método de pesquisa

Os artigos (apenas publicados em Revistas qualificadas) aqui analisados foram recuperados em 05 de janeiro de 2023 na base Scopus, com a equação de busca: “Landfill* Mining”. Foram eliminados os artigos de revisão ou opinião; os documentos que não apresentaram os todos os elementos de um artigo científico (autores, resumo, palavras-chave); os artigos com conteúdo fora do tema específico; ou que tratem de resíduos fora do escopo da pesquisa. A análise dos dados foi realizada com base na ferramenta “keyword co-occurrence” (co-ocorrência de palavras-chave) disponível no software VOSviewer.

Resultados e discussões

Os 190 artigos identificados na pesquisa foram publicados entre 1990 e 2022, com taxa de crescimento anual de publicação igual 9,64% e média de 5,97 artigos por ano. A Figura 1 mostra a evolução da rede de coocorrência em cada uma das três décadas de pesquisa em MAS, apresentando apenas termos-chave que sintetizam o escopo dos clusters. A Figura 2 apresenta a rede de coocorrência completa, com os termos presentes nos títulos e resumos dos artigos publicados dos anos de 1990-2021.

A primeira coluna da Figura 1 mostra como os 29 termos da década de 1990 a 1999 estão ligados, formando três agrupamentos. O primeiro cluster se concentra nos Produtos da Mineração, tanto os benéficos, como solo, agregados, metano, gás quanto os potencialmente poluidores, como metais pesados e lixiviado. O segundo cluster aborda a técnica da MAS como estratégia para operação do aterro, no intuito de aumentar o espaço útil do aterro e aproveitar os resíduos aterrados. O terceiro cluster se refere ao Tratamento aeróbico do aterro sanitário, que tem o intuito de aumentar a degradação dos resíduos aterrados e a obtenção de húmus.

A segunda coluna indica como 52 termos da década de 2000 a 2009, relacionados em 6 agrupamentos, dos quais



serão aqui descritos apenas os 3 mais relevantes. O primeiro cluster trata dos Componentes do Resíduo Minerado, como o solo, vidro, nitrogênio e fósforo, mas também aborda os resíduos novos, possivelmente para analisar sua degradação. O segundo cluster trata da MAS na gestão de resíduos, incluindo estratégias de redução e reciclagem, estudo de mercado e negócios e a regulação governamental. O terceiro cluster trata da Caracterização química dos resíduos minerados, inclusive em lixões, provavelmente com vistas à aplicação em combustível, húmus e recuperação de solo e metais.

1990-1999	2000-2009	2010-2022
Produtos da MAS	Componentes do minerado	Caracterização FQ do minerado
MAS: otimização do espaço	MAS: gerenciamento e estratégias	Benefícios e impactos da MAS
Condiçãoamento do minerado	Caracterização do minerado	Operação do aterro
	Uso energético do minerado	Decisão múltiplos critérios
	Caracterização geofísica do aterro	Parâmetros químicos para WtE
	Recuperação dos plásticos	Preocupações emergentes e novas
		Metais: identificação e recuperação
		Uso do minerado na Construção Civil

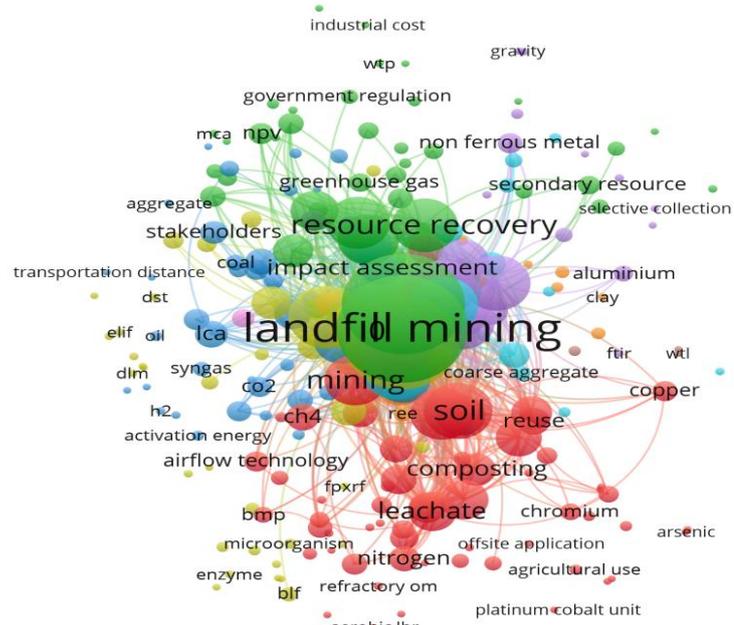


Figura 1: Clusters de termos significativos que apareceram em títulos e resumos de artigos da MAS publicados ao longo de três décadas.

Figura 2: Rede completa de coocorrência dos termos nos anos de 1990-2022.

A terceira coluna mostra como os 234 termos da década estendida de 2010 a 2022 estão relacionados em oito agrupamentos. Aqui serão tratados apenas os 6 mais relevantes. O cluster 1 se refere à Caracterização físico-química dos resíduos minerados e ao tratamento dado a estes resíduos visando a utilização desse recurso. Neste cluster aparecem os termos WtE, WtL (waste-to-land, de resíduo à terra) e WtM, os quais consolidam a finalidade da MAS: aproveitar os resíduos já aterrados na produção de energia, aumentar a vida útil do aterro (ou disponibilizar área para outros fins) e recuperação material para reintroduzi-lo diretamente na cadeia produtiva. O aproveitamento das frações mais finas dos aterros, o que contribuiria para o aumento das receitas e diminuição das despesas, visto a menor necessidade de reaterro (PARRODI; HÖLLEN; POMBERGER, 2018). O cluster 2 trata dos benefícios e impactos da MAS: econômicos, ambientais, sociais, custos com o aterro e possíveis usos.

O cluster 3 se refere ao Funcionamento do aterro sanitário, sua composição, gerenciamento, localização, taxa de cobrança e encerramento e como a mineração pode promover benefícios ambientais quando considerada uma política pública e por ser fonte secundária sustentável de matéria-prima, tanto para extração de metais. Neste cluster aparece o termo WtP (waste-to-product,) que resume a nova perspectiva da MAS, de enxergar o resíduo escavado como matéria prima para a industrialização em forma produtos novos. No conceito WtP, os subprodutos do tratamento de resíduos são usados para fabricar coprodutos valiosos, ou seja, vendáveis (BOSMANS *et al.*, 2013).

O cluster 4 trata sobre Tomada de decisão com múltiplos critérios: ambientais, sociais, operacionais e econômico. Neste cluster aparece, pela primeira vez, o termo MAAS, uma evolução do termo MAS cujo objetivo não é estabilizar e sim valorizar plenamente os vários fluxos de resíduos (DANTHUREBANDARA *et al.*, 2015). Também tem início a pesquisa com nanomaterial. A caracterização geofísica, presente na década anterior continua tendo relevância nesta década. O cluster 5 trata de Características químicas mais sofisticadas, visando o aproveitamento energético dos resíduos minerados, seja na forma de energia térmica, elétrica ou combustível através de processos biológicos, térmicos e termoquímicos.

O cluster 6 apresenta termos muito recentes, publicados entre 2021 e 2022, a saber: determinação dos microrganismos e de micropásticos presentes nos minerado, avaliação ecológica e ecotoxicológica, aplicação de enzimas para estabilização do material e uso da GC-MS para caracterização química elementar. Esses termos apontam os possíveis caminhos para desenvolvimento da pesquisa na área da MAS.

A Figura 2 resume os 238 termos-chave que compõem a rede completa de coocorrência na investigação da MAS. Treze termos foram mais citados nas três décadas de pesquisa do MAS, três dos quais são muito relevantes. A produção de



matéria orgânica estabilizada (Composto) foi o primeiro caso de produto da MAS que ainda hoje permanece relevante, principalmente nos países em desenvolvimento, onde geralmente a coleta seletiva não é comum e, conseqüentemente, uma grande quantidade de matéria orgânica é enviada para aterros sanitários.

O segundo termo importante é Análise Ambiental, uma vez que ainda não existe um método validado para avaliação ambiental, embora existam pesquisas recentes empregando a ACV. Adicionalmente, há uma tendência de aumento de termos relacionados, como Avaliação Biológica, Avaliação Ecológica e Avaliação Ecotoxicológica. O terceiro termo é Fração Fina, que corresponde a 40 a 80% em peso do total de resíduos escavados (PARRODI *et al.*, 2018) e, portanto, pode ser decisivo na determinação da viabilidade da Mineração.

Alguns termos recentes na área de MAS, publicados por volta da década de 2020, foram: Torrefação, Características físico-químicas, Idade do aterro e Processos termoquímicos. Esses termos podem indicar a direção que a pesquisa aponta: conhecer mais detalhadamente o material minerado, a fim de identificar seu potencial uso e investigar a aplicabilidade de tecnologias para produção de energia com o material. Para tanto deve-se considerar a idade do aterro e conseqüentemente o grau de inertização do material escavado. Assim, a caracterização do material depositado (composição e/ou características físico-químicas) continua a ser um tema importante na pesquisa de mineração em aterros (KROOK; SVENSSON; EKLUND, 2012).

A Avaliação econômica também é um termo muito recorrente. A literatura aponta que, na maioria dos casos, a extração de recursos através da mineração em aterros ainda não pode ser realizada apenas por razões comerciais, mas só é uma opção econômica se existirem subsídios ou outros tipos de apoio governamental (VAN PASSEL *et al.*, 2013). Por outro lado, a padronização da avaliação econômica é difícil, porque o desempenho econômico da mineração em aterros está restrita a projetos altamente específicos realizados em diferentes regiões e sob condições e objetivos variados (LANER *et al.*, 2019).

Por fim, os termos mais recentes, publicados nos anos de 2021 e 2022 são Limites padrão e Órgão regulador. Ambas palavras-chave revelam a necessidade do protagonismo do poder público na efetivação da MAS.

Conclusão

A partir das informações extraídas do banco de dados obtidos na base Scopus, pode-se constatar a evolução e amadurecimento da pesquisa em Mineração de Aterros Sanitários. Na primeira década de publicação (1990-1999), os termos eram centrados na Mineração in-situ, cujas rotas tecnológicas eram: 1. com tratamento aeróbico visando obter composto; 2. captação de biogás (com ou sem aproveitamento) e tratamento de lixiviado; e 3. Aumento do airspace. Na segunda década (2000-2009) ainda houve predominância da Mineração in-situ, pois os termos mais usados nos artigos tratam do aproveitamento energético, produção de composto e da remediação de lixões.

Na última década (2010-2022) pode-se observar quatro novas vertentes de pesquisa. A primeira vertente é: a MAS é uma estratégia eficiente para a gestão completa de resíduos, constituindo uma oportunidade de negócio, passível de regulação pública, cuja viabilidade deve ser compreendida no contexto de política pública. A segunda, é que os objetivos da MAS são similares aos da Economia Circular; com a evolução de MAS para MAAS.

A terceira vertente de pesquisa é o emprego de técnicas avançadas para identificação de metais e de elementos químicos. A quarta vertente é no campo avaliação ecológica e ecotoxicológica, com determinação dos microrganismos e de microplásticos presentes no minerado.

Agradecimentos

As pesquisadoras agradecem aos docentes do curso de Modelagem em Ciências Ambientais do PPGM/UEFS pela capacitação em ferramentas computacionais para análise bibliométrica e à UFRB pela concessão da licença de doutorado à primeira autora.

Referências Bibliográficas

- Bosmans, A.; Vanderreydt, I.; Geysen, D.; Helsen, L; 2013. The Crucial Role of Waste-to-Energy Technologies in Enhanced Landfill Mining: A Technology Review. *Journal of Cleaner Production*, v. 55, pp. 10-23.
- Danthurebandara, M.; Van Passel, S.; Vanderreydt, I.; Van Acker, K; 2015. Assessment of Environmental and Economic Feasibility of Enhanced Landfill Mining. *Waste Management*, v. 45, pp. 434-447.
- Jain, M.; Kumar, A.; Kumar, A; 2023. Landfill Mining: A Review on Material Recovery and Its Utilization Challenges. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 169, pp. 948-958.
- Krook, J.; Baas, L; 2013. Getting Serious about Mining the Technosphere: A Review of Recent Landfill Mining and Urban Mining Research. *Journal of Cleaner Production*, v. 55, pp. 1-9.
- Krook, J.; Svensson, N.; Eklund, M; 2012. Landfill Mining: A Critical Review of Two Decades of Research. *Waste Management*, v. 32, n. 3, pp. 513-520.
- Laner, D.; Esguerra, J. L.; Krook, J.; Horttanainen, M.; Kriipsalu, M.; Rosendal, R. M.; Stanisavljević, N; 2019. Systematic Assessment of Critical Factors for the Economic Performance of Landfill Mining in Europe: What Drives the Economy of Landfill Mining? *Waste Management*, v. 95, pp. 674-686.



Parrodi, J. C. H.; Höllen, D.; Pomberger, R; 2018. Characterization Of Fine Fractions From Landfill Mining: A Review Of Previous Investigations. *Detritus*, v. 2, n. 1, p. 46.

Van Passel, S.; Dubois, M.; Eyckmans, J.; De Gheldere, S.; Ang, F.; Jones, P.; Van Acker, K; 2013. The Economics of Enhanced Landfill Mining: Private and Societal Performance Drivers. *Journal of Cleaner Production*, v. 55, pp. 92-102.

Vollprecht, D.; Machiels, L.; Jones, P. T; 2021. The EU Training Network for Resource Recovery through Enhanced Landfill Mining—A Review. *Processes*, v. 9, n. 2, p. 394.



COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL - RCC RECEBIDOS NOS ECOPONTOS MUNICIPAIS DE SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP

1Nadine Lory Bortolotto, 2Cristiane Folzke, 3Camila Ely Januário 4Naraísa Moura Esteves Coluna 5Diana Piffer Gigliotti 6Joyce Lima Quintino 7Sandro Pussateli 8Emerson Pereira

1 AMPLA Consultoria e Assessoria, e-mail: nadine@consultoriaampla.com.br; 2 AMPLA Consultoria e Assessoria, e-mail: cristiane@consultoriaampla.com.br; 3 AMPLA Consultoria e Assessoria, e-mail: camila@consultoriaampla.com.br; 4 AMPLA Consultoria e Assessoria, e-mail: colunanara@gmail.com; 5 AMPLA Consultoria e Assessoria, e-mail: diana_pg88@hotmail.com; 6 Departamento de Limpeza Urbana - Prefeitura de São Bernardo do Campo, e-mail: joyce.quintino@saobernardo.sp.gov.br. 7 Departamento de Limpeza Urbana - Prefeitura de São Bernardo do Campo, e-mail: sandro.pussateli@saobernardo.sp.gov.br. 8 Departamento de Limpeza Urbana - Prefeitura de São Bernardo do Campo, e-mail: emerson.pereira@saobernardo.sp.gov.br

Palavras-chave: Resíduos sólidos da construção civil; gravimetria, ecopontos.

Resumo

O presente trabalho apresenta os resultados obtidos nos estudos da composição gravimétrica dos resíduos da construção civil - RCC provenientes dos Ecopontos do município de São Bernardo do Campo - SP. Os estudos foram conduzidos como parte integrante do processo de Revisão e Atualização do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS, elaborado de acordo com o que preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal nº 12.305/2010.

Introdução

A elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS do município de São Bernardo do Campo - SP foi conduzida pelo Departamento de Limpeza Urbana (SU-4) vinculado à Secretaria Municipal de Serviços Urbanos com apoio técnico da Ampla Assessoria e Planejamento LTDA por meio do Contrato nº 170/2022, cujos trabalhos iniciaram em dezembro de 2022. A revisão do PMGIRS contemplou a realização de estudos de composição gravimétrica dos principais tipos de resíduos sólidos gerados no município. O presente trabalho apresenta os resultados da caracterização qualitativa dos resíduos sólidos da construção civil - RCC das treze unidades de Ecopontos municipais existentes.

Os resíduos da construção civil - RCC conforme a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002 e suas alterações, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão desses resíduos, são aqueles gerados em construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, bem como os resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Cita-se que podem ser os materiais tais como: restos de tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, resíduos potencialmente recicláveis como tubulações, plásticos, fiação elétrica. Podem ser também comumente conhecidos como entulhos de obras.

O conhecimento da composição gravimétrica dos resíduos sólidos são importantes na geração de dados locais auxiliando o planejamento da gestão integrada de resíduos sólidos conforme estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Além disso, subsidiam tecnicamente a definição de ações, programas e infraestruturas necessárias aos serviços de coleta, tecnologias a serem utilizadas para o tratamento ou à adequada destinação dos resíduos sólidos, condizentes com o comportamento da população quanto à sua geração. Para Costa *et al* (2013), esse tipo de estudo transcreve de forma efetiva a composição dos resíduos gerados e fornece uma descrição confiável sobre eles podendo se tornar uma importante informação que favorece a tomada de decisão em relação às melhores adoções do poder público no gerenciamento de resíduos sólidos e serviços de limpeza urbana.

Os Ecopontos são unidades de gerenciamento que recebem vários tipos de resíduos sólidos que são devidamente gerenciados pelo município segundo sua característica ou tipologia, entre eles, inservíveis, móveis velhos, resíduos potencialmente recicláveis secos e resíduos da construção civil - RCC. Os resíduos são recebidos por funcionários responsáveis por esses locais, organizados por tipo ou característica predominante e são enviados ao tratamento, reutilização ou reciclagem.

Área de Estudo

O município de São Bernardo do Campo está localizado no Estado de São Paulo, Região Sudeste do Brasil e pertence à Região Metropolitana de São Paulo. Quanto à população total, apresenta 810.279 habitantes (Censo IBGE, 2023).

Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo apresentar os resultados dos estudos de composição gravimétrica realizados em resíduos de construção civil - RCC coletados por meio unidades de apoio aos serviços urbanos de limpeza urbana denominados Ecopontos, localizados nos seguintes bairros: Areião, dos Casa, Batistini, DER, Divinéia, Jardim Regina, Montanhão, Parque dos Pássaros, Parque São Bernardo, Riacho Grande, Rudge Ramos, Taboão e Três Marias.

Metodologia

O estudo gravimétrico foi realizado entre os meses de março e abril de 2023 e compreendeu uma amostra por Ecoponto, totalizando 13. A amostragem baseou-se no método de quarteamento e seguiu as diretrizes da Norma Brasileira NBR 10.007 (ABNT, 2004).

Para a obtenção da amostra, os veículos utilizados foram caminhões tipo poli-guindastes que realizaram a coleta e transporte destes materiais dos Ecopontos. Os veículos foram pesados em balança rodoviária cedida pelo grupo LARA Central de tratamento de resíduos sólidos, que promove a disposição final dos resíduos coletados em São Bernardo do Campo em aterro sanitário, o qual é localizado no município de Mauá - SP. Após, os resíduos foram descarregados no pátio do galpão em que estavam sendo realizados os estudos. A pilha de RCC era devidamente identificada e na sequência era feita a homogeneização da carga com apoio de retroescavadeira. A pilha era então acomodada de forma que o topo estivesse aplainado e o contorno com um formato predominantemente próximo a um quadrado.

Após esse processo, dividia-se o monte de RCC em quatro partes iguais. De cada parte desta, prioritariamente também organizada em formato quadrado, retiravam-se duas amostras de posições diametralmente opostas as quais eram descartadas. As duas quantias mantidas eram novamente misturadas pela retroescavadeira e o processo era repetido por ao menos mais uma vez até que se obtivesse a quantidade aproximada a ser amostrada que foi definida em cerca de 400 litros. Para os estudos foram utilizadas bombonas plásticas recondiçionadas com 200 litros de capacidade, cujo peso era descontado na fase de medições.

A partir da amostra final, os profissionais da equipe segregaram os resíduos da construção civil por tipologia ou característica predominante separando os materiais em diferentes bombonas conforme é exemplificado no fluxo metodológico apresentado na Figura 1. Após a pesagem dos materiais eram obtidas as frações gravimétricas, as quais eram relatadas em folha de controle manual.

As frações gravimétricas, ou seja, os materiais observados, foram as seguintes classes definidas: concreto, telhas, pisos, tijolos vermelhos, mármore, ardósia, gesso, madeira processada, cerâmicas, metal ferroso, telha fibra, telha fibrocimento, louças, borrachas, lâmpadas, cabos e fios, manta asfáltica, papelão, PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, PS, outros plásticos, vidro incolor, vidro marrom, vidro verde, vidro azul, sacos plásticos (lixo), sacos plásticos (supermercados), têxteis, máscaras (têxteis), isopor, rejeito, resíduos orgânicos (terra), embalagens aluminizadas, resíduos orgânicos (alimentos), alumínio (latinhas), Madeira natural, papel branco, jornal, outros (perdas).

Para facilitar a análise dos resultados e com base nas características dos resíduos da construção civil, criou-se o elemento denominado material granular, o qual foi definido como *materiais naturais ou britados comumente usados na construção civil em camadas base e sub-base, preenchimentos ou agregados que podem ser tratados ou não*. Esses podem apresentar diferentes granulometrias.



Figura 1: Etapas dos estudos gravimétricos: descarregamento (A), homogeneização (B), organização da amostra (C), quarteamento (D), segregação dos tipos de RCC (E).

Resultados

Os resíduos da construção civil - RCC, predominantes observados nos Ecopontos municipais estudados, foram o concreto que correspondeu a 53,06% da composição gravimétrica; os materiais granulares que resultaram em 18,97% da composição gravimétrica; os pisos (14,94%) e os tijolos vermelhos (8,02%), conforme mostrado na Figura 2.

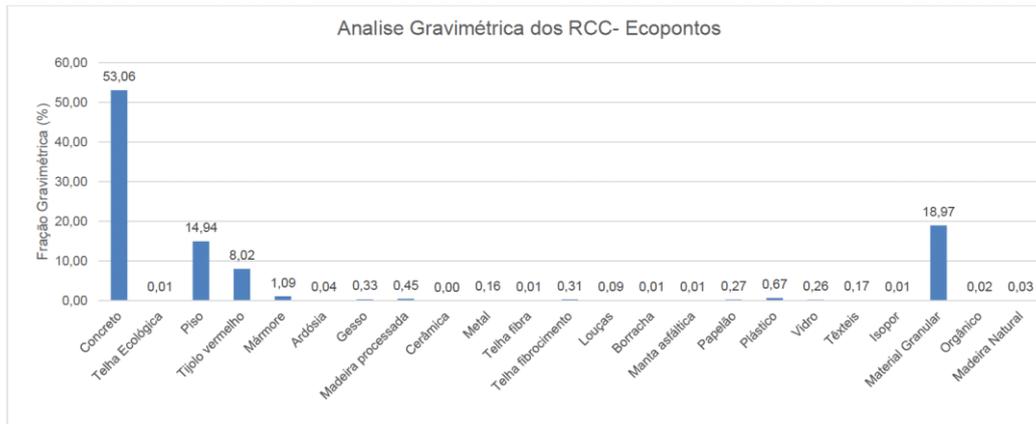


Figura 2: Resultado da Análise gravimétrica dos RCC dos EcoPontos de São Bernardo do Campo.

Os resultados observados nos estudos da composição gravimétrica dos resíduos sólidos coletados nos EcoPontos do município de São Bernardo do Campo demonstraram que há maior presença de resíduos que podem ser considerados Classe A de acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002 e suas alterações. Esses resíduos podem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos Classe A para reservação de material para usos futuros.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Prefeitura de São Bernardo do Campo/SP, a Secretaria de Serviços Urbanos, o Departamento de Limpeza Urbana (SU-4) e a empresa Ampla Consultoria e Assessoria (Florianópolis/SC) pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

- ABNT. 2004. NBR 10.007: Amostragem de Resíduos Sólidos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 25 p.
- BRASIL. 2002. Resolução CONAMA 307, DE 05 DE JULHO DE 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002 - Federal - LegisWeb. Acesso em abril de 2023.
- BRASIL. 2010. Ministério do Meio Ambiente-MMA. Política Nacional de Resíduos Sólidos-PNRS. Lei nº 12.305/2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm
- COSTA, Leonardo Estefanini Barreto et al. 2013. Gravimetria dos resíduos sólidos urbanos domiciliares e perfil socioeconômico no município de Salinas, Minas Gerais. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.3, n. 2, p. 73-90. <http://sustenere.co/journals/index.php/rica/article/view/273>.



PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE GESTÃO DIFERENCIADO DE RSU PARA OS MUNICÍPIOS DA MESORREGIÃO OESTE DO PARANÁ

1Tatiani Sobrinho Del Bianco, 2Camilo Freddy Mendoza Morejon, 3Ricardo Rippel

1 Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz (FAG), e-mail: tatiani.sdelbianco@gmail.com; 2 Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), e-mail: camilo.morejon@unioeste.br; 3 Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), e-mail: ricardorippel@yahoo.com.br.

Palavras-chave: Desenvolvimento Regional Sustentável; Modelo de Gestão Integrada e Diferenciada de Resíduos; Mesorregião Oeste do Paraná.

Resumo

O problema do gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é tema de interesse mundial e, tem sido tratado como prioritário, uma vez que, equacionar a geração excessiva e a gestão dos mesmos, numa condição ambientalmente segura dos resíduos, são os maiores desafios com que se defronta a sociedade moderna. A meta final é a gestão otimizada dos RSUs para minimizar os impactos negativos que podem causar nos corpos receptores. Diante do exposto, o presente artigo visou propor um modelo diferenciado de gestão de RSU, principalmente fazendo ênfase nas etapas de coleta, transporte, tratamento e aproveitamento de resíduos, capaz de atender as prerrogativas legais em âmbito econômico, social e ambiental, e, que possibilite a implantação de um modelo econômico que possa contribuir com a geração de riqueza, emprego e renda num ambiente sustentável nos municípios da Mesorregião Oeste do Paraná. Para tanto, os procedimentos metodológicos contemplaram a execução de etapas de estimação do potencial de geração dos RSU nos municípios da Mesorregião Oeste do Paraná para os anos de 1980 a 2030, a qual foi discriminada pela estimativa do potencial de geração de RSU total e segregada, que foi realizada com base nos métodos de correlação propostos por Morejon, Fabris e Laufer (2006) e Morejon et al., (2011). Assim, a estimativa do potencial de geração de RSU para cada município da Mesorregião Oeste do Paraná foi obtida a partir do quociente entre a população municipal total e a geração média per capita municipal, conforme expresso na Equação: $PGRSU = POP_{mun} * Geração_{médiaRSU}$. Na sequência, foi contemplada a proposição de um modelo de gestão de RSU diferenciado para os municípios da Mesorregião Oeste do Paraná, para o qual buscou-se identificar qual seria o investimento e qual a forma otimizada de gerenciamento dos resíduos. Neste caso, para universalizar a implementação do tratamento de resíduos sólidos urbanos e o atendimento das prerrogativas da PNRS/2010. Para tanto, foi realizada a estimação dos custos envolvidos no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos gerados na Mesorregião Oeste do Paraná, o qual foi realizado por meio de uma metodologia adaptada dos estudos da ABRELPE (2015), Vital, Ingouville e Pinto (2014), além do uso de dados primários coletados na Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA/PR e Consórcio EnVex-Engelbio. Nesta etapa, foram considerados quatro tipos de propostas para a universalização do gerenciamento dos RSU nos municípios do Oeste do Paraná: i) a eliminação dos lixões; ii) a redução dos resíduos secos dispostos em aterros sanitários; iii) a redução de resíduos úmidos dispostos em aterros; e iv) a recuperação de gases de aterros sanitários. Estas premissas foram baseadas nas prerrogativas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), tomando por base as disposições da Lei Federal nº 12.305/2010. A modelagem dos custos foi baseada no estudo da Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2015), a qual também contemplou o uso dos dados do custo de capital (*Capital Expenditure* - CAPEX) e dos custos operacionais (*Operational Expenditure* - OPEX). Conforme exposto, uma vez especificada a infraestrutura necessária para o atendimento das metas previstas, estimou-se os custos de operação dos sistemas de gestão dos RSU a serem implantados. Inicialmente, para um cenário específico, os investimentos seriam na ordem de R\$900,28 milhões. A partir da instalação da infraestrutura necessária para atendimento das metas finais, estimou-se a necessidade de ampliação dos investimentos em cerca de R\$36 milhões, ou seja, os custos operacionais passariam para R\$936,28 milhões, até 2030. Quanto aos custos relacionados a cada tipo de tecnologia considerada, verificou-se que, nos sistemas de triagem seriam investidos, na implantação cerca de R\$68,74 milhões, e, mais R\$764,07 milhões para manutenção/operação. Na usina de compostagem os gastos em implantação seriam de cerca de R\$3,46 milhões e de operação seria de aproximadamente R\$103,8 milhões ao ano. Já o custo para implantação e implementação dos aterros sanitários na região seriam na ordem de R\$4.966 milhões e um custo operacional de R\$32.368 milhões/ano. Por fim, os investimentos para a implantação de motores recíprocos de Combustão Interna (CI) para a recuperação energética do biogás gerado nos aterros sanitários seria de R\$2.114 milhões e os custos operacionais de R\$0,00004 milhões (R\$44,85/ano). Para a ampliação dos serviços de triagem na região serão necessários investimento adicionais de R\$2,76 milhões em infraestrutura e de R\$30,64 milhões em operações dos sistemas. Para as usinas de compostagem o investimento complementar em infraestrutura será de R\$140.000,00, e, em operação será de R\$4,16 milhões/ano. Nos aterros sanitários, dado aumento populacional estimado para o período, e, conseqüentemente o aumento do potencial de geração dos RSUs gerados, estima-se a necessidade para ampliação/adaptação da infraestrutura, um investimento na ordem de R\$200.000,00, e na operação de cerca de R\$1,30 milhões. Para a captação de biogás, a ampliação nos investimentos em infraestrutura será na ordem de R\$80.000,00. Com base nos resultados apresentados nessa seção, pode-se afirmar que, nos municípios do Oeste Paranaense os altos custos de gerenciamento



dos sistemas de gestão, inviabilizam a correta manutenção dos serviços e até mesmo o atendimento das prerrogativas de gestão presentes na PNRS/2010. Nesse cenário, a regionalização destes serviços, por meio do incentivo à adoção de consórcios ou outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos no uso de tecnologias de gerenciamento de resíduos, por meio de Sistema Integrado de Gestão de Resíduos (SIGR), pode proporcionar economia nos custos em comparação a solução individualizada, e, em alguns casos possibilitar empreendimentos maiores, com viabilidade passa por uma escala mínima de atendimento, por exemplo o caso das unidades de incineração. Quanto a localização, sugere-se que os consórcios sejam implantados nos municípios sede da microrregional de Cascavel, Foz do Iguaçu e Toledo. Assim, a utilização de três consórcios custaria a mesorregião um total de R\$ 41.031, milhões, ou seja, 4,19% do valor total estimado, para as soluções individualizadas nos municípios da Mesorregião Oeste do Paraná. Contudo, a proposta deste trabalho é a inserção de um modelo de coleta diferenciados dos RSUs nas fontes geradoras, ter-se-ia a separação correta de resíduos orgânicos, que totalizariam 558,2 ton./dia (69% do total gerado). Desse processamento, resultaria a produção de biogás e dos derivados deste (energia elétrica, energia térmica, etc.), biofertilizantes e créditos de carbono, todos com seus mercados garantidos e com expectativas de retornos econômicos atrativos. O restante dos resíduos recicláveis e rejeitos secos (250,79 ton./dia), mesmo misturados, seriam coletados e transportados para os centros de triagem. Assim, os recicláveis (230,64 ton./dia), por estarem livres dos orgânicos, viabilizam os processos de triagem, num ambiente menos insalubre, e principalmente, o reaproveitamento mais eficiente. Já os rejeitos os (20,06 ton./dia) seguiria para um aterro sanitário diferente do convencional. Com esse modelo, no caso da Mesorregião Oeste do Paraná, o descarte das 8.009 ton./dia de resíduos, praticado a partir dos processos de coleta e separação de resíduos convencionais, passaria a ser de apenas 20,06 ton./dia, as quais seriam compostas, essencialmente, de rejeitos, o que representa uma redução de 97,5% na quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário do município. Assim, o desafio da separação e da coleta do resíduo orgânico na fonte, conseguido por meio da atribuição de um valor econômico como método de incentivo, seria complementado com a implementação de usinas de processamento de resíduos orgânicos. Os resíduos dos mais variados tipos (papel, metal, vidro, plástico, lixo comum e orgânico) seriam, nesse novo modelo econômico, as matérias primas a serem enviadas para a industrialização, ou seja, estes resíduos serão os recursos renováveis e não-renováveis a serem utilizados no primeiro setor, tal como são utilizados os recursos naturais nos processos produtivos, atualmente. Nesse novo sistema, os RSU funcionam como um fator de investimento, uma vez que fazem parte de um sistema econômico alternativo, capaz de incentivar um perfil de desenvolvimento territorial sustentável e inovador, no qual, tem-se, inicialmente a geração de ganhos econômicos e sociais a partir da industrialização e comercialização dos resíduos orgânicos e recicláveis. Como resultado, há a mitigação dos impactos ambientais, de maneira secundária, pois prevalece nesse modelo, primeiramente o potencial econômico, que assegura a viabilidade de todo o processo e implantação de um sistema de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. Estimativas de custo para viabilizar a universalização da destinação adequada de resíduos sólidos urbanos, São Paulo, 2015a. Disponível em: <http://www.ABRELPE.org.br/arquivos/pub_estudofinal_2015.pdf>. Acesso em: Março 2024.

MOREJON, C. F. M. et al. Proposta de Novo Modelo de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos. **3º Cleaner Production Initiatives and Challenges for a sustainable World**, 18-20 Maio, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5b/6/morejon_cfm%20-%20paper%20-%205b6.pdf>. Acesso em: Março 2024.

MOREJON, C. F. M.; FABRIS, S. C.; LAUFER, A. Desenvolvimento de uma Correlação para Identificação do Potencial de Geração de Resíduos Sólidos, Líquidos e Gasosos da Atividade Doméstica. **Revista Interagir**: pensando a extensão, n. 9, p. 149-158, 2006. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/interagir/article/download/21552/15559>>. Acesso em: Março 2024.

Secretária do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná - SEMA. Política de Resíduos Sólidos do Estado do Paraná. Curitiba, 2015. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=57>>. Acesso em: Março 2024.

VITAL, M. H. F.; INGOUVILLE, M.; PINTO, M. A. C. Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019. **Biblioteca Digital do BNDES**, 2014. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3041/1/Estimativa%20de%20investimentos%20em%20aterros%20sanitari%20os_P.pdf>. Acesso em: Março 2024.



PANORAMA DA REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE BAURU-SP, BRASIL

1Johana Marcela Carmona Wilches, 2Roger Augusto Rodrigues, 3Giulliana Mondelli.

1 Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, e-mail: jmc.wilches@unesp.br; 2 Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, e-mail: roger.rodrigues@unesp.br; 3 Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, e-mail: g.mondelli@unesp.br

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição (RCD); Reciclagem; Reutilização.

Introdução

Os resíduos da construção civil (RCC), proveniente de atividades de construção, demolição, renovação e reparação, constituem uma grande parte dos resíduos sólidos gerados em nível mundial. Este aumento na geração de resíduos está intimamente ligado ao crescimento da infraestrutura urbana, o que impõe um desafio substancial à indústria atual em relação à sua gestão e destino apropriados.

No total, a China produz cerca de 30% dos resíduos sólidos municipais do mundo, dos quais aproximadamente 40% são RCC (Yang et al., 2017). Na Índia, são produzidas aproximadamente 150 milhões de toneladas de RCC, e apenas 1,6% pode ser reciclado (Roychowdhury et al., 2020). No contexto europeu, a situação é mais favorável para alguns países. Os Países Baixos geram aproximadamente 23,9 milhões de toneladas de RCC e conseguem reciclar 98% dessa quantidade, seguidos pela Dinamarca e Estônia, que se destacam com taxas de reciclagem entre 94% e 92% do total produzido por cada um deles (Osorio e Beltrán, 2018). Em 2021, a Alemanha relatou um volume anual superior a 275 milhões de toneladas, dos quais 32% correspondem a RCC, com cerca de 90% desses resíduos sendo reutilizados (Prieto-Espinoza et al., 2022).

Enquanto isso, em países latino-americanos como o Brasil, conforme apontado pela Associação Brasileira de Resíduos e meio Ambiente (ABREMA, 2023), os municípios brasileiros geraram cerca de 45 milhões de toneladas de RCC. Observa-se que, devido à grande geração desses resíduos, muitos países têm despertado interesse em pesquisar tecnologias de reciclagem para sua reutilização. Diversos estudos têm sido conduzidos com este objetivo. Bennert et al. (2000) e Park (2003) avaliaram as características do agregado reciclado para sua utilização como base e sub-base para rodovias e pavimentos rígidos, respectivamente. Arulrajah et al. (2013) estudou os agregados de concreto reciclado com o objetivo de utilizá-los em camadas de sub-base granular para pavimentos. Em estudos mais recentes, Anita et al. (2023) avaliaram o comportamento de estacas revestidas com geossintéticos, construídas com RCC.

Segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002, os resíduos de construção civil são classificados em: reutilizáveis ou recicláveis como agregados de concreto, cerâmica e asfalto (Classe A), recicláveis para outras finalidades como papel, plástico, metal, vidro, madeira e gesso (Classe B), não recicláveis (Classe C) e contaminados ou prejudiciais à saúde (Classe D). Para essas atividades de reutilização, destaca-se a importância do conhecimento sobre a granulometria dos RCC gerados. A composição dos RCC no Brasil corresponde à média dos municípios e regiões, por isso é importante o diagnóstico em nível local, variando bastante. Para a cidade de São Carlos-SP, por exemplo, verificou-se 26% de concreto, 8% de argamassa, 33% de cerâmica, 19% de areia, solo e pedra, 2% de fibrocimento, 7% de madeira, 2% de ferro, 1% de gesso, 1% de vidro e 1% de plástico e papel (Marques Neto & Schalch, 2010).

Apesar dos avanços e das pesquisas em vários países sobre gestão, reciclagem e reutilização de RCC, o município de Bauru, localizado no estado de São Paulo, ainda enfrenta desafios na implementação efetiva de políticas de reutilização desses resíduos. Embora haja uma legislação abrangente e um sistema organizado de gerenciamento de RCC, é necessário um esforço adicional para desenvolver e implementar políticas claras e eficazes de reutilização. Este trabalho tem como objetivo apresentar o panorama atual da cidade de Bauru em relação à reutilização e aproveitamento, especialmente dos resíduos classe A produzidos por medianos e grandes geradores, uma vez que são os resíduos majoritariamente produzidos em comparação com os resíduos classe B, C e D. Devido à alta taxa de produção, esses resíduos não conseguem ser reutilizados em maior proporção.

Gestão de RCC no Município de Bauru

Bauru possui uma população de aproximadamente 381.706 habitantes com uma área de 667.684 km² (IBGE, 2023) e, de acordo com o relatório de transporte de resíduos (CTR, 2024) fornecido pela prefeitura municipal no período de 01/01/2012 a 15/02/2024, gerou aproximadamente 2.112.354,0 m³ de RCC, incluindo resíduos classe A B, C, D e outros. Identificou-se que foram reportadas 16 áreas destinadas a receber os RCC (provenientes dos medianos e grandes geradores do município), conforme localizadas na Figura 1. Na Tabela 1 são descritas estas 16 áreas identificadas.



Figura 1: Localização de município de Bauru e pontos de destinação de RCC (adaptado de Google Earth, 2024).

Tabela 1: Descrição das Áreas Receptoras de RCC durante o período de 01/01/2012 a 15/02/2024. Fonte: Adaptado do Sistema de Controle de Transporte de resíduos (CTR), Prefeitura Municipal de Bauru.

Código	Área receptora	Código	Área receptora
A1	Área receptora especial (SEMMA)	A9	Erosão Bauru XVI
A2	Cava do Jardim Chapadão	A10	Erosão Jardim TV (SEMMA)
A3	CETRIC - Central de tratamento de resíduos	A11	Erosão Nova Pagani
A4	Erosão 2000 Bauru	A12	Rua Tamandaré prefeitura municipal de Bauru
A5	Viverde Rays	A13	Erosão sítio Fujimaki (ASTEN)
A6	Área de melhoria - RMN	A14	Prefeitura Municipal de Bauru - ATT - ecopontos ou obras.
A7	área de melhoria água comprida	A15	Unidade de reciclagem de resíduos da construção civil
A8	ATT água cumprida - ASTEN	A16	Usina Reghine (SEMMA)

Resultados

A quantidade total de resíduos recebidos entre 01/01/2012 e 15/02/2024 foi de 2.112.354 m³. Verificou-se que a maior parte dos resíduos recebidos foi classificada como classe A, seguida pelos resíduos classe B. O gráfico da Figura 2 mostra as quantidades de RCC recebidos por 16 áreas receptoras identificadas (Tabela 1), separados por classes A, B, C, D e outros.

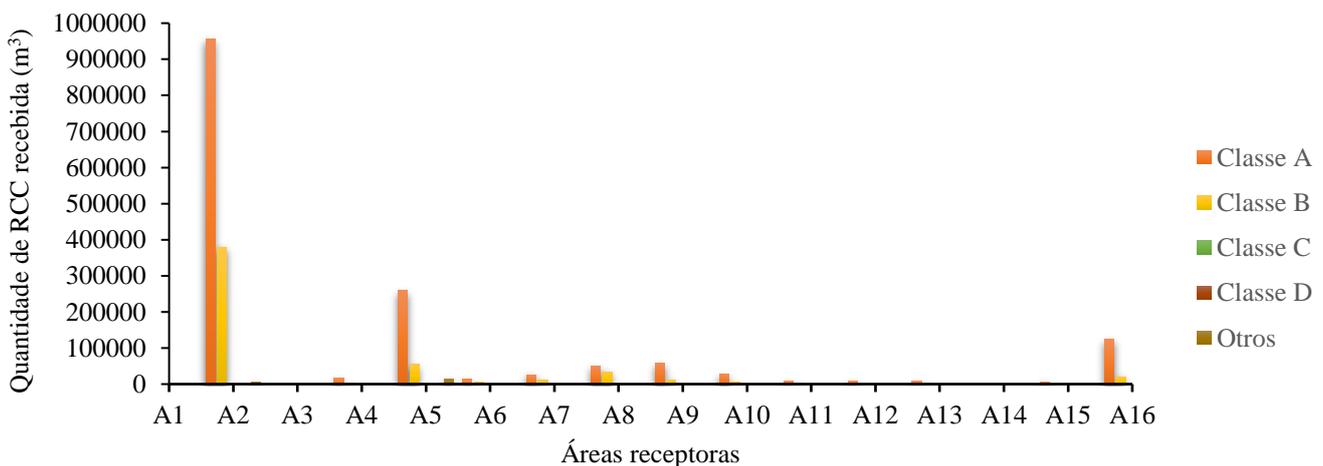


Figura 2: Quantidade de RCC recebidos durante o período de 01/01/2012 a 15/02/2024 pelas diferentes áreas receptoras. Fonte: Adaptado do Sistema de Controle de Transporte de resíduos (CTR) Prefeitura Municipal de Bauru.

Com o propósito deste estudo voltado para a análise do panorama atual da reutilização de RCC, observa-se que os resíduos classe A destacam-se por suas significativas taxas de geração, porém, enfrentam consideráveis desafios para serem reaproveitados. Foi preciso agrupar as áreas conforme seu uso específico para análise dos dados fornecidos. Nesse caso, foi necessário excluir da análise a área A3, pois não recebeu RCC classificados como classe A, que é o objeto deste estudo. Ao avaliar a Figura 2, destaca-se a área A2, situada na cava do Jardim Chapadão (aterro de RCC municipal), que recebeu a maior quantidade de resíduos de construção, tanto da classe A quanto da classe B. Tal constatação sugere que cerca de 61% dos resíduos classe A produzidos pelo município estão sendo direcionados principalmente para áreas de aterro (G-1), privados de



oportunidades de reutilização (ver Figura 3). Um 25% foi destinado a usinas de tratamento de resíduos (G-5), 17% são encaminhados ao grupo G-4, composto pelo Portal Rays, uma empresa privada especializada na reciclagem de RCC. No que concerne ao grupo G-3, relacionado às erosões preenchidas com RCC, verifica-se que estas áreas absorveram aproximadamente 11% dos RCC Classe A produzidos pelo município. Finalmente, só um 3% foi destinado a áreas de melhoria (G-2).

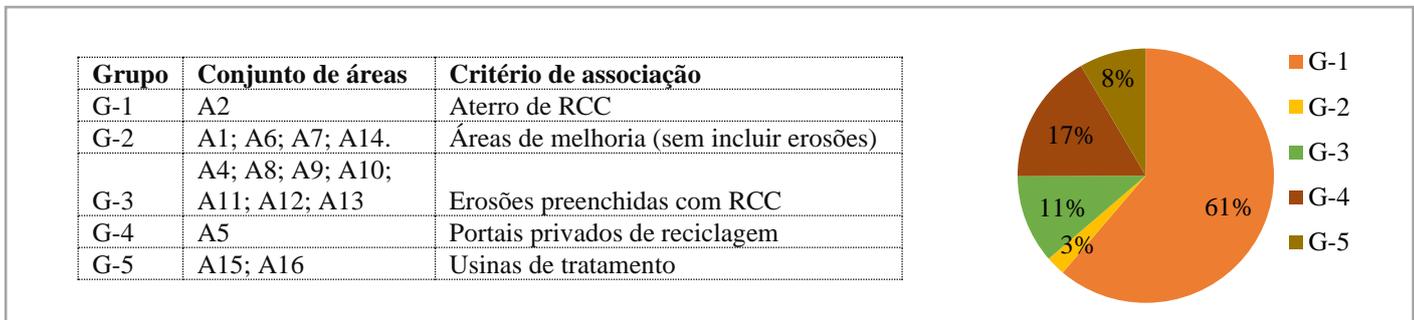


Figura 3: Quantidade de RCC (classe A) dispostos nas áreas receptoras agrupadas por tipo de uso. Fonte: Adaptado do Sistema de Controle de Transporte de Resíduos (CTR) da Prefeitura Municipal de Bauru, (2024).

Conclusão

Esta análise demonstrou que a maioria dos RCC gerados no município não está sendo reaproveitada em grande proporção, o que resulta no seu descarte predominante em áreas de aterros devido à falta de políticas claras de reutilização. Atualmente, as políticas estabelecidas concentram-se principalmente na utilização desses resíduos para a construção e manutenção de estradas, com uma proporção menor sendo destinada ao preenchimento de erosões, devido ao alto potencial erosivo dos solos de Bauru. Nesse contexto, é fundamental desenvolver estratégias para promover a valorização e a efetiva reintegração desses resíduos na cadeia produtiva. O descarte inadequado desses resíduos em tais áreas suscita preocupações significativas quanto ao impacto ambiental resultante e uma necessidade potencial de recuperação dessas áreas.

Agradecimentos

Expressamos nossa sincera gratidão à Prefeitura Municipal de Bauru por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA), à Universidade Estadual Paulista (UNESP) e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação da Colômbia.

Referências Bibliográficas

- ABREMA (Associação Brasileira de Empresas de Resíduos e Meio Ambiente); 2023. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, BR.
- Anita, A.; Karthika, S.; Divya, P.; 2023. Construction and Demolition Waste as Valuable Resources for Geosynthetic-Encased Stone Columns. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, pp. 1-13.
- Arulrajah, A.; Piratheepan, J.; Disfani, M.; BO, M W.; 2013. Geotechnical and Geoenvironmental Properties of Recycled Construction and Demolition Materials in Pavement Subbase Applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*, pp. 1077-1088.
- Bennert, T.; Papp, W.; Maher, A.; Gucunski, N.; 2000. Utilization of construction and demolition debris under traffic-type loading in base and subbase applications. *Transportation Research Record* 1714, pp. 33-39.
- Chica-Osorio, L.; Beltrán-Montoya, J; 2018. Demolition and construction waste characterization for potential reuse identification - DYNA 85(206), pp. 338-347, <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68824>.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução nº307, de 5 de julho de 2002. Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. População estimada 2021. v4.6.41.2. Bauru 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/bauru/panorama>. Acesso em março 2023.
- Marques, J.; Schalch, V.; 2010. Gestão dos resíduos de construção e demolição: estudo da situação no município de São Carlos-SP, Brasil. *Revista Engenharia Civil*, pp. 41-50.
- Park, T.; 2003. Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement. *Journal of Transportation Engineering*, pp. 558-563.



Prieto-Espinoza, M.; Susset, B.; Grathwohl, P.; 2022. Long-term leaching behavior of organic and inorganic pollutants after wet processing of solid waste materials. *Materials* 15(3): 858, <https://doi.org/10.3390/ma15030858>.

Relatório de Transporte de Resíduos 2024 SEMMA (Secretaria Municipal de Meio Ambiente). Prefeitura Municipal de Bauru.

Roychowdhury, A.; Somvanshi, A.; Verma, A.; 2020. Another Brick off the Wall: Improving construction and demolition waste management in Indian cities. Centre for Science and Environment, New Delhi, IN.

Yang, H.; Xia, J.; Thompson, J.; Flower, R.; 2017. Urban construction and demolition waste and landfill failure in Shenzhen, China. *Waste management*, 63, pp. 393-396.



PROPRIEDADES ADSORTIVAS DO LODO DE ETA E DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1Isabela Libanio da Cruz, 2Rosane Freire Boina

1 UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciência e Tecnologia - Câmpus de Presidente Prudente, email:il.cruz@unesp.br 2 UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciência e Tecnologia - Câmpus de Presidente Prudente, email:rosane.freire@unesp.br

Palavras-chave: Lodo de ETA; Adsorção; Cana-de-açúcar.

Resumo

Um dos grandes problemas ambientais está relacionado ao descarte inadequado dos efluentes gerados tanto pelas indústrias quanto pelas propriedades urbanas e rurais, uma vez que seus contaminantes causam alterações nas condições naturais do meio onde são descartados. Nesse contexto, os processos de adsorção surgem como uma técnica de tratamento eficaz no que diz respeito ao custo, flexibilidade e facilidade de operação. Neste trabalho foi elaborado uma revisão bibliográfica para analisar as produções que têm como estudo a capacidade adsorvente do lodo de estação de tratamento de água (ETA) e bagaço da cana-de-açúcar com o objetivo de ter uma base de dados para futuros trabalhos combinando os dois materiais a fim de aumentar o teor adsorativo.

Com isso, a revisão bibliográfica foi realizada por meio de uma busca em revistas científicas, artigos e dissertações disponíveis nas bases de dados Google Acadêmico, Periódico CAPES e Scopus. As palavras-chave utilizadas foram "Lodo de ETA", "adsorção" e "cana-de-açúcar", com um período específico de 2014 até 2024.

A partir da busca, foi possível selecionar 10 trabalhos analisados sendo constituídos por 5 (cinco) sobre a capacidade adsorativa do lodo de ETA, e os outros 5 (cinco) sobre a eficiência de adsorção do bagaço da cana-de-açúcar. Após a leitura, os resultados foram organizados em forma tabular, destacando os tipos de poluentes, tratamento do adsorvente, eficiência de remoção do adsorvato, efeito do pH, faixa de concentração do adsorvato, dosagem do adsorvente, equilíbrio, cinética e isotermas de adsorção. Por fim, os dados mais eficientes de cada estudo foram compilados em uma tabela para apresentar os resultados obtidos (Tabela 1).

Tabela 1: Principais trabalhos alcançados com a utilização do bagaço da cana-de-açúcar e do lodo de ETA na adsorção de poluentes emergentes.

Adsorvente	Massa (g)	Adsorvato	C ₀ (mg·L ⁻¹)	pH	T (°C)	ER (%)	q _e (mg·g ⁻¹)	t (min)	Modelo cinético	q _{máx} (mg·g ⁻¹)	Modelo isotérmico	Ref.
Bagaço da cana de açúcar (em pó)	0,01~0,3	Acid Blue 25	10	1~9	-	84	5,10	90	PSO	0,15	Langmuir	Sarwar et al. (2023)
Bagaço da cana de açúcar (modificado)	1	Tetraciclina	25	3~9	-	-	-	15,02	-	15,02	-	Huong et al. (2023)
Bagaço da cana de açúcar (ativado)	0,5	Chumbo	2	6	30	-	-	4,7	-	4,7	Langmuir	Paz et al. (2018)
Bagaço da cana de açúcar (in natura)	0,25-0,5	Tupy	0~100	7	-	83,4	-	30-60	-	8,34	-	Xavier et al. (2021)
Bagaço da cana de açúcar (in natura)	0,5-2,5	Óleo	1,5	-	30	-	-	360	-	38,80	Langmuir	Paiva et al. (2015)
Lodo de ETA	2,2	azul reativo BF 5G	100	2	40	84	15,1	240	PSO	32,65	Freundlich Langmuir Redlich Peterson	Boina et al. (2023)
Lodo de ETA (ativado)	0,5~2	p-nitrofenol	20,50 e 75	6	23,33 e 43	97	2,89, 3,73 e 2,93	330, 570 e 810	PSO	-	Langmuir Freundlich	Zanelatto (2021)



Lodo de ETA (modificado)	0,5	17β Estradiol (E2) e 17α Ethinylestradiol	0,5~100	5 5	25	-	10,86 - 6,48	180 e 420	PPO e PSO	10,86	Langmuir Freundlich	Martins et al. (2022)
Lodo de ETA	1,5	Azul de metileno	25, 50, 75 e 100	8	23 - 33 e 43	99	5,51~12, 88	750, 520, 520 e 240	PPO e PSO	-	Langmuir Freundlich	Moretto (2021)
Lodo de ETA (carvão ativado)	0,3	Negro de Eriocromo T	50	7	-	90,1	4,502	20	PSO	-	-	Souza et al. (2020)

Nota. C₀: concentração inicial; T: temperatura; ER: eficiência de remoção; q_e: capacidade de adsorção no equilíbrio, t: tempo; q_{max}: capacidade máxima de adsorção; Ref. Referência bibliográfica.

A partir da literatura revisada, observa-se que a apesar da ausência de informações em alguns dos artigos revisados, foi possível analisar as condições favoráveis e desfavoráveis para a remoção de diferentes poluentes, os parâmetros envolvidos e a importância de cada um para a eficiência de remoção do material adsorvente. A capacidade máxima de adsorção desses materiais é dependente das condições experimentais de adsorção, tais como o pH, a concentração inicial do adsorbato. Além disso, os mecanismos envolvidos foram investigados por estudos cinéticos e isotérmicos.

Os resultados obtidos mostraram o uso de uma ampla faixa de pH nas soluções para estudos de adsorção, com variação de pH1 a pH9. O pH de uma solução aquosa é um dos fatores mais importantes a serem considerados em estudos de adsorção (Tang et al. 2019), pois regula as características de sorção no sítio ativo do adsorvente, podendo alterar a carga superficial e a especificidade do soluto. De acordo com Huong et al. (2023), o pH pode influenciar significativamente na remoção da tetraciclina, haja vista que a capacidade de remoção aumentou quando o pH passou de 3 para 6 e a eliminação de tetraciclina diminuiu rapidamente em pH mais elevado com o bagaço da cana-de-açúcar como adsorvente.

Em geral, tempos de contato maiores trouxeram maior capacidade de adsorção.

As temperaturas de trabalho partiram da temperatura ambiente e foram testadas até 43°C; esta temperatura desempenha um papel importante nas relações de equilíbrio, pois influencia diretamente a agitação das moléculas do sistema, interferindo também nas forças de atração e repulsão entre o adsorbato e o adsorvente (Marin et al. 2015). Segundo Zanelatto (2021) a adsorção diminui com o aumento da temperatura, indicando o favorecimento de processos exotérmicos, liberando calor durante a adsorção. Contudo, este comportamento do ponto de vista de aplicabilidade é significativo, pois mostra que o processo de adsorção de *p*-nitrofenol pode ser conduzido em temperatura ambiente, usando o lodo de ETA como adsorvente.

Por meio da análise da Tabela 1, é possível notar que em todos os casos, a dosagem do adsorvente empregada é mínima comparada com a concentração do adsorbato. Ainda assim, a adsorção ocorreu de forma eficiente. Martins et al. (2022) e Paiva et al. (2015) relataram que uma quantidade menor de adsorvente permite melhor acesso a todos os sítios ativos da superfície adsorvente, proporcionando um melhor resultado no processo final de adsorção, como foi constatado nos documentos revisados.

De modo complementar, a maneira como o material adsorvente é utilizado tem um impacto direto nas curvas de adsorção (Piquet et al., 2022). Os diferentes métodos de tratamento para o bagaço da cana e do lodo de ETA mostraram comportamentos diversos em relação à capacidade máxima de adsorção. Os mecanismos de adsorção destacados indicaram que o processo pode ocorrer por processos físicos e/ou químicos, em monocamada ou de forma menos ordenada na matriz adsorvente. O modelo cinético que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo cinético de pseudo segunda-ordem (PSO), indicando processos químicos atuando no fenômeno adsorativo. Conforme Milhomem (2018), os modelos isotérmicos de adsorção refletem a interação entre adsorventes e adsorbatos, estimando a capacidade máxima de adsorção. Os resultados dos estudos isotérmicos apresentados na Tabela 1 indicam que os modelos de Langmuir foram os mais adequados para o bagaço da cana-de-açúcar como adsorvente. Os modelos de Freundlich, e Redlich-Peterson também foram considerados para o lodo de ETA. O modelo de Langmuir descreve a adsorção como um processo de monocamada em uma superfície com um número finito de sítios ativos idênticos (Boina et al., 2023). Assim, a adsorção dos poluentes mencionados na Tabela 1 em adsorventes à base lodo de ETA e bagaço da cana, de acordo com os documentos revisados, sugere um mecanismo predominante de monocamada na superfície desses adsorventes.

Com o exposto, o bagaço da cana-de-açúcar e o lodo de ETA se mostraram como resíduos interessantes e promissores para remoção de poluentes emergentes, apresentando potencial para ser composto em um material adsorvente combinante entre si, uma vez que suas estruturas e grupos funcionais podem contribuir com as características individuais de cada substância, gerando um material promissor para adsorver diferentes tipos de poluentes. Essa abordagem mostra um grande potencial na busca por soluções sustentáveis para a remoção de poluentes do meio ambiente através da reutilização dos resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos.

Agradecimentos

Ao apoio recebido da FCT - UNESP de Presidente Prudente.



Referências Bibliográficas

- PIQUET, A. B. M; MARTELLI, M. C. **Bioadsorventes produzidos a partir de resíduos para remoção de corantes: uma revisão.** Research, Society and Development, v. 11, n. 3, e27311326506, 2022.
- SARWAR, H; ELBOUGHDIRI, N; ZAFAR, S; KHAN, M. I; SHANABLEH, A; SULEMAN, J; MANZOOR, S; MAHJOUBI, A; BARKAOUI, S; MIDOUNI, A. **Adsorption kinetic, equilibrium and thermodynamic studies for the removal of Acid Blue 25 from wastewater by using modified sugarcane bagasse.** Desalination and Water Treatment 312 (2023) 247-257.
- HUONG, T. T; THANG, T, D. **Synthesis of a cost-effective magnetic nanoparticles coated sugarcane bagasse and testing tetracycline removal capacity.** E3S Web of Conferences 443, 05005 (2023).
- PAZ, J. E. M; GARNICA, A. I. C; CURBELO, F. D. **Estudo da adsorção de chumbo utilizando como adsorvente bagaço de cana-de-açúcar ativado.** DOI: 10.15628/holos.2018.7544, 2018.
- XAVIER, C. S. F; CRISPINIANO, F. F; NASCIMENTO, K. K. R; ALMEIDA, M. M; VIEIRA, F. F. **Secagem e avaliação do bagaço de cana de açúcar como adsorvente de corantes têxteis presentes em soluções aquosas.** Revista Matéria, ISSN 1517-7076 artigos e12937, 2021.
- PAIVA, E. M; MAGALHÃES, R. R; SANTOS, E. P; GARNICA, A. I. C; CURBELO, F. D. S. **Remoção do óleo da água produzida sintética utilizando bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente.** XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Unicamp - Campinas - SP, 2015.
- BOINA, R. F; ESTEVAM, B. R; FREITAS, R. F; RODRIGUES, J. M; BOINA, W. L; SALES, D. H; SOUZA, A. E; TEIXEIRA, S. R; PEREIRA, N. C. **Ceramic adsorbent material in removing reactive blue bf 5G dye from synthetic wasterwater.** Separation and Purification Technology, Journal, 2023.
- ZANELATTO, S. **Utilização de lodo de ETA como adsorvente para remoção de p-nitrofenol.** Universidade Federal da Fronteira Sul- UFFS, campus Erechim, 2021.
- MARTINS, D. S; ESTEVAM, B. R; PEREZ, I. D; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H; ISIQUE, W. D; BOINA, R. F. **Sludge from a water treatment plant as na adsorbent of endocrine disruptors.** Journal of Environmental Chemical Engineering, 2022.
- MORETTO, D. **Aplicação de lodo de ETA como adsorvente para a remoção do corante azul de metileno.** Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, campus Erechim, 2021.
- SOUZA, C. D. R; CARVALHO, S. F. **Avaliação da cinética de adsorção do Negro de Ericromo T em carvão ativado produzido a partir do lodo de ETA.** Scientia Amazonia, v. 9, n.1, C1-C7, 2020.
- TANG, Y., ZHAO, Y., LIN, T., LI, Y., ZHOU, R., PENG, Y. **Adsorption performance and mechanism of methylene blue by H3PO4- modified corn stalks.** J. Environ. Chem. Eng. 7, 103398, 2019.
- MARIN, P; BORBA, C. E; MÓDENES, A. N; OLIVEIRA, S. P. D; PASSAIA, N; FIGUEIREDO, L. S. **Avaliação do efeito da temperatura, pH e granulometria do adsorvente na adsorção do corante Azul Reativo 5G.** ENGEVISTA, V. 17, n. 1, p. 59-68, Março 2015.
- MILHOMEM; M. P. S. **Estudos de isotermas no proesso de adsorção - Revisão.** Universidade Federal do Tocantins, campus universitário de Gurupi, 2018.



BIODIGESTORES ANAERÓBIOS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS E INTENSIFICAÇÃO DA RENDA DE PEQUENOS PRODUTORES SUÍNOS NO ESTADO DO MARANHÃO

1Thyago Diogo Rocha Moraes, 2Hanna Gabriely Pinto Gonçalves, 3Thessya Leal Rocha,
4Alana Gandra Lima de Moura

1 Universidade Estadual do Maranhão, e-mail:thyagomrd@gmail.com; 2 Universidade Federal do Maranhão, e-mail:hannagoncalves@hotmail.com; 3 Secretaria Municipal de Saúde, e-mail: thessyarocho@gmail.com;

4 Universidade Federal do Maranhão, moura.alana@ufma.br

Palavras-chave: biodigestor anaeróbio; águas residuárias; suinocultura

Resumo

A suinocultura se destaca como uma das principais atividades geradoras de renda no meio rural. O Brasil figura entre os maiores produtores e exportadores de carne suína do mundo, atrás apenas de China, União Europeia e EUA. A produção intensiva de suínos atrelada à constante busca pelo aumento da produtividade condiciona o aumento da geração de dejetos, que contribuem de maneira significativa para a poluição ambiental do solo e da água, além da emissão de Gases de Efeito Estufa. Portanto, torna-se essencial a introdução de tecnologias que visem integrar o potencial produtivo da suinocultura ao uso sustentável dos recursos naturais disponíveis. No Nordeste, o Maranhão atualmente é o segundo maior produtor de suínos com aproximadamente 536 mil cabeças. Cerca de 78,42% desta produção está inserida no sistema de criação de subsistência, aumentando os riscos com a sanidade, tendo em vista que a maioria das produções não possuem manejo adequado dos resíduos. O mercado de créditos de carbono criou uma *commodity* baseada em níveis de emissão de carbono e estabeleceu um novo paradigma de transações de carbono em nome do desenvolvimento sustentável. A instalação de Biodigestores para o tratamento dos dejetos animais antes do seu lançamento no ambiente elucida a oportunidade de concomitante adequação ambiental e geração adicional de energia/renda em propriedades rurais no Maranhão. Desta forma, esta revisão bibliográfica visa elucidar o potencial de intensificação na renda de produtores rurais no estado do Maranhão, através da geração de biocombustível, biofertilizantes e créditos de carbono, a partir da implementação de biodigestores anaeróbios.

Introdução

A suinocultura é um dos setores de produção animal que mais cresceu no Brasil nas últimas décadas (GIRIOTTO & MIELE, 2004), sendo considerado o 4º maior produtor mundial de carne suína com aproximadamente 41,3 milhões de cabeças (ABPA, 2017, USDA, 2024). Somado à produção de carne, também são produzidas grandes quantidades de resíduos sólidos e líquidos, provenientes de esterco, urina, bebedouro, raspagem e limpeza de baias, gaiolas e outras instalações da granja suína (DE LUCA; HUSSAR, 2017). A criação de suínos é uma atividade que demanda elevada disponibilidade de água, sendo um motivo de preocupação pela atual necessidade crescente de economia e uso racional da água nas cadeias produtivas (ITO et al., 2016). Estima-se que o consumo diário de um suíno em um sistema de produção convencional de ciclo completo seja 72,9 L/animal/dia (FATMA, 2014). A água tem relação direta com a quantidade de dejetos gerada durante a produção. Em média um suíno adulto produz 0,27m³ dejetos/mês. Matrizes em período de lactação podem gerar 18kg/dia e produzir 27 litros de dejetos líquidos/dia (KONZEN, 1980 apud FERNANDES, 2012). Desta forma, torna-se imprescindível a adoção de tecnologias sustentáveis que mitiguem os impactos causados na destinação final de dejetos sólidos e líquidos da atividade suína. A implementação de biodigestores anaeróbios é uma alternativa viável e promissora para o tratamento adequado dos dejetos animais na produção animal e geração de energia renovável (ALBUQUERQUE, 2022). É uma tecnologia de fácil implementação, em que os resíduos são submetidos a um processo de decomposição em ambiente com ausência de oxigênio (anaerobiose), gerando um produto final composto principalmente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), transformando a matéria orgânica gerada pelos animais em energia alternativa como o gás natural (biogás) e biofertilizantes. Além disso, a adoção de um sistema de biodigestão anaeróbia reduz a emissão de metano na atmosfera, que é considerado um gás extremamente poluente, sendo responsável por cerca de 20% do aquecimento global no planeta (CENBIO, 2008). Outro aspecto que contribui com o aumento do interesse de adesão da tecnologia é a possibilidade de gerar receita através da venda de crédito de carbono proveniente do não lançamento de gases de efeito estufa na atmosfera (MONTEIRO et al., 2015). Portanto, o uso de biodigestores em propriedades rurais e consequente aproveitamento energético aliado a venda de créditos de carbono pode acrescer na renda de produtores rurais, promovendo maior sustentabilidade na produção animal e no equilíbrio ambiental.

Objetivos

Esta revisão bibliográfica visa elucidar o potencial de intensificação na renda de produtores rurais no estado do Maranhão, através da geração de biocombustível, biofertilizantes e créditos de carbono, a partir da implementação de biodigestores anaeróbios.



Cenário da Suinocultura no Maranhão e Impactos Socioambientais dos Resíduos

O Maranhão atualmente é o segundo maior produtor de suínos (536 mil cabeças) e ~78% desta produção está inserida no sistema de criação de subsistência. Sendo que a grande maioria das propriedades não apresentam nenhum tipo de tratamento dos resíduos da suinocultura antes de lançá-los no ambiente, e nenhuma motivação para mudar este cenário em um futuro próximo (ABCS, 2016). A produção de suínos gera grandes volumes de potencial poluidor, esses compostos podem causar vários danos ao meio ambiente como contaminação dos recursos hídricos, eutrofização e nitrificação do solo, diminuindo o potencial produtivo das áreas, e contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa. Os dejetos geralmente são compostos de urina, fezes, resíduos de ração, cerdas, poeira e material particulado, água dos bebedouros, limpeza e chuva. Normalmente, apresenta coloração escura, consistência pastosa, líquida ou sólida, e ficam concentrados em pequenas áreas, gerando grandes volumes de águas residuárias de grande potencial poluidor, se tratando de efluentes ricos em Sólidos Suspensos e Dissolvidos, Metais Pesados, Sais, Agentes Patogênicos, Matéria Orgânica, Nitrogênio (NH_3), Fósforo (P), Zinco (Zn) e Cobre (Cu). Um suíno produz em média 2,35 kg de efluente sólido por dia, e quando se considera o sólido associado ao líquido, esse número se eleva a 5,80 kg, fazendo com que sistemas intensivos de produção com alta densidade de animais torne-se uma atividade extremamente poluidora (BELI et al., 2010). Os dejetos são cerca de 260 vezes mais poluentes se comparados ao potencial poluente de esgotos domésticos (MARTINKOSKI et al., 2017). Apesar do potencial poluidor dessa água residuária, ela contém macro e micronutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e outros, que são essenciais e benéficos para o desenvolvimento dos vegetais. Esta característica viabiliza o uso dos dejetos na agricultura, após seu tratamento e estabilização, para reduzir o uso de adubos sintéticos (BOLZANI et al., 2012; EFFGEN, 2014). Além disso, os resíduos oriundos da suinocultura possuem um grande potencial de energia renovável, reduzindo a emissão de resíduos no ambiente, e aumentando a fonte de energias renováveis de baixo custo, tornando-se um tema de interesse em pesquisas recentes (WINCKLER et al., 2017). Dessa forma, o grande desafio da suinocultura consiste na definição de um sistema produtivo que seja capaz de harmonizar a continuidade das atividades com o uso racional dos recursos naturais e a preservação da qualidade ambiental nas regiões de maior vulnerabilidade (OLIVEIRA, 2004).

Biodigestor Anaeróbio: Produção de Biogás e Venda de Créditos de Carbono

As fontes de energia renováveis tem sido cada vez mais buscadas, em prol do aumento do uso de energias sustentáveis. Estas são capazes de gerar resultados positivo sem propriedades rurais, como o desenvolvimento de uma melhor gestão dos recursos naturais e financeiros, e redução de problemas ambientais e riscos à saúde humana (BARBOSA & LANGER, 2011). O biodigestor de resíduos suínos possui grande potencial de geração de energia renovável, visto que pode agrupar vários segmentos da pecuária sem interferir na produção, como a utilização de biomassa, que pode ser uma fonte de energia renovável capaz de mitigar o uso de energias não renováveis (BORGES et al., 2016). O uso de biodigestores para tratamento dos dejetos é uma das maneiras de destinar corretamente os resíduos da suinocultura. Estes processam a matéria orgânica, a transformando em biogás, ao serem alimentados pelos dejetos (MILELBRATZ & DOLZAN 2016). Portanto a biodigestão anaeróbia é o processo de decomposição da matéria orgânica residual, submetida a um ambiente de anaerobiose (ausência de oxigênio), gerando um composto constituído principalmente de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), também conhecido como BIOGÁS, e um resíduo líquido organicamente estabilizado rico em minerais e nutrientes benéficos para o desenvolvimento das culturas agrícolas, podendo ser utilizado como biofertilizantes (SANTOS, 2016). Desta forma, os biodigestores anaeróbios são um recurso que pode oferecer aos criadores de suínos a redução da poluição ambiental, bem como o abatimento de custos, visto que os dejetos são convertidos em biogás, que pode substituir outros tipos de combustíveis fósseis. Ademais, os biodigestores utilizados no tratamento de resíduos da suinocultura tem grande potencial para gerar créditos de carbono e renda para o pequeno produtor, pois possuem baixo custo de instalação, e diminui as altas concentrações de metano que são expostas na atmosfera. Projetos que envolvam a instalação de biodigestores em granjas suínas são de suma importância, pois contemplam os aspectos ambientais e econômicos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e são viáveis para as condições climáticas do Brasil, além de garantir um sistema de produção mais sustentável, e uma boa rentabilidade para os produtores (BERNSTORFF, 2009). Dentre os projetos que visem gerar créditos de carbono no Brasil, a suinocultura encontra-se num percentual de 21% do total dos projetos desenvolvidos, e a sua inovação está na possibilidade de tratamento dos resíduos gerados na atividade de produção (MONTEIRO et al., 2015). Sendo assim, o uso de biodigestores pode gerar renda adicional para pequenos produtores rurais, com a negociação dos créditos de carbono.

Referências Bibliográficas

ABPA. **Relatório Anual 2017**. 2017. Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em 07 jan. 2024.

Albuquerque, M. G., Sousa, S. S. O. D., Arruda, V. C. M. D., El-Deir, S. G Impactos socioambientais dos dejetos da pecuária no âmbito rural: uma revisão de literatura. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 15, n. 1, p. 517-529, 2022.

Bernstorff, C. **Créditos de carbono e mecanismo de desenvolvimento limpo - MDL: captura de metano no tratamento de dejetos suínos**. Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiental, Faculdade de Engenharia. Mestrado Profissionalizante em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2009



BSG. **Saiba como fazer o cálculo da produção de biogás.** BSG Equipamentos para Biogás. Area de Testes, 2018. Disponível em: <https://www.bgsequipamentos.com.br/calculo-da-producao-de-biogas/#:~:text=Exemplo%20de%20c%C3%A1lculo%20da%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20biog%C3%A1s&text=Eletricidade%20E2%80%93%2000%20x%2000%20C08,480%20kWh%20de%20energia%20el%C3%A9trica>. Acesso em: 12 de dez de 2023.

CENBIO. **Nota Técnica VIII: Biogás e o mercado de crédito de carbono.** São Paulo, 2008. Disponível em: http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/notatecnica_viii. Pdf. Acesso em: 10 de jan. de 2024.

Coldebella, A.; Souza, S. N. M.; Souza, J. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006.

Ito, M., Guimarães, D. D., Amaral, G. F. Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades. **BNDES Setorial**, n. 44, p. 125-156, set. 2016.

Lopes, C. R. M; Filho, N. R.A; Alves, M. I. R. A. Impactos ambientais e sociais causados por voláteis emanados por excretos de suínos. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 9, n. 17, p. 3556-3565, 2013.

Monteiro, M. K. D., Vieira, A. S., Aragão, J. M. C., & de Freitas Soares, J. Proposta de um modelo matemático para mensuração dos créditos de carbono da suinocultura brasileira. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 82, 2015.

Motteran, F.; Braga, J. K.; Sakamoto, I. K.; Varesche, M. B. A. Methanogenic potential of an anaerobic sludge in the presence of anionic and nonionic surfactants. **International Biodeterioration and Biodegradation**, 96, 198-204, 2014.

Oliver, A. D. P. M., Neto, A. A., Quadros, D. D., Valladares, R. E. Manual de treinamento em biodigestão. **Instituto de Estudos Del Hambre. Bahia**, v. 23, p. 93, 2008.

Rosa J. C. S., Sánchez L. E. Aspectos metodológicos da avaliação de impactos ambientais por meio de serviços ecossistêmicos. **Anais Eletrônicos do Congresso Brasileiro de Avaliação de Impactos**. 2012. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002323794>. Acesso em: 20 de jan de 2024.

USDA. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. **Livestock and poultry: World markets and trade.** United States Department of Agriculture. 2024. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Acesso em: 08 jan. 2024.



ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR LIXIVIADOS (ICL) DEL RELLENO SANITARIO DE ANDAHUAYLAS Y RELLENO SANITARIO DE ANCO-HUALLO, APURÍMAC, PERÚ - 2023

1Liliana Rodríguez Cardenas, 2David Choque Quispe, 3Yudith Choque Quispe, 4Aydee Marilu Solano Reynoso, 5Betsy Suri Ramos Pacheco

¹Universidad Nacional José María Arguedas, 1000820181@unajma.edu.pe; ²Universidad Nacional José María Arguedas, dchoque@unajma.edu.pe, ³Universidad Nacional José María Arguedas, ychoque@unajma.edu.pe, ⁴Universidad Nacional José María Arguedas, ayma_hotmail.com ⁵Universidad Nacional José María Arguedas, bsramos@unajma.edu.pe

Palabras Claves: Lixiviados, Índice de Contaminación por Lixiviado (ICL), relleno sanitario, biodegradabilidad.

Resumo

La descomposición de los residuos sólidos en los rellenos sanitarios depende de factores climáticos, geomorfológicos y antropogénicos. En este proceso, se generan lixiviados que pueden migrar de manera superficial y subterránea, contaminando suelos y acuíferos. Por ello, es crucial conocer el nivel de carga contaminante de estos lixiviados para una gestión adecuada de los residuos sólidos. Esta investigación tuvo como objetivo determinar el índice de contaminación por lixiviados (ICL) a través de los subíndices orgánico, inorgánico y de metales pesados, generados en rellenos sanitarios ubicados en zonas altoandinas. Se evaluaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos en muestras de lixiviados frescos y retenidos, tanto en temporada de estiaje como de lluvias, en dos rellenos sanitarios cercanos a los 3000 metros de altitud. La caracterización de los lixiviados reveló que los principales contribuyentes potenciales a la contaminación fueron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO), el amonio (NH3-N) y los coliformes totales. Se observó que los subíndices orgánico e inorgánico reportaron mayor incidencia en el ICL, cuyos valores indicaron una alta contaminación. Además, los rellenos sanitarios de las ciudades de Andahuaylas y Chincheros presentaron una buena a alta biodegradabilidad. Esta investigación destaca la importancia de monitorear y gestionar adecuadamente los lixiviados generados en rellenos sanitarios, especialmente en zonas altoandinas, con el fin de mitigar su impacto ambiental y proteger los recursos hídricos y el suelo.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA), al Laboratorio de Investigación de Materiales para el Tratamiento de aguas y Alimentos (LIMTA).



ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS RETIRADOS DE MANANCIAL URBANO, UTILIZANDO MACRÓFITAS AQUÁTICAS DA REPRESA GUARAPIRANGA COMO FERTILIZANTE

1Danilo Subira, 2Isabella Alves Membrine

1 SABESP, e-mail: dsubira@sabesp.com.br; 2 SABESP, e-mail: imembrine@sabesp.com.br

Palavras-chave: Sustentável, Resíduos orgânicos, Mananciais, biofertilizante

Resumo

Um dos grandes problemas relacionados a mananciais urbanos, é o grande aporte de nutrientes, advindos de fontes pontuais e/ou difusas, como derramamentos e esgoto não afastado, sendo que sua concentração pode acelerar a eutrofização artificial desses corpos d'água, causando entre outros efeitos potencialmente nocivos, grandes florações de cianobactérias, e também, a proliferação exponencial de macrófitas (plantas aquáticas de grande porte). Os efeitos desta proliferação descontrolada, pode gerar grandes problemas ao processo de captação da água bruta e seu tratamento, bloqueio de fluxo hidráulico, causando indisponibilidade hídrica e severos danos ao processo de tratamento de água, gerando impacto no saneamento, com desabastecimento público. Visando principalmente a garantia da segurança hídrica e prevenindo o desabastecimento dos consumidores, a Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo / SABESP, já atua nesses mananciais urbanos, removendo mecanicamente com apoio de equipes e embarcações específicas o excesso dessas macrófitas, no entanto, sua destinação se dá para aterros sanitários, em convênios de cooperação com as prefeituras locais. Estudando o caso da represa Guarapiranga na cidade de São Paulo, maior manancial urbano operado pela companhia, e um dos maiores nesse cenário no mundo, o volume desses resíduos orgânicos vegetais retirados atingem altos valores, por vezes passando de 20.000 toneladas por ano. Isso acaba gerando alto custo com transporte para destinação centralizada e impacto ambiental com grandes volumes em aterros inertes. Buscando uma alternativa mais sustentável, e ambientalmente favorável, buscou-se na literatura, a característica que essas macrófitas são, em sua maioria, grandes fontes de nutrientes como fósforo e potássio, componentes principais de fertilizantes, utilizados largamente na agricultura. A ideia deste trabalho visa a utilização dessas macrófitas como biofertilizante, essencialmente para hortas comunitárias, gerenciadas por ONGs ou representantes de comunidades da bacia deste manancial, com relativa proximidade com a represa, reduzindo sensivelmente custos com transporte, e contribuindo para implantação de uma prática sustentável, dando uma nova utilidade a resíduos orgânicos que causariam problemas operacionais, alinhando-se às metas ESG atuais da organização.

Objetivos

O objetivo do trabalho é dar uma destinação e utilização sustentável a resíduos orgânicos retirados da represa Guarapiranga, a fim de reduzir as restrições por obstrução das grades da captação e graves problemas operacionais decorrentes disso, além de desabastecimento público de mais de 4,5 milhões de pessoas da Região Metropolitana de São Paulo.

As macrófitas aquáticas que podem causar esses grandes problemas operacionais são também grandes fontes de nutrientes que podem ser reaproveitados de uma maneira economicamente viável, trazendo benefícios não somente para a operação deste manancial, mas também para o meio ambiente e as comunidades em seu entorno. O biofertilizante pode ser usado em substituição a adubos advindos da destilação do petróleo, sendo utilizada a técnica de compostagem para sua fabricação, que consiste em uma técnica simples de fabricação.

A ideia também se apresenta viável do ponto de vista logístico, visto que cronicamente são retiradas grandes quantidades desse material e que são encaminhadas a aterros pela prefeitura de São Paulo. O custo com transporte seria muito reduzido devido a menor distância de destino, e recebimento descentralizado. A possibilidade de propiciar fertilizantes eficientes obtidos por uma técnica simples e sustentável e receber essa matéria prima sem custos aos pequenos produtores locais, também torna esse modelo de gestão e destinação dos resíduos muito atrativo, para a companhia e seus novos stakeholders.

Desenvolvimento

A implantação da solução proposta consiste, sumariamente, em estabelecer acordos de cooperação com as entidades de características comunitárias que possuam produção agrícola, ou demais pequenos produtores regionais da bacia da represa Guarapiranga em São Paulo e municípios circunvizinhos, interessados na produção de biofertilizante para ser utilizados em suas produções, através de compostagem, já que a maioria destas, através de pesquisas regionais, já possuem estrutura com pequena ou média capacidade de produção de fertilizante.

A técnica de compostagem consiste em agitar uma mistura de água e macrófitas por um prazo determinado para que seja possível a obtenção do fertilizante líquido extraído da mistura. Também é possível utilizar a parte sólida como adubo.

Devido a simplicidade da técnica, poderá ser realizada pelas próprias entidades, sem custos relevantes com material ou equipamentos, esse biofertilizante seria destinado a otimização de sua produção.

O transporte descentralizado por sua vez, com destinação próxima a área de transbordo, onde esse material é retirado do espelho d'água e acomodado em área terrestre, contribui para menor impacto em tráfego pesado na cidade, reduzindo OPEX e trazendo mais um aspecto ambiental positivo com a redução de emissões de gases poluentes.



Figura 1 - Tabela com imagens da remoção das macrófitas aquáticas embarcada, com predominância de espécies como *Salvinias* (*Salvinia natans*), e aguapés (*Eichhornia crassipes*), ambas com alta capacidade de absorção de nutrientes, vide referências bibliográficas no final.

Resultados

A Sabesp, produz água para cerca de 22 milhões de habitantes na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. Isto corresponde ao abastecimento público de aproximadamente 10% da população brasileira, sendo praticamente toda esta produção oriunda de mananciais superficiais. Estes mananciais são, em muitos casos, urbanos, com grande ocupação em seu entorno. Assim, proteger o sistema produtor Guarapiranga, segundo maior da Sabesp, que abastece cerca de 4,5 milhões de pessoas, traz uma relevância substancial em escala e importância deste trabalho.

A meta desse projeto é atingir o 100% do volume retirado de resíduos orgânicos deste importante manancial, que possui variação sazonal de florações (varia do período chuvoso para o seco anualmente), mas que como uma média conservadora, seria em torno de 1.500m³/mês de macrófitas, beneficiando-as em biofertilizante conforme descrito anteriormente.

Sendo este um dos principais indicadores do projeto, além da sua eficiência frente ao modelo atual, com a redução quantificada do transporte (tonelada por km).

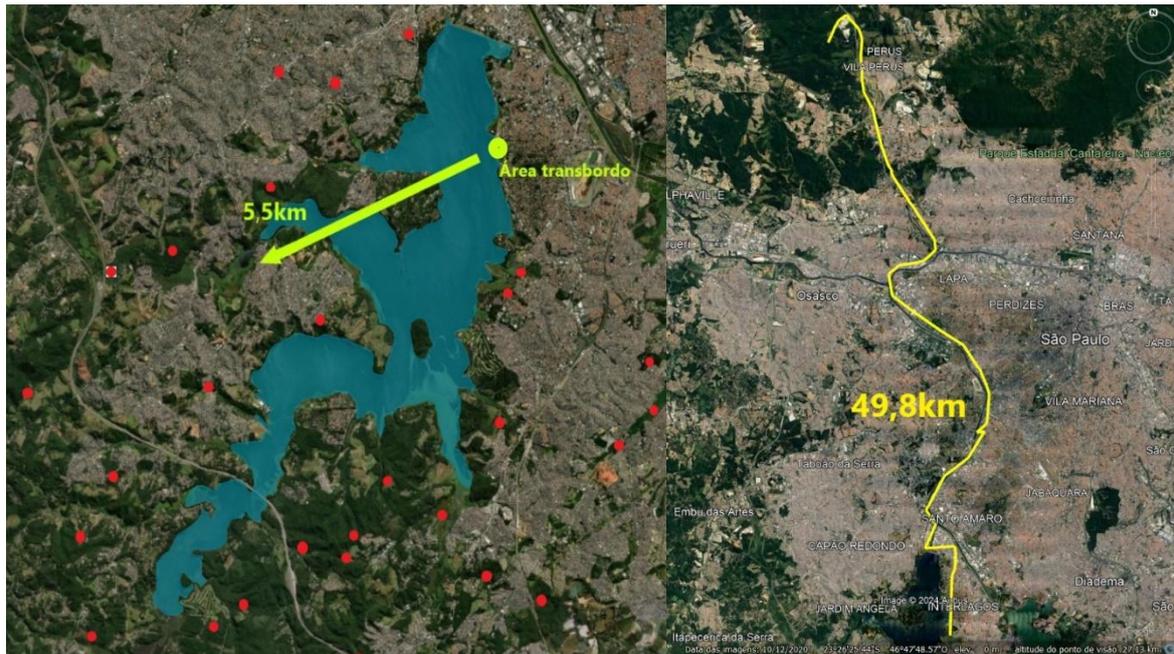


Figura 2 - Mapa à esquerda com pontos já estudados aptos a receber os resíduos orgânicos (em vermelho), e distância média até esses pontos receptores. À direita distância atual do transbordo ao aterro sanitário.

Conforme ilustra-se na figura 1, a redução com transporte chega a quase 90%, com a redução de distância da área de transbordo, que centraliza os resíduos orgânico retirados da represa, até o atual aterro sanitário atual que pode receber este tipo de material, quando comparado ao modelo sugerido, que envia-se até os pequenos produtores locais, uma redução de 49,8km para 5,5km (média de distância dos potenciais receptores). Assim, como indicadores teríamos: 1- Total de macrófitas (em m³) beneficiadas em biofertilizante; 2- Custo para transporte (km/tonelada).

Um limitador/complicativo para este modelo, seria a incapacidade parcial ou momentânea de recebimento dos resíduos por alguns desses produtores, que poderia impactar na redução de beneficiamento do material. Este risco seria controlado com a alternativa de destinação contingencial para aterro, para possibilitar a recuperação e viabilidade da cadeia produtora novamente.

O ESG será aplicado de forma ativa, transformando material com descarte oneroso em biofertilizantes usados para hortas comunitárias com técnicas sustentáveis. Também o impacto ambiental positivo pela drástica redução de demanda por transporte em longas distâncias. Como benefícios intangíveis, causará impacto positivo como ação proativa e sustentável na organização. Será estabelecido um melhor relacionamento com entidades e comunidades da região, trazendo e fomentando uma conscientização socioambiental consolidada, agregando valor a companhia com o reconhecimento de prática socioambiental.

Conclusões

Diante do exposto, a proposta da nova ferramenta para otimização dos serviços prestados, além do saneamento “básico”, mas uma abordagem mais abrangente de seu papel como empresa de serviço ambiental, mantém não apenas uma atividade para preservação do abastecimento público de água, mas uma prática exemplar de melhor destinação possível de seus resíduos gerados, minimizando seu impacto no ambiente, e agregando valor não apenas à organização, mas a toda uma cadeia produtiva de comunidades próximas, redução de custos operacionais, modernizando processos e alinhando-se cada vez mais com sua agenda de ESG.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Sabesp, e a Prefeitura Municipal de São Paulo pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Martins Pompêo, Marcelo Luiz; Moschfaceini, Viviane. 2003. Macrófitas Aquáticas e Perifíton - Aspectos Ecológicos e Metodológicos.

Adams, H., Buerkens, F., Cottrell, A., Reeder, S. & Southard, M. 2018 Use an integrated approach to monitor algal blooms. *Opflow* 44 (12), 20. <https://doi.org/10.1002/opfl.1113>;

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na represa de Itaipu. In: HENRY, R. (Ed.). *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu: FUNDIBIO; São Paulo: FAPESP, 1999. cap. 20, p. 597-626.

DELARIVA, R. L.; AGOSTINHO, A. A.; NAKATANI, K.; BAUMGARTNER, G. Ichthyofauna associated to aquatic macrophytes in the upper Paraná River floodplain. *Revista UNIMAR*, Maringá, v. 16, suplemento 3, p. 41-60, 1994.



DESAFIOS DA PARTICIPAÇÃO CIVIL NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM MOÇAMBIQUE: UMA REVISÃO

1Taniça Mazoio, 2Joyce Kelly Figueiredo, 3Iêda Hortêncio, 4Maria Melo, 5Jose Camilo Ramos de Souza

1Universidade do Estado do Amazonas e-mail: tmm.mgr23@uea.edu.br; 2Universidade do Estado do Amazonas, e-mail: jkdsf.mgr23@uea.edu.br; 3Universidade do Estado do Amazonas, e-mail: ibatista@uea.edu.br; 4Universidade do Estado do Amazonas, e-mail: mgmelo@uea.edu.br; 5Universidade do Estado do Amazonas, e-mail: jramos@uea.edu.br.

Palavras-chave: Gestão; Participação; Recursos Hídricos.

Resumo

Moçambique possui 13 bacias hidrográficas principais, no entanto é um país a jusante que partilha 9 das 15 bacias hidrográficas internacionais da região da África Austral. A gestão de recursos hídricos em Moçambique tem como base a Lei de Águas no 16/91 de 3 de agosto, que estabelece que esta gestão deve ser descentralizada e integrada (DNGRH, 2017). Segundo Milhano (2008) fala que:

África Austral tem sido vítima, nas últimas décadas, de vários anos secos, o que revelou, com efeitos brutais sobre a população, a grande fragilidade do seu ecossistema. Não é tanto a fraqueza das precipitações que constitui o principal problema, mas fundamentalmente a sua distribuição irregular e os efeitos por ela induzidos a aridez dos ventos dominantes, associado à sobre exploração imprudente do meio pelo homem.

Para o alcance dos objetivos de gestão integrada de recursos hídricos é necessário também garantir a sua governança efetiva. Não existe um modelo único prescrito para uma boa governança da água, para que esta seja efetiva, deverá abordar corretamente as dinâmicas sociais, econômicas e culturais de cada país devendo tomar em conta alguns princípios universais tais como inclusão, comunicabilidade, coerência, integridade, equidade, ética, eficiência, responsabilidade, sustentabilidade e com mecanismos claros de prestação de contas (DNGRH, 2017).

A descentralização na gestão de recursos hídricos instituída pela Lei de Águas no 16/91 de 3 de Agosto, é operacionalizada através da criação das Administrações Regionais de Água (ARAs), que tem como principal função executar a gestão de recursos hídricos a nível das regiões hidrográficas, as ARAs também são responsáveis por garantir a participação da sociedade civil na gestão de recursos hídricos, esta participação seria realizada por meio dos comitês de bacia hidrográfica que seria criado para cada bacia hidrográfica, estes comitês de bacia seriam constituídos pelas unidades de gestão de bacia hidrográfica como forma de garantir que decisões práticas são tomadas a um nível mais próximo aos utentes da água, apoiados pelo fórum dos utentes e comunidades locais (Comitês de Bacia).

A participação da sociedade civil constitui elemento fundamental para que haja efetivamente uma gestão participativa de águas no país, uma vez que tem que se articular com o primeiro setor e outros agentes económicos em torno de seus interesses. Agindo em consonância com poder público e o restante dos usuários das águas, a participação social revela-se como importante ponto de análise de como se dá a governança dos recursos hídricos (Moura, 2013).

Nesta vertente, esta pesquisa tem por objetivo descrever os principais desafios da participação civil na gestão de recursos hídricos em Moçambique, de modo a que estes desafios sejam conhecidos para possibilitar a tomada de decisão na melhoria da participação civil na gestão de recursos hídricos em Moçambique.

Moçambique localiza-se na Costa Oriental de África, possui uma área de 799.380 km², dos quais 13.000 km² são de águas interiores, que se estende entre os Rios Rovuma e Maputo (CESO, 2011).

O quadro legal e institucional do setor de recursos hídricos em Moçambique tomou forma com a aprovação da Lei de Águas (Lei 16/91 de 3 de agosto). Na parte legal, a lei define o domínio público hídrico do Estado e a política geral da sua gestão, regime jurídico geral das atividades de proteção e conservação, inventário, uso e aproveitamento, controle e fiscalização dos recursos hídricos e as competências atribuídas ao Governo em relação ao domínio público hídrico. Em 1995 o Governo aprovou a Política Nacional de Águas (Resolução 7/95) que foi revogada em 2007 devido a revisões efetuadas e foi aprovada a Resolução 46/2007 também revogada em 2016 devido a necessidade de ajustar o quadro normativo do Sector de Águas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, sendo aprovada a Resolução 42/2016 em vigor atualmente.

Na componente institucional, o Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos (MOPHRH) é o órgão do Estado responsável pela implementação das políticas do Governo relativas à gestão de recursos hídricos, com o recurso ao Conselho Nacional de Águas. Uma das principais reformas institucionais propostas pela Lei de Águas foi a descentralização da gestão operacional dos recursos hídricos para níveis regional e local. A gestão operacional dos recursos hídricos é realizada pelas Administrações Regionais de Águas (ARAs) organizadas em bacias hidrográficas e fundamentalmente vocacionadas para a administração dos recursos hídricos das suas regiões. Existem cinco ARAs (Norte, Centro-Norte, Zambeze, Centro e Sul), 13 Unidades de Gestão de Bacias e 11 Comitês de Bacias já estabelecidos.

A questão da gestão participativa dos bens públicos ocupa as comunidades e o poder público em contextos democráticos, buscam formas de traçar políticas públicas de gestão inclusiva que prevê a participação dos atores como sujeitos da ação. Com isso se apresentam novas demandas quanto à participação e à mobilização social dos públicos, bem como formas inovadoras de comunicação e relacionamento entre as organizações públicas e as comunidades (Zavale, 2013).



Em Moçambique os principais desafios da participação civil na gestão de recursos hídricos estão diretamente relacionados a implementação efetiva da gestão descentralizada de recursos hídricos, uma vez que a participação civil depende do funcionamento efetivo dos comitês de bacia. As Administrações Regionais de Água (ARAs) desempenham um papel crucial no processo de descentralização da gestão dos recursos hídricos, porém elas têm mostrado uma lentidão na criação de instituições e mecanismos facilitadores, tais como comitês de bacias, registro de usuários, planos de bacias e entre outros (Albino, 2012), sem que haja criação dos comitês e sem que se garanta o seu funcionamento efetivo a participação civil na gestão de recursos hídricos enfrentará ainda muitos desafios.

Para Silva (2014) a mudança para uma governança participativa e descentralizada é aparente apenas no papel e como resultado, as intervenções não reconhecem e nem apoiam os processos inovadores que acontecem localmente, não se pode esperar que os países do Sul global, muitas vezes com uma breve história de independência, adotem valores democráticos e um sistema participativo e descentralizado de gestão da água que empodere atores historicamente excluídos dos processos de tomada de decisão, simplesmente por meio de reformas legislativas. Por sua vez observa-se, ainda, muitas deficiências no processo de participação, que vão da sensibilização e mobilização dos atores sociais, à escolha de representantes e à participação dos mesmos nos espaços consultivos (Duarte, et al., 2011).

Moçambique é um país que tenta estruturar a gestão de recursos hídricos desde a criação da Lei das Águas, 16/91 de 3 de agosto. Os principais desafios da participação civil são relacionados a não existência dos comitês e a existência de lacunas no funcionamento deles.

Durante a constituição dos comitês de gestão das bacias hidrográficas enfrenta-se desafios relacionadas a falta de interesse da sociedade civil em integrar os comitês. Existem também desafios relacionados a estrutura governamental do país.

O déficit na disseminação da informação sobre a gestão de recursos hídricos no país é um dos fatores que faz com que a sociedade civil no geral não desenvolva interesse e não participe ativamente em questões relacionadas a gestão de recursos hídricos.

Portanto é de extrema importância que haja de fato a participação civil para a gestão dos Recursos hídricos que vem sendo viabilizado por meio dos comitês.

Agradecimentos

O Presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior-CAPES- Código de Financiamento 001, do Programa de Mestrado Profissional, em Rede Nacional, em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos- ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N.º.2717/2015. Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas-FAPEAM, pelo apoio financeiro em forma de bolsa, concedido à autora Taniça Mazoio.

Referências

Albino, A. J. (2012). Bases Geoambientais Para A Gestão Da Bacia Hidrográfica Do Rio Umbeluzi-Moçambique. Rio De Janeiro: Universidade Federal Do Rio De Janeiro.

CESO. (2011). Manual do Empreendedor_Versão2011: Moçambique. Lisboa: CESO CI Portugal.

DNGRH-Direção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos. (2017). Plano de Ação do Sector de Águas para a Implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2015-2030. Maputo: Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos.

Duarte, L., Vasconcelos, L., Viegas, B., Valarie, P., Cuamba, B., Casimiro, I., . . . Olímpio, M. (2011). Gestão Das Águas e Participação Pública: estratégias nas políticas de recursos hídricos do Brasil, Portugal e Moçambique a partir do modelo francês.

Milhano, Ana Paula Ferreira Ribeiro da Costa - Gestão dos recursos hídricos em Moçambique: Gaza - rio Limpopo [em linha]. Lisboa: ISCTE, 2008. Tese de mestrado. [Consult.11.08.2023] disponível em: [www:<http://hdl.handle.net/10071/1376>](http://hdl.handle.net/10071/1376).

Moura, Lo. V. (2013). Gestão Participativa De Recursos Hídricos: Sociedade Civil E Governança. Bento Goncalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

República de Moçambique. Lei No 16/91 de3 de agosto de 1991. Lei das Águas. Assembleia da República. Maputo, 1991.

República de Moçambique. Resolução No 7/95 de 8 de agosto de 1995. Aprova a Política Nacional de Águas. Assembleia da República. Maputo, 1995.

República de Moçambique. Resolução No 46/2007 de 30 de outubro de 2007. Revoga a Resolução No 7/95 que aprova a Política Nacional de Águas. Assembleia da República. Maputo, 2007.

República de Moçambique. Resolução No 42/2016 de 21 de dezembro de 2016. Revoga a Resolução No 46/2007 que aprova a revisão da Política Nacional de Águas. Assembleia da República. Maputo, 2016.

Silva, T. d. (2014). Desafios E Oportunidades Para A Governança Inovadora Das Águas: O Caso De Grande Maputo.

Zavale, A. D. (2013). Comunicação e mobilização social na gestão compartilhada de bens públicos: estudo de caso sobre a empresa águas da região de Maputo. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.



PERFIL DE SENSIBILIDADE DE ISOLADOS DE *ESCHERICHIA COLI* OBTIDOS DE EFLUENTE TRATADO PROVENIENTE DE AGROINDÚSTRIA DE PISCICULTURA

1Aline Cristina Paulino dos Anjos, 2Lara Auana da Rosa, 3Fabrício Eduardo Migliorini, 4Mario Elias Carvalho do Nascimento, 5Lilian Cristiane Baeza, 6Graziela Braun, 7Ralpho Rinaldo dos Reis

1 Universidade Estadual do Oeste do Paraná, e-mail: alinecristinadosanjos@gmail.com; 2 Universidade Estadual do Oeste do Paraná, e-mail: laraauanarosa@gmail.com; 3 Universidade Estadual do Oeste do Paraná, e-mail: fabricio.migliorini@unioeste.br; 4 Universidade Estadual do Oeste do Paraná, e-mail: mario.nascimento@unioeste.br; 5 Universidade Estadual do Oeste do Paraná, e-mail: lilianbaeza@gmail.com.; 6 Universidade Estadual do Oeste do Paraná, e-mail: grazibraun@yahoo.com.br; 7 Universidade Estadual do Oeste do Paraná, e-mail: ralpho.reis@gmail.com.

Palavras-chave: resistência bacteriana; antimicrobianos; parâmetros físicos e químicos da água.

Introdução

Os micropoluentes têm despertado uma preocupação global devido aos seus impactos em ambientes aquáticos e terrestres. A depender da sua constituição podem apresentar características de degradação, persistência, toxicidade e bioacumulação ambiental. Entre os micropoluentes industriais, os antimicrobianos têm se destacado devido à resistência bacteriana e seus impactos sobre o meio ambiente (EBELE, ABDALLAH E HARRAD, 2017; WYDRO *et al.*, 2024). A aquicultura, devido ao seu rápido crescimento econômico, pode contribuir significativamente para a disseminação de bactérias resistentes no ambiente. A piscicultura, um dos ramos da aquicultura, tem progredido em seus processos de produção, propiciando a criação de animais para abate em escala industrial (FEIDEN *et al.*, 2022). O uso crescente de antimicrobianos acelera o surgimento de bactérias resistentes, exigindo um monitoramento após o ciclo da cadeia produtiva (ISRAEL E MATOS, 2023; RODRÍGUEZ E QUICENO, 2023). O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina, através de suas resoluções, condições e padrões de qualidade para alguns parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nas águas residuárias que passaram por tratamento, entretanto há ainda muitas lacunas em diversos parâmetros necessários ao monitoramento (PIRES *et al.*, 2013; BONIFÁCIO E NÓBREGA, 2021). O objetivo deste trabalho foi analisar diferentes parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de um efluente tratado proveniente de uma agroindústria. Uma vez que o uso de antimicrobianos na criação animal, tanto como promotores de crescimento quanto na profilaxia, podem interferir na microbiota dos indivíduos, selecionando bactérias resistentes e ocasionando riscos à saúde humana, este estudo também avaliou o perfil de sensibilidade de isolados de *Escherichia coli*, uma bactéria Gram-negativa presente na microbiota intestinal de diferentes espécies de animais, incluindo o homem.

Metodologia

A coleta do efluente tratado foi realizada no mês de junho de 2023 em uma indústria de abate de peixes do estado do Paraná, que apresenta sistema de tratamento por lodo ativado. A amostra foi coletada conforme preconizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2011), com auxílio de um coletor de inox com braço retrátil, que permitiu alcançar pontos de coleta de difícil acesso. Para as análises microbiológicas foram coletados 500 mililitros (mL) de amostra em frasco estéril, conforme recomendado por Hirsch *et al.* (2006). Para as análises físico-químicas, o volume total coletado em frascos estéreis foi de 15 litros de água residuária. Após a coleta, as amostras foram preservadas em gelo (6 °C) e transportadas até o laboratório dentro de um período de 3 a 6 horas (HOA *et al.*, 2011; APHA, 2017). Os parâmetros físico-químicos avaliados foram: pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, dureza, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, resíduos sedimentáveis, resíduos totais, resíduos totais fixos e voláteis, resíduos suspensos, resíduos suspensos fixos e voláteis, resíduos dissolvidos, resíduos dissolvidos fixos e voláteis, fenóis totais, óleos e graxas, cloreto e metais pesados (ferro, cobre, cromo, níquel, zinco, chumbo e cádmio). Para a pesquisa de coliformes, 10 mL de amostra foram inoculados em dez tubos contendo 10 mL de caldo lauril triptose (CLT) duas vezes concentrado e, posteriormente, incubados a 35 °C por 24 horas. A turvação do meio com produção de gás foi indicativo do crescimento de coliformes totais. Para a pesquisa de bactérias termotolerantes, uma alçada do CLT positivo para coliformes totais foi inoculada em caldo *Escherichia coli* (EC) com 4-Metilumbeliferil- β -D-Glicuronídeo (MUG) e incubada em banho maria a 44 °C por 24 horas. As espécies bacterianas *E. coli* e *Enterobacter aerogenes* foram utilizadas como controles de crescimento positivo e negativo, respectivamente. Dos tubos em que foram observados crescimento e produção de gás, uma alçada foi semeada em placas de Petri contendo o ágar Violeta Vermelho Bile (Violet Red Bile - VRB), para isolamento e caracterização de colônias (APHA, 2017). A identificação dos isolados bacterianos foi realizada através de uma triagem bioquímica utilizando os meios: Triple Sugar Iron (TSI), Motilidade Indol Ornitina (MIO), caldo lisina, ágar fenilalanina, citrato de Simmons e fermentação da ramnose. Quando necessário, testes complementares foram realizados. Conforme os resultados, chaves de identificação e sítios da internet gratuitos (ABIS *online* e Microrao) foram utilizados na identificação das espécies. A sensibilidade dos isolados bacterianos foi avaliada por disco-difusão em ágar Müeller Hinton, de acordo com o *Brazilian Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing* - BrCast (2023). Os discos com antimicrobianos utilizados foram de amicacina (30 µg), aztreonam (30



µg), ácido nalidíxico (30 µg), amoxicilina+ácido clavulânico (20+10 µg), cefepima (30 µg), cefoxitina (30 µg), cefotaxima (5 µg), ceftazidima (10 µg), ceftriaxona (30 µg), ciprofloxacino (5 µg), ertapenem (10 µg), gentamicina (10 µg), imipenem (10 µg), meropenem (10 µg) e sulfametoxazol+trimetoprima (23,75+1,25 µg).

Resultados

Dentre os parâmetros físicos e químicos avaliados no efluente tratado, a turbidez (105,8 Unidades Nefelométricas de Turbidez - UNT), a condutividade elétrica (652,5 micro Siemens/cm), as dosagens de fósforo (11,81 mg/L) e níquel (2,5484 mg/L) estavam acima dos limites exigidos pela legislação e o Ministério da Saúde. Quanto a análise microbiológica, o efluente apresentou uma alta quantidade de coliformes totais e termotolerantes (> 0,23 Número Mais Provável/100 mL). Dos 31 isolados bacterianos obtidos, 17 foram identificados como *Escherichia coli*. Estes isolados apresentaram uma maior resistência aos aminoglicosídeos amicacina (88,2%) e gentamicina (82,4%). Também foi observado resistência ao imipenem (58,8%), ertapenem e ceftriaxona (41,2%), ciprofloxacino, cefoxitina e cefepima (35,3%), ceftazidima (29,4%), ácido nalidíxico (23,5%), aztreonam e amoxicilina (17,6%), cefotaxima e meropenem (5,9%). Todos os isolados de *E. coli* foram sensíveis a associação de sulfametoxazol e trimetoprima.

Discussão

O limite de turbidez para águas de classe 2 é de 100 UNT (BRASIL,2005), enquanto a condutividade elétrica não possui um limite determinado pela legislação vigente. As águas não poluídas costumam apresentar condutividade elétrica entre 10 e 100 µS/cm e ambientes poluídos por esgotos domésticos e industriais podem apresentar valores de até 1000 µS/cm (BRASIL, 2006). De acordo com o APHA (2017), o limite de fósforo em águas residuais é de 0,228 mg/L. A quantidade de fósforo em uma amostra está relacionada com a sua solubilidade e formas presentes (orgânica e inorgânica) (MENEGAZ *et al.*, 2011). Já para o níquel, o limite recomendado pelo CONAMA (BRASIL, 2005) em efluentes é de 2,0 mg/L. Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2006), os efeitos dos metais pesados sobre a biota aquática e sobre os seres humanos são bastante variados. Curiosamente, alguns desses metais, como o níquel, são essenciais ao metabolismo humano, devendo ser ingeridos em teores mínimos (chamados concentrações-traço) por meio de alimentos ou da água potável. No entanto, a partir de determinadas concentrações, este e outros metais pesados passam a ser altamente tóxicos, trazendo graves prejuízos à comunidade aquática e às pessoas e animais que se utilizam de águas contaminadas. Quanto a detecção de resistência aos antimicrobianos, um estudo realizado no Sul da África por Mbanga *et al.* (2021) revelou a presença de isolados multi-resistentes de *E. coli* em águas residuais. Delgado-Blas *et al.* (2021) também observaram um alto nível de resistência aos aminoglicosídeos em isolados de *E.coli* obtidos de águas residuárias e ambientes de rios. Em um estudo realizado na cidade de Córdoba, Argentina, Amé *et al.* (2023) analisaram amostras de água do rio Suquia e detectaram a presença de diversos antimicrobianos utilizados na aquicultura, como sulfonamidas, tetraciclina, ofloxacino, eritromicina e roxitromicina. A presença de antimicrobianos também foi detectada em amostras de peixes para consumo humano. Todos estes estudos corroboram os resultados de resistência bacteriana encontrados na amostra de efluente analisada.

Conclusão

E. coli presente em amostras de efluentes tratados vem apresentando resistência a diversas classes de antimicrobianos utilizadas na criação animal como promotores de crescimento ou na profilaxia de infecções. Isso evidencia uma necessidade de melhoramento nos tratamentos de efluentes industriais, associado a uma legislação mais rigorosa, a fim de se evitar a disseminação da resistência bacteriana.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Estadual do Oeste do Paraná pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Amé, M. V.; Bertrand, L.; Valdés, María E. 2023. “Antibióticos ¿contaminantes de preocupación emergente en córdoba?”, en Revista Bitácora Digital. Córdoba, Argentina, v. 10, n.14, p. 91 - 98.

APHA-American Public Health Association.2017. American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, D.C, p.1796.

Brasil. 2005. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 10 de out.2022.

Brasil. 2006. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília, p.212.



- Bonifácio, C. M, Nóbrega, M. T. 2021. Parâmetros de qualidade da água no monitoramento ambiental. *In*. Recursos hídricos: gestão, planejamento e técnicas em pesquisa. Guarujá, SP. p.208.
- BRCast- Brazilian committee on antimicrobial susceptibility testing. 2023. Método de Disco-Difusão para Teste de Sensibilidade aos Antimicrobianos. Versão 13, março de 2023 do EUCAST. Online, p.1-24.
- CETESB-Companhia ambiental do estado de São Paulo.2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB, p.327.
- Delgado-Blas, J. F., Ovejero, C. M., David, S., Montero, N., Calero-Caceres, W., Garcillan-Barcia, M. P., & Gonzalez-Zorn, B. 2021. Population genomics and antimicrobial resistance dynamics of *Escherichia coli* in wastewater and river environments. *Communications Biology*, v.4, n.1, p.457.
- Ebele, A. J., Abdallah, M. A. E., & Harrad, S. 2017. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging contaminants*, v.3, n.1, p.1-16.
- Feiden, A., Macedo, H. R., de Vargas, J. M., Chidichima, A. C., da Silva Lira, K. C., Pires, G. K. G., & Signor, A. 2022. Produção e rendimento industrial de entrepostos de pescado de pequeno porte do oeste do Paraná. *Research, Society and Development*, v.11, n.11, p. e426111133673-e426111133673.
- Hirsch, D., Pereira Júnior, D. J., Logato, P. V. R., Piccoli, R. H., & Figueiredo, H. C. P. 2006. Identificação e resistência a antimicrobianos de espécies de *Aeromonas* Móveis isoladas de peixes e ambientes aquáticos. *Ciência e Agrotecnologia*, v.30, n.6, p. 1211-1217.
- Hoa, P. T. P., Managaki, S., Nakada, N., Takada, H., Shimizu, A., ANH, D. H., & Suzuki, S. 2011. Antibiotic contamination and occurrence of antibiotic-resistant bacteria in aquatic environments of northern Vietnam. *Science of the Total Environment*, v. 409, n.5, p.2894-2901.
- Israel, L. G., & de Matos, M. R.2023.O uso de antibióticos na piscicultura. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v.9, n.8, p.2758-2773.
- Mbanga, J., Amoako, D. G., Abia, A. L., Allam, M., Ismail, A., & Essack, S. Y. 2021. Genomic insights of multidrug-resistant *Escherichia coli* from wastewater sources and their association with clinical pathogens in South Africa. *Frontiers in Veterinary Science*, v.8, p.636715.
- Menegaz, R. C. 2011. Remoção físico-química do fósforo por floco-sedimentação aplicado ao pós-tratamento de efluente de abatedouro avícola. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v.13, n.2, p.230-255.
- Pires, E. C., Damianovic, M. H. R. Z., & Del Nery, V. 2013. Tratamento de águas residuárias industriais. *In*: Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, p.787.
- Rodríguez, E. A., & Jiménez-Quiceno, J. N. 2023. Resistencia bacteriana a antibióticos en ambientes acuáticos: origen e implicaciones para la salud pública. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, v.41, n.3, p1-12.
- Wydro, U., Wołejko, E., Luarasi, L., Puto, K., Tarasevičienė, Ž., & Jabłońska-Trypuć, A. 2023. A Review on Pharmaceuticals and Personal Care Products Residues in the Aquatic Environment and Possibilities for Their Remediation. *Sustainability*, v.16, n.1, p.1-38.



ANÁLISE DO TEOR DE AGROQUÍMICOS NAS ÁGUAS DO RIO LONQUEADOR, PARANÁ-BRASIL

1Clisley Marielly Ribeiro Lameira, 2Patrícia Aline Bressiani, 1Juan Carlos Pokrywiecki, 3Ana Carolina Pires Moreira, 1Fernando Cesar Manosso, 4Igor Vivian de Almeida, 1Ticiane Sauer Pokrywiecki, 1Elisângela Düsman
1Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, e-mail: clis.mary602@gmail.com; juan@utfpr.edu.br; fmanosso@utfpr.edu.br; ticiane@utfpr.edu.br; edusman@utfpr.edu.br. 2Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, e-mail: patriciaalinebressiani@gmail.com. 3Companhia de Saneamento do Paraná, e-mail: anacarolinapm@sanepar.com.br. 4Universidade Federal Rural da Amazônia, e-mail: igor.almeida@ufr.edu.br.

Palavras-chave: Rio Lonqueador; Recursos Hídricos; Poluição.

Resumo

O presente trabalho quantificou a presença de agroquímicos na nascente e na foz do Rio Lonqueador, Paraná-Brasil, na baixa vazão do rio. O inseticida malationa foi identificado nas amostras de água do rio, causando uma preocupação por seus possíveis efeitos maléficos. Desta forma, o estudo destaca a necessidade de monitoramento contínuo, para proteger os recursos hídricos, garantindo sua qualidade para os diferentes usos.

Introdução

O aumento populacional, a rápida industrialização do país e o uso incorreto de técnicas agrícolas resultam na criação de fontes de poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e, sua gestão e gerenciamento ainda apresentam vários desafios (ZIMMERMANN, et al. 2016; DORNELA et al., 2023).

O Brasil destaca-se como um dos principais produtores agropecuários mundial, sendo o segundo maior exportador desses produtos e desempenhando um papel crucial na economia local. Para manter essa produção, o setor agropecuário faz uso intensivo de insumos químicos, como fertilizantes e agroquímicos. A aplicação desses agentes tóxicos por meio de pulverização não se restringe apenas ao combate de "pragas" nas plantas, alcançando também matrizes ambientais como solo, águas superficiais, ar, chuva e alimentos (PIGNATI, 2017).

A microbacia do Rio Lonqueador, que possui sua nascente no município de Marmeleiro-Paraná-Brasil e foz no município de Francisco Beltrão-Paraná-Brasil, desaguando no Rio Marrecas, apresenta inúmeras atividades (agricultura, serviços automotivos, como acessórios de veículos, postos de combustível, lavagem de carros, distribuição de combustíveis, além de residências e indústrias) que sugerem uma elevada probabilidade de perturbação ambiental (ALVES NETTO, 2019). Assim, dada a complexidade geográfica da região em análise, a compreensão da qualidade das águas do rio Lonqueador se mostra fundamental para uma gestão hídrica e ambiental eficaz, especialmente em um contexto global de crescente degradação dos recursos hídricos. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi quantificar a presença de agroquímicos na nascente e na foz do Rio Lonqueador.

Materiais e métodos

A coleta das águas foi realizada em dois pontos do Rio Lonqueador: na sua nascente no município de Marmeleiro-Paraná-Brasil (26° 8'25.66"S; 53° 3'8.04"O), e a sua foz, no município de Francisco Beltrão-Paraná-Brasil, antes do desague no Rio Marrecas (26° 4'6.98"S; 53° 2'49.15"O).

A quantificação da presença de multirresíduos de agroquímicos nas amostras de água foi realizada pela Companhia de Saneamento do Paraná. Na Universidade Tecnológica Federal do Paraná foi realizada a identificação e quantificação do agroquímico 2,4D, conforme metodologia proposta por Bressiani et al. (2022). Para o preparo das amostras de água foram utilizados cartuchos C18 (Bekerbond Spe Octadecyl - 500 mg 6 mL⁻¹) em sistema de extração a vácuo. As amostras foram filtradas à vácuo com membrana PVDF de 0,22 µm. As etapas do procedimento da extração em fase sólida (EFS) foram o condicionamento dos cartuchos, a adição da amostra, lavagem do cartucho e eluição do analito. A análise para detecção e quantificação do agroquímico 2,4D foi realizada pela técnica de cromatografia líquida de alta eficiência com detector UV-Vis (UltiMate 3000 da Thermo Scientific) e coluna C18 (4,6 x 250mm, 5 µm). A fase móvel foi composta por uma solução de metanol e água acidificada (pH = 2,5) com 0,10% de ácido fosfórico (70:30), com eluição isocrática e no fluxo de 1,2 mL min⁻¹. O volume de injeção da amostra foi de 20 µL e comprimento de onda de 230 nm.

Resultados e discussões

Foram avaliados 30 agroquímicos nas amostras de água (Alaclor, Aldicarbe + Ald sulfona + Ald sulfóxido, Ametrina, Atrazina + S-Clorotriazinas, Carbendazim, Carbofurano, Ciproconazol, Clorpirifós + clorpirifós-oxon, Difenoconazol, Dimetoato + ometoato, Diuron, Epoxiconazol, Fipronil, Flutriafol, Hidroxi-Atrazina, Malationa, Metamidofós + Acefato, Metolacoloro, Metribuzim, Molinato, Pentaclorofenol, Profenofós, Propargito, Protioconazol + ProtioconazolDestio, Simazina, Tebuconazol, Terbufós, Tiametoxam, Tiodicarbe, 2,4-D), porém apenas seis são estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) para água doce classe 2 e, apenas um deles foi detectado acima dos valores permitidos (Tabela 1).



Tabela 1. Agroquímicos presentes nas amostras de água do Rio Lonqueador.

Pontos de amostragem	Agroquímicos	Concentração ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Legislação ($\mu\text{g L}^{-1}$)	LQM	LDM
Nascente	Alaclor	< 0,303	20 $\mu\text{g/L}$	1,000	0,303
	Malationa	< 0,303	0,1 $\mu\text{g/L}$	1,000	0,303
	Metolacloro	< 0,303	10 $\mu\text{g/L}$	1,000	0,303
	Pentaclorofenol	< 0,758	0,009 mg/L	2,500	0,758
	Simazina	< 0,455	2,0 $\mu\text{g/L}$	1,500	0,455
	2,4-D	0	4,0 $\mu\text{g/L}$	5,000	1,515
Foz	Alaclor	< 0,303	20 $\mu\text{g/L}$	1,000	0,303
	Malationa	< 0,303	0,1 $\mu\text{g/L}$	1,000	0,303
	Metolacloro	< 0,303	10 $\mu\text{g/L}$	1,000	0,303
	Pentaclorofenol	< 0,758	0,009 mg/L	2,500	0,758
	Simazina	< 0,455	2,0 $\mu\text{g/L}$	1,500	0,455
	2,4-D	0	4,0 $\mu\text{g/L}$	5,000	1,515

Nos pontos coletados foi identificado o inseticida malationa (Diethyl (dimethoxythiophosphorylthio) succinate), também conhecido como malathion ou malatião. Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), este produto é produzido em larga escala em todo o mundo, devido seu uso na agricultura e programas de saúde pública, porém a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC), definiu esse agroquímico como provável carcinógeno em humanos (ANVISA, 2022). É muito utilizado em culturas de alface, algodão, berinjela, brócolis, cacau, café, citrus, feijão, maçã, milho, entre outros (ANVISA, 2023). Porém no Brasil destaca-se seu uso para o controle do mosquito *Aedes aegypti* em áreas urbanas (FISCHER, 2021).

Moreira et al. (2012) realizaram a quantificação de diversos agroquímicos em águas superficiais, poços artesianos e água da chuva em dois municípios de Mato Grosso, conhecidos por sua produção significativa de soja, milho e algodão. Entre os compostos analisados, destaca-se o malation. No primeiro local de estudo, em Lucas do Rio Verde, o inseticida malation foi identificado em duas amostras: nas águas superficiais, com concentração variando de 0,02 a 8,83 $\mu\text{g L}^{-1}$, e na água da chuva, com concentração de 0,01 a 3,36 $\mu\text{g L}^{-1}$. Já no segundo local de estudo, em Campo Verde, o agroquímico malation foi detectado apenas na água da chuva, com concentração entre 4,37 e 7,08 $\mu\text{g L}^{-1}$. Os pesquisadores justificam a presença do agrotóxico na água da chuva devido à volatilização dos compostos utilizados nas áreas rurais, o que pode transportar os pesticidas para diferentes locais.

Duavi et al. (2015) quantificaram pesticidas organofosforados, incluindo o malation, nos sedimentos de dois rios no estado do Ceará: o Rio Cocó e o Rio Ceará. As concentrações de malation encontradas nesses rios variaram entre 0,10 a 0,85 ng g^{-1} para o Rio Cocó e 0,08 a 0,14 ng g^{-1} para o Rio Ceará. Os autores destacam que a possível fonte de contaminação está atribuída ao uso em saúde pública, já que o inseticida é utilizado para o combate do mosquito *Aedes aegypti*.

Por mais que o malation possua pequeno tamanho molecular e à sua solubilidade em água relativamente alta (145 mg/L a 25 °) com o uso extensivo dos compostos, o ambiente pode não ser capaz de depurar ou degradar o composto em um curto intervalo de tempo (MURASAKI, 2020). Vale ressaltar também que o pesticida pode gerar subprodutos dependendo das condições que é submetido, gerando o composto malaoxon que é muito mais tóxico que o produto original (COLEONE e PAGANINI, 2017).

O inseticida é classificado como extremamente tóxico para organismos *Daphia magna*, de acordo com a classificação de Zucker (1985), e confirmado por Mello et al. (2020), em teste de toxicidade aguda.

Conclusão

Desta forma, a pesquisa revelou a presença do agroquímico malationa nas águas do Rio Lonqueador, tanto na nascente como na foz deste rio. Essa contaminação representa uma preocupação para a qualidade da água, ecossistemas aquáticos e possivelmente para a saúde humana, exigindo medidas mais rigorosas de controle e regulamentação ambiental. O estudo destaca a necessidade de monitoramento contínuo, revisão de práticas agrícolas e urbanas, além de uma avaliação crítica da legislação ambiental para proteger os recursos hídricos e promover a saúde pública diante do aumento populacional e industrialização do país.

Agradecimentos

A Companhia de Saneamento Paranaense (Sanepar), aos Novos Arranjos de Pesquisa e Inovação (NAPI-SUDOESTE) e à Fundação Araucária pela Bolsa de Mestrado, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela infraestrutura e estímulo à produção científica e tecnológica de qualidade, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela Bolsa Produtividade concedida à Profa. Dra. Elisângela Düsman (CNPq#305029/2022-3).



Referências bibliográficas

- Alves Netto, R. S.; 2019. Avaliação da influência urbana na alteração da qualidade da água do rio Lonqueador. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). 2022. Nota sobre a carcinogenicidade de cinco agrotóxicos. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2016/notacarcinogenicidade-de-cinco-agrotoxicos>. Acesso em: 02/03/2024.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). 2023. Monografia autorizada para o agrotóxico Malationa. Recuperado de <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas/m-n-0/4418json-file-1>. Acesso em: 02/03/2023.
- Brasil. 2005. Ministério do Meio Ambiente. 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- Bressiani, P.A.; Alves, G.L.; et al. 2022. Evaluation of genotoxicity and cytotoxicity of inhabitants of Vila Rural Água Viva, Brazil, exposed to agrochemicals using the micronucleus buccal cytome assay. *Environmental Toxicology And Pharmacology*, v. 96, p. 104002.
- Coleone, A. C.; Paganini, W. da S.; 2017. Toxicidade aguda e risco ambiental do malation - emulsão aquosa, 44% - utilizado no combate ao mosquito aedes aegypti para organismos aquáticos. In *Anais*. São Paulo: ABES.
- Dornela, B. L. D.; Miranda, A. C. R.; 2023. Caracterização da Efetividade da Gestão da Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa no Contexto da Proteção dos Recursos Hídricos. *Biodiversidade Brasileira*, v. 13, n. 4, p. 1-20.
- Duaví, W. C.; Gama, A. F.; et al. 2015. Contaminação de ambientes aquáticos por "agrotóxicos urbanos": o caso dos rios cocó e ceará, Fortaleza - Ceará, Brasil. *Química Nova*, v. 38, n. 5, p. 622-630.
- Fischer, A. K.; 2021. Efeitos Adversos do Inseticida Malation sobre Peixes. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Biotecnologia) - Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana. 2021.
- Mello, N.P.; Carvalho, A. C.C.; et al. 2020. Toxicidade aguda e risco ambiental do malathion aplicado em nebulização contra Aedes aegypti para organismos aquáticos. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v. 4, n. 1, p.571-578.
- Moreira, J. C.; Peres, F.; et al. 2012. Contaminação de águas superficiais e de chuva por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, p. 1557-1568.
- Murassaki. J. P; 2022. Simulação de um evento de contaminação por pesticida em uma rede piloto de distribuição de água. Tese de doutorado-Universidade Estadual de Campinas. 2022.
- Pignati, W. A.; Lima, F. A. N. D. S; et al. 2017. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, p. 3281-3293, 2017.
- Zimmermann, P. R. G.; Dalzochio, T.; et al. 2016. Uso do bioensaio com Allium cepa L. e análises físico-químicas e microbiológicas para avaliação da qualidade do Rio da Ilha, RS, Brasil. *Acta toxicol. argent.*, v. 24, n. 2, p. 97-104.

MONITOREO DE CALIDAD DE RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES DEL EMBALSE PASTO GRANDE Y SUS RÍOS TRIBUTARIOS - MOQUEGUA, PERÚ

1Hebert Hernán Soto Gonzales, 2Brayan Alexander Chipana Condori, 3Marians Romina Luque Checalla, 4Luis Ángel Paucar Flores, 5Luis Morales-Aranibar, 6Jorge González Aguilera, 7Diego James Arpasi Quispe, 8Sheda Mendez Ancca

1 Universidad Nacional de Moquegua, e-mail: hsotog@unam.edu.pe; 2 Universidad Nacional de Moquegua, e-mail: brayanchipana.251295@gmail.com; 3 Universidad Nacional de Moquegua, e-mail: mrluquechecalla@gmail.com; 4 Universidad Nacional de Frontera, e-mail: lpaucarf@gmail.com; 5 Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, e-mail: laranibar@gmail.com; 6 Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, e-mail: jorge.aguilera@ufms.br; 7 Universidad Nacional del Altiplano, e-mail: diegoarpasi25@gmail.com; 8 Universidad Nacional de Moquegua, e-mail: shedamendez@gmail.com

Palabras clave: Metales pesados; contaminación; calidad de agua.

Introducción

La actividad minera emite contaminantes como polvo, lodos y metales pesados en suelos, aire y cuerpos de agua circundantes (Kim et al., 2020; Krishna Samal et al., 2020), siendo esta última esfera la que enfrenta uno de los problemas ambientales atenuantes en nuestra región. Estos metales, tóxicos y persistentes, superan los límites recomendados por la OMS (Glodowska et al., 2020) y los ECA's nacionales, afectando la biodiversidad y la cadena alimentaria acuática, alterando las condiciones limnológicas y el pH del agua. La mala gestión de relaves mineros, el drenaje ácido de estos, contribuye a la contaminación de cuerpos de agua, desequilibrando la vida acuática (Xiao et al., 2023). En Moquegua, el embalse Pasto Grande y sus cuatro ríos tributarios: Millojahuiria, Antajarane, Patara y Tocco, enfrentan problemas similares debido a minas abandonadas y el cambio climático. Este estudio evaluó la calidad del agua utilizando Metalyser Field Pro HM3000, permitiendo una detección precisa de metales pesados para orientar estrategias de manejo y mitigación sostenible de la biodiversidad y la salud acuática.

Materiales y Métodos

La zona de estudio está ubicada en el distrito de Carumas, provincia de Mariscal Nieto, en Moquegua, a una altitud de 4520 m.s.n.m. Los puntos de muestreo fueron seleccionados de manera estratégica, recolectando cinco (05) muestras de agua del embalse Pasto Grande, y tres (03) muestras de cada río, para posterior homogeneización de cada río; además de una (01) muestra proveniente de un ojo de agua, dando un total de 10 muestras de agua.

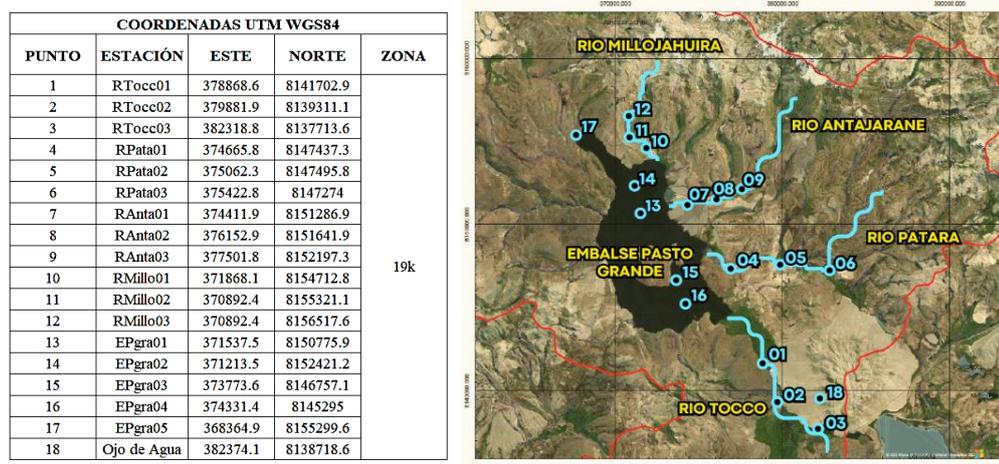


Figura 1: Georeferenciación de los puntos de muestreo

En campo se utilizó un multiparámetro el cual midió pH, salinidad, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), sólidos disueltos totales (STD) y temperatura (°C), donde los resultados se observan en Tabla 1. Mientras que en laboratorio se realizó el análisis de los parámetros inorgánicos (metales pesados), utilizando el equipo portátil Metalyser Field Pro HM3000, el cual emplea el método electroquímico de voltamperometría de redisolución anódica y catódica, permitiendo una detección precisa y rápida de los metales en cuestión, el cual consta de tres pasos principales: enchapado (acondicionamiento), análisis y resultados según el protocolo de fábrica (Trace2O, 2021):



- Enchapado:** Este proceso se utiliza para crear una fina capa en la superficie del electrodo de trabajo y se completa en pocos minutos, ya que, antes de analizar cada elemento, es necesario realizar el recubrimiento. Sin embargo, es posible analizar elementos de manera consecutiva si comparten una solución de recubrimiento común, como Cd, Pb y Zn, que utilizan la solución HG500.
- Análisis:** Para llevar a cabo una prueba, es importante asegurarse de que el electrodo de trabajo esté correctamente enchapado y acondicionado para el metal de interés.
- Interpretación de voltamograma:** Después del análisis, se presenta un gráfico denominado voltamograma, que muestra la corriente de salida en función del potencial aplicado. Si los metales de interés están presentes en la muestra, se observarán picos en los datos.

Para contrastar los resultados obtenidos por el equipo portátil Metalyser Field Pro HM3000, también todas las muestras de agua recolectadas fueron enviadas a un laboratorio acreditado para su análisis, el cual utilizó la técnica analítica de espectrofotometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para la cuantificación de las concentraciones de metales pesados.

Resultados

A continuación, presentamos los resultados de análisis de metales pesados llevados a cabo utilizando el equipo portátil Metalyser HM 3000 en el Embalse Pasto Grande y sus ríos tributarios, siendo las concentraciones obtenidas, comparados con el ECA para agua 004-2017-MINAM, categoría 4: Conservación del ambiente acuático. Estos análisis proporcionan información valiosa sobre la presencia y concentración de metales pesados en esta importante área acuática. Los gráficos y tablas que se muestran a continuación resumen los datos clave y ofrecen una visión clara de la calidad del agua en estos cuerpos de agua

ESTACIÓN	PARÁMETROS FISIQUÍMICOS						CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS (mg/L)										
	pH	SAL (ppt)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	STD (mg/L)	T (°C)	Miltojahuirá	Antajarane	Patara	Tocco	EPgra 01	EPgra 02	EPgra 03	EPgra 04	Ojo de Agua	EPgra 05	
RToce01, 02, 03	7.73	0.68	1375	8.2	884	15.3	As Total	0.02265	0.0061	0.11958	0.01775	0.00684	0.01349	0.0139	0.00394	0.00438	0.00206
RPa01, 02, 03	4.76	0.69	1395	9.48	903	7.8	Hg	0.00021	0.07274	0.02879	0.38256	0.0087	0.01177	0.02416	0.2729	0.02856	0.02194
RAnta01, 02, 03	3.4	0.52	1041	9.13	682	11	Cd	0.00016	0.0011	0.01924	<LI	0.00491	0.00256	<LI	<LI	0.00036	0.00278
RMillo01, 02, 03	3.42	0.57	1120	9.15	734.5	9.3	Pb	0.00123	0.00064	0.00415	0.00026	0.00473	0.00355	<LI	0.00024	0.00013	0.0042
EPgra01	3.36	0.35	707	9.8	460.2	8.7	Cu	0.00229	0.18173	0.09806	0.03117	0.02468	0.02481	<LI	<LI	0.00233	0.05821
EPgra02	3.45	0.39	815	9.54	424.3	8.3	Zn	0.12554	0.30209	1.32912	0.00556	0.21103	0.23975	0.00544	0.00433	0.00472	0.19462
EPgra03	4.95	0.4	993	8.3	660.1	10.1	Mn	0.26302	0.29961	<LI	0.00374	0.71457	0.86342	0.00724	0.0071	0.00129	0.09141
EPgra04	4.79	0.36	980	8.34	670	9.5	Co	<LI	0.00103	<LI	0.01419	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI
EPgra05	4.36	0.39	772	9.19	688	8.3	Se	<LI	<LI	0.0303	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI
OJO DE AGUA	7.43	0.01	27	8.37	17.55	8.8	Tl	0.00025	0.00178	0.02493	0.00018	0.02391	<LI	<LI	<LI	<LI	0.01304
							Ni	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI
							Au	0.02582	<LI	0.0287	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI
							Bi	0.11588	0.10161	0.08519	<LI	0.09633	0.13335	0.02164	<LI	0.04831	0.00242
							Cr	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI
							Su	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	<LI	0.86667	0.26744

críticos.

Tabla 1: Parámetros Físicoquímicos

Tabla 2: Parámetros inorgánicos (metales pesados en ppm)

El fenómeno de la acidificación extrema en el embalse Pasto Grande y sus afluentes es un ejemplo impactante de los desafíos ambientales que enfrentamos en la actualidad. Este problema es el resultado de múltiples factores interconectados, incluyendo la contaminación por metales pesados. Muestra cómo nuestras actividades humanas, como la minería y la mala gestión de los desechos mineros, tienen un impacto drástico en los ecosistemas acuáticos.

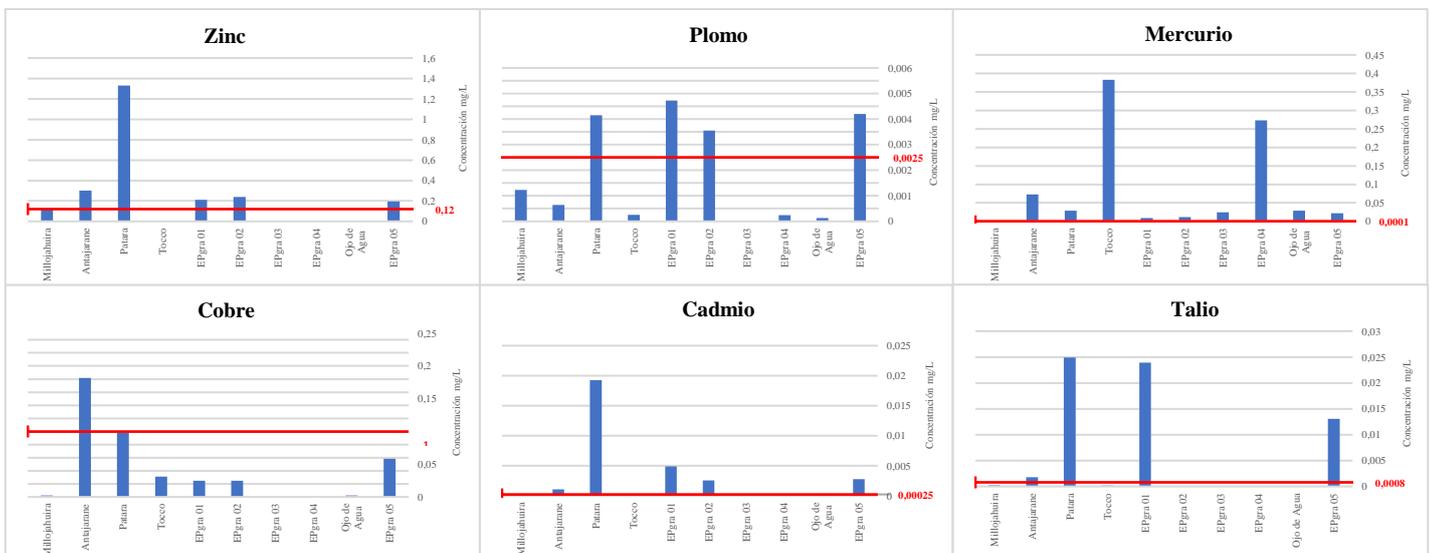


Figura 2: Comparación de concentraciones de metales pesados con los ECA's para agua DS 004-2017 MINAM



Conclusiones

Los valores máximos de arsénico, cadmio, zinc, selenio, talio y oro se encontraron en el río Patara, con concentraciones de 0.11958 mg/L, 0.01924 mg/L, 1.32912 mg/L, 0.0303 mg/L, 0.02493 mg/L y 0.0287 mg/L, respectivamente. Aunque la concentración de arsénico no sobrepasa los límites establecidos en el ECA, es evidente que los metales pesados, como el cadmio con un exceso del 7596%, el zinc con un exceso del 1008%, el selenio con un exceso del 506% y el talio con un exceso del 3016%, presentan niveles de contaminación alarmantes en el río Patara. Estos resultados confirman la presencia y la contaminación significativa por metales pesados en este afluente, lo que plantea serias preocupaciones para la salud del ecosistema y la conservación del ambiente acuático en la región. Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de abordar y regular de manera más efectiva las actividades mineras y geotermales en la zona para proteger la calidad del agua en el embalse Pasto Grande y sus ríos tributarios.

Además de los alarmantes niveles de contaminación por metales pesados en el río Patara, es crucial destacar que esta situación plantea graves riesgos tanto para el medio ambiente como para las comunidades que dependen de este recurso hídrico. Los metales pesados, cuando se acumulan en los ecosistemas acuáticos, pueden tener efectos devastadores en la biodiversidad, afectando a organismos acuáticos y, en última instancia, a la cadena alimentaria. Además, la contaminación del agua puede tener un impacto directo en la salud humana a través del consumo de agua contaminada o la exposición a través de actividades relacionadas con el agua, como la agricultura y la pesca.

Agradecimientos

Esta investigación es financiada gracias a los recursos del canon minero, sobre canon y regalías mineras de la Universidad Nacional de Moquegua como parte del Proyecto Especial titulado Limnología física del embalse Pasto Grande aprobado por Resolución de Comisión Organizadora N°0406-2020-UNAM.

Referencias Bibliográficas

Glodowska, M., Stopelli, E., Schneider, M., Lightfoot, A., Rathi, B., Straub, D., Patzner, M., Duyen, V. T., Berg, M., Kleindienst, S., & Kappler, A. (2020). "Role of in-situ natural organic matter in mobilizing As during microbial reduction of Fe III -mineral-bearing aquifer sediments from Hanoi (Vietnam)." 1-34.

Kim, M., Lee, S., & Kim, J. (2020). "Assessment of Fraction and Mobility of Arsenic in Soil Near the Mine Waste Dam." 1-13.

Krishna Samal, D. P., Sukla, L. B., Pattanaik, A., & Pradhan, D. (2020). "Role of microalgae in treatment of acid mine drainage and recovery of valuable metals. *Materials Today: Proceedings*", 30, 346-350. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.165>

Trace2O. (2021). *Metalyser® Field Pro HM3000*.

Xiao, X., Li, W., Jin, M., Zhang, L., Qin, L., & Geng, W. (2023). "Responses and tolerance mechanisms of microalgae to heavy metal stress: A review." *Marine Environmental Research*, 183(October 2022), 105805. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105805>.



A OCORRÊNCIA DO ARSÊNIO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E A SUA POSSÍVEL RELAÇÃO COM FONTES ANTRÓPICAS

1Camila Lemos Teixeira, 2Joice Cagliari

1 Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: camilalemost@gmail.com; 2 Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, e-mail: joiceca@unisinos.br

Palavras-chave: Arsênio; Contaminação; Água subterrânea

Introdução

No noroeste do Rio Grande do Sul, a água subterrânea é muito utilizada devido a características particulares da área, portanto uma das principais fontes de água para abastecimento humano é proveniente de poços. Ao realizar abertura de poços na mesorregião, a Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan) realiza análises a fim de comprovar a qualidade d'água. Desde 2014 verificou-se a presença de arsênio em 20 poços, chegando a atingir 0,081 mg/L do metaloide. As análises realizadas indicam que a água não atinge o padrão de potabilidade pois estão acima do limite máximo permitido para o consumo humano conforme as portarias Nº 2914/2011 e Nº 518/2004, do Ministério da Saúde, e a resolução CONAMA 396/2008, que limitam a concentração nas águas para consumo humano em 0,01 mg As/L.

O arsênio é um semi-metal e pode estar na natureza de forma orgânica ou inorgânica, sendo a forma inorgânica a mais prejudicial à saúde. É um elemento altamente tóxico e pode ocasionar efeitos crônicos ou agudos na saúde. A exposição ao As em longo prazo está diretamente relacionada ao desenvolvimento de câncer e problemas cardíacos. Sua origem está associada a diferentes causas, naturais ou antrópicas. O elemento é amplamente distribuído na crosta terrestre, estando presente em diversos minerais, assim a contaminação natural pode ocorrer por meio da dissolução e lixiviação de minerais, rochas, solos, sedimentos, fenômenos geotermiais e vulcânicos (ANDRADE; ROCHA, 2015). Já as intervenções antrópicas podem resultar em degradações do meio ambiente. De acordo com a Cetesb (2017) as atividades industriais que podem contribuir para contaminação de As no meio ambiente são os processos de mineração de metais não ferrosos e fundição, combustão de carvão, incineração de lixo, efluentes industriais, deposição atmosférica, etc. Além disso, o arsênio também pode estar na composição de agrotóxicos, no Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) liberou a comercialização de pesticidas organoarsênicos e sua aplicação.

A ocorrência do elemento não se limita a região noroeste, países como a Índia, Nepal, China, Bangladesh e Estados Unidos têm relatado a presença de As em água subterrânea. Considerando a toxicidade do elemento, seus efeitos no meio ambiente e na saúde humana, há uma preocupação para identificação da causa da ocorrência do arsênio nas águas profundas da região, tornando como principal objetivo do estudo, analisar a relação de fontes antrópicas como possíveis causadoras da contaminação.

Agroquímicos e Uso do Solo

O Rio Grande do Sul tem uma participação significativa no setor agrário. Agriculturas temporárias e permanentes ocupam, aproximadamente 10,4 milhões de hectares no território gaúcho (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022). Na safra de 21/22, mesmo com a severa seca, o RS produziu 9,33 milhões de toneladas de soja (SECRETARIA DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL, 2022). Com a utilização de grandes áreas para cultivo, conseqüentemente há o aumento de utilização dos defensivos agrícolas para o combate de pragas nas plantações, entretanto os químicos têm causado alterações na qualidade do solo, d'água e do ar, além de impactarem na saúde humana. De acordo com a Embrapa (2018), grande parte do total dos herbicidas aplicados nos campos agrícolas não atinge a superfície alvo e acaba alcançando direta ou indiretamente o solo, essa aplicação pode acabar contaminando recurso hídricos superficiais e subterrâneos.

A principal cultura produzida no estado é a soja, seguida do arroz, trigo e milho (2021/2022), e são utilizados diversos agroquímicos nas plantações. De acordo com Ruby et al. (2011), fertilizantes originários de rocha fosfática, constituída essencialmente de apatita, podem conter arsênio em sua fórmula estrutural. Químicos com fósforo são comumente utilizados no RS, sendo um exemplo o glifosato, herbicida aplicado na cultura da soja. Agrotóxicos com o princípio ativo organoarsênico são comercializados no Brasil. O organoarsênico MSMA (sodium hydrogen methylarsonate) é um herbicida e sua utilização é indicada para os plantios de algodão, cana-de-açúcar, citros e café. Apesar dessas culturas serem plantadas em solo gaúcho, suas lavouras não ocupam grandes áreas. No ano de 2022 foram plantados 6.140 hectares de cana-de-açúcar no Noroeste do estado, apesar de não ser uma quantidade significativa comparada a de outros cultivos, é a mesorregião que mais realizou a plantação de cana no ano.

Geologia

O Noroeste está sob parte do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), formado por rochas vulcânicas básicas e ácidas do Grupo Serra Geral. O SASG é reabastecido pela água da chuva por se tratar de um aquífero fraturado. De acordo com Viero et al. (2021) a alta densidade de fraturas associada a outros fatores permite o acúmulo de grande volume de água, entretanto, torna o



aquífero vulnerável a contaminações. Apesar disso, as rochas do SASG podem conter diversos minerais que possuem o arsênio em sua composição como sulfeto de arsênio, arsenopirita, sulfeto de arsênio com cobre e ferro, óxidos de arsênio, hidróxidos complexos com cobre, manganês e magnésio, ou mesmo como arsênio nativo. As concentrações de As em rochas podem variar conforme o tipo, as sedimentares podem apresentar valores mais elevados do semi-metal do que ígneas ou metamórficas. Leipelt (2020) encontrou concentrações de até 3 ppm em rochas ígneas da região noroeste. Conforme Wildner et al. (2017) encontraram teores de até 3,6 ppb em amostras de sedimentos ativos em sistemas de drenagem nas regiões de Palmeiras das Missões e de Erechim.

Metodologia

A Corsan disponibilizou 28 análises, de 2014 a 2023, de 20 poços diferentes, no qual apenas quatro não ultrapassaram os limites estabelecidos pela legislação, mas ainda, apontaram a presença do elemento na água subterrânea, as concentrações variam de 0,0035 a 0,081 mg/L. As amostras são das cidades de Boa Vista do Buricá, Bom Progresso, Campinas das Missões, Chiapetta, Crissiumal, Coronel Barros, Entre - Ijuís, Erval Seco, Rio dos Índios, Santo Ângelo, Santo Augusto, São Valério do Sul, Tio Hugo e Tucunduva. As análises fornecidas contêm outros parâmetros analisados o que possibilita relacionar a aparição do arsênio com a presença ou ausência de algum outro elemento, para evidenciar alguma compatibilidade foi utilizado a análise de correlação de Pearson. Também foram disponibilizados alguns perfis de rocha, informação necessária para compreender se a formação geológica possui relação com o As. Em paralelo, foi feito um levantamento do uso do solo relacionando hectares plantados com os cultivos por cidade, para estabelecer uma relação com o uso de produtos agrícolas, assim como o período em que os químicos são utilizados comparando com as datas de análises.

Resultados e Discussões

A correlação analisada entre os dados apontou que o único parâmetro que inicialmente possui alguma relação com o arsênio é alcalinidade de hidróxidos, o resultado foi de -0,93, aponta a presença de As com a ausência ou baixa ocorrência do componente. Entretanto, das 28 amostras analisadas, apenas 4 possuem a análise de alcalinidade a hidróxidos, o que é uma amostragem baixa relacionada a quantidade de análises. A média da concentração de arsênio nos poços é de 0,18 mg/L e o desvio padrão de 0,014 mg/L.

Em relação ao uso do solo, os municípios da área de estudo apresentaram grandes áreas de plantações nos anos das amostragens, e o uso e manejo inadequado do solo podem contribuir para a contaminação. Um estudo comparativo entre solos agrícolas e solos de mata no estado de São Paulo, apontou que as concentrações de As em solos com atividades agrárias foram maiores, concluindo que o As pode ser um indicativo de contaminação (Ruby et al. 2011). Os três anos com maiores áreas plantadas na mesorregião foram, respectivamente, 2022, 2021 e 2014. No ano de 2014, com mais amostras de arsênio, o noroeste plantou 4.575.109 hectares de culturas temporárias, sendo 13.141 hectares de cana-de-açúcar (DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2024).

Em Coronel Barros, em 2017, a amostra de água subterrânea de uma perfuração apontou 0,021 mg As/L, no mesmo ano dos seus 16.368 hectares de extensão territorial, 16.025ha foram responsáveis por cultivo (DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2024; IBGE, 2022). Leipelt (2020) analisou a concentração de As na rocha deste mesmo poço, o resultado atingiu 2 ppm, além disso as concentrações encontradas no solo foram maiores do que concentrações encontradas em rocha, entretanto o intemperismo da rocha pode estar contribuindo para a ocorrência do metaloide no solo. Outra análise fornecida pela Corsan foi do município de Tucunduva, reportando a presença de 0,081 mg As/L, conforme o perfil da rocha disponibilizado, na primeira entrada de água a 176 metros de profundidade foram encontradas rochas do tipo riolito. Murray et al (2023) concluíram que a concentração do metaloide nas rochas vulcânicas aumenta com a concentração de sílica, sendo o maior aumento em dacitos e riolitos. Em um poço de Bom Progresso, foi encontrado o mesmo teor de 0,21 mg/L de arsênio no período de fevereiro e de novembro de 2015, o que pode indicar a possibilidade de uma contaminação natural por se tratar de uma contaminação recorrente. As análises realizadas possuem datas variadas e nem todas correspondem a épocas de preparação do solo e de plantio, momentos em que o agroquímico é mais utilizado. Entretanto, a discordância de datas não anula a hipótese de contaminação antrópica. A Embrapa (2012) afirma que a média anual de precipitação no Noroeste pode chegar até 2000 mm, o alto índice de chuva na região pode influenciar na contaminação antrópica, fazendo com que o pesticida infiltre no solo e atinja a água subterrânea, além disso podem ser realizadas aplicações em períodos de pós-emergências nas lavouras, os períodos não são definidos, a aplicação é realizada para plantios com ervas-daninhas.

Considerando o alto uso da área da região de estudo para o setor agrário e a relação dos agrotóxicos como o possível motivo do arsênio, ainda não é possível descartar uma contaminação natural como possível causadora. O arsênio presente nas rochas pode se solubilizar na água, em diferentes condições. Para Bondu et al. (2017) os recursos hídricos subterrâneos evoluídos geoquimicamente fornecem condições favoráveis para liberar arsênio por dissolução reductiva de oxi-hidróxidos de ferro e manganês. Além disso, uma fonte natural de contaminação pode ser o próprio solo. Um estudo realizado em horizontes superficiais de solos do Brasil apontou que áreas com elevados teores de arsênio estão associadas as condições ambientais e não a fontes antropogênicos (Menezes et al., 2020).

Considerações Finais

Até o momento, os resultados obtidos não foram o suficiente para identificar e comprovar a origem da contaminação e nem associá-la diretamente com o uso de pesticidas. É necessário seguir com a pesquisa para identificação da fonte, visto que a região é dependente de poços para abastecimento. O estudo seguirá trabalhando com a contaminação antropogênica, mas sem



descartar a natural, é necessário compreender melhor a geoquímica da água do Sistema Aquífero Serra Geral, para isso serão analisadas mais amostras de poços com arsênio e poços sem, além disso é preciso ampliar a pesquisa em relação aos agrotóxicos fosfatados e sua composição visto que não há apontamentos relevantes de agroquímicos organoarsênicos na área, dados os cultivos indicados para este produto não serem produzidos em quantidades relevantes.

Referências Bibliográficas

- Andrade, D.F.; Rocha, M.S.; 2015. A toxicidade do Arsênio e sua natureza. Faculdades Oswaldo Cruz, v.10, 8 p.
- Bondu, R.; Cloutier, V.; Rosa, E.; Benzaazoua, M.; 2017. Mobility and speciation of geogenic arsenic in bedrock groundwater from the Canadian Shield in western Quebec, Canada. *Science of the Total Environment*, v. 574, p. 509-519.
- Cetesb, 2017. Arsênio. Ficha de Informação Toxicológica. São Paulo.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente; 2008. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Brasília, 11p.
- Departamento de Economia e Estatística; 2024. DEE DADOS. Disponível em: <http://feedados.fee.tche.br/feedados/>.
- Embrapa; 2012. Atlas Climático da Região Sul do Brasil. Brasília.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2022. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Rio de Janeiro.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2022. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro.
- Viero, A.P.; Roisenberg, A.; Freitas, M.A.; Reginato, P.A.E. O Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. In: Jelinek, A.R.; Sommer, C.A.; 2021. Contribuições à geologia do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Geologia, Porto Alegre, p. 469-485.
- Leipelt, L.V.A.; 2020. Contaminação de água subterrânea por Arsênio e Selênio na Região Noroeste do Rio Grande do Sul. Unisinos, São Leopoldo.
- Ministério Da Saúde; 2004. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Brasília, 12p.
- Ministério Da Saúde; 2011. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Brasília, 6p.
- Menezes, M.D.; Bispo, F.H.A.; Faria, W.M.; Gonçalves, M.G.M.; Curi, N.; Guilherme, L.R.G.; 2020. Modeling arsenic content in Brazilian soils: What is relevant?. *Science of the Total Environment*, v. 712.
- Murray, J.; Guzmán, S.; Tapia, J.; Nordstrom, D.K.; 2023. Silic volcanic rocks, a main regional source of geogenic arsenic in waters: Insights from the Altiplano-Puna plateau, Central Andes. *Chemical Geology*, v. 629.
- Ruby, E.C.; Figueiredo, A.M.G.; Modesto, R.P.; 2011. Arsênio e urânio como indicadores de contaminação em solos agrícolas do Estado de São Paulo. XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica.
- Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural.; 2022. Radiografia da Agropecuária Gaúcha 2022. Rio Grande do Sul.
- Wildner, W.; Binotto, R.B.; Ferrari, V.C.; Antunes, L.; 2017. Metalogenia das Províncias Mineraias do Brasil: Porção Sul da Bacia do Paraná, RS. CPRM, Porto Alegre, 112p.



AVALIAÇÃO DE ATIVIDADE MUTAGÊNICA EM *LITHOBATES CATESBEIANUS* DAS ÁGUAS DO RIO URUTAGO NO SUDOESTE DO PARANÁ, EM BAIXA VAZÃO

1Cassiano Aparecido de Souza, 2Patrícia Aline Bressiani, 3Anna Karolina Gomes Oliveira, 4Ticiane Sauer Pokrywiecki, 5Rodrigo Lingnau, 6Eduardo Michel Vieira Gomes, 7Ana Paula de Oliveira Schmitz, 8Elisângela Düsman

1Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: cassianosouza@alunos.utfpr.edu.br; 2Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: patriciaalinebressiani@gmail.com; 3Universidade Tecnológica Federal do Paraná, annoli@alunos.utfpr.edu.br; 4Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ticiane@utfpr.edu.br; 5Universidade Tecnológica Federal do Paraná, rodrigolingnau@utfpr.edu.br; 6Universidade Tecnológica Federal do Paraná; eduardogomes@utfpr.edu.br; 7Universidade Tecnológica Federal do Paraná, anapoliveira@utfpr.edu.br; 8Universidade Tecnológica Federal do Paraná, edusman@utfpr.edu.br.

Palavras-chave: Rio Urutago; Recursos Hídricos; Poluição.

Resumo

O estudo investigou os impactos da poluição causada por substâncias antrópicas nas águas do Rio Urutago em Francisco Beltrão-PR, por meio do teste do micronúcleo realizado em girinos de rã-touro. A amostra de água foi coletada na foz do Rio Urutago, na baixa vazão do rio. A presença de micronúcleos em maior frequência sugere um efeito mutagênico, aumentando o risco de danos ao material genético das células dos anfíbios. Este resultado deve-se, possivelmente, à presença de concentrações do herbicida 2,4-D e dos hormônios estrógenos nas amostras. Diante desses resultados, o estudo destaca a necessidade urgente de implementar medidas de controle e regulação desses poluentes visando garantir a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos em seus usos múltiplos.

Introdução

A principal ameaça à preservação dos recursos hídricos reside nas substâncias químicas de origem antrópica, provenientes de fontes industriais e agrícolas, mesmo com a existência de leis e normas ambientais destinadas à sua proteção (Gupta et al., 2014).

Agroquímicos resguardam as culturas agrícolas, garantindo a melhora na produtividade. No entanto, o uso displicente pode ter consequências, uma vez que os agroquímicos tendem a persistir no solo, na água e nos organismos vivos, resultando em efeitos adversos ao longo do tempo (Dang et al., 2015). Adicionalmente, entre os poluentes identificados nas águas superficiais, destacam-se os hormônios esteróides, suscitando preocupações sanitárias devido à sua significativa capacidade como desreguladores endócrinos (EDCs) e alta biodisponibilidade (Chang et al., 2018).

Nesse contexto, avaliar a qualidade da água e seus impactos na biodiversidade é crucial. Para isso, o uso de bioindicadores é uma ferramenta útil e eficiente. Bioindicadores são espécies escolhidas por sua baixa tolerância a vários parâmetros ambientais de origem antrópica (Washington, 1984). Anfíbios são exemplos de bioindicadores, pois são sensíveis a vários parâmetros ambientais e têm pele semipermeável que facilita a entrada de substâncias nocivas (Wells, 1977). O teste do micronúcleo é um método comum para avaliar a genotoxicidade (Das e Nanda, 1986). O micronúcleo é uma estrutura nuclear anormal que indica dano genético (Cabagna et al., 2006; Motta et al., 2020).

Assim, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos genotóxicos das águas do Rio Urutago, em Francisco Beltrão-Paraná-Brasil, na baixa vazão deste rio, para os girinos de *Lithobates catesbeianus* (rã-touro), pelo teste do micronúcleo, correlacionado com os parâmetros químicos das águas.

Metodologia

A amostra foi coletada na foz do Rio Urutago, um afluente do Rio Marrecas, dentro do Parque de Exposições no bairro Miniguçu em Francisco Beltrão no sudoeste do Paraná, em período de baixa vazão do Rio Marrecas ($5\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$).

Para a análise química da amostra foi realizada a detecção e quantificação do agroquímico 2,4D e dos hormônios estrógenos estrona (E1), 17 β -estradiol (E2), 17 α -etinilestradiol (EE2) e estriol (E3), pela técnica de cromatografia líquida de alta eficiência com detector UV-Vis (*UltiMate 3000 da Thermo Scientific*) e coluna C18.

Para o teste de mutagenicidade, foram usados 5 girinos de *L. catesbeianus* para cada grupo controle ou tratado. Estes foram obtidos de fonte comercial, no estágio entre 26 e 30 de Gosner (Gosner, 1960). O grupo controle negativo permaneceu por 14 dias em contato com 5 litros de água mineral e o grupo tratado foi exposto à água do Rio Urutago. O projeto possui aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Protocolo 19.473.178-7). A sobrevivência dos girinos foi registrada e o sangue caudal foi coletado ao final dos 14 dias para produção das lâminas e análise do número médio e percentual de micronúcleos (Gauthier et al., 2004).

O teste estatístico de Dunn ($\alpha = 0,05$) foi usado para comparar os resultados médios de mutagenicidade do grupo controle e tratado, com o *software Action Stat*.



Resultados e discussões

As análises químicas (Tabela 1) mostram a presença de hormônios estrogênicos (E1, E2 e EE2) na amostra de água. Segundo Torres et al. (2021) os hormônios estrogênicos foram detectados em amostras de água superficial, subterrânea, solo e sedimento em concentrações entre ng L^{-1} a mg L^{-1} e, mesmo em baixas concentrações, podem desregular o sistema endócrino de diversos organismos. Essas concentrações de hormônios encontradas nas águas do rio, pode ser devido a sua excreção via urina e fezes, na forma de metabólitos ou substância ativa inalterada.

Tabela 1 - Parâmetros químicos da amostra de água do Rio Urutago.

Amostra	Hormônios (μL^{-1})				Agroquímico (μL^{-1})
	E1	E2	EE2	E3	2,4-D
Rio Urutago	0,31	2,95	0,28	< 0,001	< 0,006
Portaria GM/MS n° 888/2021	NL	NL	NL	NL	≤ 30

NL: Não legislado. Diferente do valor permitido pela legislação vigente: *Portaria em vigor, a GM/MS n° 888/2021.

Os resultados pelo teste estatístico de Dunn mostram que a frequência média de micronúcleos (Figura 1) foi estatisticamente diferente e significativa em relação ao grupo controle, indicando efeito mutagênico aos girinos expostos à amostra coletada. A presença de poluentes pode ter influenciado na mutagenicidade desta amostra para os anfíbios, por exemplo, o hormônio E2 é capaz induzir estresse oxidativo, danos ao DNA e alterações no desenvolvimento de *Cyprinus carpio* (Orozco-Hernández et al., 2018; Gutiérrez-Gómez et al., 2016).

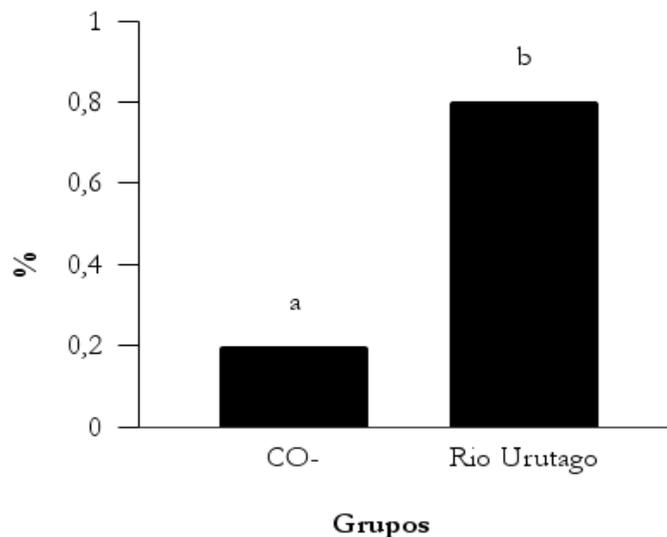


Figura 1 - Porcentagem média de micronúcleos em *L. catesbeianus* expostos às amostras de água coletadas na baixa vazão. Grupos: CO-: Controle negativo. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Dunn ($p < 0,05$).

Fonte: Autoria Própria (2024).

A confluência do Rio Urutago com o Rio Marrecas tem o potencial de influenciar a qualidade da água ao longo do curso hídrico, além dos riscos na utilização para as atividades agrícolas, industriais e captação de água no município. Vale ressaltar que a atual Portaria em vigor, a GM/MS n° 888/2021, que aborda os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, não estabelece os níveis de hormônios presentes em água para consumo humano.



Conclusão

Diante da evidente gravidade da poluição por substâncias de origem antrópica nos rios e seus impactos prejudiciais à saúde pública, torna-se essencial a implementação de medidas de controle e regulamentação desses poluentes, abrangendo tanto as áreas urbanas quanto rurais, visando garantir a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos.

Agradecimentos

Aos Novos Arranjos de Pesquisa e Inovação (NAPI-SUDOESTE) e à Fundação Araucária pela Bolsa de Iniciação Científica, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela infraestrutura e estímulo à produção científica e tecnológica de qualidade, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela Bolsa Produtividade concedida à Profa. Dra. Elisângela Düsman (CNPq#305029/2022-3).

Referências Bibliográficas

- CABAGNA, M. C.; LAJMANOVICH, R. et al. 2006. Induction of micronuclei in tadpoles of (Amphibia: Leptodactylidae) by the pyrethroid insecticide cypermethrin. *Toxicological & Environmental Chemistry*, v. 88, n. 4, p. 729-737.
- CHANG, H.; SHEN, X. et al. 2018. Sensitive analysis of steroid estrogens and bisphenol a in small volumes of water using isotope-dilution ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Environmental Pollution*, 235, 881-888.
- DANG, F.; ZHAO, J. et al. 2015. Soil geochemistry and digestive solubilization control mercury bioaccumulation in the earthworm *Pheretima guillemi*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 292, p. 44-51.
- DAS, R. K.; NANDA, N. K. 1986. Indução de micronúcleos em eritrócitos periféricos de peixes *Heteropneustes fossilis* por mitomicina C e efluente de fábrica de papel. *Cartas de Pesquisa de Mutação*, v. 175, n. 2, p. 67-71.
- GAUTHIER, L.; TARDY, E. et al. 2004. Biomonitoring of the genotoxic potential (micronucleus assay) and detoxifying activity (EROD induction) in the River Dadou (France), using the amphibian *Xenopus laevis*. *Science of The Total Environment*, v. 323, p. 47-61.
- GOSNER, K. L. 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica*, v. 16, p. 183-190.
- GUPTA, A. K.; AHMAD, I. et al. 2014. Genotoxicity of refinery waste assessed by some DNA damage tests. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 114, p. 250-256.
- GUTIÉRREZ-GÓMEZ, A.A.; JUAN-REYES, N.S. et al. 2016. 17 β -estradiol induced oxidative stress in gill, brain, liver, kidney and blood of common carp (*Cyprinus carpio*). *Electronic Journal of Biology*, v.12, p. 53-63.
- MOTTA, A. G. C.; AMARAL, D. F. et al. 2020. Genotoxic and mutagenic effects of zinc oxide nanoparticles and zinc chloride on tadpoles of *Lithobates catesbeianus* (Anura: Ranidae). *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, v. 14, p. 100356.
- OROZCO-HERNÁNDEZ, L.; GUTIÉRREZ-GÓMEZ, A.A. et al. 2018. 17 β -Estradiol induces cyto-genotoxicity on blood cells of common carp (*Cyprinus carpio*). *Chemosphere*, v. 191, p. 118-127.
- TORRES, N.H.; SANTOS, G.O.S. et al. 2021. Environmental aspects of hormones estriol, 17 β -estradiol and 17 α -ethinylestradiol: electrochemical processes as next-generation technologies for their removal in water matrices. *Chemosphere*, 267, 128888.
- WASHINGTON, H. G. 1984. Diversity, biotic and similarity indices: A review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, v. 18, p. 653-694.
- WELLS, K. D. 1977. The social behavior of anuran amphibians. *Animal Behaviour*, v. 25, n. 3, p. 666-693.



DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO QUATERNÁRIO COSTEIRO I - RS

1Gabriel Corrêa, 2Rossana Vicente Goulart

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, e-mail: gabriel-correa@ufrgs.br ; 2 Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler - FEPAM, e-mail: rossana-goulart@fepam.rs.gov.br

Palavras-chave: águas subterrâneas; parâmetros de potabilidade; Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I

Introdução

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (SAQCI) compreende toda a faixa oriental do estado do Rio Grande do Sul, com seus recursos sendo explorados majoritariamente para o abastecimento público, doméstico e irrigação (Lima *et al.*, 2023). Considerando a importante demanda dos usuários, bem como o arcabouço bibliográfico (Silveira, 2020; Troian *et al.*, 2015; Baumgarten *et al.*, 2017) que relata alterações na qualidade das águas do SAQCI ao longo de toda sua extensão, buscou-se desenvolver uma análise integrada entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos através da geolocalização, compilando as análises hidroquímicas disponíveis nos bancos de dados públicos dos órgãos responsáveis, de modo a obter um panorama geral da qualidade das águas do SAQCI, comparando-as com a Portaria do Ministério da Saúde nº 888, de 4 de maio de 2021, que estabelece os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano.

Objetivos

Avaliar a qualidade das águas subterrâneas do SAQCI através da análise de informações constantes de bancos de dados públicos, buscando identificar um panorama do estado da qualidade das águas subterrâneas, e a partir do mesmo, oferecer subsídios metodológicos quanto à análise integrada desses dados a fim de auxiliar na gestão destes recursos.

Metodologia

A metodologia compreende a compilação e triagem das análises dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, bem como dos dados de localização, identificação e finalidade disponíveis nos bancos de dados públicos do Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul (SIOUT) e do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Foram compilados os dados dos poços localizados na área do SAQCI, que se estende ao longo da faixa litorânea do RS, do município de Torres ao município de Chuí. A análise foi realizada a partir da comparação dos valores dos parâmetros analíticos constantes dos bancos de dados com os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888. A localização dos poços e os dados de seus respectivos parâmetros foram espacializados de forma pontual, a partir de sistemas de coordenadas, no software Quantum Gis (Versão 3.34.3 'Prizren'), de modo a possibilitar a análise integrada de diferentes categorias de informações, tais como: valores acima dos máximos permitidos pela portaria para um determinado parâmetro e a finalidade de uso das águas subterrâneas dos poços em que esses valores foram registrados. A análise conjunta desses dados permite que se verifique onde e quando foram identificadas potenciais contaminações, o padrão construtivo dos poços em que essas ocorrências predominam, se trata-se de poços ainda ativos, identificando, dessa forma, os trechos do SAQCI que necessitam de maior atenção na sua gestão das águas subterrâneas.

Resultados e Discussão

Ao longo da pesquisa foram compilados dados de parâmetros físicos, químicos e biológicos de mais de 900 poços, entre poços tubulares profundos, poços de ponteira e poços de pequeno diâmetro, bem como informações relativas à sua localização, identificação e finalidade. Desses mais de 900 poços, 388 são destinados ao abastecimento comunitário, abastecimento público, abastecimento doméstico, abastecimento urbano, consumo humano e consumo humano entre outros usos (Figura 1), conforme finalidades indicadas nos sistemas de informações consultados, cujos dados compreendem uma amplitude temporal de 59 anos, de 1963 a 2022. Foi realizada a análise de 28 parâmetros, na qual verificou-se que 19 deles (manganês, ferro, cor aparente, turbidez, alumínio, sólidos totais dissolvidos, cádmio, coliformes totais, amônia, cloreto, *Escherichia coli*, sódio, mercúrio, chumbo, cobre, dureza total, fluoreto, cromo, selênio) têm pelo menos uma ocorrência acima dos Valores Máximos Permitidos pela Portaria GM/MS nº 888. Ao todo foram identificados 137 poços potencialmente contaminados, ou seja, que possuem ao menos um parâmetro com valor acima dos padrões de potabilidade, sendo 42 do tipo ponteira e 95 poços tubulares. Desses 137 poços, 83 foram classificados como ativos, considerando aqueles que apresentam a situação "bombeando", quando cadastrados no SIAGAS, e, quando cadastrados no SIOUT, aqueles que contam com vazão média diária declarada. Os parâmetros que apresentam mais ocorrências de teores acima dos VMP's são o manganês que ocorre em 68 poços, e o ferro, ocorrente em 64 poços, com valores que vão de 0,109 a 95,0 mg/L (VMP 0,1 mg/L) e 0,33 a 76,0 mg/L (VMP 0,3 mg/L), respectivamente. Além desses, os parâmetros cor aparente (48 poços), turbidez (47 poços) e alumínio (20 poços) também apresentam alterações em um número relevante de poços. Lima *et al.* (2023) também verificou significativa ocorrência de poços com altas concentrações de ferro e manganês inseridos no litoral; corroborando com as



observações feitas por Baumgarten *et al.* (2017) na Ilha dos Marinheiros, onde 42% dos domicílios analisados apresentavam concentrações de ferro maiores ou iguais a 0,3 mg/L, ultrapassando os padrões estabelecidos na legislação. Moruzzi e Reali (2012) também destacam os depósitos e incrustações causados por íons de ferro e manganês que favorecem a proliferação de bactérias ferruginosas nocivas em águas destinadas ao abastecimento.

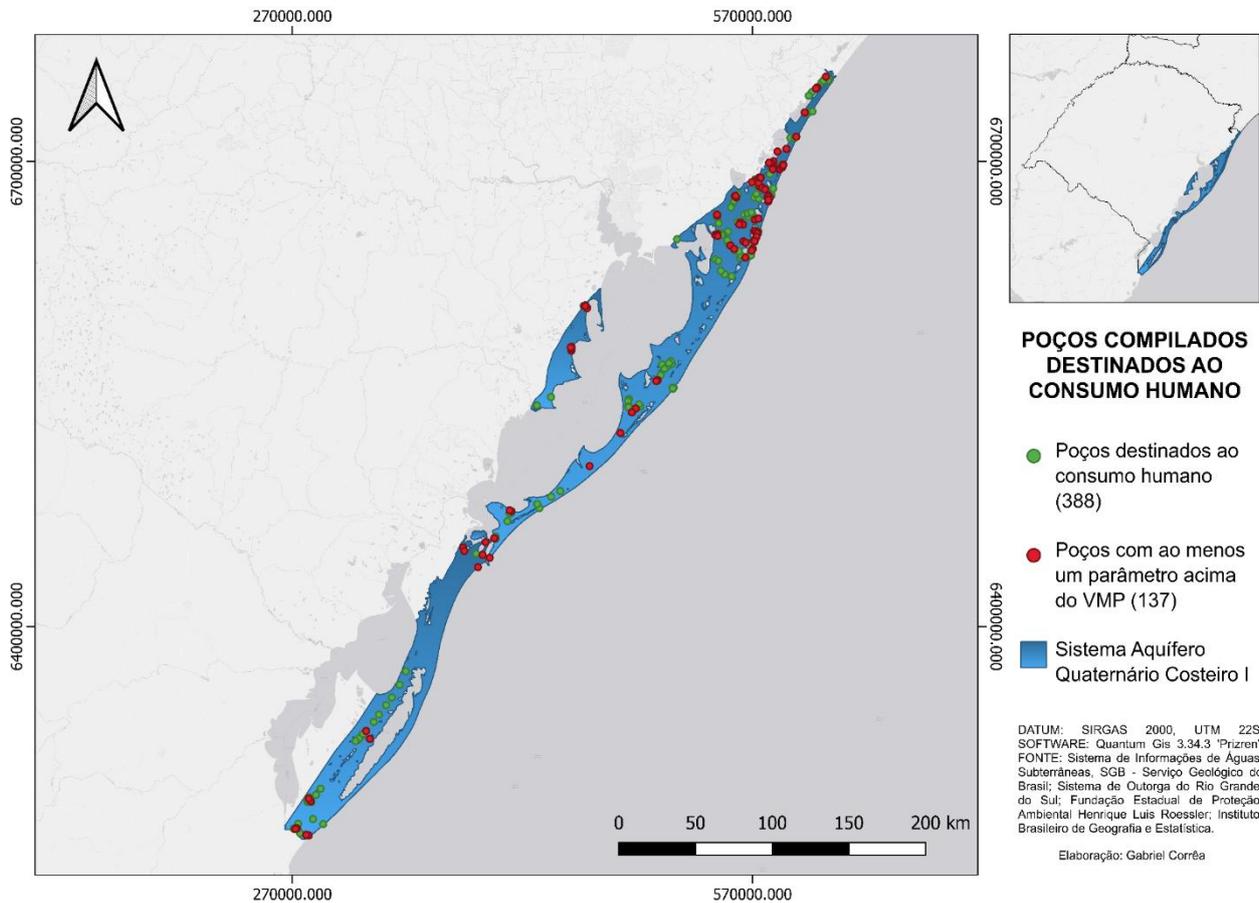


Figura 1: Total de poços compilados destinados ao consumo humano.

Os municípios do Litoral Norte têm registrado vigorosas alterações em seus territórios, condicionadas, conforme Moura *et al.* (2015), pelos processos de emancipação, crescente urbanização e o turismo. Além das altas taxas de crescimento, a região conta com populações flutuantes que oscilam entre algumas dezenas de milhares até cerca de 1 milhão de pessoas durante o veraneio (VERDUM *et al.*, 2012). Dinâmicas socioespaciais essas que intensificam a demanda por recursos naturais, dentre eles as águas subterrâneas, ocasionando a abertura desordenada de poços mencionada por Troian *et al.* (2017). Dos 137 poços identificados como potencialmente contaminados, 71 estão compreendidos entre os municípios de Torres e Balneário Pinhal, sendo 49 deles ativos. Desses, a maior parte (40 poços) está distribuída entre os municípios de Osório (15), Balneário Pinhal (14) e Tramandaí (11). Ressalta-se que não há um monitoramento que permita verificar a evolução dos parâmetros ao longo do tempo, dificultando a interpretação dos aspectos sazonais, bem como a identificação de eventuais contaminações, o que, consequentemente, configura-se como um obstáculo à gestão adequada dos recursos hídricos.

Conclusões

Dentre os 28 parâmetros analisados, 19 apresentaram concentrações acima dos VMP's estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888 em 137 dos 388 poços destinados ao consumo humano compilados. Teores elevados de manganês e ferro foram constatados em 68 e 64 poços, respectivamente, do total de 137 poços potencialmente contaminados, além de outros 17 parâmetros também apresentarem concentrações acima dos VMP's, ainda que em um menor número de poços. A alta concentração de ferro e manganês pode causar danos à saúde humana, sendo necessária uma análise detalhada acerca dessas ocorrências a fim de identificar suas fontes e o impacto em seus usuários. Do total de 137 poços que apresentam alguma alteração, 83 foram identificados como ativos, de forma que, considerando a imensa maioria dos poços que não constam em qualquer sistema cadastral, é possível que haja uma parcela da população que já consumiu ou ainda esteja consumindo água imprópria para o uso, explorada de porções do SAQCI que apresentam alterações em sua qualidade em uma gama de ao menos 19 parâmetros identificados, cuja maioria não é eliminada pelos sistemas de tratamento. Ressalta-se o caráter único dos dados analisados, os quais não são oriundos de um sistema de monitoramento e não permitem a elaboração de uma série histórica. O



monitoramento contínuo se faz fundamental para a identificação de eventuais alterações e/ou contaminações, de modo que permita o amplo conhecimento da qualidade das águas do SAQCI em diferentes áreas do aquífero, bem como garanta a adequação às normas estabelecidas pelos órgãos responsáveis. Nesse sentido, a análise espacial é uma importante ferramenta para o tratamento dos dados e a interpretação das possíveis causas de alterações a partir da identificação e correlação dos dados dos parâmetros físicos, químicos e biológicos com seus respectivos contextos socioeconômico, ambiental e hidrogeológico.

Referências:

Baumgarten, M. G. Z.; Pereira, A. L.; Rodrigues, H. R. S.; Veloso, C.; Dias, G.; Lima, K. 2017. Vamos conversar sobre a água da Ilha dos Marinheiros?: um mini-curso de educação ambiental para estudantes do ensino fundamental de uma comunidade com problemas de água potável (Rio Grande/RS). *Ambiente & Educação*, v. 22, n. 2, p. 262-282.

Lima, S. D.; Reginato, P. A. R.; Risso, A.; Troian, G. C. 2023. Qualidade da Água Subterrânea no Litoral do Rio Grande do Sul. 7º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente.

Moruzzi, R. B.; Reali, M. A. P.; 2012. Oxidação e Remoção de Ferro e Manganês em Águas para Fins de Abastecimento Público ou Industrial - Uma Abordagem Geral. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. v. 4. n. 1, p. 29-43.

Moura, N. S. V.; Moran, E. F.; Strohaecker, T. M.; Kunst, A. V.; 2015. A Urbanização na Zona Costeira: Processos Locais e Regionais e as Transformações Ambientais - o caso do Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul. *Brasil Ciência e Natural*. v. 37. n. 3, p. 594-612.

Silveira, M. N. 2020. Análise Qualitativa Simplificada da Concentração de Ferro na Água Subterrânea do Município de Osório Utilizada para Consumo Humano - Rio Grande do Sul - Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Troian, G. C.; Goffermann, M.; Freitas, M. A. 2015. Monitoramento Quali-quantitativo do Aquífero Costeiro no Litoral do Estado do Rio Grande do Sul. XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

Troian, G. C.; Reginato, P. A. R.; Senhorinho, E. M.; Marcuzzo, F. F. N.; Kirchheim, R. E.; Kuhn, I. A. 2017. Estimativa de Recarga Pelo Método Water Table Fluctuation (WTF) na Porção Norte do Aquífero Costeiro do Estado do Rio Grande do Sul. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

Verdum, R.; Basso, L. A.; Suertegaray, D. M. A. 2012. Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação. 2. ed. Editora da UFRGS.



ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA PORÇÃO NORDESTE DA BACIA DO MAMPITUBA NO RS

1Elisa Valéria Bonho Link Barbosa, 2Franciéle Schwanck,
3Pedro Antonio Roehe Reginato, 4Tiago de Vargas

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: elisa0897@hotmail.com; 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: schwanck.carlos@ufrgs.br; 3 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: pedro.reginato@ufrgs.br; 4 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: tiago.devargas@ufrgs.br

Palavras-chave: Água subterrânea; GOD; Bacia do Rio Mampituba

Resumo

O trabalho em questão teve como propósito analisar a vulnerabilidade das águas subterrâneas em parte da Bacia do Mampituba, localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. A área de estudo corresponde aos municípios de Morrinhos do Sul, Mampituba, Dom Pedro de Alcântara e Três Cachoeiras, que tem os recursos hídricos subterrâneos como a principal fonte de abastecimento doméstico, urbano e de comunidades rurais. A pesquisa foi realizada por meio do levantamento de informações dos poços, que foram obtidos através do SIAGAS, CORSAN, prefeituras, empresas de perfuração e levantamentos de campo. A partir desses dados foi realizado um estudo hidrogeológico para caracterização dos sistemas aquíferos e a avaliação da vulnerabilidade. Os resultados obtidos identificaram vulnerabilidades com índices entre baixo, médio e alto para o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e baixo e médio para o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

Introdução

As águas subterrâneas são fontes essenciais para o abastecimento humano e para o desenvolvimento social das cidades. Segundo o Atlas Águas (ANA, 2021), os mananciais subterrâneos são a forma exclusiva ou predominante de abastecimento de cerca de 2.500 sedes urbanas (43% das cidades), abastecendo aproximadamente 15% da população. A região da Bacia do Mampituba, embora composta por municípios com população relativamente pequena, é de grande importância para o desenvolvimento social e agrícola do Estado do Rio Grande do Sul. Porém, apesar disso, ainda existem poucas informações e estudos acerca do abastecimento, da vulnerabilidade e dos riscos de contaminação dos aquíferos presentes na área. Considerando o exposto anteriormente, este estudo foi desenvolvido visando avaliar a vulnerabilidade dos sistemas aquíferos presentes em parte da Bacia do Rio Mampituba.

Área de Estudo

A área de estudo abrange parte da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba, essa bacia se divide entre a porção nordeste do Rio Grande do Sul (708,25 km²) e sudeste de Santa Catarina (1.151,83 km²). A área total da bacia é de 1.860,08 km² e a população na área é de aproximadamente 45.500 habitantes. Os municípios de Morrinhos do Sul, Mampituba, Três Cachoeiras e Dom Pedro de Alcântara, abrangidos no presente estudo, encontram-se no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul (SEMA, 2020). A população inserida na área de estudo é estimada em 19.550 habitantes, segundo o CENSO 2021. A principal atividade econômica na região é a agricultura e pecuária.

Metodologia

O levantamento de dados foi realizado consultando-se informações provenientes da CPRM - SIAGAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas), CORSAN (Companhia Rio-grandense de Saneamento), dados das prefeituras, da vigilância sanitária e de empresas de perfuração e coletados em levantamentos de campo. A caracterização hidrogeológica da área de estudo foi realizada através da análise dos perfis geológicos dos poços, do levantamento de dados existentes, pela elaboração e interpretação das informações que foram armazenadas no banco de dados dos pontos de captação. Além disso, foi realizada a interpretação do mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005) e outros estudos feitos na região, como o Plano de Bacia (DRHS).

A etapa de avaliação da vulnerabilidade envolveu o uso do método GOD (*Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table*), descrito por Foster e Hirata (1993). As informações utilizadas nessa metodologia são: (G) Grau de confinamento do aquífero (livre, confinado, semi-confinado); (O) Ocorrência de estratos de cobertura; (D) Distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado.

Resultados

Na área de estudo foram analisados 15 poços pertencentes ao SAG, 14 captando do SASG e 3 com captação mista. Os mapas finais de vulnerabilidade para cada sistema aquífero foram gerados através da ferramenta de interpolação "IDW" no software ArcGis e os intervalos de vulnerabilidade foram estabelecidos de acordo com o método GOD. Para o parâmetro G foram considerados os tipos de aquíferos e seus respectivos graus de confinamento. Para os aquíferos fraturados do SASG foram considerados valores entre 0,6 e 1,0 (aquíferos não confinados com e sem cobertura), dependendo da espessura estimada de solos



existentes na área. Para o SAG, foram avaliados dados de perfil dos poços para identificar se os aquíferos captados são do tipo não confinado, semiconfinado ou confinado (valores entre 0,2 a 0,9). Para a caracterização do parâmetro O foi avaliada a presença de estratos de cobertura sobre o aquífero a partir dos perfis geológicos (valores de 0,5 a 0,8). Para o parâmetro D foram considerados os valores obtidos do nível estático dos poços, avaliando-se a profundidade do lençol freático ou do topo do aquífero, em relação a aquíferos confinados. Para os níveis estáticos com resultados maiores que 50 m foi considerado valor de 0,6, variando até 0,9 para as profundidades menores que 5 m. Os índices foram multiplicados entre si para se chegar na classificação final da vulnerabilidade.

Para os poços avaliados do SAG, cerca de 41,67% apresentaram índice baixo, 35,23% foram classificados com índice médio e 23,10% com alto índice de vulnerabilidade (Figura 1). O mapa de vulnerabilidade indica que, em sua maioria, os poços que captam água da porção confinada do SAG apresentaram baixa vulnerabilidade e os poços presentes nas áreas onde o aquífero é aflorante resultaram em média e alta vulnerabilidade. Além disso, os valores de NE também influenciaram nos resultados, considerando que os locais onde a profundidade era menor os índices ficaram mais altos.

Para os poços do SASG, cerca de 9,57% dos poços apresentaram índice baixo, enquanto o restante, cerca de 90,43% dos poços, foram classificados com índice médio. As áreas ocupadas pelos índices baixo e médio tiveram seus resultados influenciados principalmente pela profundidade do NE e pelas espessuras dos estratos de cobertura. Os locais onde as espessuras eram relativamente menores, os índices gerados foram maiores.

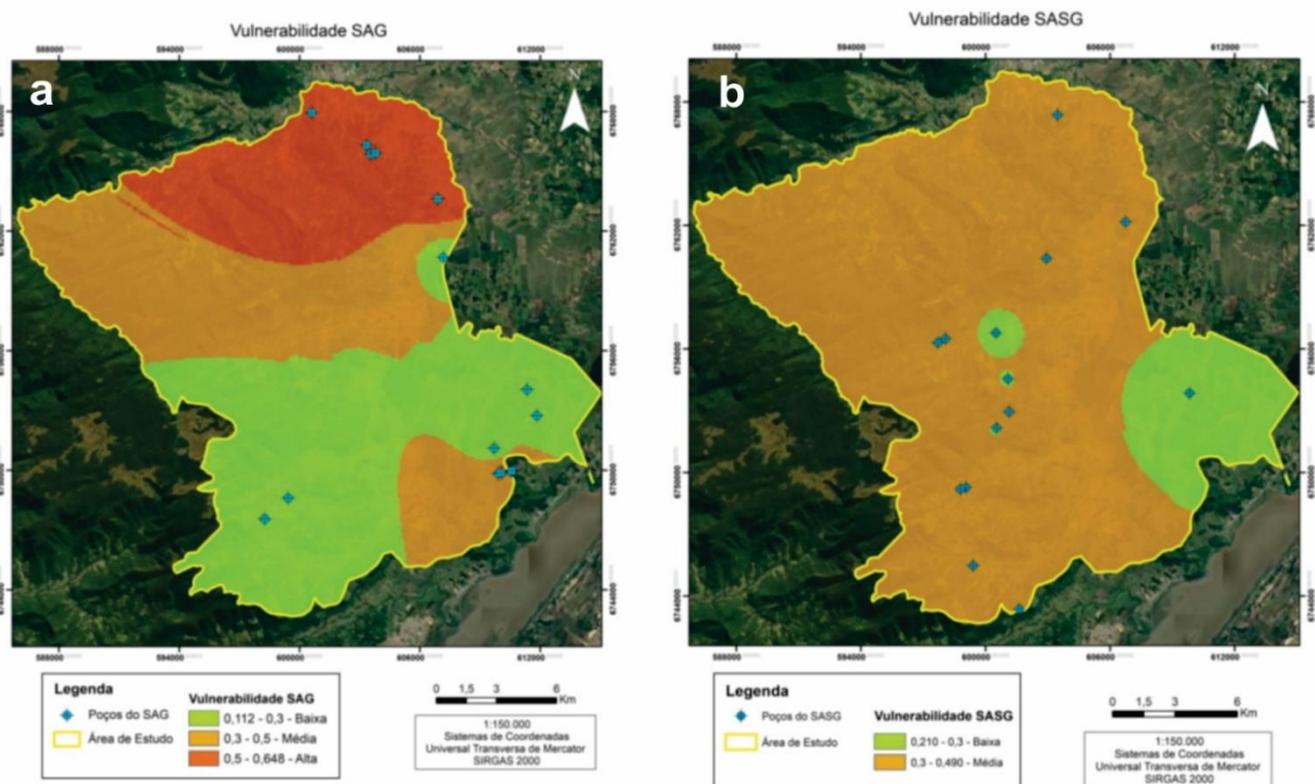


Figura 1: Mapa de vulnerabilidade para o SAG (a) e o SASG (b).

Conclusão

Através do desenvolvimento do estudo concluiu-se que, nos municípios presentes na área de estudo, a principal forma de abastecimento de água se dá pela captação subterrânea. Os recursos hídricos são utilizados principalmente para abastecimento urbano e rural, sendo que a principal atividade econômica da região é a agricultura. A análise da vulnerabilidade do SAG apresentou como resultado as classes baixa (41,67%), média (35,23%) e alta (23,10%), devido à extensão da área abrangida pelo sistema e pelas diferenças entre as áreas onde o aquífero é aflorante ou confinado. Em sua maioria, os poços que captam água da porção confinada do SAG apresentaram baixa vulnerabilidade e os poços presentes nas áreas onde o aquífero era aflorante resultaram em média e alta vulnerabilidade. A vulnerabilidade calculada para o SASG apresentou como resultado as classes baixa (9,57%) e média (90,43%), com maior influência das espessuras dos estratos de cobertura e pela profundidade do NE, os locais onde as espessuras eram relativamente menores, os índices gerados foram maiores.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, por meio do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015.



Referências Bibliográficas

Atlas Águas. 2021. Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano. Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, DF, 332 p.

CPRM. 2005. Serviço Geológico Brasileiro. Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:750.000. Porto Alegre.

Foster, S.; Hirata, R. 1993. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas; um método baseado em dados existentes. In: Boletim. Instituto Geológico.

IBGE. 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://cidades.ibge.gov.br/>, acessado em 09/03/2022.

SEMA. 2020. Secretaria do Meio Ambiente. Plano de Bacia Mampituba: Fase A - Diagnóstico. Porto Alegre, RS. 219 p.



AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DO LAGO VACA BRAVA EM GOIÂNIA - GO

1Fernando Ernesto Ucker, 2Indimar Virgilino, 3Lília Francisco Pires, 4Rayane Monique Queiroz Reis, 5Renan krupok Matias, 6Milton Gonçalves da Silva Junior.

1 Centro Universitário Araguaia, e-mail: fernando@uniaraguaia.edu.br; 2 Centro Universitário Araguaia, e-mail: indimar.virgilino@estudante.uniaraguaia.edu.br; 3 Centro Universitário Araguaia, e-mail: lilia.francisco@estudante.uniaraguaia.edu.br; 4 Centro Universitário Araguaia, e-mail: rayane.monique@estudante.uniaraguaia.edu.br; 5 Centro Universitário Araguaia e-mail: renan.matias@uniaraguaia.edu.br; 6 Centro Universitário Araguaia, e-mail: milton.junior@uniaraguaia.edu.br;

Palavras-chave: Recursos Hídricos; Bacia Hidrográfica; Parque Municipal Sulivan Silvestre.

Resumo

O uso indevido da água está elevando a contaminação de mananciais, tornando cada dia a água como um bem ainda mais valioso. O intenso uso e exploração dos recursos hídricos, já limitados, nas atividades de produção e consumo degrada-os intrinsecamente. Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água do lago Vaca Brava, em Goiânia - GO, em duas épocas distintas, comparando os resultados e verificando a vulnerabilidade ambiental do lago. O estudo foi realizado no Lago Vaca Brava (localizado no Parque Municipal Sulivan Silvestre), em Goiânia, capital do Estado de Goiás. No local, foram definidos dois pontos de amostragem, sendo um a montante do lago e outro a sua jusante. As análises de água foram realizadas *in situ*, utilizando-se o equipamento, Sonda de Qualidade de Água Multiparamétrico YSI EXO-1. As análises realizadas foram: Condutividade, pH, Turbidez e Oxigênio Dissolvido. A fim de comparação dos resultados, foram realizadas análises de água nos dias 07/10/2023 (realizado apenas no ponto P-0, caracterizando o ponto inicial da pesquisa, em época sem precipitações volumosas) e nos dias 03/02/2024 e 16/03/2024 (sendo realizadas nos pontos P-0 e P-1, a fim de obter o comparativo do ponto no montante, entrada do lago, quanto o ponto na jusante, saída do lago). Além da análise de água, realizou-se análises visuais, a fim de caracterizar a ocupação urbana do local, da qual há possibilidade de interferência na qualidade da água. A partir dos referidos parâmetros coletados de qualidade da água, avaliou-se juntamente com a análise visual, concluiu-se que, apesar das variações sazonais e da presença de poluentes (possíveis descarte de resíduos sólidos e material orgânico), o lago Vaca Brava, de Goiânia-GO, mantém-se dentro de padrões ambientalmente aceitáveis para geração, manutenção e conservação dos ecossistemas. Além disso, é importante ressaltar que, a preservação da mata ciliar é fundamental para a manutenção dos ecossistemas aquáticos saudáveis e o natural desenvolvimento da biodiversidade.

Introdução

O uso indevido da água está elevando a contaminação de mananciais, fidelizando a água como um bem ainda mais valioso. O intenso uso e exploração dos recursos hídricos, já limitados, nas atividades de produção e consumo estão degradando-os, refletindo nos ciclos biogeoquímicos, no cotidiano humano (racionalização hídrica), fauna e flora, corroborando para estudos e práticas emergentes em soluções e validação de qualidade. Diante disso, torna-se mais visível a necessidade de reduzir a poluição hídrica, devido ao crescimento populacional da cidade de Goiânia; a busca por alternativas sustentáveis é uma necessidade de toda a população. A cidade planejada em 1933 para abrigar 50 mil habitantes, corresponde atualmente a uma capital com a população estimada em 1,5 milhões de habitantes.

Em cenários de mudanças climáticas, pesquisas relacionadas com os eventos extremos e seus efeitos nas bacias hidrográficas são essenciais para a adaptação humana (MARENGO, 2008). Além dos eventos de enchentes e secas, a qualidade de água também ganha bastante atenção, já que impactos na qualidade de água podem ser exacerbados por fatores meteorológicos (MICHALAK, 2016). Por exemplo, o escoamento de nutrientes e agrotóxicos em plantações é mais intenso após intensas chuvas.; também o aporte de coliformes fecais nos corpos d'água próximos a centros urbanos é maior com o aumento da precipitação (OLIVEIRA & CUNHA, 2014).

(SILVA & BALDUINO, 2022) afirmam que hoje em dia um dos principais problemas que enfrentamos é a poluição dos recursos hídricos, da qual provoca a perda de qualidade da água. O monitoramento de seus parâmetros qualitativos é fundamental para obter informações físicas, químicas, biológicas e ecológicas dos recursos hídricos por meio de amostragem. A água, vital para a manutenção da vida, é um recurso em constante crise de escassez, causada pela poluição dos corpos hídricos e pelo aumento indiscriminado do consumo de água. A qualidade dos lagos artificiais pode ser comprometida pela presença de contaminantes oriundos de atividades agrícolas (BATISTA et al., 2016), despejos de efluentes industriais e sanitários. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água do lago Vaca Brava, em Goiânia - GO, em duas épocas distintas (período com baixa e alta precipitação), comparando estes resultados e verificando a vulnerabilidade ambiental do lago.

Material e Métodos

O estudo foi realizado no Lago Vaca Brava (localizado no Parque Municipal Sulivan Silvestre), em Goiânia - GO, do qual é alimentado por nascentes a montante (entrada), e a jusante do lago (saída), caracterizando sua dimensão. No local, definiu-



se dois pontos de amostragem, P-0 e P-1, com o intuito de captar toda a água que passa pelo lago, onde pode ser observado na Figura 1. O ponto caracterizado por P-0, sendo este a montante, caracteriza-se receber a água diretamente das nascentes do parque, e o ponto caracterizado por P-1, jusante, identifica-se ao término do lago,

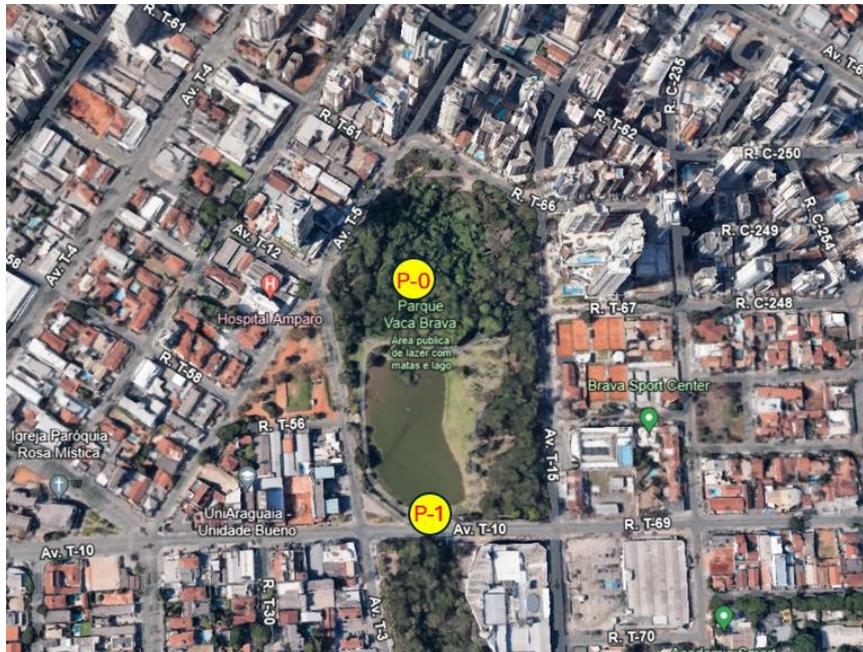


Figura 1. Localização do Lago Vaca Brava, em Goiânia-GO, e a localização dos dois pontos de amostragem (P-0 e P-1).

As análises de água foram realizadas *in situ*, utilizando-se o equipamento Sonda de Qualidade de Água Multiparamétrico YSI EXO-1. As análises realizadas foram: Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, Turbidez (NTU) e Oxigênio Dissolvido (mg/L). Para amplitude de dados, realizou-se análises de água nos dias 07/10/2023 (realizado apenas no ponto P-0, caracterizando o ponto inicial da pesquisa, em época sem precipitações volumosas) e nos dias 03/02/2024 e 16/03/2024 (sendo realizadas nos pontos P-0 e P-1, com intuito de realizar comparativos com o ponto a montante e o ponto a jusante do lago). Sob esse viés climático, é válido identificar que, Goiânia - GO possui o clima tropical típico (sub úmido) com períodos de chuva entre outubro e abril, sendo o período de seca entre maio e setembro; considerando as mudanças climáticas mais ativas. Além dos dados referentes ao recurso hídrico, verificou-se visualmente a crescente ocupação urbana do local, fato do qual pode interferir na qualidade da água.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos a partir da pesquisa em campo são apresentados na Tabela 1. A condutividade elétrica indica a capacidade natural da água em transmitir corrente elétrica (BRITO et al., 2020). Ela está relacionada à presença de íons na água e pode indicar a presença de poluentes. Os valores encontrados variaram de 114,80 a 133,40 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ entre os pontos amostrais. Salientando que ainda não são estabelecidos valores para condutividade elétrica na Resolução CONAMA nº 357/2005. A partir dos dados da Tabela 1 nota-se que o parâmetro condutividade elétrica manteve-se em faixa aceitável, desde o período de final da seca (outubro/2023) e o período de chuvas (março/2024).

Tabela 1. Resultados dos parâmetros de qualidade de água.

Pontos	Data	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Turbidez (NTU)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
P-0	07/10/2023	133,4	7,42	0,87	3,29
P-0	03/02/2024	117,7	7,27	14,49	7,01
P-1	03/02/2024	114,8	7,79	19,30	7,61
P-0	16/03/2024	129,0	7,36	8,91	7,72
P-1	16/03/2024	128,6	8,84	12,50	9,31

Os valores de turbidez sofreram grandes alterações entre o período de chuvas e seca, devido a possibilidade de escoamento superficial durante a precipitação o solo, os sedimentos, resíduos orgânicos e poluentes que não infiltram na terra, podem ser levados para o lago. Além disso, em períodos secos, com menor entrada de água, a capacidade de diluição e a renovação da água são reduzidas, o que pode resultar em maior concentração de sedimentos e matéria orgânica. Para o início de outubro/2023, a análise indicou valor de 0,87 NTU, valor este extremamente baixo. No entanto, a partir das chuvas que ocorreram na cidade de Goiânia até meados de março/2024, os valores deste parâmetro sofreram acréscimo considerável, chegando a 19,30 NTU em 03 de fevereiro de 2024.



Os sólidos (tanto os suspensos quanto os sedimentáveis) podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios, destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia (CETESB, 2017). Assim, tais valores encontrados não podem ser considerados como valores de grande preocupação.

O pH é um parâmetro fundamental aos ecossistemas aquáticos, interferindo diretamente nos efeitos fisiológicos de diversas espécies e na disponibilidade de nutrientes (CETESB, 2017). Os valores de pH estão dentro da faixa aceitável, pois valores muito ácidos ou alcalinos afetam diretamente os usos recreativos da água, podendo contribuir para problemas cutâneos e/ou oculares. O valor de pH ideal para recreação por contato primário foi considerado como 7,4 (pH do líquido lacrimal), enquanto o pH maior que 9 pode ocasionar erupções cutâneas, e um pH menor que 6 acarreta irritação ocular.

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais ou os reatores para tratamento biológico de esgotos. Nas águas naturais, o oxigênio é indispensável também para outros seres vivos, especialmente os peixes, onde a maioria das espécies não resiste a concentrações de oxigênio dissolvido na água inferiores a 4,0 mg.L⁻¹. É, portanto, um parâmetro de extrema relevância na legislação de classificação das águas naturais, bem como na composição de índices de qualidade de águas (IQAs). O OD é um fator limitante para a manutenção de vida aquática, sendo um indicador primário da qualidade hídrica (BRITO et al., 2020). Os níveis de OD oscilaram entre os pontos amostrais.

O valor mínimo do OD para a preservação da vida aquática, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 é de 5,0 mg/L, porém existe uma variação na tolerância de espécie para espécie. Nota-se que foi encontrado, a partir da Tabela 1, valor abaixo do ideal, sabendo-se que as carpas (peixe que é encontrado com muita frequência no lago estudado), por exemplo, conseguem suportar concentrações de OD de 3,0 mg/L. Um fator considerável a ser analisado no lago vaca brava é o despejo de material orgânico na água, pois esse despejo aumenta a concentração de matéria orgânica, que desencadeará proliferação de bactérias e, conseqüentemente, uma demanda maior de oxigênio por meio da respiração, e conseqüentemente a redução de oxigênio.

Para Botelho et al. (2013), os efeitos da poluição nos corpos d'água é oriunda dos fatores antrópicos tais como: a interferência e retirada das matas ciliares, o desmatamento, o lançamento de esgoto bruto de forma indiscriminada e os despejos irregulares de resíduos sólidos contribuem para alteração da qualidade das águas nos rios.

Além disso, a influência arbórea pode fazer grande diferença na concentração dos poluentes. As matas ripárias, por exemplo, são formações florestais existentes às margens de rios, lagos, lagoas, córregos e nascentes, e podem ser ciliares, galerias e palustres, variando de margem para margem dos córregos. São ambientes de grande importância como habitat e fonte de alimento para a fauna aquática e terrestre sendo fundamental para a preservação da biodiversidade (PINTO et al., 2010). A partir disso, nas visitas *in loco* realizadas ao lago estudado, pode-se perceber que o local possui grande proteção pela vegetação, o que acarreta valores aceitáveis dos parâmetros avaliados.

Conclusão

A partir da avaliação dos quatro parâmetros de qualidade da água, juntamente com a análise visual, é possível concluir que, enfatizando que não há descarte de águas residuárias, as variações sazonais e a presença de poluentes dos quais estão sujeitos a ocorrer, como descarte incorreto de resíduos sólidos (vidro, embalagens de papel, alumínio e principalmente plástico) além de materiais orgânicos, o lago Vaca Brava, de Goiânia-GO, mantém-se dentro de padrões ambientalmente aceitáveis, sendo assim nos pontos P-0 (montante) e P-1 (jusante). A condutividade elétrica, a turbidez, os sólidos suspensos e sedimentáveis, o pH e a concentração de oxigênio dissolvido estão dentro dos limites considerados adequados para a manutenção da vida aquática e para usos recreativos. No entanto, é importante destacar que se continue o monitoramento e que ocorra a implementação de medidas para prevenir a deterioração da qualidade da água, especialmente diante dos impactos antropogênicos, como o despejo de materiais orgânicos e o desmatamento das áreas ciliares. Também a entrada de diversos moradores de rua nas matas, tanto para abrigarem-se quanto para realizarem suas necessidades fisiológicas podem ocasionar a deterioração da água. A preservação das matas é, portanto, crucial para a proteção da biodiversidade e para a manutenção dos ecossistemas aquáticos saudáveis.

Agradecimentos

Os Autores agradecem ao Centro Universitário Araguaia - UniAraguaia pela concessão da bolsa de iniciação científica para o projeto intitulado "Projeto Sub-Bacia Escola: Gestão Ambiental dos Recursos Naturais do Córrego Vaca Brava".

Referências Bibliográficas

Batista, D. F.; Cabral, J. B. P.; Carvalho, C. B.; Nascimento, E. S.. Caracterização e diagnóstico das águas do Ribeirão Paraíso em Jataí-Goiás. Revista Brasileira de Geografia Física, v.9, n.6, p.2132-2147, 2016.

Botelho, R. G.; Rossi, M. L.; Maranhão, L. A.; Olinda, R. A.; Tornisiello, V. L.. Evaluation of surface water quality using an ecotoxicological approach: a case study of the Piracicaba River (São Paulo, Brazil). Environmental Science Pollution Research, v.20, n.7, p.4382-4395, 2013.

Brito, F. S. L.; Pimentel, B. A.; Vilhena, J. C.; Rosário, K. K. L.; Morais, M. S.; Cruz, R. H. R.; Corrêa, V. L. S.. Comportamento das variáveis físico-químicas da água do lago Bolonha-Belém-PA. Brazilian Journal of Development, v.6, n.1, p.1738-1757, 2020.



CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2017. Apêndice E: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB, 2017.

Marengo, J. A. 2008. Água e mudanças climáticas. Estudos Avançados, v. 22, p.83-96.

Michalak, A. M. 2016. Study role of climate change in extreme threats to water quality. Nature, v. 535, p.349-350

Oliveira, B. S. S.; Cunha, A. C. 2014. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. Revista Ambiente e Água, v. 9, p. 261-275.

Pinto, A. L.; Oliveira, G. H.; Pereira, G. A.. Evaluation of the efficiency of dissolved oxygen use as the main indicator of surface water quality in the Bom jardim stream basin, Brasilândia/MS. Magazine GEOMAE: Geografia, Meio Ambiente e Ensino, Campo Mourão, v.1, n.1, 2010.

Silva, R. B.; Balduino, A. R. 2022. Analysis of the water quality of the Lake UHE Lajeado in Porto Nacional/TO. Natural Resources. v. 12, n.1.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 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. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 mar. 2005.



VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA DE UM RIO INTERNACIONAL NO SUL DO BRASIL

1Rogério Santos Júnior, 2Tamiris Rosso Storck, 3Keli Hofstätter, 4Silvana Isabel Schneider, 5Patrícia Raquel Vargas, 6Jaíne Ames, 7Jaqueline Ineu Golombieski, 8Barbara Clasen.

1 Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: rogerio.santos.acad@ufsm.br; 2 Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: tamiris.storck@acad.ufsm.br; 3 Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: hofstatterkeli@gmail.com; 4 Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: silvanaeas@outlook.com; 5 Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: patricia.vargas@acad.ufsm.br; 6 Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: jaineames2014@gmail.com; 7 Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: jaqueline.golombieski@ufsm.br; 8 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: ba.clasen@hotmail.com

O avanço desordenado das atividades antrópicas como a indústria, pecuária e agricultura, juntamente com a degradação dos biomas brasileiros coloca em risco a integridade dos ecossistemas aquáticos. Desta forma, o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica reflete diretamente na qualidade dos recursos hídricos. A Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai compreende os Biomas Pampa e Mata Atlântica no sul do Brasil, além de parte da Argentina e Uruguai. Esta bacia vem sendo degradada ao longo dos anos e estima-se que exista uma pequena parcela de vegetação remanescente em relação à cobertura vegetal inicial, com alto grau de fragmentação. Diante disso, a contaminação do Rio Uruguai pelas atividades antrópicas é recorrente. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade das águas superficiais do Rio Uruguai. Para isso, foram realizadas duas coletas (inverno/2022 e verão/2023) de amostras de água em três locais distribuídos ao longo da extensão do rio.

As variáveis físico-químicas da água analisadas nos locais de coleta foram: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e salinidade utilizando uma sonda multiparâmetro Aquaread; sólidos totais, ortofosfato, fósforo total, dureza total, alcalinidade total, turbidez, nitrito, nitrogênio total Kjeldahl foram determinados de acordo com Standard Methods for the Examination of water and wastewater (APHA, 2012); amônia total e nitrito+nitrato conforme Tedesco et al. (1995), e os coliformes totais e *Escherichia coli* de acordo com a CETESB (2018). Os contaminantes de preocupação emergente avaliados foram: agrotóxicos analisados pelo método de Determinação de Resíduos de Pesticidas Empregando Extração de Fase Sólida (SPE) e Análise por Cromatografia Líquida/Espectrometria de Massa em Tandem (LC-MS/MS) de acordo com a metodologia descrita por Sabin et al. (2009) e Martins et al. (2013), medicamentos de uso humano e animal e hormônios por meio de Cromatografia Líquida de Ultra-alta Performance Acoplada a Espectrometria de Massa (UHPLC-MS/MS), adaptado de Jank et al. (2014).

No inverno foi detectada a presença de seis ingredientes ativos de agrotóxicos nas amostras de água: 2,4-D, clomazone, imidacloprido, quincloraque, simazina e tebuconazol. Neste mesmo período, foi detectada a presença de cinco medicamentos: albendazol, albendazol sulfóxido, cafeína, lincomicina e sulfametoxazol. Da mesma forma, no verão houve a ocorrência de seis agrotóxicos: azoxistrobina, carbendazin, imidacloprido, quincloraque, simazina e tebuconazol. Em relação aos medicamentos, no verão foi detectada a presença de quatro componentes: atenolol, cafeína, lincomicina e ofloxacina. A concentração e ocorrência destes contaminantes de preocupação emergente variaram de acordo com os locais de coleta. Em relação as variáveis físico-químicas da água notou-se que em geral, mantiveram-se parcialmente iguais quando comparado as duas estações de interesse, entretanto os valores das variáveis de: coliformes totais, temperatura, turbidez e condutividade elétrica foram apresentaram valores superiores na estação de verão/2023 quando comparado ao inverno/2022.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que o Rio Uruguai recebe contaminantes de preocupação emergente de fontes pontuais e difusas, possivelmente provenientes de esgotos domésticos e/ou industriais em áreas urbanas e rurais que também alteram as características físico-química da água. A presença de agrotóxicos e medicamentos na água pode desencadear uma série de problemas em todo o ecossistema, tanto pelos efeitos tóxicos diretos em organismos aquáticos expostos quanto ao longo da cadeia trófica. Diante disso, a garantia de manter a qualidade da água é responsabilidade compartilhada entre governos, indústrias e cidadãos. A proteção dos recursos hídricos exige políticas eficazes, investimentos em infraestrutura de saneamento e o engajamento de toda a sociedade. Portanto, os resultados deste estudo são de extrema importância para direcionar as possíveis medidas de gestão e remediação das águas do Rio Uruguai.



APLICABILIDADE DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS IQNAS E IRQ NO SISTEMA AQUIFERO SERRA GERAL

1Guilherme Sandrin Dattein, 2Tiago De Vargas, 3Pedro Antônio Roehle Reginato, 4Franciele Schwanck Carlo, 5Rossano Belladona

1Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: guidattein1234@gmail.com; 2Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: tiago.devargas@ufrgs.br; 3Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: pedro.reginato@ufrgs.br; 4Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: frasnschwanck@gmail.com; 5 Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul, e-mail: mail.rbelladona@samaecaxias.com.br

Palavras-chave: Água subterrânea; Índice de Qualidade; Sistema Aquífero Serra Geral

Resumo

Para o Sistema Aquífero Serra Geral, que abrange uma vasta porção do estado do Rio Grande do Sul, observa-se uma escassez de estudos e aplicações dos índices de qualidade de água subterrânea com objetivo de gestão. Este estudo propõe abordar essa lacuna, concentrando-se na aplicação e comparação de dois índices na região de Caxias do Sul, onde o Sistema Aquífero Serra Geral é explotado. Foi selecionada a análise química de um poço tubular utilizado no abastecimento público para aplicação dos índices. Nessa etapa do projeto foram escolhidos os índices IQNAS e IRQ, tendo em vista a natureza de aplicação. Os resultados das classificações de cada método não convergiram, enquanto IQNAS classificou como Ótima, o IRQ apontou como Razoável a qualidade da água subterrânea analisada. Essa diferença de classificação está relacionada com o elemento químico ferro, que não é considerado no IQNAS, mas que pode ocorrer em elevadas concentrações devido a sua origem geológica.

Introdução

A preservação das águas subterrâneas é crucial para a saúde ambiental e humana. Diante da crescente preocupação com sua degradação, os índices de qualidade emergem como ferramentas complementares para avaliar e gerenciar esses recursos. Esses índices resumem dados complexos relacionados à qualidade da água, reduzindo assim o tempo de processamento e melhorando a compreensão tanto para técnicos quanto para o público em geral (Belladona, 2023). Compreender e aplicar esses métodos é importante para contribuir com a segurança hídrica para o abastecimento de água subterrânea. Eles oferecem uma avaliação rápida e eficaz da qualidade, podendo identificar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, facilitando a gestão das águas subterrâneas através de tomada de decisões direcionadas às medidas corretivas e preventivas.

Existem diversos métodos que podem ser aplicados no cálculo do índice de qualidade de um corpo d'água subterrâneo, sendo normalmente denominados de IQAS, sendo que cada um possui vantagens, desvantagens e limitações. Os IQAS com uso mais difundido em artigos brasileiros são: Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS); Índice de Qualidade de Águas Subterrâneas Destinadas ao Uso na Produção de Água Potável (IQUAS); Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS); Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ); Índice Relativo de Qualidade (IRQ).

Os índices IQNAS, IQUAS e e-IQUAS foram desenvolvidos para avaliar a qualidade das águas subterrâneas no estado da Bahia. O IQNAS é o método mais simples dos três, pois considera apenas seis parâmetros e não incorpora a presença de elementos tóxicos. O IQUAS, baseado no SEQ e IQNAS, é mais complexo ao contemplar uma maior quantidade de parâmetros, incluindo pesos relativos e absolutos para cada um, o que elimina resultados com efeito de "eclipse". Já o e-IQUAS é um método flexível que permite a seleção, adição ou remoção de parâmetros, os quais podem ser agregados em grupos de alteração conforme necessário e representa uma evolução do IQUAS. Por outro lado, o SEQ considera as concentrações dos parâmetros para diversos usos, não somente para comparação com o Valor Máximo Permitido (VMP), também incorporando grupos de alteração, enquanto o IRQ é um índice relativo, de fácil aplicação e flexível para adição de novos parâmetros.

As águas subterrâneas estudadas nesta pesquisa são provenientes do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), extraídas de um poço tubular utilizado no abastecimento público do distrito de Santa Lúcia do Piaí, no município de Caxias do Sul, RS. No entanto, até o momento, não foram encontradas referências bibliográficas que abordem a aplicação de IQAS para o monitoramento da qualidade da água nesta localidade, gerando um hiato de conhecimento para a gestão desse recurso hídrico subterrâneo que é operado pela empresa de saneamento municipal.

Tendo em vista a importância dos IQAS para o monitoramento da qualidade da água subterrânea e a escassez de estudos sobre eles no SASG, este trabalho tem como objetivo aplicar e comparar dois IQAS, que refletem a qualidade natural da água subterrânea, para identificar qual deles representa melhor a qualidade da água na região estudada.

Área de Estudo

A área de estudo abrange o distrito de Santa Lúcia do Piaí, em Caxias do Sul. O poço tubular amostrado está localizado nas coordenadas geográficas -29,2318° / -51,0180° e abastece parte desse distrito. Na região predominam os derrames ácidos da Formação Serra Geral (FSG), com ocorrências também de derrames básicos e da Formação Botucatu (Vargas, et al., 2013). As



águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) ocorrem na FSG, que em virtude da litologia vulcânica e dos processos de intemperismo associados apresentam concentrações elevadas de ferro e manganês acima dos padrões de potabilidade (Reginato e Strieder, 2007).

Metodologia

O presente trabalho utilizou a análise físico-química de uma amostra de água subterrânea coletada em agosto de 2020 pelo laboratório HidroLab. Os índices de qualidade de água selecionados foram o IQNAS e o IRQ. O primeiro é considerado mais restritivo devido a sua natureza de aplicação, enquanto o segundo é assinalado como flexível por permitir a inclusão de novos parâmetros.

Para avaliar a conformidade da água foi observado o VMP na Portaria Nº 888, de 4 de maio de 2021, para cada parâmetro escolhido, comparando-os com as concentrações encontradas na amostra (Tabela 1). Os parâmetros selecionados para IQNAS foram: cloretos, dureza, fluoreto, nitrato, sólidos totais dissolvidos e pH (Oliveira et al., 2007). Para o IRQ foram escolhidos ferro, manganês e sulfato, juntamente com nitrato, cloretos e sólidos totais dissolvidos. Segundo Fernandes e Loureiro (2006), os parâmetros nitrato, cloreto e sólidos totais dissolvidos indicam variações significativas no meio hidrogeológico, que podem estar relacionadas as fontes de poluição/contaminação. Devido a flexibilidade desse método foram incorporados os elementos químicos ferro e manganês, que apresentam relação intrínseca com a mineralogia do SASG, e o parâmetro sulfato, que pode ter origem antrópica (Sharma e Kumar, 2020).

	CLORETOS	DUREZA	FERRO	FLUORETO	MANGANES	NITRATO	SOLIDOS TOTAIS	SULFATO	pH
Concentração	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	/
VMP	250	300	0,3	1,5	0,1	10	500	250	6 - 9,5
Amostra	3,265	46,56	0,797	0,242	0,03	0,587	106	0,649	6,93

Tabela 1: VMP em comparação com os valores da amostra.

Para calcular o IQNAS, utilizou-se uma equação matemática que consiste no produto dos valores de qualidade da água subterrânea para cada parâmetro químico escolhido, elevado ao peso atribuído a cada variável, conforme demonstrado na fórmula a seguir:

$$IQNAS = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde: n é a quantidade de parâmetros, q_i o parâmetro e w_i é o peso associado ao parâmetro.

Tendo em vista que a água subterrânea, em geral, não é submetida a um tratamento convencional, a escala escolhida para o IQNAS foi a seguinte: nota de 80 a 100 (qualidade ótima), de 52 a 79 (boa), de 37 a 51 (aceitável), de 0 a 36 (imprópria) (Oliveira et al., 2007). Já para a aplicação do IRQ, para o caso de áreas com apenas um ponto, considera-se diretamente os valores mínimos determinados previamente a partir das planilhas de dados de monitoramento (Fernandes e Loureiro, 2006). Assim, para cada parâmetro selecionado, calculamos a razão entre o valor encontrado na amostra e o VMP, somando esse resultado com os resultados dos demais parâmetros e dividindo pelo número total de parâmetros, conforme demonstrado nas equações abaixo:

$$Q_n = \frac{C}{VMP}$$

$$IRQ = \frac{\sum_{i=1}^n Q_n}{m}$$

Onde: Q_n é o parâmetro, C é concentração, VMP é valor máximo permitido e m é quantidade de parâmetros.

As faixas para avaliação do IRQ são: $0 < IRQ \leq 0,3$; $0,3 < IRQ \leq 0,6$; $0,6 < IRQ \leq 0,9$; $0,9 < IRQ \leq 1,2$; $IRQ > 1,2$. Representando, respectivamente, as qualificações: Excelente, Boa, Razoável, Ruim e Péssima.

Resultados

Observou-se que o IQNAS apresentou a classificação Ótima, enquanto o IRQ indicou a classificação Razoável (Tabela 2). A diferença na classificação final deve-se a alta concentração de ferro presente na análise química do poço estudado. Como o IQNAS não leva em consideração o parâmetro ferro, a classificação obtida foi superior a realidade do ambiente avaliado. Isso ocorreu devido a sua natureza construtiva, que levou em consideração os parâmetros químicos com maior relevância à geologia da região utilizada na elaboração do índice e, além disso, a uma complexa condição de adaptação para novos parâmetros



químicos. Por outro lado, o IRQ possui uma condição de flexibilidade metodológica que permite a variação de parâmetros com origem antropogênica e uma caracterização de mudanças naturais da qualidade da água (Fernandes e Loureiro, 2006). Devido a essa flexibilidade foi possível identificar a influência do elemento químico ferro na classificação da água subterrânea do SASG, que refletiu em uma diminuição da qualidade. O parâmetro ferro apresentou uma concentração 2,63 vezes superior ao limite estabelecido pela legislação brasileira, marcando sua importância em avaliações de qualidade de água no SASG.

Índice	Resultado Obtido	Classificação
IQNAS	89,7 \approx 90	Ótima
IRQ	0,684 \approx 0,68	Razoável

Tabela 2: Resultados e Classificações dos índices.

Conclusão

Este estudo avaliou a análise físico-química de água de um poço tubular utilizando dois IQAS. A análise comparativa entre os IQAS investigados revela que as particularidades, utilidades e limitações de cada índice exercem uma influência relevante sobre a discrepância entre as classificações de qualidade da água subterrânea. Considerando as características do SASG, o IQAS que se mostrou mais apropriado para este estudo foi o IRQ. Isso se deve ao fato de que o IRQ incorpora os parâmetros de ferro, manganês e sulfato, neste caso, mostrando a influência contundente do ferro na classificação.

O fato deste estudo avaliar um poço tubular e somente dois IQAS é uma limitação. No entanto, apesar de ser necessário um estudo abrangendo uma maior quantidade de poços e de IQAS para uma definição mais robusta sobre qual índice seria o melhor adaptado para o SASG, esta investigação mostra a importância da escolha de índices de qualidade com capacidade de adaptação as especificidades dos ambientes hidrogeológicos. Além disso, este ensaio representa o início de uma pesquisa mais ampla que está sendo desenvolvida e que possui como objetivo propor um IQAS que pode ser aplicado ao SASG.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, por meio do programa de Mestrado Profissional em rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

- Almeida, R. A. S.; 2007. Índice de qualidade de águas subterrâneas destinadas ao uso na produção de água potável (IQUAS). Salvador: Universidade Federal da Bahia, pp. 90-136.
- Almeida, R. A. S.; Oliveira, I. B.; 2008. Aplicação do índice de qualidade de água subterrânea (IQUAS) destinado ao uso para consumo humano. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal - RN. Anais - XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, pp. 1-12
- Belladonna, R.; 2023. The opportunity cost of watershed conservation: the decisions on urban water supply management. Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil, 168 f. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/264006>.
- Fernandes, R. A.; Loureiro, C. O.; 2006. Índice relativo de qualidade (IRQ): um método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, pp. 2-7.
- Gomes, M. G.; Vargas, T.; Belladonna, R.; Adami, M. V. D.; 2018. Aplicação do interpolador IDW para elaboração de mapas hidrogeológicos paramétricos na região da Serra Gaúcha. Scientia Cum Industria, v. 6, n. 3. pp. 38-43, pp. 2.
- Oliveira, I. B. de; Negrão, F. I.; Silva, A. G. L. S.; 2007. Mapeamento dos aquíferos do Estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas - IQNAS. Águas Subterrâneas. v. 21, n. 1, pp. 1-16.
- Paim, R. A. et al.; 2018. Avaliação da qualidade da água subterrânea de poços ponteira no município de Osório, RS. Águas Subterrâneas, v. 32, n. 3, pp. 31-37.
- Reginato, P. A. R.; Strieder, A. J.; 2007. Condicionantes geológicas da ocorrência de ferro e manganês em aquíferos fraturados da Formação Serra Geral. Águas Subterrâneas. v. 21, n. 1, pp. 1-8.
- Sharma, M. K., and Mohit Kumar. "Sulphate Contamination in Groundwater and Its Remediation: An Overview." Environmental monitoring and assessment 192.2 (2020): 74. Print.
- Toledo, L. G.; Nicoletta, G.; 2002. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. Scientia Agrícola, v. 59, n. 1, p. 181-186, jan./mar, pp.1-6.
- Vargas, T.; Adami, M. V. D.; Aver, E. A. S.; Belladonna, R.; Zago, M. A.; Frizzo, E. E., 2013. Monitoramento hidroquímico dos córregos afluentes da represa Faxinal, Caxias do Sul - RS. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, pp. 1-8.

MONITORAMENTO AÉREO E SUBAQUÁTICO DE TRAÇADORES FLUORESCENTES DE QUININO PARA DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

1,2 João L.M.P. de Lima, 1,2 Soheil Zehsaz, 1,2 M. Isabel P. de Lima, 3 Thayná A. B. Almeida,
4 Rui L. Pedroso de Lima, 3 Abelardo A. de A. Montenegro

1,2 University of Coimbra, Faculty of Sciences and Technology, Department of Civil Engineering, Rua Luís Reis Santos, Pólo II - Universidade de Coimbra, 3030-788 Coimbra, Portugal; plima@dec.uc.pt; s.zehsaz@dec.uc.pt; iplima@uc.pt;
3 Department of Agricultural Engineering, Federal Rural University of Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, Dois Irmãos, Recife 50910-130, PE, Brazil; thayna.britoalmeida@ufrpe.br; abelardo.montenegro@ufrpe.br; 4 Indymo: Innovative Dynamic Monitoring, Molengraaffsingel 12, 2629 JD Delft, The Netherlands; rui.plima@indymo.nl

Palavras-chave: monitoramento hidrológico; monitoramento ambiental; técnicas de visualização

Resumo

O monitoramento de corpos d'água é essencial para rastrear contaminantes, avaliar câmbios ambientais e a qualidade da água, além de desenvolver estratégias de gerenciamento hídrico. Em diversos estudos, sistemas de monitoramento aéreo e subaquático têm sido utilizados para avaliar a qualidade da água potável, a concentração de sedimentos em suspensão (CSS), a turbidez e a qualidade geral da água (e.g., de Lima et al., 2020; Ghorbani et al., 2020). Recentemente, tem sido pesquisada a utilização de traçadores fluorescentes de quinino e a sua visibilidade quando aplicado em vários estados (soluções líquidas e sólidas/gelo de quinino e esponjas embebidas na solução) em água limpa e em água com cargas médias e altas de sedimento em suspensão sob diferentes condições hidráulicas (hidrostáticas, lineares e rotacionais) (e.g., de Lima et al., 2023). Além disso, Zehsaz et al. (2023) utilizaram traçadores de quinino para estimar as velocidades de escoamento superficial em canais com superfície livre.

Este estudo investiga a visibilidade de traçadores fluorescentes de quinino em condições de baixa luminosidade ambiente, monitorados usando um aparato equipado com câmeras ópticas aéreas e subaquáticas, além de uma fonte de luz ultravioleta A (UVA). Foram realizados experimentos laboratoriais e de campo usando traçadores de solução de quinino, tanto no estado líquido quanto no estado sólido (gelo), aplicados à superfície da água. Os esquemas laboratorial e de campo são mostrados na Figura 1.

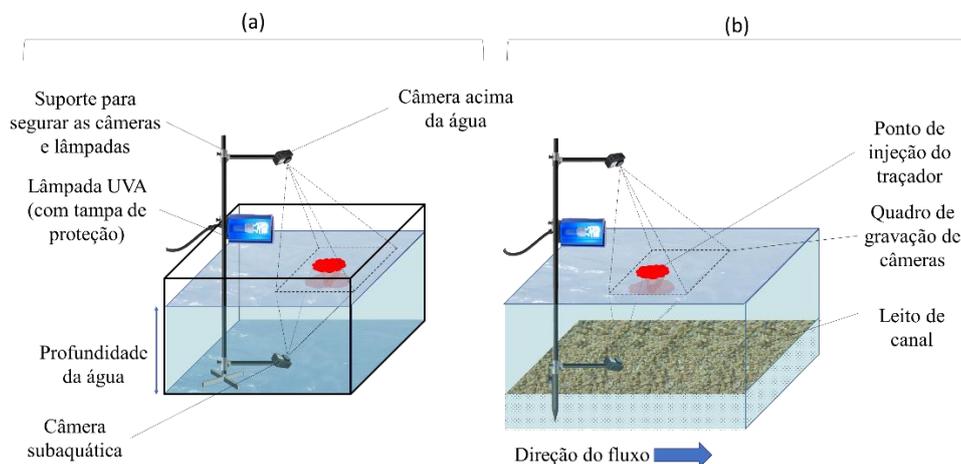


Figura 1: Instalações de laboratório (a) e de campo (b) utilizadas nos experimentos.

Os experimentos avaliaram a visibilidade dos traçadores sob várias concentração de sedimentos em suspensão (CSS). Técnicas de processamento de imagem foram então aplicadas às imagens gravadas para quantificar a intensidade de brilho desses traçadores usando a Equação (1):

$$I = (0.2989 \times R) + (0.5870 \times G) + (0.1140 \times B) \quad (1)$$

onde I é o valor de intensidade de brilho de cada pixel da imagem, e R, G e B são os três valores para os componentes vermelho, azul e verde de cada pixel da imagem, respectivamente (RGB na literatura anglo-saxónica).

A Figura 2 exhibe amostras de imagens ilustrando a visibilidade da solução fluorescente de quinino, registrada usando câmeras aéreas e subaquáticas. Essas imagens mostram os resultados de experimentos laboratoriais e de campo com cargas de CSS de 0,010 g/L e 0,009 g/L, respectivamente, quando o traçador foi aplicado no estado líquido e sólido.

		Experimentos de laboratório		Experimentos de campo	
SSC (g/L)		0.010		0.009	
Câmera		Câmera aérea	Câmera subaquática	Câmera aérea	Câmera subaquática
Traçador	Líquido				
	Sólido/Gelo				

Figura 2: Amostra de resultados (fotografias) de traçadores de quinino (soluções no estado líquido e sólido/gelo) utilizando câmeras ópticas aéreas e subaquáticas em experimentos de laboratório e de campo sob cargas de SSC.

Os resultados indicam que a intensidade de brilho dos traçadores diminuiu com o aumento da carga de CSS da água, tanto nas gravações subaquáticas quanto nas aéreas. As gravações subaquáticas exibiram valores de brilho mais baixos em comparação com as gravações aéreas. Foram desenvolvidas equações de regressão empíricas para descrever a relação entre a intensidade de brilho dos traçadores aplicados, registrada pela câmera subaquática, e as cargas de CSS. Este estudo sugere que se podem prever cargas de CSS em condições de baixa luminosidade, usando traçadores de quinino, uma câmera subaquática, e uma lâmpada de luz ultravioleta.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pela Fundação Portuguesa para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através dos projetos UIDB/04292/2020 e UIDP/04292/2020 concedidos ao MARE - Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade de Coimbra (Portugal), e ao Laboratório Associado ARNET-Aquatic Research Network, apoiado por fundos nacionais. O autor Soheil Zehsaz recebeu uma bolsa de doutorado da FCT (Ref. 2020.07183.BD).

Referências Bibliográficas

de Lima, J. L. M. P.; Zehsaz, S.; Tavares, J. L.; de Lima, M. I. P.; 2023. Brightness of point application of fluorescent quinine tracer for surface waters. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 28, e20220212. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220220212>

de Lima, R. L. P.; Boogaard, F. C.; de Graaf-van Dinther, R. E.; 2020. Innovative Water Quality and Ecology Monitoring Using Underwater Unmanned Vehicles: Field Applications, Challenges and Feedback from Water Managers. *Water*, 12(4), 1196. <https://doi.org/10.3390/w12041196>

Ghorbani, M. A.; Khatibi, R.; Singh, V. P.; Kahya, E.; Ruskeepää, H.; Saggi, M. K.; Sivakumar, B.; Kim, S.; Salmasi, F.; Hasanpour Kashani, M.; Samadianfard, S.; 2020. Continuous monitoring of suspended sediment concentrations using image analytics and deriving inherent correlations by machine learning. *Scientific Reports*, 10(1), 8589. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64707-9>

Zehsaz, S.; de Lima, J. L. M. P.; Isidoro, J. M.; de Lima, M. I. P.; Martins, R.; 2023. Fluorescent quinine-based tracking techniques for measurement of open-channel surface flow velocities under low luminosity conditions using a UAS. *Hydrology Research*. <https://doi.org/10.2166/nh.2023.011>



A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL: UM PANORAMA GERAL ATUALIZADO

1Sheyla Thays Vieira Barcelos, 2Andreliz Silva Souza, 1Luciano Jikimura, 1Leonardo Sampaio Costa

1 Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul, e-mail: svieira@imasul.ms.gov.br; e-mail: ljikimura@imasul.ms.gov.br; e-mail: lcosta@imasul.ms.gov.br; 2 Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação, e-mail: asouza@semadesc.ms.gov.br

Palavras-chave: Gestão; Recursos Hídricos; Mato Grosso do Sul.

Resumo

A disponibilidade e qualidade da água tem sido uma preocupação global, como evidenciado pela ONU através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), isso favoreceu a busca por instrumentos de gestão que visem a manutenção desse recurso natural. Uma das opções existentes é a utilização de mecanismos que assegurem a qualidade da água. Portanto, o Estado de Mato Grosso do Sul instituiu o Plano Estadual de Recursos Hídricos que foi fundamental para a administração da oferta da água e compatibilização dos diversos usos, além de viabilizar um planejamento estratégico para regularização dos usos, controle da poluição e futura gestão. Através do levantamento de dados quantitativos e qualitativos, foi possível compilar uma base de dados para analisar o processo evolutivo quanto ao andamento da gestão dos recursos hídricos no Estado. Os resultados mostraram claramente que apesar de ainda não ter sido implantado o instrumento de cobrança pelo uso da água, os demais instrumentos de gestão cumprem suas metas progressivas e já demonstram resultados positivos na melhoria da qualidade hídrica, contribuindo com tomadas de decisões e ações de políticas públicas que garantem a manutenção do meio ambiente e a gestão dos recursos hídricos do Estado.

Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), promulgada pela Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), dispõe de uma série de objetivos, fundamentos, diretrizes gerais e instrumentos para a implantação da gestão de recursos hídricos no Brasil. Largamente conhecida como a Lei das Águas, esta objetiva promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, assegurar disponibilidade de água em quantidade e qualidade e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Conforme determina a PNRH, o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), Lei 2.406, de 29 de janeiro de 2002, estabelece instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio estadual que visam estabelecer metas de qualidade para os corpos d'água com o propósito de garantir uma qualidade mínima para os usuários. Portanto, no Estado do Mato Grosso do Sul foi instituído o Cadastro Estadual de Usuários de Recursos Hídricos - CEURH, por meio do Decreto 13.397, de 22 de março de 2012 que foi o primeiro passo para o conhecimento das demandas, visando à implantação dos Instrumentos do PERH.

Mais tarde, em 2015, iniciaram-se os trabalhos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, regulamentado pelo Decreto 13.990, de 02 de julho de 2014, tendo seus procedimentos detalhados na Resolução SEMAGRO n. 774, de 21 de março de 2022, ato administrativo expedido pelo poder público outorgante ao usuário da água para que este possa realizar intervenções que alterem a quantidade, a qualidade e o regime dos corpos hídricos.

Este trabalho objetivou analisar a gestão dos recursos hídricos sul mato-grossenses, visando contribuir para a discussão e o aprimoramento da elaboração e implantação desses instrumentos nas bacias hidrográficas do Estado de Mato Grosso do Sul.

Materiais e métodos

A análise temporal da evolução de implantação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul foi construída por dados quantitativos referentes ao número de portarias de outorgas, declarações de usos de recursos hídricos - DURH, enquadramentos aprovados, fiscalizações realizadas, cadastros de barragens, dentre outros, foram extraídos do "Painel de Regularizações", e demais base de dados fornecidas publicamente pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL, 2023) e dos metadados fornecidos pela Agência Nacional de Águas - ANA (2023). Enquanto os dados qualitativos foram extraídos da plataforma de informação que o Estado disponibiliza como dados públicos reservada para atualizações sobre os estudos de enquadramento (DEMÉTER, 2022), e dos relatórios anuais disponíveis no site do órgão gestor (IMASUL, 2023).

Resultados e discussões

A gestão das águas no Estado de Mato Grosso do Sul é realizada através dos instrumentos de gestão de recursos hídricos estabelecidos pelo PERH, são eles: (i) Planos de Recursos Hídricos; (ii) Outorga; (iii) Cobrança; (iv) Enquadramentos; (v) Sistema de Informações. Além do Plano Estadual de Recursos Hídricos, o MS possui três planos de bacias hidrográficas, os planos dos rios Santana-Aporé, Miranda e Ivinhema. Portanto, existem três comitês que estão regulamente criados e em atividade: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Miranda (CBH Miranda); Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Ivinhema (CBH Ivinhema) e o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Santana e Aporé (CBH Santana e Aporé). O Estado ainda participa com representantes no Comitê Federal do Rio Paranapba.



Quanto ao instrumento de outorga, desde o início da implementação já foram registradas mais de 20.961 regularizações de usuários, conforme mostrado na Figura 1A. Para se ter um panorama temporal, no ano de 2016 (um ano após o início) foram deferidos 1.570 processos, e no ano de 2023 foram registradas 2.697 outorgas o que demonstra um crescimento significativo no número de deferimento de processos. Tendo um olhar mais amplo, observa-se que em alguns Estados brasileiros que fazem divisa com o Mato Grosso do Sul como o Paraná, São Paulo e Minas Gerais já possuem o instrumento de cobrança pelo uso da água implementado (Figura 1B), para isso, o MS trabalha em conjunto com estes Estados, através da ANA, buscando o melhor direcionamento a fim de implantar este instrumento, que atualmente encontra-se em fase de realização de estudos e discussões pelos comitês de bacias para sua efetivação.

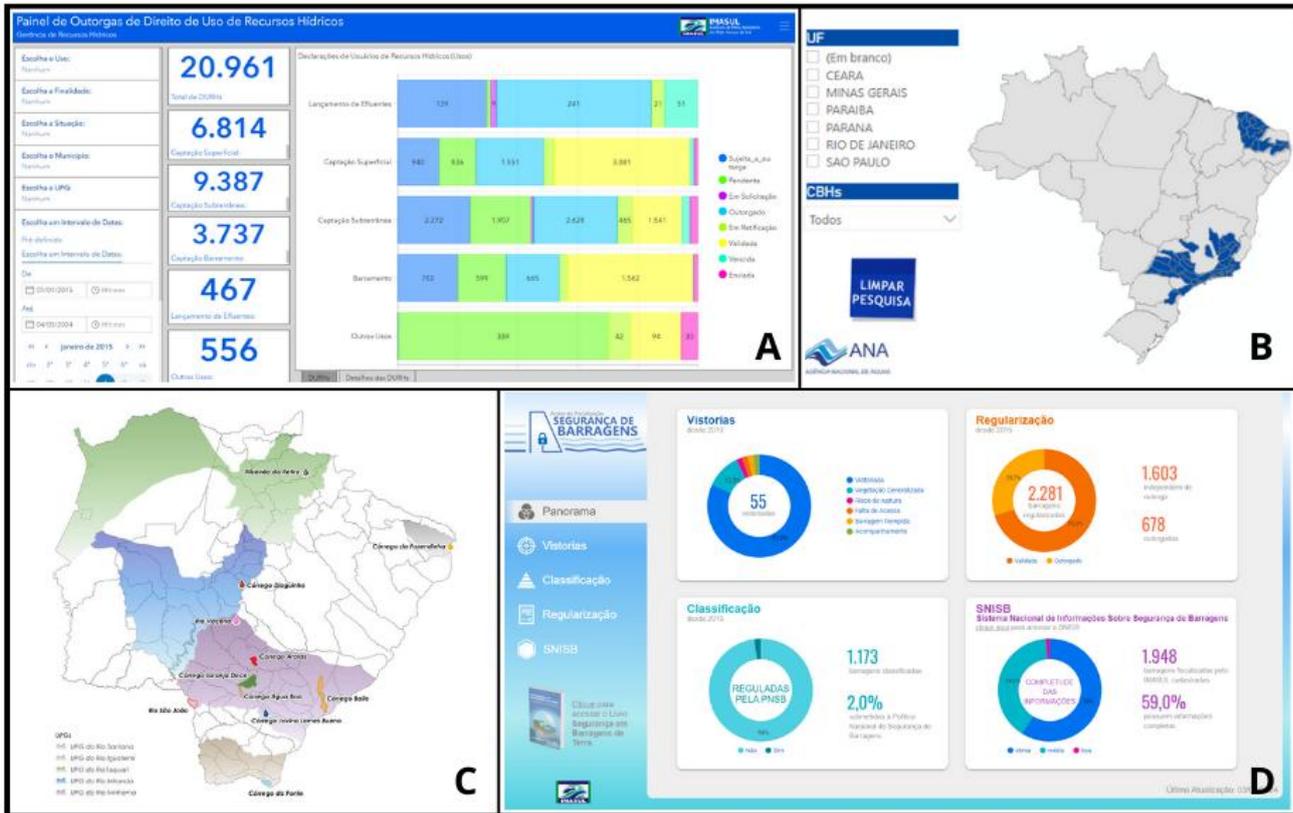


Figura 1: Painéis iterativos da ANA e do IMASUL-MS.

Além disso, o Estado soma um total de 12 (doze) estudos de enquadramentos em microbacias aprovados pelo CERH, sendo que um deles está em revisão após 10 anos (Figura 1C). Segundo a ANA (2023), é um dos Estados que mais aprovou estudos de enquadramento no ano de 2022 e 2023. Ademais, entre as ações de Segurança de Barragens, destaca-se o cadastro dos dados das barragens no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB); a classificação das barragens quanto ao dano potencial associado (DPA) e quanto à categoria de risco (CRI); e vistorias realizadas *in loco*, que atestam o compromisso do órgão gestor com a segurança pública e hídrica enquanto tomador de decisões.

Outro instrumento é o Sistema Imasul de Registros e Informações Estratégicas do Meio Ambiente - SIRIEMA, sistema *online* disponibilizado pelo Imasul (Figura 2A), com objetivo de facilitar e agilizar o atendimento à sociedade, além de permitir o aprimoramento da gestão ambiental do Estado do Mato Grosso do Sul. Dentre os diversos serviços fornecidos pelo SIRIEMA estão: cadastramento de usuários de recursos hídricos do estado e solicitações de outorgas preventivas e direito de uso conforme suas finalidades de uso, entre outros. Atuando concomitantemente ao SIRIEMA, existe também o PIN que foi criado para garantir o acesso aos dados de mapeamentos georreferenciados, promovendo a integração e a uniformização das geoinformações dos órgãos estaduais, a fim de subsidiar o planejamento e o acompanhamento das ações governamentais e a disponibilização das informações para toda a sociedade de forma transparente e inovadora (Figura 2B).

Outro aspecto relevante é que desde 2013 o Estado do Mato Grosso do Sul vem recebendo apoio da Agência Nacional de Águas - ANA, por meio de Termos de Cooperação Técnica e programas, tais como: Programa Nacional da Qualidade da Água - QualiÁgua, Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas - PROGESTÃO e Programa Nacional de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas - PROCOMITÊ, que visam fortalecer a gestão das águas em todo território nacional por meio de transferência de recursos financeiros as entidades estaduais, a serem aplicados exclusivamente em ações de gerenciamento de recursos hídricos e de fortalecimento dos Sistemas Estadual e Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Os recursos recebidos pelo PROGESTÃO foram majoritariamente investidos em contratação de pessoal para agilizar os processos, aumentar a produtividade do setor e atender as demandas dos usuários (Figura 2 D).

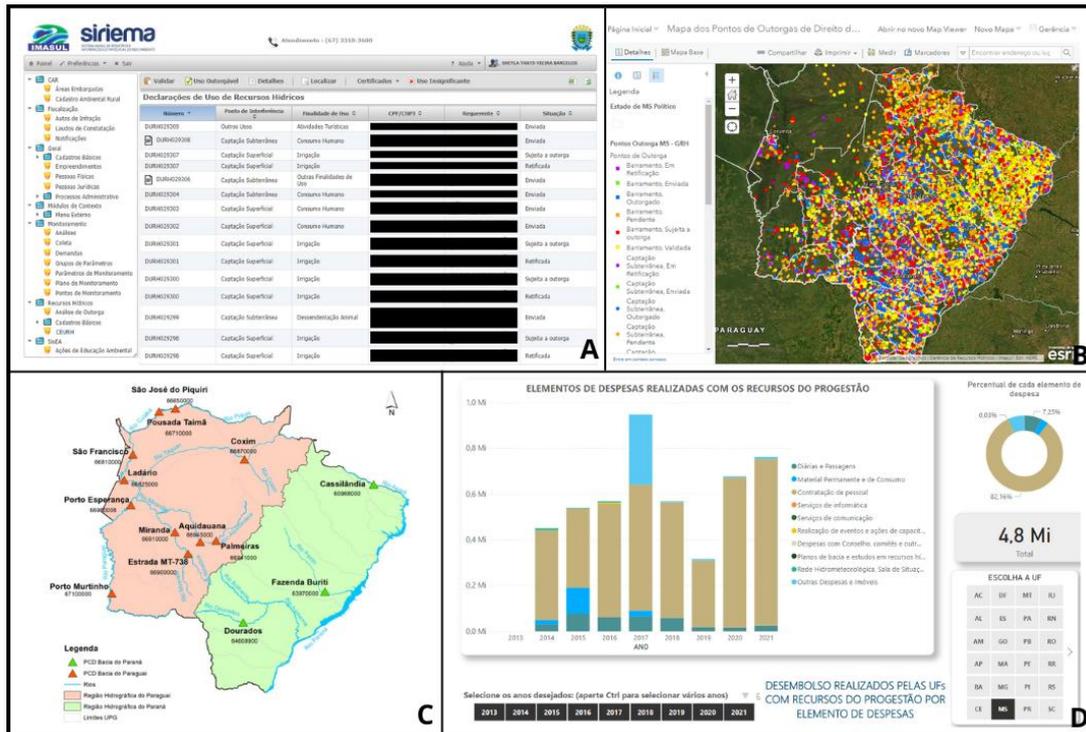


Figura 2: Sistemas de Informações, rede de monitoramento e recursos do PROGESTÃO no MS.

Por fim, o órgão ainda conta com a Sala de Situação que gera boletins diários onde são apresentados dados de chuva e nível dos rios monitorados constantemente. A rede de monitoramento do Estado possui treze estações telemétricas distribuídas nos rios Piquiri, Cuiabá, Paraguai, Miranda, Aquidauana, Taquari, Pardo, Aporé e Dourados que alimenta o Sistema HIDRO, mantido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e emite avisos de alerta para enchentes.

Conclusões

Após 20 anos da Política Estadual de Recursos Hídricos, Mato Grosso do Sul não tem medido esforços para promover a eficiência na gestão de suas águas. Apesar dos avanços, desafios e dificuldades ainda são presentes, inúmeros passos ainda devem ser trilhados no Estado em favor da gestão de recursos hídricos, portanto vale ressaltar que o êxito na implementação das políticas de recursos hídricos do Estado do Mato Grosso do Sul vem da participação de todos, órgãos de governo, comitês de bacias, ONG's, usuários e pesquisadores em prol do desenvolvimento, permitindo prevenir possíveis falhas na gestão dos recursos hídricos de domínio estadual e subsidiando o planejamento e o acompanhamento das ações governamentais garantindo a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade, numa gestão compartilhada com os usuários e a sociedade civil.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul e a comissão organizadora do 3 Congresso Internacional de Engenharia Ambiental pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2023. Dados Abertos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 08 de maio de 2024.

BRASIL. Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília-DF: Assembleia Legislativa. 1997.

DEMÉTER. 2022. Estudos para subsidiar o enquadramento de 11 (onze) microbacias hidrográficas localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul. 2022. Disponível em: https://enq11mbhs.wixsite.com/recursos_hidricos/estudos-de-enquadramento.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DO MATO GROSSO DO SUL (IMASUL). Painel de Regularizações. 2024. Disponível em: <https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/0ca6e07f-99df-418e-9144-31eaff2b5619/page/gBFjC>.

MATO GROSSO DO SUL. Lei n° 2.406, de 29 de janeiro de 2002. Institui a Política Estadual dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e dá outras Providências. Campo Grande: Assembléia Legislativa do Estado de Mato Grosso do Sul. 2002.

ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA DE UNA CUENCA ALTOANDINA DEL PERÚ

1Yénica Cirila Pachac Huerta, 2Eliana Idma Huacho Huaraz, 3Alvaro Otto Hurtado Minaya, 4Liliana Yoselin Bueno Lopez

1 Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, e-mail: ypachach@unasam.edu.pe; 2 Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, e-mail: ehuahoch@unasam.edu.pe; 3 Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, e-mail: aohurtadom@unasam.edu.pe; 4 Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, e-mail: lbuenol@unasam.edu.pe

Palabras-clave: Numero de curva; SIG; Témez

Resumen

El presente estudio se centra en la evaluación de la estimación del Número de Curva (NC) en la región montañosa del Perú, específicamente en la microcuenca de la quebrada Auquishuran. Se emplearon tecnologías avanzadas como Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Modelos Digitales de Elevación (DEM) ALOS PALSAR. Se destacó la relevancia del método de Números Primos propuesto por Témez, que considera la generación de mapas de pendiente y el uso del suelo para asignar valores específicos de NC a cada área. El análisis integró variables geográficas, ambientales y de cobertura terrestre, utilizando imágenes satelitales y datos locales. Estos hallazgos respaldan la necesidad de una gestión más eficiente de los recursos hídricos, fomentando la resiliencia frente a desafíos ambientales y climáticos futuros, y destacando su aplicación en la estimación de caudales máximos mediante el método de la Soil Conservation Service (SCS).

Metodología

La microcuenca Auquishuran, al norte del Perú, está en la margen izquierda del río Santa. Su área es de 6.33 km², con curso principal de 3.75 km y altitud media de 3130.57 msnm. Experimenta intensas lluvias, activando las quebradas Auquis Uran, Chiuca y Llaulli, lo que causó deslizamientos y un huayco, dañando unos 150 metros lineales y afectando vías vecinales y plantaciones de frutales. (Figura 1).

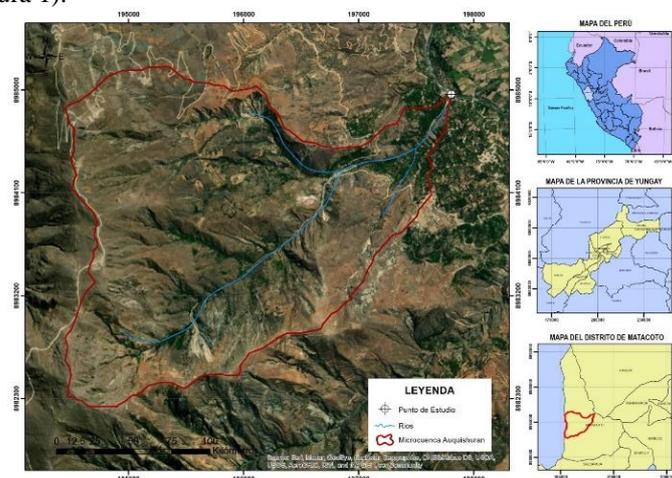


Figura 1: Ubicación de la microcuenca Auquishuran, Matacoto, Perú.

Datos Según el grupo hidrológico de suelos:

En la primera etapa, se delimitó el área de estudio de suelos mediante SIG para generar los parámetros geomorfológicos necesarios. El levantamiento del suelo se realizó estratégicamente y de manera aleatoria. Se optó por un nivel de segundo orden, con 10 chequeos por cada 100 hectáreas para una cobertura representativa. Las muestras, tomadas de 30 cm a 50 cm de profundidad, se trasladaron cuidadosamente al laboratorio para análisis.

Los cambios en la cobertura y uso del suelo afectan la biodiversidad, los ciclos biogeoquímicos y la seguridad alimentaria. Es fundamental documentarlos para comprender sus impulsores y consecuencias en un contexto de cambios globales y crecimiento poblacional (Ordóñez Díaz et al., 2018).

Datos de la Pendiente:

Se utilizó un ráster DEM ALOS PALSAR con una resolución de 12.5 metros, procesado a través de SIG para obtener la pendiente. Se clasificó en dos categorías: pendientes iguales o superiores al 3 por ciento, y pendientes inferiores al 3 por ciento. Esta metodología permitió una representación clara del relieve del terreno y facilitó la identificación de áreas con diferentes grados de pendiente. Estos datos fueron fundamentales para la planificación del manejo del terreno en el área de estudio, generando la "Cubierta de Pendientes".



Datos de uso y aprovechamiento del suelo:

Se emplearon herramientas como SasPlanet y Google Earth Pro, junto con imágenes satelitales, para obtener la cobertura de los diferentes usos del suelo. Se llevó a cabo una clasificación considerando criterios como vegetación, zonas áridas y uso agrícola. Además, se realizaron visitas de campo para verificar la distribución del uso del suelo. Utilizando SIG, se dibujaron manualmente las áreas correspondientes a cada categoría, obteniendo así la "Cubierta de Uso y Aprovechamiento de Suelo".

Asignación del Número de Curva:

Se intersecaron las tres cubiertas mediante SIG, generando una única cubierta llamada "Intersect". Se asignó un NC a cada celda según la tabla de Témez, considerando solo los usos necesarios para la microcuenca. Los valores se procesaron en Excel y se insertaron en la tabla de atributos. Para los ríos, se asignó un NC de 98 debido a la escasez hídrica en la zona montañosa.

Resultados

Los caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años fueron estimados con énfasis utilizando los métodos Racional, Manning, HEC-HMS, Fuller y MTM.

Uso de Suelo	GHS	Pte.	CN II	CN I	CN III	Área (km ²)
Pradera media	A	>=3	49	28.75	68.85	0.037
Pradera muy buena	B	>=3	55	33.92	73.76	0.197
Pradera media	B	<3	59	37.67	76.8	0.000
Pradera buena	B	>=3	60	38.65	77.53	0.418
Cultivos en hileras N	A	>=3	67	46.03	82.36	0.000
Pradera pobre	B	<3	67	46.03	82.36	0.003
Pradera pobre	A	>=3	68	47.16	83.01	0.014
Barbecho R	B	>=3	68	47.16	83.01	0.087
Pradera media	B	>=3	69	48.32	83.66	1.181
Cultivos en hileras N	B	<3	73	53.17	86.15	0.001
Cultivos en hileras R	B	<3	73	53.17	86.15	0.000
Rotación de cultivos Pobres N	B	>=3	75	55.75	87.34	0.200
Cultivos en hileras N	B	>=3	76	57.08	87.93	0.224
Pradera pobre	B	>=3	78	59.82	89.08	3.393
Pradera media	C	>=3	78	59.82	89.08	0.012
Cultivos en hileras R	B	>=3	79	61.24	89.64	0.120
Barbecho N	B	>=3	82	65.68	91.29	0.373
Barbecho N	C	>=3	86	72.07	93.39	0.020
Pradera pobre	C	>=3	88	75.49	94.4	0.027
Río	A	>=3	98	95.37	99.12	0.001
Río	B	<3	98	95.37	99.12	0.000
Río	B	>=3	98	95.37	99.12	0.022
Total						6.330

Tabla 1: Cálculo del CN (II), CN (I) Y CN (III) en función del uso de suelo, GHS y pendiente.

Conclusiones y discusión

Se emplearon SIG y DEM ALOS PALSAR para estimar el área de estudio en la sierra peruana, incluyendo mapas de grupos hidrológicos, pendientes y uso del suelo. Se reclasificó el mapa según los números primos para obtener el número de curva (NC). Ferrer et al. (1995) y Villarroja et al. (2004) aplicaron métodos similares, obteniendo NC de 29 a 93 y 53.50 respectivamente. Alberca et al. (2022) señalan que calcular NC según la tabla del SCS puede ser tedioso y menos preciso, recomendando la integración de imágenes satelitales y datos locales para análisis hidrológicos más precisos y una gestión eficaz de recursos naturales.

La integración de imágenes satelitales y datos locales mejora la precisión de los análisis hidrológicos, según Ferrer et al. (1995).

La combinación de imágenes satelitales de Google Earth y SAS Planet, junto con el análisis de textura para generar mapas de grupos hidrológicos en microcuencas, mejora la comprensión de la cobertura terrestre y los patrones de uso del suelo. La intersección de diversas coberturas proporciona una asignación precisa de valores del NC, reflejando las características específicas de cada zona. Este proceso facilita una gestión más eficiente y sostenible de los recursos hídricos, identificando áreas vulnerables y priorizando acciones de conservación del suelo. La integración de datos satelitales y locales permite tomar decisiones informadas para proteger nuestros recursos hídricos ante desafíos climáticos y ambientales futuros.



Agradecimientos

Queremos expresar nuestra gratitud a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo por su generoso respaldo financiero, que fue fundamental para llevar a cabo este estudio. También deseamos agradecer al Centro de Investigación Earth Science and Technology (ESAT) y al Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD) por su apoyo incondicional y la oportunidad de utilizar sus instalaciones, lo cual fue vital para el éxito de nuestra investigación.

Referencias Bibliográficas

Alberca, J., Mejía, J. A., & Guevara-Pérez, E. (2022). Calibración de la curva número del modelo SCS para la región de la costa norte del Perú. *Revista Ingeniería UC*, 29(2), Article 2. <https://doi.org/10.54139/revinguc.v29i2.287>

Arteaga, E. G. D., Rosas, H. C. R., & Morales, V. G. P. (2022). Equipo base para la elaboración del PPRRD comité distrital de defensa civil.

Diaz Carvajal, Á., & Mercado Fernández, T. (2017). Determination of curve number in Betancí subwatershed (Córdoba, Colombia) through remote sensing and GIS. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 452-470. <https://doi.org/10.14482/inde.35.2.10171>

Durán, A. (1997). Clasificación hidrológica de los suelos del Uruguay. *Agrociencia*, 1(1), 15-29. <https://doi.org/10.31285/AGRO.01.1009>

Ferrer, M., Rodríguez, J., & Estrela, T. (1995). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería del agua*, 2(4). <https://doi.org/10.4995/ia.1995.2686>

Ordóñez Díaz, J. A. B., Escandón Calderón, J., Nieto De Pascual Pola, C. D. C., & Ordóñez

Díaz, M. D. J. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135>

Shadeed, S., & Almasri, M. (2010). Aplicación del método SCS-CN basado en SIG en. 3(1).

SCS (Soil Conservation Service). 1972. National engineering handbook. Section 4. Hydrology. U. S. Department of Agriculture. Washington, DC, USA.

Villarroya, J. P., Farias, H. D., & Amarilla, M. E. (s/f). Estimación del parámetro hidrológico del Número de Curva NC: Automatización del cálculo mediante S.I.G. y nuevas fuentes de información cartográfica. Caso del área urbana de Pozo Hondo.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS MEDIANTE METODOLOGÍAS EMPÍRICAS Y DETERMINÍSTICAS EN MICROCUENCAS ALTOANDINAS DEL PERÚ

1Yénica Cirila Pachac Huerta, 2Eliana Idma Huacho Huaraz, 3Alvaro Otto Hurtado Minaya, 4Carlos Edwin Obispo Padilla

1 Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, e-mail: ypachach@unasam.edu.pe; 2 Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, e-mail: ehuchoh@unasam.edu.pe; 3 Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, e-mail: aohurtadom@unasam.edu.pe; 4 Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, e-mail: cobispop@unasam.edu.pe

Palabras-clave: Método Racional; Manning; SCS

Resumen

En este estudio se comparan diversas metodologías para estimar caudales máximos en cuencas hidrográficas con información limitada. Se analizan enfoques directos, como el método de Manning, determinísticos como el del Soil Conservation Service (SCS), y empíricos como el método Racional, el de Fuller y el de Talbot. Aunque los resultados para un mismo período de retorno no difieren significativamente entre estas metodologías, se observa un desempeño superior en las metodologías directas, determinísticas y empíricas, respectivamente. Esto se atribuye a la adecuación de los parámetros utilizados a la realidad de las microcuencas altoandinas del Perú, lo que permite su aplicabilidad en este contexto.

Metodología

La microcuenca Auquishuran fue delimitada utilizando un Modelo De Elevación Digital (DEM) de 12.5 m obtenido del satélite ALOS PALSAR. Mediante el software ArcGIS, se identificaron los afluentes al río Santa en la Cuenca del Santa, Perú, definiendo el área de drenaje. Se determinaron los parámetros geomorfológicos necesarios para aplicar los métodos, con énfasis en la pendiente media del cauce (Figura 1).



Figura 1: Delimitación de la microcuenca Auquishuran, Maticoto, Yungay, Perú

Método Racional:

Muchos autores atribuyen el Método Racional al trabajo de Mulvany (1851), considerado como el primer modelo de precipitación-escorrentía. como el primer modelo lluvia-escorrentía. En su trabajo, Koutsoyiannis et al. (1998) explican cómo estimar la descarga máxima (Q_p), a la salida de una cuenca, a partir de la intensidad de lluvia observada (i), dada una cuenca de captación (A_b), y dado un factor empírico (C) que depende del suelo de la cuenca. De hecho, en su artículo Mulvany no escribió explícitamente la ecuación (1), pero sus palabras pueden traducirse en dicha ecuación (Campos et al., 2020).

$$Q_p = CiA \quad (1)$$

Donde Q_p es la descarga máxima a la salida de la cuenca, i es la intensidad de la lluvia en mm/s. y A es el área de la cuenca en km^2 .



Método directo Manning:

Rocha (2019) menciona que es la fórmula cuyo uso se halla más extendido en la actualidad en el uso de estimar caudales en canales hidráulicos, ríos; se expresa de la siguiente ecuación (2).

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (2)$$

Donde Q (caudal máximo), A (sección del cauce), P (perímetro), S (pendiente) y n (rugosidad).

Aplicación del programa HEC-HMS:

Se eligió el software HEC-HMS por su reconocimiento y disponibilidad pública. Se utilizó el método SCS CN para estimar pérdidas por infiltración, considerando una condición de humedad antecedente promedio (AMC II). Se ejecutó HEC-HMS para un período de retorno de 100 años. El programa generó un archivo de proyecto con datos esenciales como área de drenaje, Número de Curva (CN), tiempo de retardo y hietograma. Esta elección se basó en su amplia aceptación en hidrología y su accesibilidad, permitiendo la replicabilidad de los cálculos por parte de otros investigadores o entidades interesadas.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (3)$$

Donde Q representa a la escorrentía directa (mm), P a la profundidad de la precipitación (mm) y S a la retención máxima potencial después de que comience la escorrentía (mm), S se relaciona con las características físicas del paisaje con el número de curva (CN) que se muestra en la siguiente ecuación (SCS, 1985).

Aplicación de la fórmula empírica de Fuller:

La fórmula empírica de Fuller (1914) fue desarrollada a partir de un análisis de la escorrentía en varios arroyos de los Estados Unidos. A pesar de su origen, se extendió a muchos estudios de casos por su simplicidad y eficacia. Inicialmente, estableció la relación entre la magnitud de las grandes inundaciones y las inundaciones promedio anuales mediante la siguiente expresión como indica (Petroselli et al., 2020).

$$Q = C_f A^{0.8} (1 + 0.8 \log T) (1 + 2.67 A^{-0.3}) \quad (4)$$

Aplicación de la fórmula modificada de Talbot:

La fórmula original de Talbot (MTM), desarrollada por Wilson Murrow en 1971, determina el área necesaria de la estructura de drenaje. Durante el diseño de carreteras en el centro-norte del Reino Unido en 1971, Murrow propuso una adaptación de esta fórmula para esa región, aunque sin una explicación clara de las modificaciones. Las ecuaciones actuales se expresan en unidades del Sistema Internacional (Quraishi y Al-Hassoun, 1996).

$$Q = K C A^n R_f F_f \quad (5)$$

En la fórmula, Q representa el caudal máximo; K es una constante para cuencas según su tamaño; C es el coeficiente de descarga; A es el área de drenaje; n es un exponente dependiente del tamaño de la cuenca; Rf es el factor de precipitación; y Ff es el factor de frecuencia.

Resultados

Los caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años fueron estimados con énfasis utilizando los métodos Racional, Manning, HEC-HMS, Fuller y MTM.

Caudales máximos generados para un periodo de retorno de 100 años (m ³ /s)				
Racional	Manning	HEC-HMS	Fuller	MTM
10.69	10.53	10.60	10.58	10.62

Tabla 1: Caudales máximos generados por diversas metodologías

Conclusiones y discusión

Se emplearon métodos directos, determinísticos y empíricos para estimar el caudal máximo en la quebrada Auquishuran. El método de Manning proporcionó un caudal inicial de 10.53 m³/s, utilizado como referencia para calibrar otras metodologías. El método determinístico del Soil Conservation Service (SCS) dio un caudal de 10.60 m³/s para un período de retorno de 100 años, similar al método de Manning. Los métodos empíricos (Racional, Fuller y Talbot) estimaron caudales de 10.69 m³/s, 10.58 m³/s y 10.62 m³/s respectivamente, para el mismo período de retorno, cercanos a los obtenidos por métodos directos y determinísticos.

Finalmente, se concluye que estos caudales máximos estimados son aplicables en cuencas con áreas pequeñas, identificándose que los de mejor precisión los métodos de Manning, SCS y Fuller, en primer, segundo y tercer orden respectivamente



Agradecimientos

Agradecemos profundamente a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo por su invaluable financiamiento, el cual hizo posible la realización de esta investigación. Además, extendemos nuestro agradecimiento al Centro de Investigación Earth Science and Technology (ESAT) y al Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD), por brindarnos su apoyo incondicional y el acceso a sus instalaciones, lo cual contribuyó significativamente al desarrollo exitoso de este trabajo.

Referências Bibliográficas

Rocha, A. (2007). *Tuberías y Canalizaciones*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Campos, J.N.B., Studart, T.M.D.C., Souza Filho, F.D.A.D., & Porto, V.C. (2020). On the Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curves, Partial-Area Effect and the Rational Method: Theory and the Engineering Practice. *Water*, 12(10), 2730. <https://doi.org/10.3390/w12102730>

Chow, V.T. & Saldarriaga, J.G. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Colombia: McGraw-Hill.

Fuller, W.E. (1914). Flood Flows. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 77, 564-617.

Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., & Manetas, A. (1998). A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*, 206, 118-135. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00097-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00097-3)

Mulvany, T. (1851). On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relations of rain fall and of flood discharges in a given catchment. *Proc. Inst. Civ. Eng. Irel.*, 4, 18-33.

Petroselli, A., Asgharina, S., Sabzevari, T., & Saghafian, B. (2020). Comparison of design peak flow estimation methods for ungauged basins in Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 65(1), 127-137. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1686506>

Quraishi, A. & Al-Hassoun, S. (1996). Use of Talbot Formula for Estimating Peak Discharge in Saudi Arabia. *Journal of King Abdulaziz University-Engineering Sciences*, 8(1), 73-85. <https://doi.org/10.4197/Eng.8-1.6>

Sandoval Erazo, W.R. & Aguilera Ortiz, E.P. (2015). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *Ciencia Unemi*, 7(12), 100-110. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol7iss12.2014pp100-110p>

Soil Conservation Services (SCS). (1985). *National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*. Washington, DC: US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division.

Wilson-Murrow. (1971). *Drainage Report*. Riyadh, Saudi Arabia: Ministry of Communications.



A IMPORTÂNCIA DA AUTOMATIZAÇÃO PARA O MONITORAMENTO HIDROBIOLÓGICO DA QUALIDADE DA ÁGUA- FLOWCAM CYANO

1Rosemeire Alves Laganaro, 2Lígia Marino, 3Júlia Fernandes Bezerra, 4Priscila Roberta Barreto

1 Sabesp, e-mail: ralves2@sabesp.com.br; 2 Autônoma, e-mail: ligia.marino@gmail.com; 3 Sabesp, e-mail: jfbezerra@sabesp.com.br; 4 Sabesp, e-mail: pribarreto@sabesp.com.br

Palavras-chave: Automatização; FlowCam; Cianobactérias

Resumo

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) produz água para cerca de 22 milhões de habitantes na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o que corresponde ao abastecimento público de 10% da população brasileira. Toda a produção de água provém de mananciais superficiais, em sua maioria, eutrofizados, causando florações de cianobactérias (também conhecidas como algas). A proliferação descontrolada de cianobactérias afeta a qualidade da água bruta, produzindo toxinas e substâncias que causam gosto e odor desagradáveis. Para gerenciar esses problemas, Sabesp realiza ensaios de algas hidrobiológicas para detecção e quantificação de cianobactérias. Esses ensaios são realizados de forma sistemática em laboratórios da Sabesp, com o objetivo de manejar as represas e avaliar a eficiência dos filtros nas Estações de Tratamento de Água (ETAs). A intenção é garantir a segurança hídrica e prevenir reclamações dos consumidores sobre gosto e odor na água, além de cumprir as exigências da Portaria GM/MS nº 888/2021. Sabesp possui laboratórios próprios para realizar esses ensaios, garantindo resultados rápidos (em 24 horas) para a gestão da qualidade da água. A contratação externa desses ensaios, além de ser mais cara, não consegue entregar resultados com a rapidez necessária. Os ensaios de algas são realizados exclusivamente por profissionais qualificados e especializados (biólogos), sendo um processo muito manual. Para aumentar a eficiência e reter o conhecimento desses profissionais, Sabesp considera a automatização do processo por meio de machine learning, permitindo a criação de uma biblioteca que ajuda na tomada de decisões rápidas e na manutenção da qualidade da água sem interrupções no abastecimento público.

Objetivos

Apenas com o quadro atual de biólogos e a técnica de microscopia atualmente utilizada, uma empresa de saneamento de grande porte enfrenta dificuldades para aumentar sua capacidade de atendimento aos clientes internos e ampliar o espectro de monitoramento de seus Sistemas de Abastecimento Público. Este monitoramento é fundamental para tomadas de decisões mais rápidas e assertivas, especialmente em preparação e antecipação a anomalias futuras que ocorrem com maior frequência devido às mudanças climáticas e ao adensamento populacional. Esses desafios destacam a necessidade de aprimoramento e inovação no processo de monitoramento e análise da qualidade da água. A automação e o uso de tecnologias avançadas, como machine learning, podem oferecer soluções para aumentar a capacidade de análise, melhorar a precisão e rapidez dos resultados, e permitir uma resposta mais eficiente a problemas emergentes, garantindo assim a segurança e a qualidade do abastecimento de água para a população. Com a implantação dessa técnica, torna-se possível aumentar a capacidade dos laboratórios a longo prazo, auxiliando na otimização de outras atividades locais. Este ensaio está implantado há quatro décadas na Sabesp, sendo seus resultados muito úteis na caracterização do meio aquático. Além de cianobactérias, sempre foram realizados ensaios também de outros grupos de organismos no fitoplâncton, que tem significado sanitário tão importante quanto os demais. O FlowCam Cyano analisa outros grupos de organismos, importantes, portanto, para o processo água. Adicionalmente, é imprescindível para uma empresa do porte e protagonismo no saneamento, como é a Sabesp no Brasil e no mundo, que seu corpo técnico esteja sempre atualizado e à frente das exigências legais e inovação do setor.

Desenvolvimento

A existência e funcionalidade do FlowCam Cyano foi conhecida após inúmeras pesquisas na internet, quando em busca de possíveis causas e novas ferramentas que auxiliassem no diagnóstico e mitigação de um evento longo de gosto e odor, ocorrido em 2020 em uma das represas que compõem seus Sistemas de Abastecimento. Após contato com usuários do equipamento nos Estados Unidos, foi descoberto que a marca tinha um representante no Brasil. Na sequência, todo o corpo técnico da RMSP (biólogos e químicos) se reuniu, com o intuito de conhecimento e informações prévias sobre o equipamento e/ou experiências anteriores em técnicas similares. Foi constatado, então, que em 2008, uma unidade da Sabesp recebeu o equipamento FlowCam modelo de campo, para testes, mesmo existindo o modelo de bancada. O equipamento capturava as imagens de micro-organismos de um fluxo contínuo capilar e registrava os dados e imagens em software. Na época da demonstração e testes do equipamento, não houve interesse em adquiri-lo devido à baixa tecnologia disponível. No entanto, atualmente, esse equipamento tem sido amplamente utilizado em vários países, principalmente para antecipar ações relacionadas ao crescimento de cianobactérias causadoras de gosto e odor e produtoras de cianotoxinas. Existem estudos de caso dos Estados Unidos que demonstram a eficácia desse equipamento. Os benefícios observados incluem mitigação de ocorrências de gosto e odor, redução de custos dos ensaios de cianotoxinas, que já são de alto custo, pois os laboratórios podem direcionar a necessidade de ensaio de cianotoxinas com



base nos resultados rápidos dos ensaios de cianobactérias, evitando, portanto, ensaios desnecessários, tomada de decisões rápidas, antecipando ações corretivas e preventivas de forma eficiente e, por fim, eficiência operacional, permitindo um monitoramento mais abrangente e contínuo. Diante desses avanços tecnológicos e dos resultados positivos observados internacionalmente, a adoção desse equipamento por empresas de saneamento pode trazer melhorias significativas na gestão da qualidade da água, garantindo maior segurança hídrica e satisfação dos consumidores. Diante do exposto, a empresa prontamente se prontificou a atender a Sabesp, e logo foram realizados dois webinars com a especialista americana e o corpo técnico da Sabesp, em 2021. Foi evidenciado, então, que com o passar dos anos, houve um upgrade nos modelos do equipamento. O modelo atual, conhecido como Cyano, identifica automaticamente cianobactérias e outras alga, utilizando software de reconhecimento de imagem. É um equipamento de bancada e pode ser utilizado como complemento de ensaios de microscopia, ou ainda, em total substituição a esta técnica. Após os dois eventos citados, a Sabesp elaborou um questionário técnico-financeiro, o qual foi respondido pela empresa fornecedora do equipamento. Em outubro de 2021, devido aos bons resultados das discussões técnicas, a empresa importou e disponibilizou o equipamento para a Sabesp por um mês, além de ministrar um curso e treinamento de uma semana para todos os biólogos envolvidos no estudo desde o início do processo. Essa experiência permitiu à Sabesp conhecer melhor o equipamento por meio de testes e esclarecimentos realizados via web com os Estados Unidos. Diversas reuniões foram realizadas entre a Sabesp, representantes do fornecedor no Brasil e no exterior, possibilitando esclarecer dúvidas técnicas, inclusive sobre a padronização do método. A equipe da Sabesp foi informada da possibilidade de inserção do método no Standard Methods (SM), visto que uma colaboradora do SM é representante da fornecedora nos Estados Unidos. Os testes com o equipamento, FlowCam Cyano, foram realizados com a participação de 10 biólogos. De modo geral, o FlowCam Cyano demonstrou que é possível realizar o ensaio de cianobactérias com maior rapidez e praticidade, como segue: rapidez e praticidade, treinamento e capacitação, padronização do método e colaboração internacional. O tempo médio estimado para o desenvolvimento e implementação da metodologia, é de 1 (hum) ano, devido a necessidade de criação de um banco de imagens que permeie todo o ciclo hidrológico (períodos secos e úmidos), uma vez que organismos diferentes aparecem ao longo das mudanças climáticas destes ciclos. Após a construção básica da biblioteca, é previsto, com base nos estudos de caso, bibliografia e testes práticos desenvolvidos na Sabesp, que o tempo de ensaio reduza significativamente. Quanto mais biólogos trabalharem na criação da biblioteca, menor será o tempo de implementação da técnica. Outra grande vantagem observada durante os testes “in loco” com o uso do equipamento, é a oportunidade que o biólogo terá de validar os resultados de suas amostras em outro momento, considerando o curto prazo de validade das amostras (48 horas) e que qualquer técnico laboratorial poderá realizar a atividade de injeção das mesmas. A técnica tradicional de microscopia mobiliza o biólogo por horas ao dia, impendendo-o de realizar outras atividades de cunho intelectual e de grande importância para a gestão e tomada de decisões, sem contar a fadiga causada ao profissional, no que diz respeito a fatores ergonômicos. Outra grande vantagem na utilização desta técnica, é a possibilidade de aquisição de um único equipamento, porém com a implementação de seu software em outros computadores (usuários em outras unidades da empresa), permitindo a análise crítica do resultado de uma amostra e/ou o desenvolvimento de sua biblioteca, por biólogos distantes do local onde encontra-se o equipamento.

Resultados

Na técnica atual (microscopia), o tempo médio entre a preparação da amostra até o término do ensaio, é de cerca de 40 (quarenta) minutos para amostras com baixa complexidade, isto é, com poucos gêneros e número de organismos, e de 3 (três) horas para amostras de maior complexidade, ou seja, densidade maior e vários gêneros. O tempo médio utilizado na injeção da amostra no FlowCam Cyano é de 4 (quatro) minutos. Considerando implementada a biblioteca de imagens, o tempo de ensaio não deverá ultrapassar de 30 (trinta) minutos para amostras mais complexas. Alguns artigos técnicos publicados por usuários do equipamento, descrevem redução de cerca de 75% no tempo de realização do ensaio, por amostra. O tempo ganho ao utilizar o equipamento poderá ser utilizado pelos biólogos dos laboratórios, para diversas outras atividades de maior complexidade, ou ainda, desenvolvimento de novas técnicas e ferramentas de automatização de outros ensaios, bem como avaliação na evolução e alterações de qualidade dos produtos água e esgoto. Especificamente para água, poderão ser úteis o acompanhamento do desenvolvimento de outros organismos, enriquecendo as ações tomadas referentes ao atendimento de legislações e melhoria da qualidade da água produzida. Este projeto pode, ainda, ser replicado para órgãos ou empresas mais carentes de mão-de-obra especializada no ensaio hidrobiológico, bem como o equipamento poderá ser utilizado para outras finalidades, tais como análise de microplásticos (MP). MP são partículas plásticas de tamanho igual ou inferior a 5 mm, originadas do processo de degradação de plástico (máquina de lavar). Adicionalmente, a utilização do FlowCam Cyano permite atendimento as ETAs, dando suporte em seus processos no quesito eficiência dos filtros, uma vez que uma simples análise qualitativa pode evidenciar esta eficiência. Desta forma, com esta ferramenta, a Sabesp poderá agilizar e ter maior assertividade em suas ações na qualidade da água produzida, ou seja, impactando a comunidade e mantendo sua responsabilidade e comprometimento com seus clientes.

Conclusões

Diante do exposto, a Sabesp compartilha seus conhecimentos adquiridos na proposta da nova ferramenta na área de saneamento no Brasil, mais especificamente, no ensaio hidrobiológico, ensaio de suma importância para o monitoramento da qualidade da água utilizada para abastecimento público, citando benefícios promissores na utilização do FlowCam Cyano. São eles: inovação tecnológica (impacto na imagem da empresa), monitoramento inteligente (machine learning), aumento da produtividade do laboratório de hidrobiologia, otimização na gestão da qualidade da água, e conseqüentemente, redução de custos com produtos químicos, causando, assim, impactos positivos em sua agenda de ESG.



A adoção do FlowCam Cyano, portanto, não só melhora a rapidez e praticidade dos ensaios de cianobactérias, como também libera os biólogos para atividades que agregam maior valor à Sabesp, impulsionando a inovação e a excelência no serviço de saneamento prestado.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Sabesp, especificamente as Diretorias de Operação e Manutenção, e de Engenharia e Inovação, e a Yokogawa do Brasil, pelo incentivo, suporte e credibilidade recebidos.

Referências Bibliográficas

Adams, H., Buerkens, F., Cottrell, A., Reeder, S. & Southard, M. 2018 Use an integrated approach to monitor algal blooms. *Opflow* 44 (12), 20. <https://doi.org/10.1002/opfl.1113>;

Barrowman, P.; Hunter, A.; et al. 2024. Flow Imaging Microscopy for Harmful Algal Bloom Monitoring. *Journal AWWA*, pp.37-48;

J.D. Chaffin, S. Mishra, D.D. Kane, D.L. Bade, K. Stanislawczyk, K. N. Slodysko, K.W. Jones, E.M. Parker, E.L. Fox. 2019 Cyanobacterial blooms in the central basin of Lake Erie: Potentials for cyanotoxins and environmental drivers. *Journal of Great Lakes Research*. <https://doi:10.1016/j.jglr.2018.12.006>;

J. Chaffin, T.W. Davis, D.J. Smith, M.K. Baer, G.J. Dick. 2018 Interactions between nitrogen form, loading rate, and light intensity on *Microcystis* and *Planktothrix* growth and microcystin production. *Harmful Algae*. 73,84-97.



PROYECCIÓN DE CAUDALES DE LA CUENCA PATIVILCA BAJO MODELOS CLIMÁTICOS DEL CMIP6 EN EL ESCENARIO SSP5-8.5 USANDO SWAT

1Yénica Cirila Pachac Huerta, 2Waldo Steven Casimiro, 3Melania Zapana Quispe, 4Robinson Fabricio Peña

1 Universidad Nacional Agraria La Molina, e-mail: ypachach@unasam.edu.pe; 2 Universidad Nacional Agraria La Molina, e-mail: wlavado@lamolina.edu.pe; 3 Universidad Nacional Agraria La Molina, e-mail: 20201343@lamolina.edu.pe; 4 Universidad Nacional Agraria La Molina, e-mail: 20200867@lamolina.edu.pe

Palabras-claves: Modelo hidrológico; cambio climático; proyecciones climáticas

Resumen

El sistema climático de la Tierra está experimentando cambios dramáticos caracterizados por el calentamiento global, que impacta profundamente en el ciclo del agua terrestre (Bai et al., 2021), debido al aumento de la temperatura y a las fluctuaciones de las precipitaciones. Basados en el estudio de Ahmadzadeh et al. (2022), estas variables climáticas pueden conducir al aumento de la escasez de agua y la degradación de su calidad, cantidad y oportunidad, alterando así la disponibilidad del recurso hídrico (RH) dando lugar a sequías e inundaciones, los cuales son inconvenientes socioeconómicos irreversibles. Por tanto, se hace de vital importancia cuantificar el impacto del cambio climático en los procesos hidrológicos espaciales y temporales ya que son necesarios para la gestión integrada del RH (Teklay et al., 2022).

Según Hurtt et al. (2020), en el futuro es probable que las actividades de uso de la tierra se expandan o intensifiquen aún más para satisfacer las crecientes demandas de alimentos, fibra y energía.

El objetivo de este estudio es evaluar el comportamiento de 8 modelos climáticos de la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca de Pativilca-Perú en el escenario SSP5-8.5 del CMIP6.

Marco teórico

Los modelos climáticos pueden proporcionar proyecciones de cambios a futuro, basadas en escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. El algoritmo del modelo CMIP6 es llevado a cabo por los principales centros de modelización del clima en todo el mundo, y los datos del producto se están distribuyendo a nivel internacional.

Los modelos hidrológicos se utilizan normalmente para evaluar los impactos del cambio climático en la disponibilidad de agua. Estas evaluaciones suelen seguir cuatro pasos clave: (i) calibrar modelos hidrológicos basados en observaciones históricas; (ii) utilizar los resultados de los GCMs para proyectar el clima futuro bajo diferentes escenarios de emisión de gases de efecto invernadero; (iii) reducción de escala y corrección de sesgos de los productos de GCM; (iv) el uso de modelos hidrológicos forzados por los resultados de los GCM para proyectar la respuesta de la escorrentía (Bai et al., 2021).

Metodología

Área en estudio

La cuenca de Pativilca se ubica al noreste de Perú en Sudamérica. Geomorfológicamente tiene un área de 4577 km², presenta una pendiente del cauce principal de 2.74%, la altitud varía de 25 a 6505 m.s.n.m. La cuenca del río Pativilca, en la estación Cahua presenta caudales encima de su normal, debido a las precipitaciones ligeras y regulación en la cuenca alta y media con caudal promedio en agosto de 2017 de 25,6 m³/s, la temperatura promedio multianual (1965 - 2013) es de unos 5°C en la zona de cabecera y de 20 °C en la zona de desembocadura. Así mismo se caracteriza por una agricultura casi en su totalidad de bajo riego (93,2%) (Ver Figura 1).

Los datos climáticos se simularon utilizando el portal Climate Change. Se analizaron los datos climáticos de 6 modelos climáticos (Tabla 1) para el período de referencia (1981-2014), futuro cercano (2030-2060) y el futuro lejano (2070-2100). El modelo SWAT se utilizó para calibrar los parámetros del modelo, utilizando los datos observados de los caudales de la estación hidrométrica Cahua y posteriormente poder estimar la proyección de caudales futuros utilizando los datos climáticos corregidos mediante el downscaling quanting mapping por subcuenca en referencia a los datos grillados de PISCO SENAMHI (mayor detalle se muestra en la Figura 2).

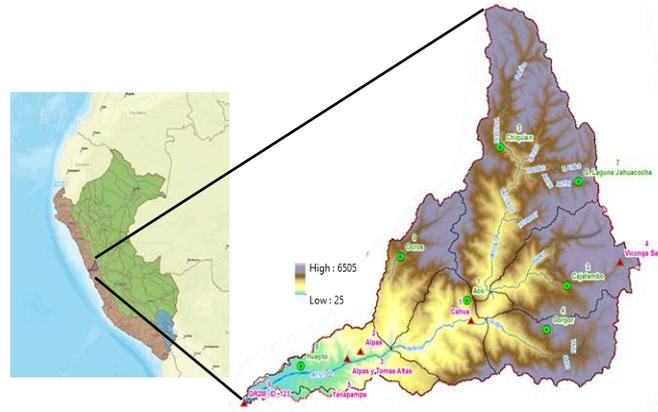


Figura 1: Ubicación de la cuenca Pativilca.

Tabla 1.- Modelos GCM

Modelo	Resolución (km)	Modelo	Resolución (km)
Modelo 1 Francia (CNRM_CM6_HR)	100	Modelo 5 Corea del Sur (KACE)	250
Modelo 2 Canada (CanESM5)	500	Modelo 6 Japon (MRI_ESM2)	100
Modelo 3 Francia (CNRM_CM6)	250	Modelo 7 Australia (ACCESS_CM2)	250
Modelo 4 Francia (CNRM_ESM2)	250	Modelo 8 Russia (INM_CM5)	100

Resultados y discusiones

En los periodos evaluados, en la cuenca Pativilca las precipitaciones se presentan en las cuencas altas (más en los meses húmedos de noviembre a enero), lo cual se ve reflejado con caudales mayores en las cuencas bajas. A una escala mensual los modelos 1,3,4,6 y 7 indican un aumento de caudal en todos los meses en base al presente hasta 204.3% (futuro cercano) y 1210.4% (futuro lejano) a contrario de los modelos 2,5 y 8 que indican una disminución de caudales en los meses de octubre a noviembre, mayo a setiembre y marzo a julio respectivamente.

A escala general los modelos franceses 3 y 4 presentan mayor variabilidad de caudales en un futuro cercano de 100.1% y 104.3% respectivamente y lejano 434.3% y 337.7% respectivamente (Ver Figura 3).

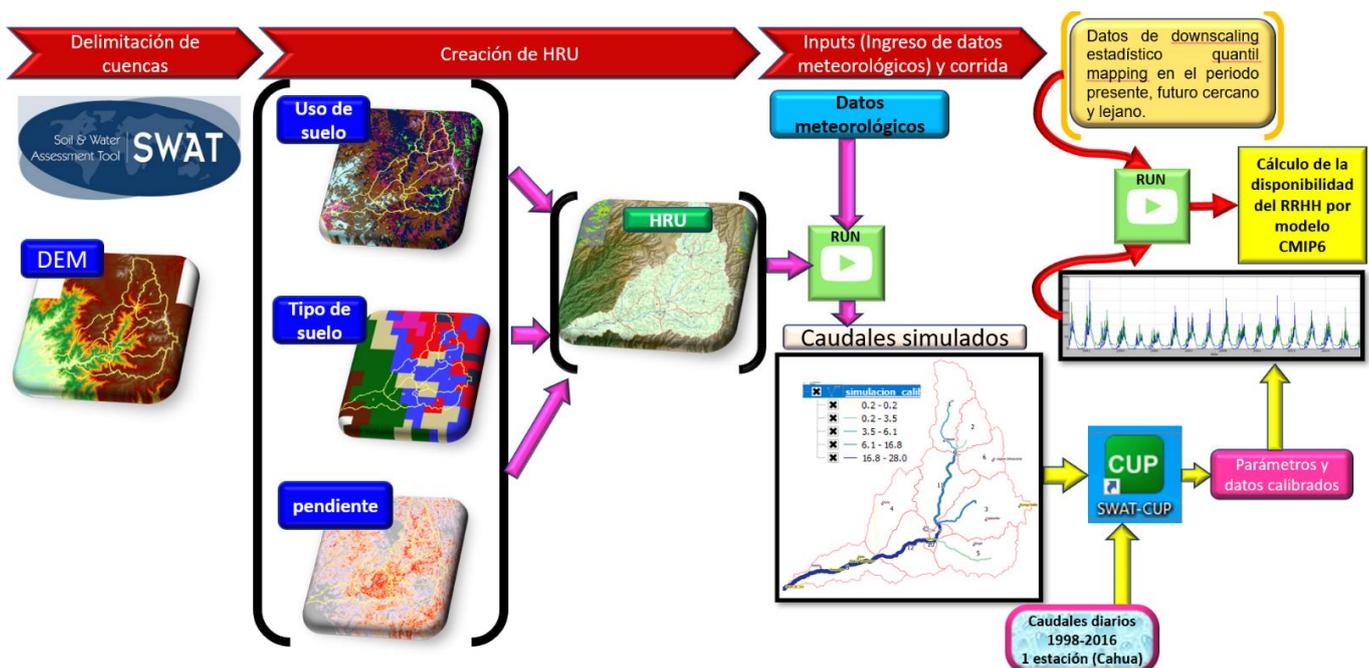


Figura 2.- Esquema metodológico de la investigación

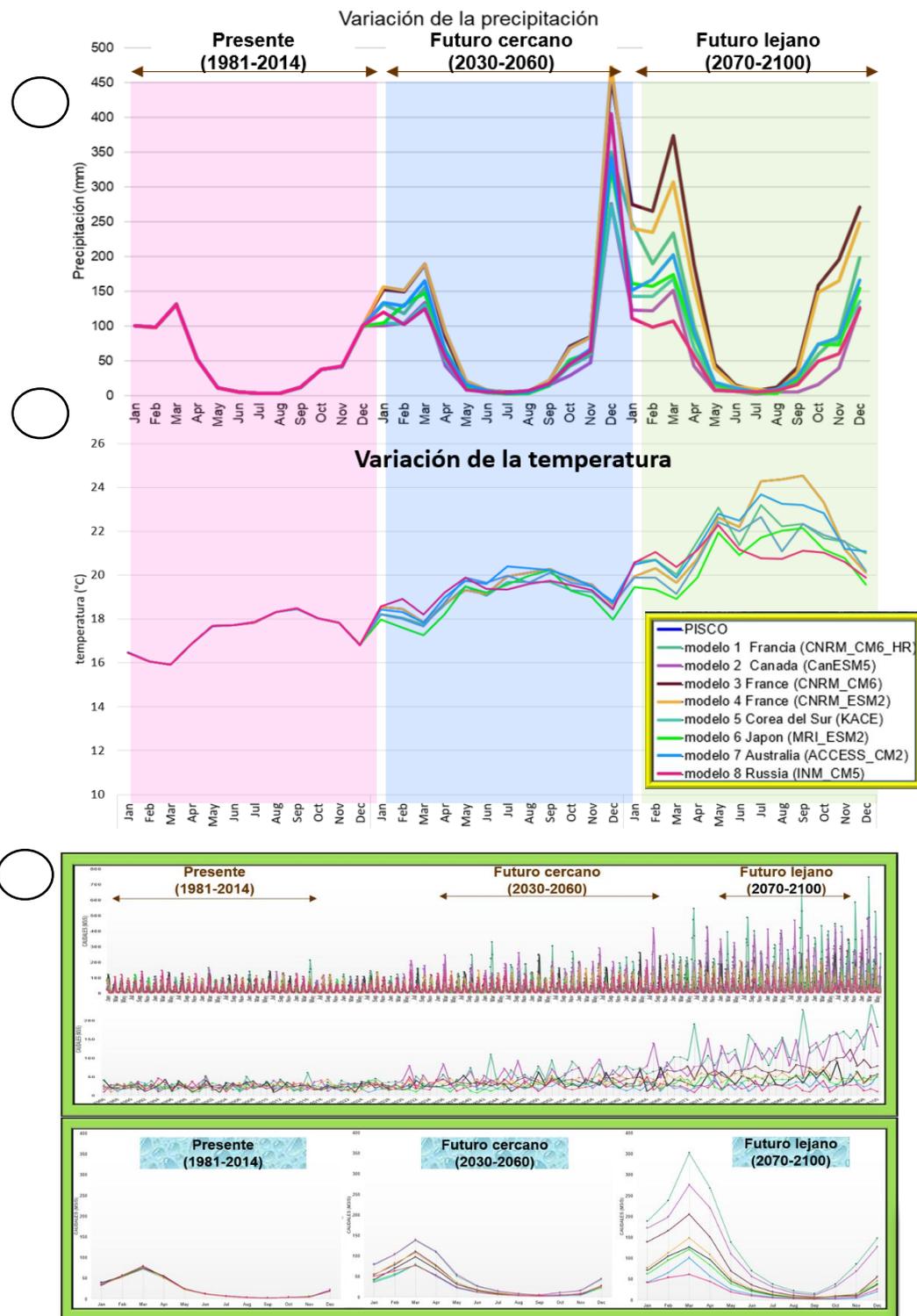


Figura 3.- Interrelación de la proyección de los caudales en función de la temperatura y precipitación.

Conclusiones

El empleo del downscaling estadístico con quantil mapping de los datos sobrestimados de precipitación y temperatura del CMIP6 muestra alta correlación en los 3 modelos de Francia CNRM y una baja correlación de modelo ruso en referencia a los otros modelos.

El comportamiento de los 8 modelos climáticos, muestra un aumento más representativo de las precipitaciones en los meses húmedos que en los secos (con mayor incidencia en las cuencas altas), de la misma forma la temperatura es mayor en los meses secos y presenta un incremento con respecto a los años. Los cuales se ven reflejados en el aumento de los caudales en la cuenca baja.



Agradecimientos

Queremos expresar nuestra gratitud a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo por su generoso respaldo financiero, que fue fundamental para llevar a cabo este estudio. También deseamos agradecer al Centro de Investigación Earth Science and Technology (ESAT) y al Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD) por su apoyo incondicional y la oportunidad de utilizar sus instalaciones, lo cual fue vital para el éxito de nuestra investigación.

Referencias

Ahmadzadeh, H., Mansouri, B., Fathian, F., and Vaheddoost, B. (2022). Assessment of water demand reliability using SWAT and RIBASIM models with respect to climate change and operational water projects. *Agricultural Water Management*.

Bai, P., Liu, X., and Xie, J. (2021). Simulating runoff under changing climatic conditions: A comparison of the long short-term memory network with two conceptual hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 592, 125779.

Hurt, G. C. and Chini, L. (2020). Harmonization of global land use change and management for the period 850-2100 (LUH2) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 13(11), 5425-5464.

Teklay, A. and Dile, Y. (2022). Modeling the impact of climate change on hydrological responses in the Lake Tana basin, Ethiopia. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 97 (November 2021), <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2021.101278>.

MODELAÇÃO PREDITIVA DE CIANOTOXINAS EM ÁGUAS DE CONSUMO

1Joaquim José Barreira de Jesus, 2Mário Santos, 3Rui Cortes

1 Laboratório de Ecologia Fluvial e Terrestre - CITAB - Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, e-mail: jjesus@utad.pt; 2 CITAB - Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, e-mail: citab@utad.pt; 3 CITAB - Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, e-mail: citab@utad.pt

Palavras-chave: Águas de consumo, saúde pública, modelação preditiva

Resumo

Boa parte da água potável que nos chega à torneira tem origem em sistemas de armazenamento artificiais de água bruta, nomeadamente barragens/reservatórios. Os principais impactes decorrentes daquelas reservas de água correspondem a dois fenómenos: a estratificação térmica e a eutrofização. Com o fenómeno de eutrofização é frequente a ocorrência de cianobactérias, um dos constituintes do fitoplâncton e produtoras de cianotoxinas, contribuindo para condições de elevada adversidade, quer para os ecossistemas aquáticos, quer também para a saúde pública. Os sistemas tradicionais de tratamento de águas para consumo humano são permeáveis às complexas cianotoxinas, entrando na rede de abastecimento das populações, se não forem desencadeados sistemas de tratamento alternativos e dirigidos, como é o caso do carvão ativado. O desenvolvimento de sistemas de monitorização inteligentes, que permitam antecipar de forma preditiva episódios de “blooms” de cianobactérias, será um poderoso instrumento de apoio à decisão, na salvaguarda dos ecossistemas aquáticos e saúde pública. O sistema de modelação preditivo, que temos em desenvolvimento, recolhe informação em tempo real “in-situ” (sensores físico-químicos, meteorológicos e biológicos) e alimenta uma base de dados que fornece ao modelo dinâmico (Stochastic-Dynamic Methodology - StDM) a capacidade de antecipar o desenvolvimento destes fenómenos, através dos cenários prováveis de evolução da ocorrência de situações críticas. Estas situações, que correspondem à conjugação de variáveis que estão na origem da eutrofização e produção de biotoxinas, permitirá atempadamente acionar alertas e ações determinantes para o seu eficaz controlo.

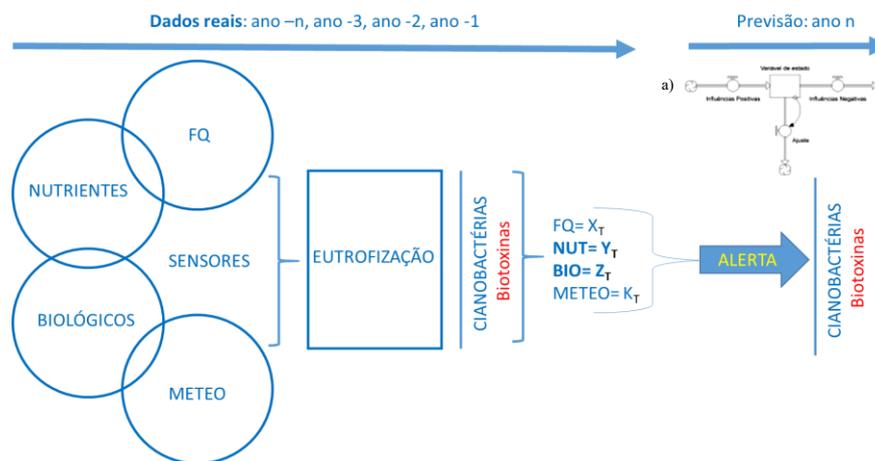


Figura 1: A figura representa a sequência dos processos de desenvolvimento da ferramenta de previsão. a) Unidade base de modelação na StDM

Agradecimentos

Este trabalho é apoiado/financiado por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projeto UIDB/04033/2020

Referências Bibliográficas

Cabecinha, E., Cortes, R., Pardal, M. Â., & Cabral, J. A. (2009). A Stochastic Dynamic Methodology (StDM) for reservoir's water quality management: Validation of a multi-scale approach in a south European basin (Douro, Portugal). *ecological indicators*, 9(2), 329-345.

Cabecinha, E., Lourenço, M., Moura, J. P., Pardal, M. Â., & Cabral, J. A. (2009). A multi-scale approach to modelling spatial and dynamic ecological patterns for reservoir's water quality management. *Ecological Modelling*, 220(19), 2559-2569.



- Catherine, A., Escoffier, N., Belhocine, A., Nasri, A.B., Hamlaoui, S., Yéprémian, C., Bernard, C., Troussellier, M., (2012) On the use of the FluoroProbe®, a phytoplankton quantification method based on fluorescence excitation spectra for large-scale surveys of lakes and reservoirs. *Water Research* 46, 1771-1784.
- Graham, J.L., Loftin, K.A., Ziegler, A.C., Meyer, M.T., (2008) Guidelines for Design and Sampling for Cyanobacterial Toxin and Taste-and-Odor Studies in Lakes and Reservoirs. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2008-5038.
- Gregor, J., Maršálek, B., (2004) Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll a: a comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods. *Water Research* 38, 517-522. 9 XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste 15º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa
- Santos, M., Bastos, R., Vicente, J., Berger, U., Soares Filho, B. S., Rodrigues, H., ... & Cabral, J. A. (2015). 17 Anticipating Invasions and Managing Impacts: A Review of Recent Spatiotemporal Modelling Approaches. In *Biological Invasions in Aquatic and Terrestrial Systems: Biogeography, Ecological Impacts, Predictions and Management*.
- Sartory, D.P., Grobbelaar, J.U., (1984) Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia* 114, 177-187.
- Seppälä, J., Ylöstalo, P., Kaitala, S., Hällfors, S., Raateoja, M., Maunula, P., (2007) Ship-of-opportunity based phycocyanin fluorescence monitoring of the filamentous cyanobacteria bloom dynamics in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73, 489-500.
- Shade, A., Jones, S.E., McMahon, K.D., (2008) The influence of habitat heterogeneity on freshwater bacterial community composition and dynamics. *Environmental Microbiology* 10, 1057-1067.
- Uhlmann, D., Paul, L., Hupfer, M., Fischer, R., (2011) 2.08 - Lakes and Reservoirs. In: Wilderer, P. (Ed.), *Treatise on Water Science*. Elsevier, Oxford, pp. 157-213. 10 XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste 15º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa
- WHO, (2003) Guidelines for Safe Recreational Water Environments: Coastal and fresh waters. World Health Organization
- Zamyadi, A., McQuaid, N., Prevost, M., Dorner, S., (2012) Monitoring of potentially toxic cyanobacteria using an online multi-probe in drinking water sources. *Journal of environmental monitoring* : JEM 14, 579-588.



DETERMINAÇÃO TEÓRICA DO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO A SER APLICADO EM NA CALIBRAÇÃO DE UMA REDE REAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

1Mariana Helena Vieira Gomes,

*1 Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Brasil.
marianahelenavieiragomes@gmail.com*

Palavras-chave: Rede de distribuição; Otimização; Algoritmos evolucionários;

Resumo

A necessidade de um gerenciamento eficiente dos recursos hídricos é uma questão de grande importância socialmente, pois a cada dia os recursos naturais se tornam mais escassos e a demanda humana por água cresce continuamente. A calibração de redes de distribuição de água é crucial para garantir sua operação eficiente e confiável. Por ser um processo complexo, são necessárias técnicas de otimização, onde os parâmetros a serem ajustados são tratados como variáveis de decisão. Essa abordagem sistemática, que utiliza simulações hidráulicas como base para calibrar os parâmetros da rede de distribuição, busca alcançar uma melhor correspondência entre as previsões da simulação e o comportamento real da rede.

Selecionar o método de otimização mais adequado para um modelo hidráulico requer uma análise cuidadosa, pois cada rede de distribuição de água é única, com suas próprias características específicas. A complexidade do modelo, incluindo o número de nós, tubulações, entre outros fatores, juntamente com a disponibilidade e qualidade dos dados para calibração, além das restrições físicas e operacionais da rede, são os primeiros aspectos a serem considerados.

Após as considerações sobre o sistema, é importante analisar o quão preciso o modelo precisa ser, avaliar a velocidade de convergência do método e considerar a presença de múltiplos objetivos no sistema. A precisão do modelo influencia diretamente na confiabilidade das previsões e na adequação das soluções encontradas. A velocidade de convergência é crucial para determinar o tempo necessário para encontrar uma solução satisfatória. Além disso, se houver múltiplos objetivos a serem otimizados, como minimizar custos e maximizar eficiência, é fundamental escolher um método que seja capaz de lidar com essa complexidade de forma eficiente e eficaz.

Os primeiros algoritmos utilizados para otimização eram fundamentados em técnicas de programação linear (KARMELI et al., 1968), programação não linear (JACOBY, 1968) e programação dinâmica (LIANG, 1971). Essas abordagens identificavam soluções ao verificar se as condições de otimalidade eram satisfeitas, porém, conforme observado por Zhou et al. (2013), podiam levar a soluções inviáveis.

Atualmente, no campo dos algoritmos de otimização, um grupo específico tem recebido considerável atenção devido à sua aplicabilidade abrangente e à sua relativa facilidade de implementação: os algoritmos evolucionários (BARROS, 2007). Dentre as diversas linhas de pesquisa que emergiram nas últimas décadas, algumas se destacam particularmente e foram selecionadas para posterior avaliação: Algoritmos Genéticos - AG (Goldberg et al., 1989), Ant Colony Optimization - ACO (Colormi, 1992), Particle Swarm Optimization - PSO (Kennedy et al., 1995) e Honey-Bee Mating Optimization - HBMO (Haddad et al., 2006). Esses métodos não fornecem garantias de que a solução obtida é a melhor possível entre as existentes, porém convergem para uma solução muito próxima ao ótimo global (Kripka, 2012).

Conforme Barros (2007) descreveu, os algoritmos evolucionários destacam-se na busca de soluções ótimas devido a diversas características distintas. Eles operam com uma população de soluções simultaneamente, proporcionando uma perspectiva global e uma ampla diversidade na busca, o que os torna eficientes na identificação de ótimos globais em problemas com múltiplos ótimos locais. Ao contrário de outros algoritmos, não dependem de funções objetivo específicas, podendo lidar com uma variedade de formas e tipos de funções. Além disso, sua flexibilidade permite explorar domínios de busca multidimensionais, com ou sem restrições, lineares ou não-lineares. Do ponto de vista computacional, são propícios à paralelização, o que otimiza o tempo de execução ao compartilhar processos entre diferentes computadores. Essas características combinadas ampliam sua eficácia e aplicabilidade em uma variedade de problemas complexos.

Os Algoritmos Genéticos (AGs) introduzidos no meio científico por Sterling e Coulbeck (1975) e popularizados por um de seus alunos, baseados na reprodução sintética da seleção natural, onde os indivíduos mais aptos têm maior probabilidade de sobreviver e transmitir suas características para as próximas gerações, enquanto os menos aptos são descartados (Goldberg, 1989). Vasconcelos et al. (2015) explicam o processo de geração do algoritmo, que começa com a criação aleatória de uma população de soluções, cada uma representada por um cromossomo. Em seguida, essas soluções são avaliadas por uma função objetivo, atribuindo uma pontuação a cada cromossomo com base em sua adequação. Os menos aptos são descartados, e os mais aptos são selecionados para reprodução, transmitindo seus genes para a próxima geração. Operadores genéticos, como seleção, cruzamento e mutação, são aplicados aos indivíduos selecionados para gerar descendentes. Esse processo é repetido por várias gerações, visando encontrar soluções ótimas até que um critério de parada seja alcançado, como um número máximo de gerações ou uma taxa de adequação pré-definida. Silva et al. (2014) propuseram utilizar Algoritmos Genéticos (AGs) para calibrar uma rede existente de distribuição de água, destacando sua eficácia e robustez nesse processo. Os AGs mostraram-se precisos na adaptação dos parâmetros do modelo, gerando valores



de vazões e pressões próximos aos medidos. Além disso, demonstraram sensibilidade às condições específicas da rede, como demanda e material das tubulações, ajustando as rugosidades de forma adequada. Os resultados obtidos foram satisfatórios, uma vez que os valores das variáveis de estado ajustadas (pressões e vazões) se aproximaram dos monitorados para a maioria dos casos.

O algoritmo ACO, inicialmente proposto por Colomi et al. (1992), é inspirado no comportamento das colônias de formigas, que demonstram habilidades notáveis na busca por alimentos, especialmente na capacidade de encontrar o caminho mais curto entre o ninho e os recursos alimentares, revelando uma forma de inteligência coletiva. No algoritmo, formigas artificiais são modeladas para imitar o movimento das formigas reais na busca pela melhor solução possível. Dini e Tabesh (2014) aplicaram essa metodologia para calibrar os coeficientes de rugosidade e o padrão de demanda de uma rede de abastecimento de água. A abordagem foi testada tanto em uma rede teórica quanto em uma rede real, e os resultados indicaram que essa técnica é altamente precisa na calibração das variáveis de decisão.

O PSO é um algoritmo heurístico inspirado no comportamento social de um bando de pássaros, inicialmente proposto por Eberhart e Kennedy em 1995. Este foi inspirado no comportamento e na dinâmica do “comportamento social” observado em espécies de pássaros, insetos e cardumes de peixes. No PSO, de forma geral, cada pássaro (ou partícula) começa sua busca em um local aleatório, chamado de posição X, e se move com uma velocidade inicial também aleatória, chamada de V. Durante a busca, cada partícula avalia a quão próxima está do alimento, que é representado pelo valor da função objetivo. Além disso, ela também observa a proximidade das outras partículas ao seu redor. Com essas informações, cada partícula ajusta sua trajetória, movendo-se em direção ao local que parece ser melhor, combinando sua experiência individual com a informação compartilhada pelo grupo. Assim, todas as partículas colaboram para encontrar a solução ótima (Saliba et al., 2022). No estudo conduzido por Meirelles et al. (2017), o PSO foi utilizado para calibrar modelos de distribuição de água. Na pesquisa, uma Rede Neural Artificial (RNA) do tipo MLP foi empregada para estimar a pressão em todos os nós da rede. Posteriormente, os dados estimados foram combinados com o PSO para otimizar os coeficientes de rugosidade de Hazen-Williams das tubulações da rede. Essa metodologia foi aplicada em dois estudos de caso distintos, nos quais as diferenças entre a pressão calibrada e a estimada foram minimizadas, resultando em resultados promissores.

O método de Otimização Baseada no Acasalamento de Abelhas (HBMO), proposto por Haddad et al. (2006), é amplamente utilizado para encontrar soluções em problemas de otimização global, tanto com variáveis discretas quanto contínuas. Esse método, essencialmente, modela o processo de acasalamento das abelhas para explorar o espaço de busca de maneira eficaz. Barros (2007) explica em processo natural de acasalamento de abelhas, em síntese, a colônia de abelhas é composta pela colmeia, onde vivem a rainha, os zangões e as operárias. A rainha é fundamental, sendo a única capaz de fertilizar os ovos. As operárias cuidam da colmeia, alimentando os filhotes, enquanto os zangões são responsáveis pelo cruzamento com a rainha. Após o acasalamento, os zangões morrem, transmitindo a informação genética. A colônia evolui adaptando-se ao ambiente por meio da seleção natural. Em um estudo liderado por Bozorg Haddad e sua equipe em 2008 investigaram as mudanças nos coeficientes de rugosidade das tubulações em redes de distribuição de água urbana. Eles utilizaram o método HBMO para examinar estratégias de reabilitação da rede ao longo do tempo operacional. Os resultados mostraram que o algoritmo HBMO foi eficaz na busca de soluções viáveis e economicamente vantajosas em comparação com abordagens que não consideravam a reabilitação da rede (Haddad et al., 2008).

Para alcançar o objetivo principal deste estudo, que é identificar o método de otimização mais adequado para este modelo de calibração, é crucial considerar a complexidade do modelo, assim como a disponibilidade e qualidade dos dados para calibração, além das restrições físicas e operacionais da rede.

A rede de distribuição de água selecionada para aplicação do método é a da cidade de Nova Resende, localizada em Minas Gerais, uma área caracterizada por sua topografia acidentada e pela variação de pressões na rede de abastecimento de água. Com uma extensão de aproximadamente 45 km, a rede inclui uma estação de tratamento de água, cinco estações elevatórias e onze reservatórios com níveis conhecidos. O consumo base, determinado a partir de registros reais, é distribuído entre 322 nós da rede. As tubulações, em sua maioria de PVC, variam em diâmetro de 50 a 150 mm, e as cotas altimétricas oscilam entre 1091 m e 1248 m. Os pontos para a aquisição de dados de pressão, necessários para a calibração, são selecionados de modo a abranger a maior área possível da rede em estudo, considerando o número de equipamentos disponíveis.

É essencial definir os parâmetros do modelo durante a calibração para assegurar que os valores simulados se aproximem dos dados medidos em campo. A simulação da rede é conduzida utilizando o software EPANET, em conjunto com o Python WNTR, uma ferramenta muito utilizada para simulação e ajuste dos parâmetros da rede. A calibração de redes de distribuição de água pode envolver uma variedade de parâmetros, como diâmetros e comprimentos das tubulações, demandas nos pontos de consumo e rugosidades. No entanto, a maioria dos estudos na literatura foca principalmente na calibração do parâmetro de rugosidade (Da Silva, s.d.).

Após a análise dos dados da rede, optou-se por realizar uma calibração implícita, de objetivo único, centrada na otimização do parâmetro de rugosidade. Levando em consideração a sinergia entre o simulador hidráulico e o otimizador, o método escolhido foi o PSO (Particle Swarm Optimization).

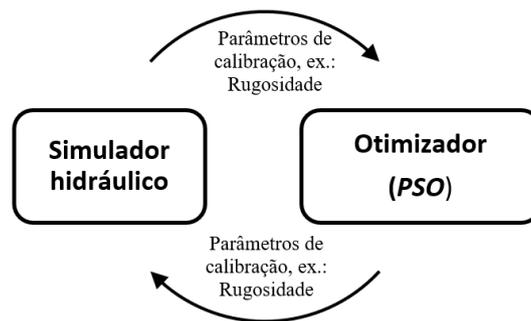


Figura 1: Calibração implícita
Fonte: Savic, 2009 (adaptado).

Devido ao seu desempenho promissor em lidar com problemas indeterminados, nos quais o número de medições é inferior à quantidade de parâmetros a serem calibrados, o PSO tem sido amplamente adotado e discutido na literatura, fornecendo resultados satisfatórios. No entanto, é importante ressaltar que, embora seja capaz de lidar com problemas não determinados, a calibração implícita ainda depende de dados reais para garantir sua precisão e eficácia.

Diante disso, justifica-se a aplicação do teste de otimização na rede de distribuição da cidade de Nova Resende - MG, uma vez que o PSO demonstrou eficácia em problemas de otimização mono-objetivo. Suas principais vantagens incluem a habilidade de equilibrar a exploração e a exploração, convergindo rapidamente para soluções ótimas e adaptando-se a diferentes tipos de funções objetivo. Além disso, destaca-se sua eficiência computacional e a facilidade de implementação, tornando-o uma escolha viável e eficaz para a calibração de redes reais.

Em resumo, a calibração aprimorada resulta em uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e em uma maior satisfação dos usuários. Os pesquisadores destacam que ainda não há consenso sobre o método de otimização ideal que garanta uma solução global ótima em um tempo computacional reduzido. Portanto, é fundamental realizar mais estudos e testes, bem como familiarizar-se com técnicas de otimização, para abordar esses desafios complexos e aplicá-los em redes reais.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Prof. Dr. André Luis Salustiano Martim e a Universidade Estadual de Campinas pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

- Bozorg Haddad, O., Afshar, A. & Marino, M. A. 2006 Honey-Bees Mating Optimization (HBMO) algorithm: a new heuristic approach for water resources optimization. *Water Resour. Manag.* 20, 661–680
- Barros, Francisco Venícius Fernandes. Uso de algoritmos evolucionários na calibração de modelos hidrológicos e na operação de sistemas de reservatórios. 2007.
- Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V. An investigation of some properties of the ant algorithm. In: Männer R, Manderick B, editors. *Proceedings of the Second International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN-II)*, Brussels, Belgium; 1992. p. 515–26.
- Da Silva, Fernando das Graças Braga et al. Modelo de calibração de rede de distribuição de água considerando fugas: estudo de caso do setor real monte carlo. S/d
- Dini, Mehdi; Tabesh, Massoud. A new method for simultaneous calibration of demand pattern and Hazen-Williams coefficients in water distribution systems. *Water resources management*, v. 28, p. 2021-2034, 2014.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. AddisonWesley, Reading, Mass, p. 412.
- Haddad, Omid Bozorg; ADAMS, Barry J.; MARINO, Miguel A. Optimum rehabilitation strategy of water distribution systems using the HBMO algorithm. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, v. 57, n. 5, p. 337-350, 2008.
- Jacoby, Shmuel LS. Design of optimal hydraulic networks. *Journal of the Hydraulics Division*, v. 94, n. 3, p. 641-662, 1968.
- Karmeli, David; Gadish, Yoram; Meyers, Selwyn. Design of optimal water distribution networks. *Journal of the Pipeline Division*, v. 94, n. 1, p. 1-10, 1968.
- Kennedy, J.; Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *Evolutionary Computation – IEEE*, p. 1942–1948.



Kripka, M. e de Medeiros, G. F. “Cross-sectional optimization of reinforced concrete columns considering both economical and environmental costs”. In Applied Mechanics and Materials (Vol. 193, pp. 1086-1089). Trans Tech Publications, 2012.

Liang, T. “Design conduit system by dynamic programming”. Journal of the Hydraulics Division, 97(3), 383-393, 1971

Meirelles, G. L.; Brentan, B. M.; Manzi, D.; Luvizotto Jr, E. (2017). Metamodel for Nodal Pressure Forecasting at Near-Real Time in Water Distribution Systems using Artificial Neural Networks. Journal of Hydroinformatics, p. 486–496.

Saliba, Aloysio Portugal Maia et al. Análise de sensibilidade do número de sensores na calibração de redes de distribuição de água.

Savic, D. A.; Kapelan, Z. S.; Jonkergouw, P. M. R. (2009). Quo vadis water distribution model calibration? Urban Water Journal, v. 6, n. 1, p. 3-22.

Sterling, M. J. H.; Coulbeck, B. A dynamic programming solution to optimization of pumping costs. Proc., Instn. Civ. Engrs., p. 813–818, 1975

Zhou, Y., Li, X. e Gao, L. “A differential evolution algorithm with intersect mutation operator”. Applied Soft Computing, 13(1), 390-401, 2013.

MOVIMENTO SOS REPRESA DE NOVA PONTE, RIO ARAGUARI E AFLUENTES

1Cordélia Alves Rios, 2Reginaldo Costa e Silva, 3Juraci Aparecido Batista, 4Lincoln Keller Oliveira, 5Luiz Antônio Centenaro, 6Graziela de Pádua Silveira Resende, 7Cleiton José Borges, 8Gustavo Augusto Coelho

1 Engenheira Química - Yete Ambiental Engenharia e Consultoria Ltda. - rios.cordelia@gmail.com; 2 Ambientalista - Coordenador do Movimento SOS Represa - reginaldocostaesilva151@gmail.com; 3 Ambientalista - Coordenador do Movimento SOS Represa - reginaldocostaesilva151@gmail.com; 4 Empresário Piscicultor - Suprema Piscicultura e Indústria de Pescados Ltda. - jura-ptc@outlook.com.; 5 Advogado - Sindicato dos Produtores Rurais de Santa Juliana/MG, - lincolnkelleroliveira@yahoo.com.br; 6 Engenheiro Agrônomo - Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Pedrinópolis/MG - meioambiente@pedrinopolis.mg.gov.br; 7 Engenheiro Agrônomo - Yete Ambiental Engenharia e Consultoria Ltda. - gustavoaugustocoelho@gmail.com

Palavras-chave: Reservatório de Nova Ponte, Multiusos, Produtor de Água

Introdução

A represa de Nova Ponte, com barramento situado no município de Nova Ponte/MG, foi construída em 1994 na Bacia do Rio Araguari, denominada PN2 (Afluente do Rio Paranaíba), formada 18 sub-bacias que abrange 20 municípios mineiros na região do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro, sendo 14 municípios a montante da Represa (Araxá, Campos Altos, Ibiá, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Pratinha, Sacramento, São Roque de Minas, Santa Juliana, Serra do Salitre e Tapira) e 6 municípios a jusante (Araguari, Indianópolis, Rio Paranaíba, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia).

A Bacia do Rio Araguari ocupa uma área de 22.091 Km², com 475 Km de extensão do curso principal do Rio Araguari, população superior a 1,3 milhões de habitantes, enquanto o Reservatório de Nova Ponte é um reservatório de cabeceira com área inundada de 443 Km², volume total de 12.792 hm³ (quase 13 trilhões de litros d'água) e Nível de Água variando entre 775,5 metros (NA mínimo) e 815,0 metros (NA máximo) de altitude acima do mar.

O Reservatório de Nova Ponte é estratégico para a segurança hídrica estadual e nacional por se tratar de um reservatório de cabeceira, com características predominantemente oligotróficas que atende não somente a UHE (Usina Hidrelétrica) de Nova Ponte, com capacidade de geração de 511 MW, operada pela CEMIG - Centrais Hidrelétricas de Minas Gerais, mas que é utilizado principalmente para armazenar água para as necessidades a jusante, operando como um reservatório de maior altitude que contribui para regular o fluxo de água nas calhas do rio Araguari a jusante, rio Paranaíba e até rio Paraná, respondendo por 29% da geração de energia no subsistema Paranaíba, que corresponde a 11,3% no Subsistema Sudeste/Centro-Oeste. A posição estratégica do reservatório de Nova Ponte é mostrada na Figura 1.

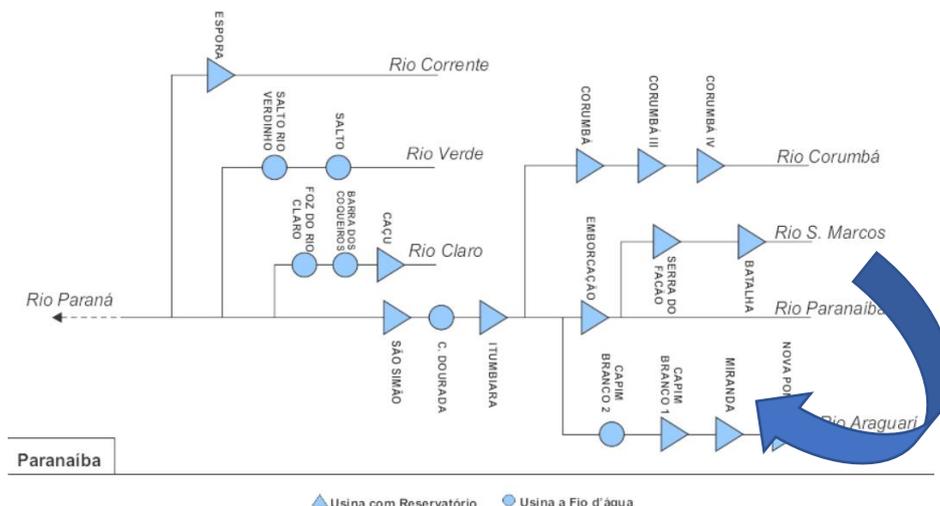


Figura 1: Contribuições de Fluxo de Água do Reservatório de Nova Ponte, cabeceira do Rio Araguari-MG
(Fonte: https://www.ana.gov.br/sar/sin/b_parana)

Por ser a Bacia do Rio Araguari localizada integralmente em território mineiro, a gestão e regulação ambiental pelo uso da água na Bacia do Rio Araguari é de responsabilidade do Estado, através do IGAM - Instituto de Gestão das Águas de Minas Gerais, mas a vazão de água defluente do reservatório de Nova Ponte é regulada pela ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico, responsável pelas atividades de coordenação e controle da operação de geração e transmissão de energia elétrica integrantes do SIN - Sistema Interligado Nacional, conforme Resoluções Normativas da ANEEL.



Além da importante contribuição do reservatório de Nova Ponte para a geração de energia e regulação do fluxo de água nos sistemas a jusante, este lago é de vital importância para manter a sustentabilidade socioeconômica e ambiental nos oito municípios do seu entorno (Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Sacramento, Santa Juliana e Serra do Salitre), cuja população ao longo dos últimos 30 anos se adapta aos impactos socioambientais da construção deste Reservatório e desenvolvem atividades econômicas que dependem da água neste lago, especialmente da qualidade e nível da água, como a piscicultura em tanques redes e indústria do pescado, o turismo aquático e rancheiros, as atividades agropecuárias e especialmente o equilíbrio socioambiental em todo o território de influência deste Reservatório.

O Nível da Represa de Nova Ponte

Desde o início da operação da represa de Nova Ponte, em 1994, quando as questões sobre o clima, impactos ambientais e sociais, de desenvolvimento econômico, de usos da água e outras interferências no entorno da represa foram avaliados e trabalhados na época, o cenário vem mudando de forma acelerada. A situação hídrica da represa foi agravada por prolongados períodos de seca, pela redução da produção de água nas cabeceiras do Rio Araguari e seus afluentes e pelo aumento e diversificação de usos da água, ocupação acelerada no entorno do lago, impulsionado pelo crescimento da população e desenvolvimento econômico na região, especialmente com o crescimento da piscicultura em sistema de confinamento em tanques redes e da agropecuária.

O reservatório de Nova Ponte operou com bom nível do espelho d'água variando entre 84% no período de chuvas (abril 2010) e 50% no período de seca. A partir de setembro de 2012, com seca prolongada, iniciou um período de operação com nível d'água descendente de 50% até atingir o volume mínimo de 9,85% em novembro de 2014. No período de 2015 a 2020 houve pequenas recuperações sazonais, mas o reservatório continuou operando com baixo nível d'água atingindo o nível máximo de 52% em junho de 2020 e o mínimo de 9,90% em dezembro de 2020. Então o reservatório iniciou 2021 com 10,8% do seu volume útil e atingiu o máximo de apenas 16,73% em abril de 2021, cota de 786,42 metro de altitude acima do mar.

E para agravar a situação, a CEMIG alertou em 30 de junho de 2021, que: “o volume útil do reservatório da UHE Emborcação estava em 18,44%, enquanto o reservatório da UHE Nova Ponte apresentava 14,98%. Para ambos os reservatórios, esses são os piores volumes já verificados no histórico para o mês de junho. Alguns cenários de simulações futuras indicam armazenamentos nos reservatórios de Emborcação e Nova Ponte em níveis próximos ao mínimo operativo (1%) ao final da estação seca.”



Figura 2: Histórico de Armazenamento de Água no Reservatório de Nova Ponte de 2010 a 2024
(Fonte: <https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin#>)

Diante deste cenário e com a reserva de água do reservatório cada vez mais crítica e disputada pelos diversos usuários com demandas crescentes: ONS regulando o fluxo para produção de energia nas UHEs a jusante, CEMIG na produção de energia na UHE Nova Ponte, abastecimento público das cidades com população crescente, piscicultores com tanques redes no lago, agricultores e pecuarista com outorgas para uso da água dos afluentes da represa, ação entrópica crescente com áreas de lazer, turismo e rancheiros no entorno do lago, nasceu o Movimento SOS Represa, rio Araguari e Afluentes, em julho de 2021, motivado principalmente pela situação crítica da piscicultura e dos ecossistemas na área de influência deste reservatório.

Em setembro de 2021 foi decretada pelo IGAM a cota mínima operacional de emergência do reservatório para o período de seca de 2021, com espelho d'água a 782,5 metros de altitude, correspondente ao volume mínimo de 10%. Com o início do período de chuvas volumosas e continuadas em meados de outubro de 2021, o nível do reservatório de Nova Ponte foi crescente até atingir a cota de 809,6 metros de altitude correspondente ao volume útil 78,85% no final de julho de 2023. Mas, com período de chuvas irregular e demanda crescente de água para geração de energia elétrica em 2024, o reservatório de Nova Ponte está sendo esgotado novamente e com previsão de redução do volume útil para 36% até julho 2024.



O Movimento SOS Represa de Nova Ponte

O Movimento SOS Represa iniciou com a “Manifestação Pública de Interesse Econômico, Social e Ambiental - Represa de Nova Ponte” em defesa da preservação da vida econômica, social e ambiental na Represa de Nova Ponte, rio Araguari e seus afluentes que foi confirmada pela Carta dos Municípios assinada por representantes do Poder Público municipal, estadual e federal, representantes da sociedade civil, empresários, piscicultores, agricultores, trabalhadores e demais cidadãos que desenvolvem atividades econômicas, preservam o ambiente no entorno da represa, trabalham ou vivem nos municípios influenciados, direto ou indiretamente, por esta Represa de Nova Ponte, quais sejam: Nova Ponte, Iraí de Minas, Patrocínio, Pedrinópolis, Santa Juliana, Serra do Salitre, Perdizes, Sacramento e Araxá.

A partir de agosto de 2021, com a participação ativa e positiva do movimento SOS Represa, ações importantes foram efetivadas com a parceria de órgãos comprometidos com a segurança hídrica do reservatório de Nova Ponte como o MPMG, a Comissão de Agroindústria da ALMG, o IGAM e outros envolvidos. Estas ações iniciadas, coordenadas e continuadas até o momento são pedras fundamentais para alcançar os objetivos do Movimento SOS Represa, no curto, médio e longo prazo, conforme apresentado abaixo, para consolidar a área de cabeceira do rio Araguari como território fértil de Produtores de Água, alimentando o reservatório de Nova Ponte com maior quantidade e melhor qualidade de água para todos. E, devido às oscilações constantes e muitas vezes drásticas no nível do reservatório de Nova Ponte, é que buscamos garantir a cota mínima operacional de multiusos para proporcionar o equilíbrio socioambiental da região, com condições de trabalho para todos que dependem do uso da água, consolidando a região de cabeceira do rio Araguari num verdadeiro e farto manancial de água.

Os Objetivos:

Os muito e diversos participantes do movimento SOS Represa trabalham desde julho de 2021, de forma voluntária, constante e incansável, para promover e viabilizar a realização das ações apresentadas nos objetivos da “Manifestação Pública”:

1º Objetivo Urgente: controlar a abertura das comportas de forma a manter o volume útil de emergência, condição extrema para preservar o oxigênio mínimo necessário para sobrevivência dos criatórios de peixes e ictiofauna e estancar os prejuízos que ocorreram na seca de 2021 na região de influência da Represa de Nova Ponte. Objetivo alcançado, com a publicação da Portaria do IGAM Nr. 69, de 14/09/2021, definindo a cota mínima de emergência em 782,5 metros em relação ao nível do mar, equivalente a 10% do volume útil do reservatório, válida da data de sua publicação até 30/11/2021, no final do período de seca.

2º Objetivo Imediato: estabelecer a cota mínima operacional da Represa de Nova Ponte com volume útil mínimo que atenda aos múltiplos usos desta represa, para manter de forma sustentável as atividades econômicas relacionadas à piscicultura e aquelas voltadas à agropecuária e ao turismo, atendendo à população dos municípios banhados pelo lago para preservação do desenvolvimento econômico, social e ambiental local. Encontra-se em andamento, através do Inquérito Civil de Apoio à Atividade Fim, aberto em agosto de 2021 o estudo com base técnica e documental para definição da cota que atenda aos multiusos do reservatório de Nova Ponte. Com a definição desta cota de multiusos do Reservatório de Nova Ponte, seguiremos para a regulamentação desta cota de manutenção da vida sustentável no seu território de influência.

3º Objetivo de Curto Prazo: viabilizar o Programa Produtores de Água nas sub-bacias da cabeceira do Rio Araguari e seus Afluentes, com soluções técnicas e financeiras para identificar as necessidades e desenvolver projetos de adequação ambiental nas propriedades rurais, em parceria com os produtores, para recuperar as nascentes e áreas degradadas, promover o saneamento básico rural, a adequação das estradas rurais, proteger as Unidade de Conservação Ambiental do Cerrado e outras soluções de impacto ambiental, nos diversos municípios que usam e produzem água nas cabeceiras da Bacia do Rio Araguari, visando o aumento da oferta de água com qualidade para o reservatório de Nova Ponte.

4º Objetivo de Médio e Longo Prazo: Implantar e garantir a manutenção de um Programa Revitalização da Bacia do Rio Araguari (PN2), incluindo o Programa Produtores de Água, a adequação e regularização ambiental para Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) nas propriedades rurais, a identificação e regularização do uso e ocupação do solo no entorno do reservatório e demais ações de sustentabilidade territorial e segurança hídrica em toda a área de influência desta Bacia Hidrográfica.

Este resumo aqui apresentado tem como meta divulgar nosso trabalho e atrair apoiadores para alcançar nossos Objetivos. O Movimento SOS Represa de Nova Ponte está em alerta constante, com informações, disposição e providências ao alcance e necessárias, imediatas, de curto e longo prazo, para facilitar e viabilizar todas as ações necessárias, coordenadas e eficazes entre os órgãos competentes responsáveis pela gestão hídrica do reservatório de Nova Ponte.

Agradecimentos

Os Autores agradecem ao Dr. Carlos Alberto Valera, Coordenador Regional das Promotorias de Justiça do Meio Ambiente das Bacias dos Rios Paranaíba e Baixo Rio Grande, pelo apoio recebido através da instauração do Inquérito Civil de Procedimento de Apoio à Atividade Fim (MPMG - PAAF 0701.21.001165-9), em agosto de 2021, “relativo ao acompanhamento das condições necessárias na manutenção das atividades econômico-produtivas de piscicultura e comercialização de pescado, além de atividades turísticas e agropecuárias, bem como na redução de impactos socioambientais, nos municípios da bacia do Rio Araguari e afluentes, por meio de ações capazes de recuperar o nível de água na represa de Nova Ponte, preservando o lago e seu entorno”.

Agradecem também ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari - CBH Araguari, que patrocina a participação e apresentação deste trabalho em apoio ao Movimento SOS Represa de Nova Ponte, promovendo a divulgação e valorização da bacia hidrográfica do rio Araguari para a segurança hídrica no Sistema Interligado Nacional nas regiões Sul e Sudeste.



Referências Bibliográficas:

Dados de Operação dos Reservatórios SIN, com vazões médias diárias: <https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin#>.

Movimento SOS Represa de Nova Ponte, agosto de 2021. MANIFESTAÇÃO PÚBLICA de Interesse Econômico, Social e Ambiental - Represa de Nova Ponte, apresentada ao MPMG-Coordenadoria Regional das Promotorias de Justiça do Meio Ambiente das Bacias dos Rios Paranaíba e Baixo Rio Grande e outras Autoridades e Instituições, 25 p.

CEMIG Notícias, 13 de julho 2021. Alerta para a Possibilidade de Baixos Armazenamentos nos Reservatórios das Usinas de Emborcação e Nova Ponte -<https://www.cemig.com.br/noticia/>.

Portaria IGAM Nr. 69, de 14 de setembro de 2021: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=54341>.

Campos Jr., Geraldo, 23 fevereiro 2024. Níveis das hidrelétricas podem chegar a 36% até julho, alerta ONS: <https://www.poder360.com.br/energia/niveis-das-hidreletricas-podem-chegar-a-36-ate-julho-alerta-ons/>.



ESTIMATIVA DO CUSTO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO PÚBLICO EM CAXIAS DO SUL, RS

1Rossano Belladona, **2**Vinícios Turella Fiorini, **3**Volnei Dal Bosco, **4**Tiago De Vargas, **5**Luiz Alberto Vedana
1 Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) de Caxias do Sul, e-mail: rbelladona101@gmail.com; 2 SAMAE de Caxias do Sul, e-mail: vfiorini@samaecaxias.com.br; 3 SAMAE de Caxias do Sul, e-mail: vdalbosco@samaecaxias.com.br; 4 Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: tiago.devargas@ufrgs.br; 5 Universidade Federal de Sergipe (UFS), e-mail: luizvedana@gmail.com

Palavras-chave: Barragem; Rede adutora; Desapropriação.

Introdução

O sistema de abastecimento público de água é composto por um conjunto de unidades que englobam a captação, o tratamento da água e a sua distribuição. Os custos de capital e operação do tratamento de água são determinados pela escolha da tecnologia de tratamento (Belladona 2023), enquanto os custos de distribuição estão associados à redução da perda de carga nas redes (diâmetro das tubulações) e à pavimentação (Galdi et al. 2022). Os custos relacionados à captação de água superficial estão ligados ao ambiente natural: ao manancial. A distância do recurso hídrico até a estação de tratamento de água (ETA), a capacidade do manancial em atender à demanda urbana, a geomorfologia local e as desapropriações de terra para a instalação dos equipamentos necessários são fatores que precisam ser avaliados para estimar os custos da captação. Este estudo tem como objetivo estimar o custo da captação de água de um novo manancial para o abastecimento público de Caxias do Sul, RS. Para tanto, será analisada a construção de um futuro reservatório gerado a partir do barramento do arroio Mulada. Além disso, será estimado o custo da estação de bombeamento da água bruta (EBAB) e da rede adutora até a ETA denominada Morro Alegre. Adicionalmente, o custo de desapropriações de terra, devido à formação do lago e sua respectiva área de preservação permanente, será estimado.

Caxias do Sul (Figura 1a) situa-se no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, na região do Planalto das Araucárias, nas Unidades Geomorfológicas Planalto dos Campos Gerais e da Serra Geral (IBGE 1986), que não permitem a ocorrência de rios caudalosos no município. Atualmente, o município possui cinco mananciais destinados ao abastecimento público urbano. O arroio Mulada, apesar de atualmente não possuir barramento e suas águas não serem destinadas para o uso público urbano, é considerado reserva hídrica para a cidade e sua bacia hidrográfica é preservada pela Lei Municipal n.º 246/2005 (Caxias do Sul 2005). A bacia do arroio Mulada (Figura 1b) tem uma área de 110,62 km² e o perímetro de 53,68 km, com cotas variando entre 704 e 950 metros. Os usos e ocupação atuais do solo consistem em campo (70,28%), mata (28,07%), agricultura (0,83%), recursos hídricos (0,68%) e edificações (0,14%), evidenciando uma forte característica rural.

Material e Métodos

Estimativa do Custo de Barragem

Para a estimativa do custo das barragens, foram considerados três tipos de arranjo construtivo: barragem de terra, barragem de concreto compactado a rolo (CCR) e concreto convencional (CCV). Os custos estimados para esses tipos construtivo seguem as equações reportadas em Silveira e Cruz (2005): Equação (1) para barragens de terra, Equação (2) para CCR e Equação (3) para CCV.

$$C = 0,4417 \times H_{med}^{1,120} \quad (1)$$

$$C = 0,1040 \times H_{med}^{1,655} \quad (2)$$

$$C = 0,1398 \times H_{med}^{1,703} \quad (3)$$

Onde, C representa o custo (em milhares de dólares americanos, com base na cotação de 1997) por metro de crista e Hmed é a altura média do maciço (em metros). A altura média foi obtida calculando-se a média aritmética das alturas medidas a partir do terreno até a cota de alagamento, acrescida de 10 metros. Esse acréscimo é devido ao pressuposto de que a barragem terá 5 metros abaixo do nível atual do terreno (704 metros) e 5 metros acima da cota do vertedor (nível máximo normal do lago). Os custos foram todos corrigidos para o ano de 2024 pela inflação do dólar americano, onde foram expressos em milhões de dólares americanos [MUSD]. Para o cálculo da Hmed, foi utilizada a ferramenta Profile Tool do Software QGIS, a partir da qual foram obtidos os dados topográficos do perfil transversal do terreno junto ao exutório das bacias. O perfil topográfico do terreno na localização da futura barragem está representado na Figura 1c.

Foram considerados custos para três alturas de barragem (30, 40 e 50 metros), resultando em três lagos com áreas de alagamento e respectivas áreas de preservação permanente (APP) distintas.

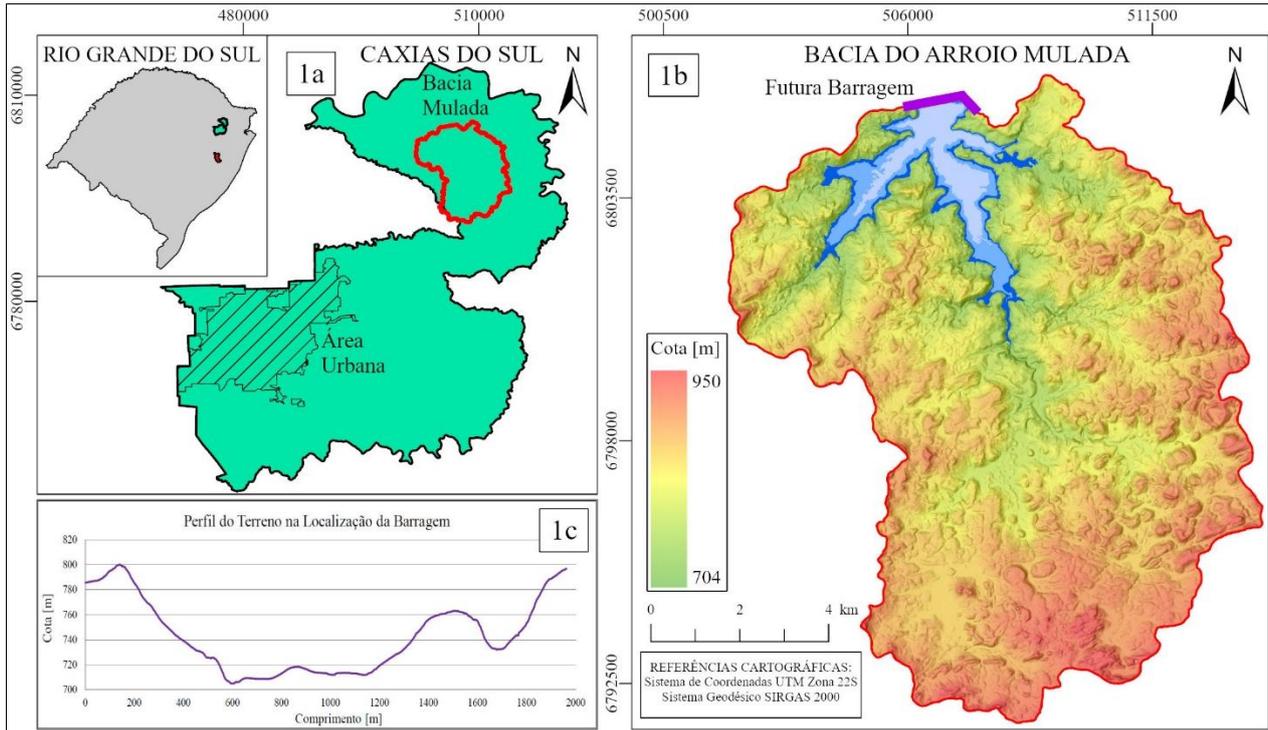


Figura 1: Localização da área de estudo.

Estimativa do Custo de Estação de Bombeamento da Água Bruta (EBAB)

Para estimar o custo da EBAB, foi utilizada como referência a metodologia proposta por (Marzouk e Omar, 2011), com os valores ajustados para o ano de 2024. O método emprega a técnica de agrupamento fuzzy, que identifica os principais componentes do custo por meio de regressão passo a passo. Os dados são calibrados e, em seguida, submetidos a uma análise de sensibilidade.

Estimativa do Custo de Rede Adutora

Nessa estimativa, foi considerada a distância de 31,2 km existente entre a EBAB e a ETA Morro Alegre. O traçado da adutora foi planejado sob vias existentes. Para a estimativa dos custos, foi considerada a adutora com diâmetro nominal de 1.000 mm conforme dimensionamento realizado utilizando a equação de Hazen-Williams. A tubulação escolhida foi a do modelo TK9 de ferro fundido, ao valor por metro linear de R\$ 2.847,52 (EMBASA 2017), sendo esse valor devidamente ajustado para o ano de 2024.

Estimativa do Custo de Desapropriação

A estimativa do custo de desapropriação tem como premissa de que toda área alagada, juntamente com sua respectiva APP, serão as áreas mínimas a serem adquiridas. Em relação a Caxias do Sul, é estipulado que os reservatórios públicos de acumulação devem possuir uma APP de 100 metros (Caxias do Sul 2005). O valor de referência utilizado para desapropriação foi de R\$ 27.500,00 por hectare (Caxias do Sul 2022), ajustado para o ano de 2024, abrangendo as áreas de boa aptidão para o cultivo agrícola.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 resume os resultados dos custos parciais e totais estimados. Os custos da EBAB e da adutora permanecem inalterados com o arranjo construtivo ou a altura da barragem, pois é assumido que, para qualquer caso, a vazão máxima a ser ofertada é de $1,54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Além disso, considera-se que a variação altimétrica entre a futura EBAB e a ETA Morro Alegre não será modificada com o tipo ou altura do barramento. No entanto, o mesmo não se aplica à área a ser desapropriada.

Os lagos formados pelo proposto barramento terão suas cotas máximas nas cotas 724, 734 e 744 metros, dependendo da altura da barragem. Cada uma dessas cotas implica no alagamento de áreas diferentes e respectivo aumento das suas APPs. Os custos de desapropriação aumentam com a elevação do nível do lago, resultando em um acréscimo de 2,63 a 6,00 MUSD na estimativa desta despesa com o empreendimento. Os valores totais para a captação de água neste manancial variam de 49,43 a 107,38 milhões de dólares, dependendo do tipo construtivo e da altura do barramento. A definição do material a ser utilizado para a obra está intrinsecamente ligada ao seu custo, assim como à disponibilidade de matéria-prima nas proximidades do canteiro de obras. Não é incomum a construção de barragens com tipos de material distintos ao longo do seu perfil longitudinal, neste caso, faz-se necessário realizar sondagens geológicas e geotécnicas no eixo do local proposto para o maciço e elaborar o projeto básico da obra, que não está dentro do escopo deste trabalho.



Tipos de barramento	Terra			CCR			CCV			
	Altura barragem [m]	30	40	50	30	40	50	30	40	50
Barragem		15,52	25,21	35,88	14,93	28,14	44,55	22,77	43,50	69,51
EBAB		2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18
Adutora		29,69	29,69	29,69	29,69	29,69	29,69	29,69	29,69	29,69
Desapropriação		2,63	4,43	6,00	2,63	4,43	6,00	2,63	4,43	6,00
Total [MUSD]		50,02	61,51	73,75	49,43	64,44	82,42	57,27	79,8	107,38

Tabela 1: Estimativa dos custos [MUSD] para implantação de captação de água na bacia do arroio Mulada.

Comentários Finais

Este artigo contribui para a avaliação preliminar dos custos envolvidos em uma das etapas do sistema de abastecimento público: a captação da água superficial. Os resultados, embora estimativos, demonstram que os custos diretos da construção da estrutura para a captação são significativos, podendo superar os 100 milhões de dólares. Este estudo indica que os custos podem variar de 249 milhões até 541 milhões de reais para a nova captação no arroio Mulada, em Caxias do Sul. Esses elevados custos para a construção de uma nova fonte de captação alertam para a importância da conservação dos mananciais já explorados, para o adequado controle do uso e ocupação do solo de suas bacias hidrográficas e para uma prática de gestão da demanda pelas empresas responsáveis pelo abastecimento público.

Referências Bibliográficas

Belladonna, Rossano. 2023. "The Opportunity Cost of Watershed Conservation: The Decisions on Urban Water Supply Management." Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil.

Caxias do Sul. 2005. *Lei Complementar Nº 246, de 6 de Dezembro de 2005*. Brazil: Caxias do Sul.

Caxias do Sul. 2022. "Valor de Terra Nua Para Caxias Do Sul, RS." Retrieved May 1, 2023 (<https://caxias.rs.gov.br/servicos/receita/valor-da-terra-nua>).

EMBASA, (Empresa Baiana de Águas e Saneamento). 2017. "Tabela de Preços Para Materiais de Expansão."

Galdi, Gustavo Passos, Vassiliki Terezinha Galvão Boulomytis, André Luís Sotero Salustiano Martim, and José Gilberto Dalfré Filho. 2022. "Análise Comparativa Do Custo de Redes de Abastecimento de Água Em Setores Urbanos Verticais e Horizontais." *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 27(3):561-70. doi: 10.1590/s1413-415220210058.

IBGE, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1986. *Folha SH.22 Porto Alegre: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial Da Terra*. Rio de Janeiro, Brazil.

Marzouk, Mohamed, and Magdy Omar. 2011. "Conceptual Cost Estimation of Pump Stations Projects Using Fuzzy Clustering." in *28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. Seoul, Korea.

Silveira, Geraldo Lopes da, and Jussara Cabral Cruz. 2005. *Seleção Ambiental de Barragens: Análise de Favorabilidades Ambientais Em Escala de Bacia Hidrográfica*. Santa Maria, Brazil: UFSM.



USO DE SISTEMAS BASEADOS EM MICROALGAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES E A SEGURANÇA HÍDRICA URBANA - REVISÃO SISTEMÁTICA

1Enzo Guzzo Duz, 2Graziele Ruas

1 Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia (UNESP), enzo.duz@unesp.br

2 Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia (UNESP); graziele.ruas@unesp.br

Palavras-chave: Segurança Hídrica Urbana; Fotobiorreatores; Tratamento de Esgotos Domésticos.

Resumo

Devido ao aumento da ocorrência de eventos extremos e do crescimento populacional, a segurança hídrica urbana é um tema cada vez mais relevante, visto que cada vez mais os recursos hídricos são explorados a uma taxa superior do que são reabastecidos naturalmente e tornam a água doce de qualidade um recurso cada vez mais escasso. Mesmo no Brasil, com dimensões continentais, que contém cerca de 13% da reserva de água doce do planeta, a distribuição de água à população é desigual e mal planejada, e sofreu impactos devido a períodos de estiagem, evidenciado, por exemplo, pela seca vivenciada pela região sudeste do país nos últimos anos. Desse modo, o reúso de águas residuárias pode ser uma opção para que se complemente a rede de distribuição hídrica já existente. Nesse sentido, foram utilizados como critério para o levantamento bibliográfico, pesquisas em periódicos científicos através das plataformas digitais Scopus, Web of Science e Scielo publicados durante os anos de 2010 a 2023. Os resultados indicam que os países que mais publicam sobre o tema são Itália e Estados Unidos, seguidos pelo Brasil. A posição ocupada pelo Brasil no número de publicações demonstra o interesse na expansão de alternativas tecnológicas no tratamento de águas residuárias e evidencia a necessidade de trabalhos sobre revisão bibliográfica como ferramentas importantes na concepção de novos projetos.

Introdução

A segurança hídrica é um tema cada vez mais recorrente no contexto atual, dado o aumento de eventos climáticos severos ao redor do mundo e o crescimento exponencial da população. A maior parte dos recursos hídricos do planeta consiste em água salgada e somente cerca de 2,5% desse total corresponde à água doce (Gleick, 1996).

O Brasil, apesar de apresentar uma extensa rede hidrográfica, apresentou nos últimos anos episódios de escassez hídrica severa, principalmente na região sudeste do país, onde se localiza a maior parte da população brasileira. Além disso, a falta de saneamento básico em grande parte do território brasileiro agrava o problema de segurança hídrica, uma vez que a chance de contaminação dos recursos hídricos aumenta (McGill et al., 2019). De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2018, somente 53% da população possui coleta de esgoto e pouco mais de 46% possuem tratamento de esgoto. Estes episódios são agravados pela desigualdade da distribuição dos recursos hídricos no território brasileiro, bem como pelo mal planejamento no uso das águas, o que pode ser evidenciado pela ocupação irregular em áreas de nascentes, por exemplo (Leitão et al., 2010; Silva e Samora, 2019).

Na tentativa de diminuir a desigualdade, o Governo Federal lançou, em 2019, o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), com o objetivo de subsidiar investimentos em infraestrutura hídrica (Castro, 2021). Nesse sentido, para aumentar a oferta de água tratada à população, algumas localidades passaram a integrar águas residuárias tratadas (ARTs) ao seu sistema de abastecimento, visando diminuir o impacto das secas em sua rede de abastecimento. (Cunha et al., 2011).

Com a finalidade de tratar águas residuárias, que são produzidas em residências, e em processos industriais, alguns métodos foram desenvolvidos ao longo do tempo, tais quais a utilização de microalgas (De Godos et al., 2010; Sátiro et al., 2022). O uso de microalgas pode oferecer um tratamento eficaz e com menor consumo de energia se comparado aos métodos tradicionais, visto que dispensam a aeração, o que diminui a utilização de energia elétrica, e torna o sistema de tratamento mais ecologicamente e economicamente viável. Com isso, o objetivo deste estudo é mapear o uso de sistemas de microalgas para o tratamento de águas residuárias e avaliar a eficácia destes como ferramentas para o aumento da segurança hídrica urbana através de revisão bibliográfica sistemática.

Materiais e métodos

O desenvolvimento desta pesquisa foi realizado com base no proposto por Bardin (2011) e é dividido em três etapas: i. pré-análise (planejamento); ii. exploração do material (execução); e iii. tratamento ou análise dos resultados. Na primeira etapa foi delineado o objetivo da pesquisa, definição das estratégias de busca (palavras-chaves, bases de dados e etc.) e critérios de inclusão e exclusão. Na segunda etapa foi realizada a busca de artigos científicos presentes nas plataformas digitais: *Scopus* e *Web of Science*. Para tanto, foram utilizadas palavras-chaves combinadas com o operador “E (and)”. As palavras-chave compostas por mais de uma palavra serão colocadas entre aspas, conforme se segue: “microalgae and “wastewater treatment plant”; Microalgae and “domestic effluents”, Microalgae and “domestic sewage”, “Water Security” and Sanitation, “water stress” and sanitation, “Water Security” and “wastewater treatment plants”, “Water security” and effluents, “water security” and



microalgae. Foram selecionados artigos e publicações escritos em língua inglesa. Para facilitar as análises dos resultados, foi atribuído um número para cada combinação em inglês exposta acima, sendo que o número 1 representa a combinação microalgae and “wastewater treatment plant”, o número 2 a combinação microalgae and “domestic effluents” e assim sucessivamente.

Já na última etapa, tratamento e análises dos dados, os bancos de dados obtidos nas pesquisas da etapa anterior foram processados no R, através do R Studio utilizando do pacote *Biblioshiny-Bibliometrix* (Aria e Cuccurullo, 2017). Nesta plataforma, foram inseridos todos os artigos obtidos com a utilização de todas as combinações. Os artigos foram separados por base de dados, permitindo que uma análise por base de dados fosse realizada.

Resultados

Com as combinações das palavras-chave supracitadas, foram encontrados 342 e 302 artigos científicos, nas bases de dados Scopus e Web of Science, respectivamente. As combinações com maior número de artigos obtidos foram: Microalgae and “wastewater treatment plant”, “Water Security” and Sanitation e “Water security” and effluents, o que pode ser devido ao aumento da importância do estudo da segurança hídrica e seus fatores no contexto de mudanças climáticas e aumento da frequência de eventos climáticos extremos (Bates *et al.*, 2008; Formiga-Johnsson & Britto, 2020). Entretanto, as combinações Microalgae and “domestic effluents” e “water security” and microalgae foram as combinações com menor número de artigos encontrados, o que evidencia a ausência de estudos correlacionando os temas. Junto à busca dos artigos nas bases de dados, foram analisados os países de origem dos mesmos. Abaixo, podem ser observados os resultados dessa análise (Tabela 1), realizados para a combinação 1:

Bases de Dados/Países	Espanha	Estados Unidos	Brasil	Portugal	Itália	China
Web of Science	19	13	8	7	10	4
Scopus	32	17	12	12	12	10

Tabela 1: Número de artigos publicados por país e presentes nas bases de dados Web of Science e Scopus.

Foi possível notar que os países com maiores produções científicas sobre o tema são Espanha, Estados Unidos, Itália, Brasil e Portugal, o que evidencia a falta de pesquisas em países em desenvolvimento e a concentração de produção científica em países desenvolvidos. Esta problemática pode ocorrer devido ao fato de que muitos países em desenvolvimento não possuem sistemas de tratamento que atendam toda a população e, desse modo, a pesquisa de modos alternativos de tratamento não possuem grande relevância. Segundo dados da UNICEF, somente 24% da população tem acesso a serviço de saneamento adequado e seguro no continente africano e 49% na América Latina e Caribe, enquanto que na Europa e América do Norte, essa porcentagem chega a 84%. (UNICEF, 2023). Foram analisadas também a conexão de dois ou mais palavras-chave nos artigos, através de um mapa de coocorrência de termos, separados por base de dados. Os mapas se encontram a seguir, e foram obtidos com o pacote *Biblioshiny-Bibliometrix*.

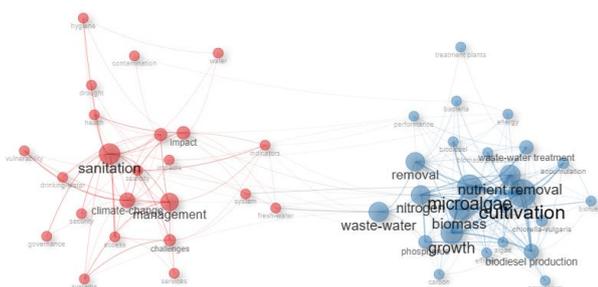


Figura 1: Mapa de co-ocorrência - plataforma Scopus.

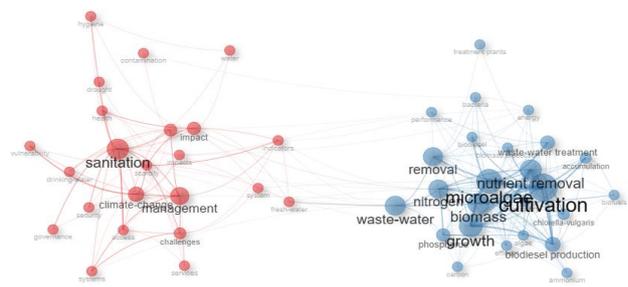


Figura 2: Mapa de co-ocorrência - plataforma Web of Science.

É possível concluir, com as figuras 1 e 2, que a produção científica com a temática de microalgas é mais voltada para o tratamento em si, como remoção de nutrientes e patógenos, porém, a temática é raramente ampliada para os efeitos do tratamento na segurança hídrica das cidades. Os estudos apontam que o sistema composto por microalgas pode oferecer um tratamento ecológico e necessitam de menos consumo de energia elétrica se comparado aos sistemas utilizados atualmente (PASSOS *et al.*; 2017). Além disso, as microalgas utilizam dióxido de carbono para o processo de fotossíntese contribuindo para a diminuição das concentrações desse gás na atmosfera. O tratamento de águas pelo sistema de microalgas também se mostrou eficiente na remoção de nutrientes como fósforo e nitrogênio, nutrientes estes que são de difícil remoção pelos sistemas de tratamento atuais. (DAHMANI *et al.*; 2016) Portanto, com a utilização de sistemas de tratamento como este, o reúso de águas residuárias pode



complementar o abastecimento dos centros urbanos e aumentar, por consequência, sua segurança hídrica. O uso das tecnologias baseadas em microalgas já é bem estabelecido na Nova Zelândia e Espanha e está em processo de expansão no Brasil. Portanto, é relevante que seja diagnosticada e acompanhada a implantação dessas tecnologias para o país e seu impacto para a Segurança hídrica nas cidades.

Conclusões

Com base nas buscas realizadas nas plataformas, é possível concluir que o tema países desenvolvidos estão à frente nas pesquisas sobre tratamento de águas residuárias, com vistas principalmente a garantir a segurança hídrica urbana diante de eventos climáticos extremos e frequentes. Trabalhos de revisão bibliográfica são importantes ferramentas para auxiliar no entendimento e desenvolvimento de novas tecnologias e projetos principalmente em países como o Brasil que são incipientes na busca por fontes alternativas de tratamento de águas residuárias.

Referências Bibliográficas

- ARIA, M. & CUCCURULLO, C. 2017. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis, *Journal of Informetrics*, 11(4), pp 959-975, Elsevier.
- BARDIN, L. 2011. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70.
- BATES, B.C et al. (Coord.). 2008. *Technical Paper. Climate Change and Water*. Geneva: IPCC Secretariat.
- CASTRO, C. N. 2021. *Plano Nacional de Segurança Hídrica, problemas complexos e participação social (Tese de Doutorado)*, Curso de Pós-graduação em Geografia, Universidade de Brasília, 298 p.
- CUNHA, A. H. et al. 2011. O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. *Enciclopédia Biosfera*, v. 7, n. 13.
- DAHMANI, S.; ZERROUKI, D.; RAMANNA, L.; RAWAT, I.; BUX, F.. 2016. Cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* in outdoor open raceway pond using domestic wastewater as medium in arid desert region, *Bioresource Technology*, Volume 219, Pages 749-752, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.019>.
- DE GODOS, I. et al. 2010. A comparative evaluation of microalgae for the degradation of piggery wastewater under photosynthetic oxygenation. *Bioresource technology*, v. 101, n. 14, p. 5150-5158.
- FORMIGA-JOHNSON, R. M., & BRITTO, A. L. 2020. Water security, metropolitan supply and climate change: some considerations concerning the Rio de Janeiro case. *Ambiente & Sociedade*, 23, e02071. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190207r1vu2020L6TD>.
- GLEICK, P. H. 1996. Water resources. *Encyclopedia of climate, weather*, p. 817-823.
- LEITÃO, S. A. M. et al. 2010. Participatory water management strategies: contributions for Canada from Brazil's national water resources policy. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 22, p. 25-35.
- MCGILL, ALTCHENKO, Y., HAMILTON, S.K. et al. 2019. Complex interactions between climate change, sanitation, and groundwater quality: a case study from Ramotswa, Botswana. *Hydrogeol J* 27, 997-1015 <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1901-4>
- PASSOS, F.; GUTIÉRREZ, R.; UGGETTI, E.; GARFÍ, M.; GARCÍA, J.; FERRER, I. 2017. Towards energy neutral microalgae-based wastewater treatment plants, *Algal Research*, Volume 28, Pages 235-243, ISSN 2211-9264, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.11.006>.
- SÁTIRO, J. et al. 2022 Optimization of microalgae-bacteria consortium in the treatment of paper pulp wastewater. *Applied Sciences*, v. 12, n. 12, p. 5799.
- SILVA, J. L.; SAMORA, P. R. 2019. The impacts of the water crisis on the population of Campinas/SP (2012-2016). *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 11.
- UNICEF. 2023. UNICEF Data: Water and sanitation. Sanitation. Disponível em: <https://data.unicef.org/topic/water-and-sanitation/sanitation/>. Acesso em: 19 mar. 2024.

SEGURANÇA HÍDRICA NO COMPLEXO HIDRELÉTRICO DE URUBUPUNGA

1 Helio Ricardo Silva, 2 Luiz Lucena

1 Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista / UNESP, e-mail: hr.silva@unesp.br;

2 OPER Engenharia, lucenabioeng@gmail.com

Palavras-chave: assoreamento, degradação ambiental

Resumo

Segundo a Agência Nacional de Água (ANA, 2012) na Região Hídrica (RH) do Rio Paraná estão instaladas as Usinas Hidrelétricas de Ilha Solteira, Engenheiro Souza Dias (Jupiá) e Três Irmãos, que compõem o Complexo de Urubupungá, sendo este, o sexto maior do mundo em capacidade de geração de energia elétrica com 5.860 MVA e uma área de influência que se estende pelos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás (SILVA et al., 2002), conforme mostra a figura 1.



Figura 1- Localizações dos reservatórios das Usinas Hidroelétricas (UHE) do Complexo de Urubupungá.

As atividades agropecuárias tem colaborado com a degradação ambiental destes reservatórios e com a redução na capacidade de armazenamento de água. Silva e Politano (1995) constataram, através da fotointerpretação que nos anos 1971 e 1972 a principal classe de uso do solo, nas vertentes das sub-bacias hidrográficas, afluentes do rio Paraná, eram as pastagens, utilizadas para a exploração da pecuária extensiva. Os autores verificaram que esta atividade ocupou o meio físico de forma acelerada e desordenada, favorecendo a degradação dos solos com consequentes perdas destes através dos processos erosivos. Segundo os autores estes processos estavam contribuindo para o assoreamento dos reservatórios de Ilha Solteira e Três Irmãos, portanto reduzindo a vida útil das suas usinas hidrelétricas. A partir de 2004, com a instalação de várias usinas processadoras de cana-de açúcar nesta região, os proprietários rurais, iniciaram a substituição da pecuária extensiva por esta nova atividade, que era mais rentável.

A redução das áreas exploradas com pastagens face a expansão da cultura da cana de açúcar, reduziu os processos erosivos lineares em municípios localizados nesta região, em função da melhoria no manejo e conservação do solo pelas usinas de álcool. Apesar do ganho ambiental verificado nestes municípios, face a substituição das pastagens pela cana de açúcar, tem sido observadas perdas ambientais devido ao uso excessivo da água, tendo como consequência a transformação de leito perene em leito seco reduzindo assim a oferta de água no reservatório da UHE de Jupiá.

Este fato está sendo observado na rede de drenagem denominada Córrego da Onça, que tem a foz no reservatório da Usina Hidroelétrica de Jupiá. Algumas hipóteses são levantadas para explicar o secamento deste segmento fluvial tão importante para o enchimento do reservatório da UHE de Jupiá. A primeira hipótese está relacionada a mudança do manejo da área onde está localizado o leito intermitente desta rede de drenagem. Esta área sempre foi mantida preservada, contribuindo assim com a produção de água entretanto após a implantação da cultura da cana de açúcar esta área passou a ser utilizada para a exploração agrícola, sendo também recortada por vários carregadores, impedindo assim a produção de água pela nascente localizada mais a montante nesta rede de drenagem.

As figuras 2 e 3, a seguir mostram as localizações das nascentes e leito intermitente em junho de 2004 e em setembro de 2020.



Figura 2: Área conservada onde está localizado o leito intermitente da rede de drenagem Córrego da Onça, localizado entre os municípios de Ilha Solteira - SP e Itapura - SP em 2004.



Figura 3: Área onde se localiza o leito intermitente da rede de drenagem do Córrego da Onça em 2020 recortada por carregadores e utilizada para uso agrícola e a localização da represa que é utilizada na irrigação por salvamento da cultura de cana-de-açúcar.

A segunda hipótese levantada está relacionada à utilização da técnica denominada “irrigação por salvamento” da cultura da cana de açúcar, que corresponde atualmente a mais de 90% da área irrigada de cana e consiste na aplicação de água em um período relativamente curto ou num determinado estágio da cultura. Esta modalidade de irrigação é realizada com carretel enrolador (hidro roll) ou com pivô rebocável, sendo aplicadas normalmente lâminas de 60 a 80 mm após cada corte anual da cana (PEREIRA et al., 2015), favorecendo sua recuperação, produtividade e longevidade. Dessa forma, o método considera a aplicação de 80 mm de água distribuídos nos três meses imediatamente após o corte da cana (colheita), garantindo a germinação nos períodos secos. Além da utilização do método acima relatado, foi constatado o uso consuntivo da água pelas usinas de álcool, através da utilização de caminhões pipa na “irrigação de salvamento” desta cultura, implantada nos municípios paulistas de Ilha Solteira e Itapura. A água utilizada neste método de irrigação está sendo retirada da represa, localizada na rede de drenagem denominada Córrego da Onça (Figura 3) o que tem reduzido drasticamente o volume de água que chega até o reservatório da UHE de Jupia.

Outros afluentes dos reservatórios das UHE de Jupia, Ilha Solteira, Três Irmãos e Porto Primavera, deixaram, ao longo das décadas, de contribuir para o enchimento destes reservatórios pois tiveram as suas nascentes assoreadas em função da retirada da vegetação ciliar, durante a implantação das atividades agropecuárias.

Além do uso consuntivo da água pela agropecuária na região onde estão localizadas as UHE de Jupia, Ilha Solteira, Três Irmãos e Porto Primavera, ocorre também nesta região o uso consuntivo pela indústria de transformação (celulose, cana-de-açúcar).



Figura 4: Localização do segmento do leito perene transformado em leito seco na rede de drenagem do Córrego da Onça

Assim conclue-se que é de suma urgência que ações sejam tomadas com o envolvimento de forma participativa e consciente das indústria de transformação (celulose, cana-de-açúcar), proprietários rurais, governos municipal, estadual e federal e universidades na busca de soluções que garantam a auto-sustentabilidade das ações para aumentar a oferta de água e assim não comprometendo a segurança hídrica na região de influência das UHE de Jupia, Ilha Solteira, Três Irmãos e Porto Primavera.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil) Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012/Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012. 264 p

SILVA, H.R.; POLITANO, W. Análise do uso e ocupação do solo e processos de erosão na área de influência do conjunto de Urubupungá: estudo dos municípios de Pereira Barreto, Ilha Solteira e Suzanápolis (SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSAO, 5., 1995, Bauru. Anais... Bauru: ABGE-IPT-DIGEO, 1995. p.145-7.

SILVA, H.R. et al. A utilização do geoprocessamento na identificação e monitoramento dos níveis de degradação das pastagens na Região de Influência do Complexo de Urubupungá. In: GISBRASIL 2002 SHOW DE GEOTECNOLOGIAS, 8, 2002, Curitiba. Anais...Curitiba: FatorGis, 2002. 10p. (CD-ROM).



PROPOSIÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS COMO CRITÉRIOS PARA ANÁLISES DE VAZÕES MÍNIMAS RESIDUAIS DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS DE DERIVAÇÃO DE FLUXO

1Wesley Maia Cardoso, 2José Augusto Costa Gonçalves

1,2 Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, MG, e-mail: jaucosta@unifei.edu.br

Palavras-chave: Vazão residual; Derivação de fluxo; TVR

Resumo

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), o Brasil é dotado de significativa disponibilidade hídrica, contudo, ressalta-se uma desigualdade quanto à forma de ocorrência no território, assim como na condição em que ocorre durante o ano.

Os dados do Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2022) apontam uma previsão de aumento de 42% de retirada até 2040, o que demanda uma análise estratégica por parte dos órgãos gestores de recursos hídricos de modo a estabelecer metodologias de controle e uso racional do volume demandado de recursos hídricos frente à disponibilidade hídrica.

O desenvolvimento deste setor possui intensa relação com a vocação geográfica do país, sendo importante destacar que as fontes renováveis representam a maior participação (78,1%) na matriz energética do sistema elétrico brasileiro, sendo a geração hidráulica responsável por 53,4% da oferta interna de energia (EPE, 2022).

Particularmente, consideradas as fontes hidráulicas da matriz energética, as modalidades de classificação de centrais hidrelétricas, quanto à forma de captação (adução da vazão do leito original do curso d'água), são definidas pela influência do arranjo físico sobre os recursos hídricos, podendo ser divididas em: (i) desvio ou em derivação; e (ii) leito do rio (Reis, 2011).

O objetivo do trabalho é propor uma metodologia baseada na disponibilidade energética e percentis de vazões residuais mínimas para avaliar, no contexto do procedimento administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos, critérios de outorga de vazão mínima residual no TVR de centrais hidrelétricas, na modalidade de captação em derivação, que não possuem as condições operacionais aprovadas pela ANEEL ou pelo ONS, de modo a atender os quesitos da Resolução Conjunta SEMAD/IGAM n. 1.768/2012.

Segundo Reis (2011), as centrais hidrelétricas podem ser divididas em modalidades quanto ao uso das vazões naturais, à escala de potência instalada, à extensão da queda (diferença de cota entre montante e jusante), à forma de captação da água e à função no sistema. A geração de energia por fontes hidráulicas consiste na conversão de energia potencial em mecânica e, posteriormente, em energia elétrica. Portanto, a altura da queda (H) e a vazão (Q) da água constituem as principais variáveis de uma central hidrelétrica.

Acerca da influência do arranjo físico sobre os recursos hídricos, dentre as modalidades de classificações de centrais hidrelétricas, especificamente no que concerne à forma de captação, essas podem ser divididas em: (i) desvio e em derivação de fluxo; e (ii) leito do rio, de barramento ou de represamento (Reis, 2011).

De modo a caracterizar a influência do arranjo físico das centrais hidrelétricas de desvio e derivação de fluxo sobre os recursos hídricos, doravante, as mesmas serão designadas como derivação de fluxo, pois em ambos os casos as alterações de vazões no leito natural do curso d'água são idênticas.

Considerada a modalidade de derivação para o conjunto de geração definido por Santos et al. (2003), o regime de vazões no leito natural do curso d'água pode ser definido em duas situações de fluxos distintas: (i) a uma, porque quando a vazão afluente (Q_{AFL}) é maior do que a vazão turbinada (Q_{TURB}), flui pelo TVR a vazão excedente (Q_{VERT}) vertida pela estrutura hidráulica extravasora e a vazão residual mínima (Q_{RES}), representando um cenário sazonal de excedente hídrico; e (ii) a duas, porque quando a vazão afluente (Q_{AFL}) é menor do que a vazão turbinada (Q_{TURB}), tem-se um cenário típico do período de estiagem, onde não ocorrerá vertimento, sendo necessária a definição de uma vazão residual mínima (Q_{RES}) que irá constituir a vazão no trecho de vazão reduzida (Q_{TVR}).

A Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga possui extensão territorial de 6.677,62 km², a qual abrange 3.228,7 km² da delimitação da bacia hidrográfica do rio Caratinga e a área de drenagem incremental de 3.448,92 km² de outros afluentes de menor extensão na margem direita do rio Doce (PIRH-DOCE, 2010).

Os principais formadores do rio Caratinga são o rio Preto e o ribeirão Queiroga e suas nascentes se originam no município de Santa Bárbara do Leste, de onde o rio se estende por 222km até a sua foz na margem direita do rio Doce. Os principais afluentes do rio Caratinga são o ribeirão Traíra, o ribeirão do Bugre, o ribeirão do Boi, o rio Batatas e o ribeirão João Pinto.

A Pequena Central Hidrelétrica - PCH Inhapim é configurada pelo arranjo físico de um empreendimento que possui o regime de operação do reservatório artificial a fio d'água e a forma de captação na modalidade de derivação de fluxo, conforme demonstrado na Figura 1.



Figura 1 - Arranjo físico da PCH Inhapim. Fonte - Autor, 2023.

A obtenção das vazões de referência para a análise de disponibilidade hídrica na referida seção de interesse, ou seja, a área de drenagem até o ponto de interseção da PCH Inhapim, considerou o uso de duas metodologias distintas, sendo: (i) a adoção de uma curva regionalização de vazões a partir das análises estatísticas dos dados hidrométricos dos postos selecionados; e (ii) as vazões informadas em cada seção fluvial (ottotrecho) do Estudo de Regionalização de Vazão da Bacia do Rio Doce (ANA, 2022). Para todos os cálculos os dados foram obtidos através das estações fluviométricas existentes na bacia.

A vazão de referência consiste dos valores mínimos da média aritmética dos dados hidrométricos de sete dias consecutivos, considerado o calendário do ano civil, e tempo de recorrência de 10 anos submetidos à análise estatística, para identificação dos modelos probabilísticos com melhores ajustes aos dados ($Q_{7,10}$).

A vazão de referência ($Q_{7,10}$) dos postos fluviométricos aceitos para a análise hidrológica foi obtida por meio ajuste da função de distribuição de probabilidade de Weibull, sendo realizado o respectivo cálculo a partir do aplicativo computacional Hidro (versão 1.4). Uma vez obtidas as vazões de referência dos postos fluviométricos selecionados, foi obtida a curva de regionalização da $Q_{7,10}$ da bacia do rio Caratinga em função da extensão de sua área de drenagem com o auxílio do programa Excel, sendo adotado o ajuste por equação de regressão do tipo linear.

A determinação da Potência Elétrica, com base na altura da queda (H) e a vazão (Q) da água, enquanto as principais variáveis de uma central hidrelétrica (Reis, 2011), conforme a equação (1):

$$P = \eta_{TOT} \times g \times Q \times H, \quad (1)$$

no qual:

- P : potência elétrica (kW)
- η_{TOT} : produto do rendimento do sistema hidráulico, turbina e gerador
- g : aceleração da gravidade ($9,81\text{m/s}^2$)
- Q : vazão do curso d'água (m^3/s)
- H : queda bruta (m)

Já a disponibilidade energética por mês corresponde ao produto da Potência Elétrica instantânea multiplicada pela quantidade de horas correspondente ao mês de interesse (ANEEL, 2008), conforme a equação (2):

$$E_{\text{méd-mensal}} = (P \times n_{\text{mês-i}})/k, \quad (2)$$

no qual:

- $E_{\text{méd-mensal}}$: energia média mensal (MWh)
- P : potência elétrica (MW)
- $n_{\text{mês-i}}$: número de horas no mês i (h)
- k : número de meses da simulação energética

A vazão ecológica (fluxo residual mínimo) foi estabelecida através do resultado da subtração da parcela da vazão máxima outorgável da unidade da vazão de referência, Quadro 1.

Quadro 1 - Vazão ecológica estabelecida pela vazão máxima outorgável. Fonte - IGAM (2019).

Vazão máxima outorgável	Vazão ecológica
50% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água. Para captações em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 50% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo.	50% da $Q_{7,10}$



Em virtude da possibilidade dos critérios estabelecidos junto à Resolução Conjunta SEMAD/IGAM n. 1.768, de 30 de novembro de 2012, para o estabelecimento de uma vazão residual no TVR distinta da vazão de referência, foram avaliados os seguintes cenários de percentis das vazões mínimas remanescentes no TVR: (i) 100% da vazão de referência ($Q_{7,10}$); (ii) vazão ecológica indiretamente estabelecida pela definição da vazão máxima outorgável (50% da $Q_{7,10}$); e (iii) 30% da vazão de referência (30% da $Q_{7,10}$).

Posteriormente, foi calculada a disponibilidade energética para os 3 cenários estabelecidos de vazões mínimas remanescentes no TVR e identificados os montantes de disponibilidade mensal e anual de energia, bem como realizada a comparação de incremento energético (diferença entre os montantes - $\Delta E_{x - xi}$) proporcionado pelos cenários de 30% e 50% da $Q_{7,10}$ quando comparados ao montante de energia gerado pelo cenário de estabelecimento de uma vazão residual equivalente a 100% da vazão de referência.

De modo a referenciar os termos que definem o incremento de energia nos respectivos cenários de vazões residuais, foi adotada a seguinte terminologia: (i) $\Delta E_{30\% - 100\%}$ - Incremento de energia bruta anual em MWh decorrente da adoção da vazão residual de 30% da $Q_{7,10}$ quando comparado à 100% da $Q_{7,10}$; e (ii) $\Delta E_{50\% - 100\%}$ - Incremento de energia bruta anual em MWh decorrente da adoção da vazão residual de 50% da $Q_{7,10}$ quando comparado à 100% da $Q_{7,10}$.

A partir da somatória decorrente do incremento de energia bruta para a adoção de uma vazão residual equivalente a 30% da $Q_{7,10}$ ($\Delta E_{30\% - 100\%}$) e 50% da $Q_{7,10}$ ($\Delta E_{50\% - 100\%}$), cria-se um cenário de potencialidade de uso deste adicional energético como fonte de desenvolvimento.

Para a elaboração de tais parâmetros, que podem ter alguma correspondência às metas dos ODS (Agenda 2030), foram consideradas e selecionadas as informações técnicas dos relatórios e anuários estatísticos, elaborados pelos órgãos gestores de recursos hídricos (ANA) e do setor energético (ANEEL, EPE e ONS).

Embora a energia bruta gerada pela PCH Inhapim no período seco seja inferior a disponibilidade energética no período completo, quando comparada ao contexto nacional, tal condição é intrínseca à concepção do reservatório de seu arranjo físico na modalidade de um regime de operação a fio d'água, dado a existência de grandes reservatórios de regularização de vazão nos parques geradores do Brasil.

Consideradas as limitações do sítio geográfico, quando não envolvidas restrições ecológicas do licenciamento ambiental, a análise da adoção de uma vazão mínima residual equivalente a 30% da $Q_{7,10}$ no TVR, ou seja, pouco abaixo do limite indiretamente estabelecido pela parcela outorgável (30% da $Q_{7,10}$), demonstrou o potencial de contribuição da PCH Inhapim frente ao parque gerador hidrelétrico estadual, contribuindo para uma maior participação de uma fonte energética limpa e renovável.

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 N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências Bibliográficas

- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2023. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022: Informe Anual. Brasília.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. 2008. "Resolução nº 343", Brasília, DF.
- CBH-DOCE - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE. Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Doce - 2010 (Volume I).
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2022 - Relatório Final (ano base 2021).
- IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2019. Portaria nº 48, de 31 de janeiro de 2019. Minas Gerais.
- Santos, A. H. M; Ribeiro Junior, L.U.; Garcia, M.A.; Severi, M.A. 2003. Vazão remanescente no trecho de vazão reduzida de pequenas centrais hidrelétricas. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, PR.
- Reis, L. B. 2011. Geração de Energia Elétrica. 2ª Edição. Barueri, SP: Manole.



REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONIACAL EM REATOR DE LEITO FIXO COM CERÂMICA SILICOSA PARA PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE ANAERÓBIO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

1Elaine Macedo Stolle, 2Deborah Evelyn Ferreira, 3Ana Claudia Barana

1 Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), e-mail: e.elaine.macedo@gmail.com; 2 Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), e-mail: deborahevelynf@gmail.com; 3 Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), e-mail: acbarana@uepg.br

Palavras-chave: Cerâmica silicosa; Nitrificação; Suporte microbiano.

Resumo

A tecnologia de tratamento em Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF), também chamados de UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), é amplamente utilizada no Paraná para tratar esgoto sanitário. Os mesmos apresentam grande eficiência na remoção da matéria orgânica, mas são ineficientes na remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Assim, avaliou-se o uso de um reator de leito fixo, visando reduzir o teor de nitrogênio amoniacal do efluente do RALF de forma compacta e eficaz. Foi utilizado como suporte para imobilização microbiana: Cerâmica silicosa, um material novo com potencial para uso devido ao fato que apresenta características necessárias para que o processo ocorra, sendo um material poroso, além de possuir alta vida útil e não necessitar de suporte extra para evitar colapso. A pesquisa se desenvolveu em função de diferentes tempos de aeração, a fim de determinar a melhor relação de eficiência com menor tempo de aeração. Com os resultados obtidos, verificou-se em todas as condições experimentais, a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal superior a 84% utilizando o suporte de Cerâmica silicosa.

Introdução

Os impactos ambientais associados à presença de nitrogênio em águas residuárias lançadas nos corpos hídricos incluem a promoção da eutrofização, toxicidade para organismos aquáticos e esgotamento do oxigênio dissolvido nos corpos d'água receptores. Ainda pode provocar diversas doenças em humanos, como câncer no sistema gastrointestinal, devido à formação nitrosaminas e nitrosamidas, e metahemoglobinemia, também chamada de “síndrome do bebê azul” (Alaburda; Nishihara, 1998; Larios Ortiz, 2009). Portanto, a remoção de compostos de nitrogênio das águas residuais é bastante importante não só do ponto de vista ambiental quanto também do de saúde pública.

O nitrogênio, sendo um nutriente, é preferencialmente removido biologicamente através de processos convencionais de nitrificação e desnitrificação. O processo convencional de remoção de nitrogênio atende essencialmente, em primeiro lugar, a oxidação de nitrogênio inorgânico ($N-NH_4^+$) em nitritos ($N-NO_2^-$) por bactérias do gênero *Nitrossomonas* e posteriormente a nitratos ($N-NO_3^-$) por bactérias do gênero *Nitrobacter*, via nitrificação. Vale destacar que nesse processo é imprescindível assegurar uma quantidade suficiente de oxigênio dissolvido para manter um ambiente propício ao crescimento das bactérias nitrificantes, já que as bactérias características são aeróbias (Von Sperling, 2011).

Posteriormente, ocorre a redução do nitrato ($N-NO_3^-$) para nitrogênio gasoso (N_2) via desnitrificação, sendo importante o estabelecimento de regiões anóxicas, haja vista que as bactérias desnitrificantes são aeróbias facultativas. Desse modo, o nitrato é utilizado por microrganismos heterotróficos como aceptor de elétrons. Outro ponto relevante é a necessidade de uma fonte de carbono para a ação das bactérias desnitrificantes (Rittmann; McCarty, 2001).

Uma vez que estes dois processos de nitrificação aeróbica e desnitrificação heterotrófica necessitam de um ambiente completamente diferente para os microrganismos funcionarem eficientemente, a remoção total de nitrogênio é realizada em dois ou mais sistemas separados ou em etapas diferentes dentro de um único sistema (Bhattacharya; Mazumder, 2021).

A viabilidade de se combinar os dois processos vem sendo utilizado em diversos estudos e tem apresentado resultados satisfatórios. A nitrificação e desnitrificação simultâneas (NDS) são definidas como o mecanismo de envolver os dois processos para ocorrerem simultaneamente sob condições operacionais em um único reator (Münch; Lant; Keller, 1996).

Este processo de remoção de nitrogênio tem sido preferido, pois reduz o tempo de tratamento e custo de fabricação e energia necessária para tratamento aeróbio e anóxico/anaeróbio separado e elimina a necessidade de diferentes arranjos de monitoramento para esses sistemas, simplificando assim o sistema de tratamento (Wu *et al.*, 2020).

Desse modo, este estudo teve como objetivo avaliar um reator de leito fixo em escala laboratorial, utilizando cerâmica silicosa como suporte para imobilização microbiana, sob regime de diferentes tempos de aeração, na remoção de nitrogênio amoniacal do efluente de um reator RALF.

Materiais e Métodos

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Estudos em Meio Ambiente (LEMA) do Centro de Tecnologia Agroalimentar (CTA) do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG/Ponta Grossa-Pr).



O reator era de acrílico em escala laboratorial com formato cilíndrico e volume total de 700 mL. Foi utilizado a Cerâmica silicosa como suporte microbiano (Figura 1). O reator foi preenchido com os suportes (50% de preenchimento), resultando em um volume útil de 350 mL. Foi adicionado lodo de sementeira para inoculação do sistema. Os reatores foram operados com fluxo ascendente contínuo. A alimentação dos mesmos foi feita com o uso de bomba peristáltica (Marca Ismatec, modelo Ecoline ISM1089C). A aeração do sistema foi feita por meio de aerador de aquário com pedra porosa conectada na extremidade da mangueira de saída do ar.



Figura 1: Foto do suporte utilizado no processo de remoção de nitrogênio: Cerâmica silicosa

A operação dos reatores foi dividida em três condições, conforme Tabela 1. Foram realizadas análises semanais, incluindo nitrogênio amoniacal ($N-NH_4^+$), nitrito ($N-NO_2^-$), nitrato ($N-NO_3^-$), pH, demanda química de oxigênio (DQO) e Alcalinidade, de acordo com APHA (1998). O afluente utilizado, tinha origem da Estação de Tratamento de Efluentes - ETE Iapó, localizada no município de Castro - Paraná, sendo utilizado o efluente do Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF).

Condição	Aeração (ON/OFF) (h)	Temperatura	Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) (h)
I	24/0	Ambiente	24
II	1/2	Ambiente	24
III	2/1	Ambiente	24

Tabela 1: Condições operacionais do sistema com seus respectivos TDH e aeração intermitente

Resultados

A Tabela 2, apresenta a caracterização do afluente usado na alimentação do reator e dos efluentes obtidos nas três condições estudadas. Em todas as condições geraram efluentes com concentrações abaixo dos limites máximos aceitos pelas legislações vigentes, que estipula para o lançamento de efluentes em ambientes aquáticos o limite máximo de 20 mg L^{-1} de nitrogênio na forma de amônia (Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 (artigo 34), complementada e alterada pela Resolução 430/2011 para aplicação em efluentes sanitários). Considerando o consumo de energia necessário para o processo de aeração, a condição II apresentou a melhor relação entre eficiência de remoção de $N-NH_4^+$ (84,54%) e menor tempo de aeração (1 hora ON/2 horas OFF).

Condição	Temperatura (°C)	$N-NH_4^+$ (mg.L^{-1})		$N-NO_2^-$ (mg.L^{-1})		$N-NO_3^-$ (mg.L^{-1})		Eficiência de remoção $N-NH_4^+$ (%)
		Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef	
I	26,7	15,95±6,48	1,16±1,94	0,46±0,56	0,00	4,12±5,46	15,81±8,65	92,70
II	26,5	46,37±4,50	7,17±3,82	0,64±0,37	0,09±0,16	3,58±2,35	40,71±11,77	84,54
III	27,0	40,28±2,91	5,19±1,67	0,89±0,25	*nd	3,45±1,36	28,82±9,94	87,12

Tabela 2: Média e desvio padrão de $N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$ no esgoto sanitário afluente (af) e efluente (ef) e percentual de remoção de $N-NH_4^+$. *nd = Não detectado

Como demonstrado na Tabela 2, verifica-se nos efluentes o acúmulo de $N-NO_3^-$, ocorrendo a conversão pela rota convencional de amônia para nitrito, seguido de oxidação para nitrato, ou seja, ocorrendo apenas a etapa de nitrificação (Barana *et al.*, 2013). Destaca-se somente a utilização do efluente do RALF como afluente, o qual possui como característica a baixa carga de DQO, pois os processos anaeróbicos normalmente removem uma fração significativa da matéria orgânica, removendo parte do carbono orgânico e não deixando uma quantidade suficiente de DQO para uso na desnitrificação (Keller *et al.*, 1997).

Já na Tabela 3, nota-se que o afluente apresentou pH entre 7,48-7,90, que são as condições ambientais ideais que favorecem o crescimento e a atividade das bactérias nitrificantes e desnitrificantes (Aslan; Dahab, 2008; Di Capua; Esposito, 2022). Além disso, ocorreu o consumo de alcalinidade, visto que alcalinidade obtida no efluente foi menor que a do afluente. Sabe-se que bactérias oxidadoras de Amônio (BOA) e as bactérias oxidadoras de nitrito (BON) normalmente utilizam apenas de fontes inorgânicas de carbono, consumindo quase $7,14 \text{ mg CaCO}_3$ para cada $\text{mg } N-NH_4^+$ oxidado a $N-NO_3^-$, já no processo de desnitrificação ocorre a devolução de alcalinidade ao sistema, de $3,57 \text{ mg de CaCO}_3$ por $\text{mg de } N-NO_3^-$ reduzido, o que torna a alcalinidade e o pH parâmetros para evidenciar a ocorrência apenas da nitrificação no presente trabalho (EPA, 1993; Rittmann; McCarty, 2001).



Condição	pH		Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)		DQO (mg.L ⁻¹)
	Af	Ef	Af	Ef	Af
I	7,48±0,6	6,19±0,56	80,23±40,67	7,02±5,41	44
II	7,83±0,56	4,30±1,24	252,96±25,67	3,08±5,82	23,4
III	7,90±0,34	5,12±1,31	202,65±71,58	5,28±8,28	48

Tabela 3: Média e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos analisados no esgoto sanitário afluente (af) e efluente (ef)

Conclusões

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que o reator de leito fixo com cerâmica silicosa pode ser usado como uma alternativa ao tratamento de esgoto sanitário, possibilitando a remoção de nitrogênio de amoniacal. Salientam-se ainda a necessidade de outros estudos visando à remoção de todos os compostos nitrogenados. Os teores de nitrogênio amoniacal obtidos no efluente de todas as condições variaram entre 1,16 e 7,17 mg.L⁻¹, com eficiência de remoção superior a 84%.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

- Alaburda, J.; Nischihara, L.; 1998. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**. v. 32, pp. 160-165.
- APHA. American Public Health Association, AWWA, WEF; 1998. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 th. Ed., Washington.
- Aslan, S.; Dahab, M.; 2008. Nitritation and denitritation of ammonium-rich wastewater using fluidized-bed biofilm reactors. **Journal of hazardous materials**, v. 156, n. 1-3, pp. 56-63.
- Barana, A. C.; Lopes, D. D.; Martins, T. H.; Pozzi, E.; Damianovic, M. H. R. Z.; Del Nery, V.; Foresti, E.; 2013. Nitrogen and organic matter removal in an intermittently aerated fixed-bed reactor for post-treatment of anaerobic effluent from a slaughterhouse wastewater treatment plant. **Journal of Environmental Chemical Engineering**.
- Bhattacharya, R.; Mazumder, D.; 2021. Simultaneous nitrification and denitrification in moving bed bioreactor and other biological systems. **Bioprocess and biosystems engineering**, v. 44, n. 4, pp. 635-652.
- Di Capua, F.; Iannacone, F.; Sabba, F.; Esposito, G.; 2022 Simultaneous nitrification-denitrification in biofilm systems for wastewater treatment: Key factors, potential routes, and engineered applications. **Bioresource Technology**, pp. 127702.
- EPA. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati.; 1993. Manual Nitrogen Control. **Technology Transfer**.
- Keller, J.; Subramaniam, K.; Gösswein, J.; Greenfield, P. F.; 1997. Nutrient removal from industrial wastewater using single tank sequencing batch reactors. **Water Science and Technology**, v. 35, n. 6, pp. 137-144.
- Larios Ortiz, L.; 2009. Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. **Revista Archivo Médico de Camagüey**, v. 13, n. 2, pp. 0-0.
- Münch, E V.; Lant, P.; Keller, J.; 1996. Simultaneous nitrification and denitrification in bench-scale sequencing batch reactors. **Water Research**, v. 30, n. 2, pp. 277-284.
- Rittmann, B. E.; Mccarty, P. L.; 2001. Environmental biotechnology: principles and applications.
- Von Sperling, M.; 2011. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. In: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG/DESA.
- Wu, P.; Zhang, X.; Wang, C.; Liu, W.; Faustin, F.; 2020. Feasibility of applying intermittent aeration and baffles for achieving granular nitritation in a continuous short-cut denitrifying phosphorus removal system. **Science of The Total Environment**, v. 715, pp. 137023.



POTENCIAL DO TANINO COMO COAGULANTE ORGÂNICO NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE GALVANOPLASTIA

1Luísa Vicentini Secaf, 2Edilaine Regina Pereira, 3Rennan Soares Ferreira, 4Thiago Andrade Marques
1 UTFPR, e-mail: luisasecaf@alunos.utfpr.edu.br; 2 UTFPR, e-mail: edilainepereira@utfpr.edu.br; 3 UTFPR, e-mail: rennanf@utfpr.alunos.edu.br; 4 UTFPR, e-mail: thiagomarques@utfpr.edu.br

Palavras-chave: galvanoplastia; efluente; tanino

Introdução

A galvanização é o procedimento de aplicação de camadas metálicas em peças, mediante imersão em soluções aquosas contendo metais como cromo, níquel, cobre, zinco, entre outros, por meio de técnicas químicas ou eletroquímicas. Posteriormente, as peças passam por uma etapa de limpeza para remover quaisquer resíduos (VALENZUELA, 1999; VAZ, 2009).

A indústria de galvanização é caracterizada pela geração de efluentes líquidos contendo metais tóxicos e emissões gasosas, além dos resíduos sólidos gerados no preparo dos materiais a serem galvanizados.

As práticas de galvanização, especialmente quando conduzidas por pequenas empresas, contribuem significativamente para a poluição dos cursos d'água por metais pesados. Algumas dessas empresas descarregam seus efluentes em corpos d'água e receptores sem realizar o tratamento necessário (RIANI, 2008).

Essas soluções, após o seu ciclo de uso, devem ser tratadas e descartadas corretamente, pois caso assim não ocorra, causará sérios danos ao meio ambiente, principalmente ao corpo hídrico onde serão despejadas. Além dessas indústrias gerarem grande quantidade de efluentes, elas também são responsáveis por uma grande geração de resíduos perigosos e por desperdiçar de água e energia.

As soluções utilizadas nos banhos do processo de galvanoplastia contêm altas concentrações de metais, os quais contaminam as águas de enxágue, resultando em grandes quantidades de efluentes líquidos que requerem tratamento. Desengordurantes, decapantes, ativadores, banhos de galvanização e águas residuais de enxágue são os principais contribuintes para a geração desses efluentes líquidos (TOCCHETTO, 2004).

As empresas que atuam na área da galvanização são reconhecidas por seu significativo impacto devido à toxicidade das substâncias utilizadas e dos resíduos gerados. Estas empresas com atividades que causam alto impacto ambiental estão sujeitas a uma supervisão mais rigorosa por parte das autoridades ambientais, acionistas ou até mesmo das comunidades locais (TOCCHETTO, 2004).

Devido às fiscalizações, os parâmetros do efluente devem estar conforme os limites máximos exigidos pela legislação. Uma alternativa sustentável para o tratamento do mesmo é o uso do Tanino, um coagulante orgânico, que é extraído da casca de alguns vegetais como a Acácia mearnsi de Wild (acácia negra) que possui altas concentrações de tanino e é facilmente encontrada no Brasil.

A presença desses grupos fenólicos indica uma forte natureza aniônica, sugerindo que o Tanino é um excelente doador de prótons. É amplamente reconhecido que os grupos fenólicos podem ser facilmente desprotonados e exibem uma notável estabilidade devido às suas estruturas de ressonância. Portanto, quanto mais abundantes são os grupos fenólicos na estrutura do Tanino, mais eficaz é sua capacidade de coagulação (YIN, 2010).

Por ser de origem vegetal, a utilização de um coagulante à base de tanino permite um tratamento que resulta em lodo biodegradável, eliminando a necessidade de ajustes posteriores de pH (Beltrán-Heredia et al., 2010).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi analisar o comportamento do coagulante orgânico tanino em um efluente industrial proveniente do processo de galvanoplastia.

Metodologia

O Efluente foi coletado em uma indústria de galvanoplastia localizada no Norte do Paraná por meio de galões de 50 litros e levados ao laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Londrina. No laboratório, inicialmente foi medida a turbidez e o pH do efluente bruto. Em seguida, foi preparado o coagulante Tanino com 1mL de solução para 1L de água destilada.

Variou-se o pH do efluente ácido para neutro e básico usando uma solução de hidróxido de Sódio (NaOH) 6 mol L⁻¹.

Foi realizado um pré-ensaio com o efluente para definir os valores mais coerentes a serem adicionados do coagulante Tanino após isso, definiu-se a concentração de tanino a ser aplicado no efluente sendo 8ml para o pH básico, 10 ml para o neutro e 5,71 ml para o alcalino.

O ensaio Jar Test simula os processos de coagulação, floculação e sedimentação onde são usados jarros graduados contendo 2L da solução em estudo. Para a coagulação foi utilizado uma rotação de 150 RPM por 3 minutos. Passado esse tempo, a rotação foi reduzida para 15 RPM, durante 10 minutos e, por fim, as rotações foram desligadas para que ocorresse a sedimentação.

A primeira amostra foi coletada após 3 minutos (T1) do desligamento do equipamento e mediu-se os parâmetros de turbidez e pH, tendo sido o processo de coleta repetido de 10 em 10 minutos até perfazer 40 minutos (T4). As análises dos resultados obtidos para turbidez foram baseados nos estudos de porcentagem de eficiência de remoção do parâmetro representado pela seguinte Equação (1):



$$\left(\frac{VB-VL}{VB}\right) * 100 \quad (1)$$

Onde: VB é o valor da turbidez do efluente bruto e VL é o valor da turbidez do efluente após o ensaio Jar Test.

A leitura do pH foi feita em todas as amostras para acompanhamento comportamental. Todas as amostras foram coletadas em duplicata para melhor abordagem dos resultados.

Resultados

Inicialmente, os parâmetros do efluente bruto ácido foram de 698 NTU para a Turbidez e de 5,17 para o pH, quando neutralizado, os parâmetros foram de 1890 NTU e 6,70 para o pH e quando básico, os parâmetros caracterizados foram de 1540 NTU e 9,15 para o pH.

Na Figura 1 verifica-se o comportamento do pH durante o ensaio Jar Test nos tempos T1 a T4, após o início da sedimentação.

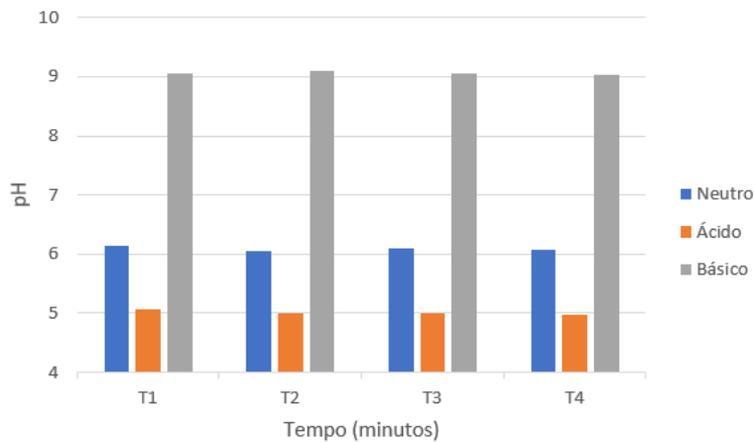


Figura 1: Comportamento do pH durante o ensaio.

Ao analisar a Figura 1 nota-se que o Tanino não influenciou na resposta do parâmetro pH, por isso, ele se manteve estável em todas as etapas do experimento. De acordo com a Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) os efluentes lançados em curso d'água devem apresentar valores de pH entre 5 a 9 e o valor mínimo encontrado foi de 4,99 e o máximo de 9,09. Porém o efluente neutro teve o seu mínimo em 6,04 e seu máximo em 6,15, ou seja, dentro dos padrões de lançamento em corpos hídricos.

Em relação a turbidez, tem-se a Figura 2 na qual exemplifica a atuação desse parâmetro durante o tratamento.

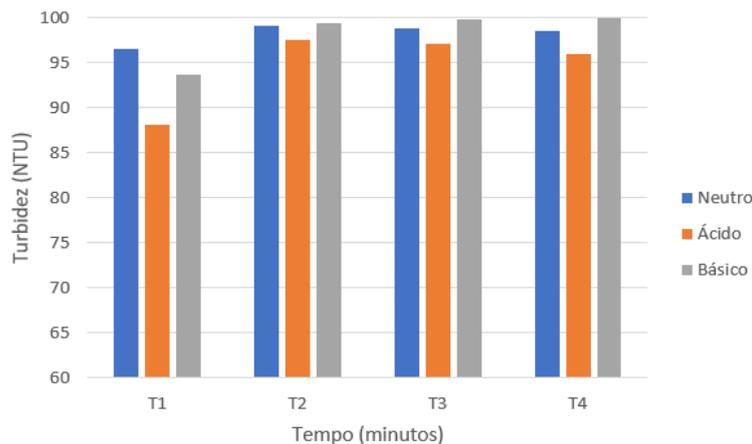


Figura 2: Porcentagem de remoção da Turbidez.

Observando a Figura 2, identifica-se que a porcentagem de remoção do parâmetro Turbidez é influenciado pela variável tempo, pois os melhores resultados são observados no T4. Inicialmente a porcentagem de remoção foi de 88,19% para o efluente ácido, seguido do efluente básico com 93,68% e finalmente o efluente neutro com 96,57% de remoção da turbidez. Nos tempos T3 e T4, houve uma estabilização com uma média de 98,70% de remoção. Já no tempo T4, após passados 33 minutos do início do ensaio, no efluente com pH básico, o coagulante Tanino conseguiu remover 99,92% da turbidez e nos demais pH se manteve em uma média de 98% concluindo dessa forma que o tanino se demonstrou de forma eficiente.



Conclusão

A partir dos resultados encontrados, o ensaio de coagulação, floculação e sedimentação feito no Jar Test para testar a eficiência do coagulante orgânico Tanino na porcentagem de remoção do parâmetro turbidez de um efluente industrial teve resultados positivos pois, além de ser um coagulante orgânico que possui tanto benefícios para a saúde pública quanto de preservação ambiental pode também ser utilizado para remover a turbidez de efluentes de galvanoplastia.

Os melhores resultados foram obtidos em meio básico porém, o coagulante alcançou valores elevados de remoção em todos os meios de efluente que performou, sendo uma opção promissora para ser implementada no setor industrial de galvanoplastia.

Agradecimentos

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) por fornecer a estrutura e equipamentos necessários para realizar esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GÓMEZ-MUÑOZ, M. C. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimization studies. *Chemical Engineering Journal*, v. 162, p. 1019-1025, 2010.

BRASIL, CONSELHO Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. Disponível em: . Acesso: 16 ago. 2015.

RIANI, J. C. Utilização de resinas de troca-iônica em efluentes de galvanoplastia. Tese de doutorado, escola Politécnica, USP - São Paulo, 2008.

TOCCHETTO, M. R., L. Implantação de Gestão Ambiental em grandes empresas com atividade galvânica no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004, p. 2.

TOCCHETTO, M. R., L. Implantação de Gestão Ambiental em grandes empresas com atividade galvânica no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004, p. 15 -35.

VALENZUELA, J. Tratamento de efluentes em indústrias galvanotécnicas. Páginas & Letras Editora e Gráfica, São Paulo, 1999.

VAZ, L. G. L. Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente gerados na galvanoplastia. Dissertação de mestrado, Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Química, UNIOESTE, Toledo - PR, 2009.

YIN, C-Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and water treatment. *ProcessBiochemistry*, 45,1437-1444, 2010.



ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS ORIUNDO DE REATORES UASB NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

1Heron Vasconcellos Dilélio, 2Maria Cristina de Almeida Silva

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: herondilelio@gmail.com; 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: maria.almeida@ufrgs.br

Palavras-chave: Tratamento de esgoto; Biogás; Metano.

Resumo

A digestão anaeróbia, que tem sido aplicada mundialmente para o tratamento de resíduos orgânicos e de esgotos, encontra um campo muito favorável de aplicação em território brasileiro. Essa modalidade de tratamento, além da facilidade operacional, possibilita a oferta de uma fonte de energia alternativa, através da utilização do subproduto gasoso derivado do metabolismo anaeróbio – o biogás –, o qual contém elevado teor metano (CH_4), um hidrocarboneto com alto poder energético. O Rio Grande do Sul, todavia, mostra-se incipiente nos serviços de coleta e tratamento de esgoto, com apenas 33,5% da sua população atendida por tal. Nesse contexto, objetivando compatibilizar a universalização de acesso ao tratamento com a autossustentação econômica e ambiental das ETEs - preceitos esses expostos na Política Federal de Saneamento Básico (2007) -, o presente trabalho buscou estimar o potencial de aproveitamento energético de biogás oriundo de reatores UASB no Estado. Para se atingir tal fim, informações operacionais das ETEs gaúchas foram logradas mediante acordo de uso firmado com a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM), o que permitiu levantar dados de espacialização de ETEs com reator UASB no Rio Grande do Sul, de tecnologias de polimentos e de registros de automonitoramento dos sistemas de tratamentos. Por meio da análise e da manipulação de tais dados verificou-se que a tecnologia anaeróbia está amplamente difundida em território gaúcho, estando presente em 76,5% das ETEs, com aproximadamente 1/3 desses empreendimentos possuindo reatores UASB nos seus sistemas de tratamento, os quais estão normalmente acoplados a tecnologias de polimento - especialmente filtro biológico percolador (56,6%). No tocante à modelagem, empregou-se metodologia baseada em Lobato, Chernicharo e Souza (2012), com alteração pontual para permitir a inclusão da variação das perdas de metano na fase líquida em decorrência da temperatura. Aproveitando-se dos dados de automonitoramento das ETEs do Estado e considerando diferentes rotas de conversão do metano, geraram-se três cenários distintos (pessimista, típico e otimista) relativos à estimativa da geração de biogás a partir dos reatores UASB. Os resultados de potencial energético advindo do biogás foram agregados em 20 municípios, e demonstraram que o Rio Grande do Sul aparenta ter baixo potencial na temática, especialmente em função de dois fatores: o grande número de ETEs de porte Mínimo (51,5%), Médio (27,27%) e Pequeno porte (15,15%) em seu território, o que tende a concluir pela inviabilidade de sustentação financeira, especialmente se considerarmos alternativas como geração ou cogeração de energia elétrica; e também pelas características de baixa concentração de DQO do esgoto afluente, o que acarreta baixo nível de substrato disponível e em elevadas perdas médias na fase líquida. A comparação com estudos, de outros Estados brasileiros, foi relevante para essa conclusão. Estudos futuros individualizados para cada empreendimento são necessários, especialmente para aqueles municípios que demonstraram a possibilidade de geração de um biogás com maior teor de metano, de forma que englobem a perspectiva de usos menos nobres do biogás, possibilitando um aporte extra de receita às ETEs do Estado.

Introdução

Em 2020, aproximadamente 55% da população brasileira detinha a coleta e o tratamento de esgoto sanitário. A partir da avaliação dos dados de 2010, em que somente 46,2% gozavam de tal serviço, nota-se uma evolução gradual em busca da universalização, tal qual prevê a Política Federal de Saneamento Básico (2007) e o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (2020). No Rio Grande do Sul, todavia, observa-se uma maior incipiência nessa temática: apenas 33,5% da população é atendida pelo serviço; com isso, tem-se meramente 25,7% do esgoto gerado sendo submetido a tratamento, em contraste aos 50,8% da média nacional (SNIS, 2010; SNIS, 2020).

No tocante à universalização desse serviço, as metas do Plano Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2019) objetivam ampliar, até 2033, o índice de esgoto tratado no Brasil para níveis acima de 90%. Nesse processo de expansão, além de ter como foco o cumprimento dos padrões de lançamento, é preciso evoluir de forma sustentável do ponto de vista ambiental e econômico (POPOVIC, KRASLAWSKI e AVRAMENKO, 2013; MOLINOS-SENANTE et al., 2014). Portanto, os processos de tratamento de esgoto devem se embasar no correto gerenciamento dos seus subprodutos. Nesse contexto, os sistemas anaeróbios tornam-se potencialmente atrativos (PROBIOGÁS, 2017; BERNAL et al., 2017; ROSA et al., 2016).

O tratamento anaeróbio apresenta certas vantagens quando comparado com sistemas aeróbios: o primeiro denota a conversão de grande parte do material orgânico biodegradável em metano (50 a 70%), com pequena parcela sendo convertida em biomassa (5 a 15%), de maneira oposta ao metabolismo aeróbio (NOYOLA, MORAN-SAGASTUME e LÓPEZ-HERNÁNDEZ, 2006; MAINARDIS, BUTTAZZONI, e GOI, 2020). A possibilidade de geração de metano (CH_4), dessa forma, é determinante nessa equação, tendo em vista que esse gás detém um poder calorífico inferior de $35,9 \text{ MJ.Nm}^{-3}$, ditando a capacidade energética do biogás (PROBIOGÁS, 2017).



A sua produção é fruto de um metabolismo bacteriano anaeróbico delicadamente balanceado, que depende de um consórcio de microrganismos em quatro etapas sequenciais. A metanogênese corresponde à fase final, responsável pela remoção do carbono orgânico contido na fase líquida em metano e dióxido de carbono. É importante também evidenciar a sulfetogênese, a partir da qual bactérias sulforredutoras utilizam compostos à base de enxofre (sulfato, principalmente) como aceptores de elétrons, os reduzindo a sulfeto de hidrogênio (H₂S). Ocorrendo essa rota alternativa, verifica-se menor produção de metano (CHERNICHARO, 2019).

Dentre as tecnologias que realizam a digestão anaeróbia, destacam-se os reatores anaeróbios de fluxo ascendente de manto de lodo (em inglês *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - UASB), já que, além de terem características operacionais favoráveis, permitem a coleta do biogás com elevado teor de metano para posterior aproveitamento (MAINARDIS, BUTTAZZONI e GOI, 2020). Em adição, tendo em vista que a temperatura apresenta-se como um dos seus requisitos mais relevantes, os reatores UASB foram amplamente aceitos e difundidos na realidade brasileira (PROBIOGÁS, 2017).

Não obstante, em território nacional, o biogás gerado em tais unidades é normalmente queimado, para não ser lançado na atmosfera, representando um enorme desperdício do seu potencial energético (PROBIOGÁS, 2017). Lopes (2018), inclusive, menciona a existência de apenas quatro estações de tratamento de esgotos geradoras de energia elétrica a partir do biogás oriundo de reatores UASB, nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná. No Rio Grande do Sul, não há exemplares em operação. Os estudos primários que abordam o tema biogás estão focados essencialmente em atividades agrossilvipastoris, aterros sanitários e lodos de ETEs, sem abordar a questão dos reatores UASB.

Conseqüentemente, focado nesse assunto, tem-se neste trabalho dois objetivos: primeiramente, compreender a situação das tecnologias anaeróbias de tratamento de esgotos sanitários no Rio Grande do Sul. Após, com base em dados secundários de automonitoramento, estimar o potencial de aproveitamento energético do biogás gerado em ETEs com reatores UASB. Para se atingir este último, valeu-se do modelo desenvolvido por Lobato, Chernicharo e Souza (2012) – com alterações pontuais visando permitir a variação da temperatura – de forma a se estimarem diferentes cenários de produção de metano, com a incorporação das perdas envolvidas no processo. Desse modo, conduz-se a um resultado mais verossímil e exato da sua possibilidade de aproveitamento energético.

Material e Métodos

Os dados das ETEs empregados para o presente trabalho foram logrados mediante acordo de uso firmado com a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM). Assim, dispõe-se de dados referentes ao automonitoramento, à tecnologia de tratamento e à espacialização de todas as ETEs do Rio Grande do Sul. O período englobado pelo automonitoramento varia conforme a ETE, sendo os dados mais recentes relativos a dezembro de 2021.

Apenas os seguintes dados de automonitoramento foram utilizados: vazão afluente e DQO afluente. Os dados dos efluentes (a saída das ETEs) não foram aproveitados, visto que a maior parte das ETEs dispõe de tratamentos complementares ao UASB, fazendo com que valores de DQO efluente não digam respeito ao balanço de carga orgânica do UASB. Ademais, a concentração de sulfato não é uma medida comumente exigida pelo órgão ambiental e, portanto, não se dispõe de tal. Quanto à periodicidade dos dados, essa foi, para maioria dos casos, semanal para DQO e diária para vazão, estando à mercê das condições impostas pelo licenciamento do empreendimento. Ademais, por motivos de sigilo do órgão ambiental do Estado, os nomes das ETEs envolvidas não puderam ser divulgados. Assim, essas foram agrupadas por municípios.

Os dados não contemplados pelo monitoramento foram estimados por meio de três cenários distintos (Tabela 1), conforme Lobato (2011) e Lopes et al (2020), abrangendo os seguintes parâmetros: **E_{DQO}** (eficiência de remoção de DQO - %); **Y** (Coeficiente de produção de lodo – kgDQO_{lodo}/kgDQO_{removida}); **C_{SO4}** (Concentração de sulfato afluente - mg.L⁻¹); **E_{SO4}** (Eficiência de remoção de SO₄ - %); **P_w** (perdas de CH₄ na fase gasosa como gás residual - %); **P_o** (outras perdas - %); **F_s** (fator de supersaturação de CH₄ na fase líquida); e **T** (temperatura operacional do reator - °C).

Tabela 2: Parâmetros de entrada para diferentes cenários.

Cenário	E _{DQO}	Y	C _{SO4}	E _{SO4}	P _w	P _o	F _s	T
Pessimista	60	0,213	20	80	7,5	7,5	1,7	Variável conforme
Típico	65	0,213	15	75	5,0	5,0	1,35	o município
Otimista	70	0,213	10	70	2,5	2,5	1	

De modo a introduzir a possibilidade da variação de temperatura de acordo com a localização espacial de cada município, lançou-se mão de 30 estações meteorológicas de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendidas no Rio Grande do Sul. A partir delas, procedeu-se a obtenção das temperaturas médias anuais referentes à normal climatológica de 1961 a 1990 – que dispunha mais dados do que a mais recente (1991-2020). Os resultados foram incorporados a um arquivo vetorial, o que permitiu a interpolação de seus valores em todo o Estado, resultando em um mapa matricial. Assim, de acordo com a localização do reator UASB, pode-se presumir um valor de temperatura média anual.



Modelagem para a estimativa da produção de metano

Teve-se como base a modelagem proposta por Lobato (2011) e Lobato, Chernicharo e Souza (2012), cujo método fora validado em diferentes escalas (piloto, demonstração e real), e que se encontra condensado no software ProBio 1.0. Todavia, optou-se pela realização dos cálculos em planilha digital, em função da necessidade de ajustes pontuais: em primeiro lugar, o software não admite concentrações de DQO inferiores a 180 mg.L⁻¹. Perde-se, assim, poder de análise para esgotos diluídos. Ademais, o programa não permite incluir variações de temperatura - havendo obrigatoriedade em se considerar T = 25°C -, o que é especialmente inadequado em se tratando de um estudo em larga escala geográfica e em um Estado de clima subtropical.

As equações pertinentes ao modelo estão expostas na Tabela 2. A partir delas, são ponderadas parcelas de conversão de matéria orgânica e as perdas de metano do sistema, de maneira a não superestimar o resultado final. Dispondo dos dados de entrada, primeiramente são estimadas as parcelas de DQO convertida em lodo (1) e consumidas na redução do sulfato (2). Em posse dessas parcelas, determina-se a DQO máxima convertida em CH₄ (3) e a consequente produção volumétrica máxima (4). A composição do biogás (em termos de percentual de metano) pode ser determinada (6), cujo valor varia de acordo com a concentração do esgoto afluente (5). O modelo inclui as perdas de CH₄ dissolvido no efluente e na fase gasosa com o gás residual, além de outras perdas eventuais na fase gasosa (7). Descontadas essas perdas, a produção volumétrica real de metano pode ser obtida (8), bem como o potencial energético disponível (9).

O parâmetro temperatura está incluído em todas as equações do modelo que se valem de manipulações da Lei dos Gases Ideais - (4) e (7), da Tabela 2. Todavia, em se tratando das perdas líquidas de metano - a parcela que se perde dissolvida no efluente - o modelo é invariável com diferentes temperaturas. Portanto, visando atenuar esse obstáculo, foi agregado à modelagem do presente trabalho uma Constante de Henry variável, a qual oscila com a temperatura.

Considerando o intervalo de temperatura de 0 a 40°C e valendo-se de dados de dissolução do metano em água (PERRY, 1963), aproximou-se uma curva potencial (Figura 1), em que “y” representa a Constante de Henry (em mg.L⁻¹.atm⁻¹) e “x” a temperatura (em °C) do reator UASB, de forma a automatizar o modelo em planilha. Percebe-se, para esse intervalo, que a solubilidade do metano diminui com o aumento de temperatura.

Tabela 3: Equações empregadas para o modelo, dispostas em passos.

Nº	Equações	Variáveis
1 - DQO convertida em lodo	$DQO_{LODO} = Y_{DQO} \times DQO_{removida}$	<p>DQO_{LODO}: massa de DQO convertida em lodo ($\frac{kgDQO_{LODO}}{dia}$)</p> <p>Y_{DQO}: coeficiente de produção de sólidos ($\frac{kgDQO_{LODO}}{kgDQO_{removida}}$)</p> <p>$DQO_{removida}$: massa de DQO removida no reator ($\frac{kgDQO_{removida}}{dia}$)</p>
2 - DQO consumida da redução de SO ₄ ²⁻	$CO_{SO_4convertida} = Q_{med} \times C_{SO_4} \times E_{SO_4}$ $DQO_{SO_4} = CO_{SO_4convertida} \times K_{DQO-SO_4}$	<p>$CO_{SO_4convertido}$: carga de SO₄ convertida em sulfeto ($\frac{kg SO_4}{dia}$)</p> <p>Q_{med}: vazão média afluente ($\frac{m^3}{dia}$)</p> <p>C_{SO_4}: concentração SO₄ no afluente ($\frac{kg SO_4}{m^3}$)</p> <p>E_{SO_4}: eficiência de redução de SO₄ (%)</p> <p>DQO_{SO_4}: massa de DQO utilizada na redução de sulfato ($\frac{kgDQO_{SO_4}}{dia}$)</p> <p>K_{DQO-SO_4}: DQO consumida na redução de sulfato ($0,667 \frac{kgDQO}{kg SO_4convertido}$)</p>
3 - DQO máxima convertida em CH ₄	$DQO_{CH_4} = DQO_{removida} - DQO_{LODO} - DQO_{SO_4}$	DQO_{CH_4} : carga de DQO convertida em metano ($\frac{kgDQO_{CH_4}}{dia}$)
4 - produção volumétrica máxima de CH ₄	$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4} \times R \times (273 + T)}{P \times K_{DQO} \times 1000}$	<p>Q_{CH_4}: produção volumétrica de metano ($\frac{m^3}{dia}$)</p> <p>P: pressão atmosférica (1 atm)</p> <p>K_{DQO}: DQO correspondente a 1 mol de metano ($\frac{0,064kgDQO_{CH_4}}{mol}$)</p> <p>R: constante dos gases ($0,08206 \frac{atm \cdot L}{mol \cdot K}$)</p> <p>T: temperatura operacional do reator (°C)</p>



5 - percentual de CH ₄ no biogás	$\begin{aligned} &= 2 \times 10^{-7} DQO^3 - 0,0004 DQO^2 \\ &+ 0,2333 DQO + 18 \end{aligned}$ $\%_{CH_4}(2) = 0,0059 DQO + 66,219$	$\%_{CH_4}(1)$: concentração de metano no biogás (%), considerando uma DQO afluente de 100 – 400 mg/L $\%_{CH_4}(2)$: concentração de metano no biogás (%), considerando uma DQO afluente de 500 – 100 mg/L
6 - produção volumétrica do biogás	$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{\%_{CH_4}}$	$Q_{biogás}$: produção volumétrica de biogás ($\frac{m^3}{dia}$) $\%_{CH_4}$: concentração de metano no biogás (%)
7 - perdas de CH ₄	$Q_{W-CH_4} = Q_{CH_4} \times p_w$ $Q_{O-CH_4} = Q_{CH_4} \times p_o$ $p_L = \frac{\%_{CH_4}}{100} \times K_h \times F_s$ $Q_{L-CH_4} = \frac{Q_{méd} \times (p_L \times 10^{-6}) \times R \times (273 + T)}{P \times K_{DQO}}$	Q_{W-CH_4} : perda de metano na fase gasosa como gás residual ($\frac{m^3}{dia}$) p_w : percentual de perda de metano na fase gasosa como gás residual (%) Q_{O-CH_4} : perda de metano na fase gasosa ($\frac{m^3}{dia}$) p_o : percentual de perda de metano na fase gasosa (%) Q_{L-CH_4} : perda de metano na fase líquida ($\frac{m^3}{dia}$) p_L : concentração de metano dissolvida no efluente (mg/L) K_h = constante de Henry ($\frac{mg}{L \cdot atm}$) F_s = fator de supersaturação CH ₄ na fase líquida (atm) f_{CH_4} : fator de conversão de massa de metano em massa de DQO ($4 \frac{kgDQO}{kgCH_4}$)
8 - produção volumétrica real de CH ₄	$Q_{real-CH_4} = Q_{CH_4} - Q_{W-CH_4} - Q_{O-CH_4} - Q_{L-CH_4}$	$Q_{real-CH_4}$: produção real de metano disponível ($\frac{m^3}{dia}$)
9 - energia elétrica disponível	$PE_{realCH_4} = Q_{real-CH_4} \times PCI$	PE_{realCH_4} : potência elétrica disponibilizada (kWh) PCI : potencial calorífico inferior do biogás ($9.9722 \frac{kWh}{Nm^3}$)

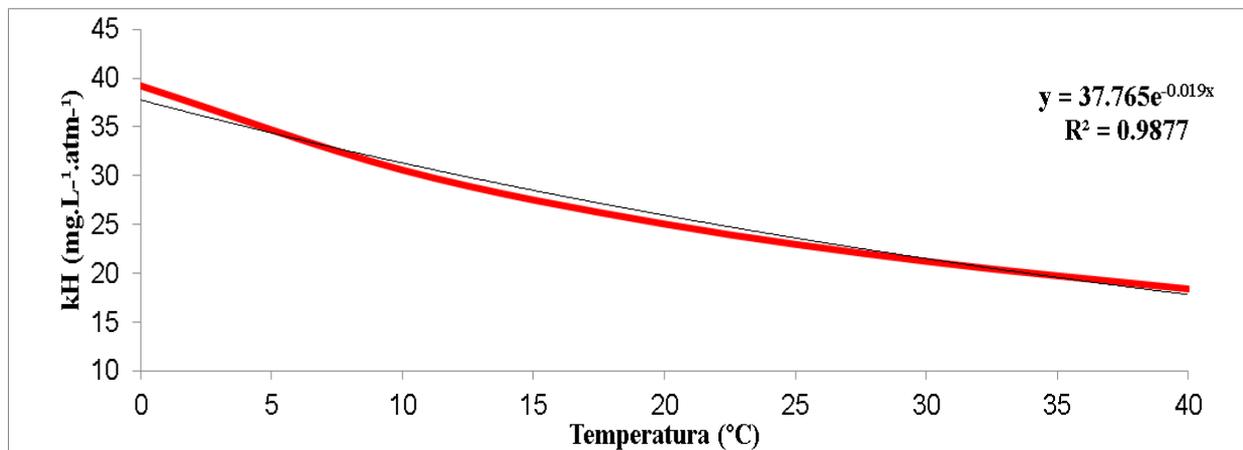


Figura 4: Variação da constante de Henry com a temperatura.

Resultados e Discussão

Dos 98 empreendimentos analisados, 76,5% possuem tratamento anaeróbio em seu processo. Os reatores UASB se encontram em aproximadamente 1/3 das ETEs do Estado, número semelhante ao reportado por Silva (2014), o qual mencionou que 35% das ETEs construídas no Brasil entre o período de 2007 a 2014 dispõem de reatores UASB. Chernicharo et al (2018), similarmente, demonstraram que 40% das 1.667 ETEs inventariadas detêm UASB, expondo a elevada aceitação da tecnologia anaeróbia como primeiro estágio do processo de tratamento, independentemente do porte da estação.

Dentre os 33 empreendimentos que detêm reatores UASB no Estado (Figura 2) - espalhados em 20 municípios -, 30 recebem esgotos de rede separadora absoluta, enquanto dois de sistemas mistos e um de unitário. Neste trabalho, o interesse foi avaliar a produção de biogás a partir do esgoto advindo da rede separadora (características domésticas). Assim, considerando esse grupo, aproximadamente 86,7% das ETEs possuem tecnologia de polimento que complementa o UASB. 56,6% (17) incluem filtro biológico percolador; 13,3% (4) filtro biológico aerado submerso; 10% (3) lodos ativados; 3,3% (1) lagoa facultativa; 3,3% (1) Filtro aerado de fluxo ascendente.

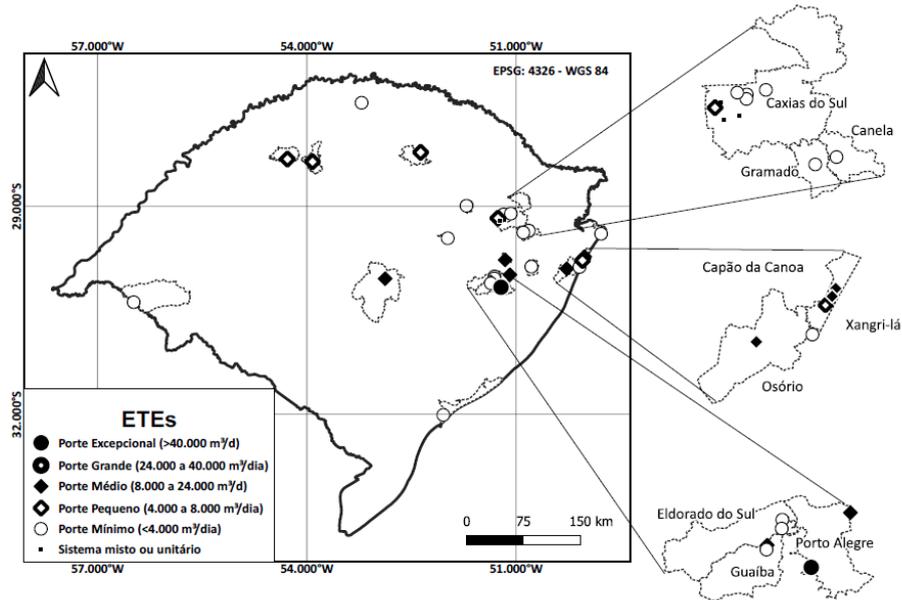


Figura 5: Espacialização das ETEs com UASB no Rio Grande do Sul.

Observaram-se apenas quatro casos (13,3%) em que o UASB é a única etapa de tratamento. Isso corrobora com a ideia de que, para se alcançar eficiência de remoção necessária, o processo anaeróbio raramente é suficiente de forma isolada, necessitando de pós-tratamento (Nair e Ahammed, 2015). Destaca-se também que, para o RS, utilizando os critérios da Resolução CONSEMA n° 372/2018, houve predomínio de ETEs de Mínimo (51,5%), Médio (27,27%) e Pequeno porte (15,15%).

Resultados da modelagem

Os resultados foram condensados nos índices: Perdas de metano na fase líquida (**QL**); Produção de biogás per capita (**Qb**); Produção volumétrica de metano (**QCH₄**); e Potencial energético (**PE**). Para a estimativa da produção per capita, considerou-se a contribuição de 160 L.habitante⁻¹.dia⁻¹. A Tabela 3 resume os valores para os cenários “típico” e “otimista”.

Os resultados da modelagem para o cenário pessimista – não exibidos na Tabela 3 – se mostraram desfavoráveis no tocante à produção de metano, gerando, em diversos municípios, capacidade nula. No cenário pessimista, a perda média na fase líquida foi de 86% - valor este que se sobressai em relação aos reportados em literatura: Souza (2010), por exemplo, havia destacado perdas líquidas em torno de 30% de todo o metano gerado no reator UASB; Lobato (2011), por sua vez, salienta que diversos pesquisadores haviam reportado perdas entre 15% e 60%. Logo, para fins de avaliação dos resultados, considera-se aqui que o cenário pessimista é o menos relevante entre os três. Os demais (típico e otimista) têm o potencial de servir como valores orientadores para futuros trabalhos. A Figura 3 representa o mapa do Estado para o potencial de produção energética no cenário típico.

Tabela 4: Resumo dos resultados para a modelagem dos cenários "Típico" e "Otimista"

Municípios	CENÁRIOS: TÍPICO // OTIMISTA					
	DQOa (mg/L)	Qa (L/s)	QL (%)	Qb (NL/hab.dia)	QCH ₄ (Nm ³ /dia)	PE (kwh/dia)
Gramado	495	21,41	42,45 // 28,94	10,36 // 14,66	82,77 // 117,19	825,45 // 1168,67
Santo Ângelo	441	40,88	44,47 // 30,29	8,91 // 12,85	135,42 // 195,16	1350,40 // 1946,20
Passo Fundo	400	13,76	50,45 // 34,33	7,22 // 11,00	36,79 // 56,03	366,84 // 558,76
Canela	380	28,69	48,67 // 33,09	8,11 // 12,16	75,22 // 112,74	750,11 // 1124,27
Capão da Canoa	362	54,07	53,02 // 35,99	6,62 // 10,39	113,38 // 117,92	1130,68 // 1774,22
São José do Norte	356	3,92	49,28 // 33,48	7,56 // 11,41	7,97 // 12,04	79,52 // 120,02
Porto Alegre	305	1500	54,67 // 37,07	5,92 // 9,48	2763,82 // 4425,54	27561,5 // 44132,45
São Leopoldo	286	65,04	59,18 // 40,08	5,07 // 8,60	100,99 // 171,11	1007,06 // 1706,36
Lajeado	283	0,88	60,27 // 40,81	4,90 // 8,43	1,32 // 2,26	13,12 // 22,57
Glorinha	266	4,52	63,06 // 42,66	4,35 // 7,80	5,89 // 10,56	58,72 // 105,35
Torres	249	0,41	64,87 // 43,83	3,93 // 7,27	0,47 // 0,87	4,72 // 8,72



Cotiporã	247	1,08	66,88 // 45,18	3,69 // 7,06	1,17 // 2,23	11,63 // 22,28
Caxias do Sul	229	34,71	65,77 // 45,57	3,45 // 6,60	37,20 // 68,53	370,96 // 683,38
Guaíba	180	90,07	85,68 // 57,33	1,20 // 4,19	27,32 // 95,08	272,40 // 948,16
Cachoeira do Sul	180	45,5	80,77 // 54,18	1,72 // 4,78	20,43 // 56,71	203,70 // 565,61
Xangri-lá	175	16,52	85,27 // 57,16	1,29 // 4,39	5,50 // 18,67	54,89 // 186,20
Ijuí	140	16,23	94,66 // 63,02	0,40 // 3,29	1,54 // 12,53	15,36 // 124,93
Quaraí	134	26,72	98,82 // 65,67	0,09 // 2,96	0,53 // 18,18	5,30 // 181,32
Eldorado do Sul	123	2,91	87,58 // 65,98	0,70 // 2,15	0,53 // 1,57	5,30 // 15,66
Osório	110	154,9	100,00 // 70,00	0,00 // 2,48	0,00 // 87,69	0,00 // 874,42

A análise holística dos resultados permite a compreensão de relações entre os índices. Percebe-se, por exemplo, que a concentração de DQO afluente está relacionada diretamente com o valor de vazão de biogás per capita e inversamente às perdas líquidas. Isso é explicado pela maior disponibilidade de substrato para o metabolismo bacteriano. A produção de biogás, afinal, é dependente da conversão da carga orgânica afluente ao reator (PROBIOGÁS, 2017).

A produção volumétrica de metano – e, conseqüentemente, o potencial energético – denota relevância tanto do porte do empreendimento quanto das condições do esgoto bruto. Entretanto, as concentrações de DQO média dos municípios gaúchos retratam esgotos com baixa carga orgânica (62% com valores inferiores a 300 mg.L⁻¹), consideravelmente inferiores aos valores reportados por Von Sperling (2007) – valores típicos de DQO próximos a 700 mg/L – e Riberiro e Botari (2022), que reportaram DQO de 600-1400 mg/L na ETE de Panavaí, Paraná/Brasil. Ademais, nota-se a predominância de ETEs de pequeno porte (conforme visto anteriormente na Figura 2), o que permite assumir que a maioria das ETEs com reator UASB no Estado levam à produção de biogás em quantidades limitadas, o que poderia comprometer a viabilidade financeira do seu uso para fins energéticos.

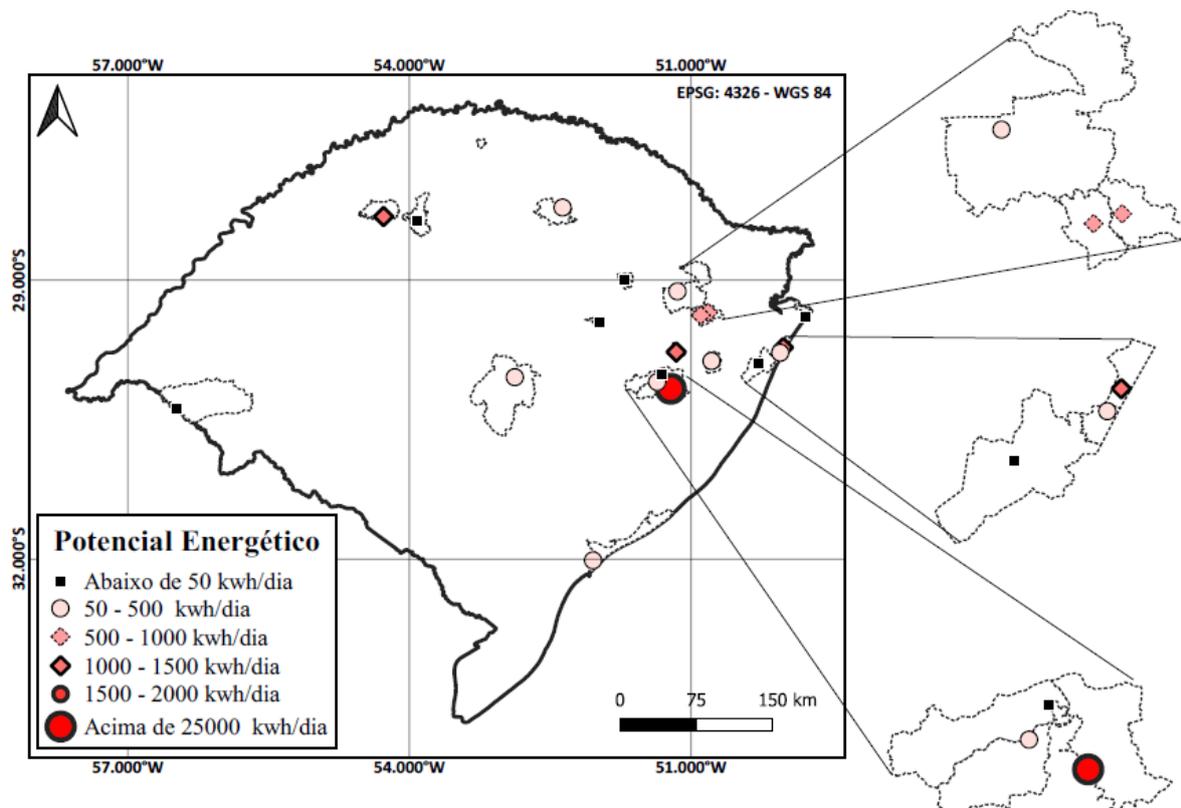


Figura 6: Espacialização do potencial energético do biogás gerado em reatores UASB no RS para o cenário típico.

Rosa et al (2018), para a ETE Laboreaux (MG), monitoraram uma produção volumétrica média de biogás de 390,1 Nm³.dia⁻¹, com teor de 78,2% de metano, a partir de 78 L.s⁻¹ de esgoto bruto (DQO média de 537,7 mg.L⁻¹). Com isso, os autores estimaram um potencial energético bruto de 3.045 kWh/dia e possibilidade de geração de 914 kWh.dia⁻¹ de energia elétrica – por meio de motor de combustão interna com 30% de eficiência –, suficiente para atender 57,6% do consumo elétrico da ETE. Nota-se que o valor de produção volumétrica de biogás dessa ETE supera a todos os municípios do Estado, excetuando-se Porto Alegre, além de se haver a geração de um biogás com maior teor de metano do que os estimados para o presente trabalho (Tabela 4).



Tabela 5: Estimativa do teor de metano do biogás produzidos a partir das ETEs com UASB em municípios gaúchos.

Municípios	CH ₄ (%)	Municípios	CH ₄ (%)	Municípios	CH ₄ (%)	Municípios	CH ₄ (%)
Gramado	69,14	São José do Norte	59,38	Torres	54,38	Xangri-lá	47,65
Santo Ângelo	68,82	Porto Alegre	57,62	Cotiporã	54,24	Ijuí	43,37
Passo Fundo	68,58	São Leopoldo	56,68	Caxias do Sul	52,85	Quaraí	42,56
Canela	59,87	Lajeado	56,52	Guaíba	48,20	Eldorado do Sul	41,02
Capão da Canoa	59,52	Glorinha	55,52	Cachoeira do Sul	48,20	Osório	39,09

Lopes et al. (2020) avaliaram o potencial energético de subprodutos em ETEs do Paraná – Estado com maior número de estações baseadas em UASB no país, totalizando 182 ETEs (de um total de 239). Destas, 61 foram classificadas como pequenas (menos de 56 L.s⁻¹), 99 como médias (de 57 a 434 L.s⁻¹) e 22 como grandes (maiores que 435 L.s⁻¹). Considerando um cenário típico, os autores obtiveram um potencial energético total de 2.256 MWh/dia, o que é muito superior ao valor total estimado neste trabalho para o mesmo cenário (34 MWh/dia, considerando a soma de todos os municípios gaúchos). Portanto, Lopes et al. (2020) concluíram que, utilizando um conversor elétrico com eficiência de 30%, o Paraná poderia produzir 677 MWh/d de energia elétrica, o suficiente para suprir a demanda energética de 111 mil habitantes. É nítido que um dos fatores críticos para essa diferença significativa no potencial energético dos dois Estados refere-se ao tamanho das ETEs: enquanto no Paraná foram registradas 121 ETEs (com UASB) de vazão superior a 57 L/s, no Rio Grande do Sul foram registradas apenas 4.

Além disso, é necessário mais do que uma simples verificação entre o potencial energético calculado e os custos operacionais de uma ETE para concluir a viabilidade, uma vez que normalmente é necessária uma etapa prévia de tratamento do biogás (LOBATO, 2011). Portanto, deve ser realizada uma análise financeira abrangendo os equipamentos a serem instalados e toda a vida útil do sistema. Nogueira e Gaspar (2020), por exemplo, avaliaram a viabilidade de aproveitamento energético do biogás produzido na ETE São José em Varginha-MG, que opera com reator UASB com vazão de 229 L.s⁻¹ e DQO afluente de 489 mg. L⁻¹. Através de uma análise financeira – abrangendo o custo de implantação e operação baseado em motor de combustão interna – os autores concluíram que a possibilidade seria inviável, dado o custo dos equipamentos importados e o baixo volume de biogás produzido. Assim, nota-se a análise financeira pode inviabilizar o projeto, mesmo que o potencial energético pareça representar um abatimento de custos.

A grande maioria dos municípios gaúchos não parece dispor de viabilidade de aproveitamento energético, principalmente por se tratarem de ETEs de porte mínimo (Figura 2), em que a sustentação financeira dificilmente seria uma realidade. Isso vai ao encontro do citado por Noyola, Morgan-Sagastume e López-Hernández (2006) e aos resultados de Valente (2015). Este último estimou que ETEs que atendam a uma população inferior a 50.000 habitantes não encontram viabilidade para nenhum arranjo (geração de eletricidade, cogeração ou tratamento térmico). Em adição, o esgoto muito diluído dos municípios gaúchos conduziu a baixíssimas produções per capita de biogás – bem inferior ao valor médio de 14 L.hab⁻¹.d⁻¹, apresentado por Valente (2015) -, com baixo teor de metano (Tabela 4), e a perdas elevadas. Dessa forma, questiona-se até se o pouco biogás produzido teria condições de sustentar uma chama, visto que, por exemplo, para ser utilizado em caldeiras, o biogás deve apresentar um teor mínimo de metano de 50% (PROBIOGÁS, 2017).

Aquelas ETEs onde se observou maior concentração orgânica de esgoto afluente – em Gramado, Santo Ângelo, Passo Fundo e Canela, por exemplo - embora, devido ao seu porte, provavelmente não tenham encontrado viabilidade financeira para geração e cogeração de energia elétrica, denotaram o maior valor de biogás per capita entre outros municípios e um subproduto com maior teor de metano. É necessário um olhar mais detalhado sobre tais localidades, incluindo alternativas que exigem menores custos de tratamento, como a combustão direta ou a venda de biogás para cocção alimentos. Uma avaliação individual também deve ser feita para Porto Alegre – que representa a maior geração de biogás devido à sua ETE de porte excepcional -, abrangendo distintos modos de operação, como carga básica, pico de carga e energia de emergência.

Considerações Finais

O Rio Grande do Sul, seguindo o exemplo nacional, emprega a tecnologia anaeróbia de tratamento de esgotos domésticos de forma significativa, com a maioria das ETEs regionais se valendo de tal. O emprego de reatores UASB, da mesma forma, se mostrou recorrente nas estações, desempenhando um papel importante para o tratamento dos esgotos domésticos gaúchos. O aproveitamento energético do biogás de reatores UASB, todavia, não parece encontrar viabilidade para as ETEs gaúchas, principalmente devido às características de grande diluição do esgoto bruto e pelo predomínio de empreendimentos de porte mínimo.

Municípios com esgotos mais concentrados carecem de estudos mais aprofundados e específicos. Recomenda-se que cada caso seja individualmente compreendido, através de um estudo financeiro que possa identificar o investimento necessário para a implantação do sistema de aproveitamento do biogás e o tempo de retorno desse investimento, considerando despesas (aquisição de tecnologias) e receita (redução do consumo de energia). Usos menos nobres do biogás devem ser alternativas a serem consideradas. O mesmo vale para Porto Alegre, município que denota, disparadamente, a maior produção volumétrica de biogás.



O Estado, dispondo atualmente de apenas 33,5% da população atendida pelos serviços de coleta e tratamento de esgoto, apresenta um vasto campo para a expansão das ETEs. Preferencialmente, o planejamento de novas unidades deve estar pautado em princípios de autossustentabilidade. Modelos futuros de produção de metano devem mirar o aprimoramento de metodologias, visando sempre mais fidedignidade. Deve-se considerar, por exemplo, a mutabilidade de parâmetros relacionados ao metabolismo bacteriano - tal qual o coeficiente de produção de lodo, ou a eficiência de remoção de sulfato -, de acordo com a temperatura, além da própria variação da solubilidade do metano – como foi explorada neste trabalho.

Referências Bibliográficas

- BERNAL, A. P.; DOS SANTOS, I. F. S.; SILVA, A. P. M.; BARROS, R. M.; RIBEIRO, E. M. Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO₂ emissions. *Journal of cleaner production*, v. 151, p. 260-271, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.064.
- BRASIL. Presidência da República. *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Dispõe sobre diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 06 de janeiro de 2023.
- BRASIL. *Lei 14.026, de 15 de julho de 2020*. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, DF, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 05 de abril de 2024.
- BRASIL. *Plano Nacional de Saneamento Básico*. Ministério das Cidades. Brasília, DF, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab/Versao_Conselhos_Resolucao_Alta_Capa_Atualizada.pdf. Acesso em: 2 de outubro de 2022.
- CHERNICHARO, C.A.L.; RIBEIRO, T.B.; GARCIA, G.B. Overview of sewage treatment in the South, Southeast and Midwest regions of Brazil: most employed technologies. *Revista DAE*, v. 66, n. 237, p. 28-36, jul./set. 2018. DOI: 10.4322/dae.2018.028.
- CHERNICHARO, C. A. L. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Volume 5: Reatores Anaeróbios*. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFRGS, 2019, 408 p.
- LOPES, Lucas Sampaio. Avaliação do potencial de recuperação energética de lodo e biogás provenientes de reatores UASB tratando esgoto doméstico no estado do Paraná. Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.
- LOPES, L. S.; ROSA, A. P.; MARCO, J. S.; POSSETTI, G. R. C.; MESQUITA, T. C. R. Energy potential of biogas and sludge from UASB reactors in the state of Paraná, Brazil. *Revista Ambiente & Água*, v. 15, p. e2398, mar. 2020. DOI: 10.4136/ambiagua.2398.
- LOBATO, L. C. S. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgotos domésticos. Tese (doutorado em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte - MG, 2011.
- LOBATO, L. C. S.; CHERNICHARO, C. A. L.; SOUZA, C. L. Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, v. 66, n. 12, p. 2745-2753, 2012. DOI: 10.2166/wst.2012.514
- MAINARDIS, M.; BUTTAZZONI, M.; GOI, D. Up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) technology for energy recovery: a review on state-of-the-art and recent technological advances. *Bioengineering*, v. 7, n. 2, p. 43, 2020. DOI: 10.3390/bioengineering7020043
- MOLINOS-SENANTE, M., GÓMEZ, T., GARRIDO-BASERBA, M., CABALLERO, R., & SALA-GARRIDO, R. Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: A composite indicator approach. *Science of the total environment*, v. 497, p. 607-617, 2014. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.08.026
- NAIR, Abhilash T.; AHAMMED, M. Mansoor. The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 272-281, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.12.037
- NOGUEIRA, F. P.; GASPAR, G. A. M. G. Geração de eletricidade a partir do biogás da ETE São José em Varginha-MG: Análise do potencial e a viabilidade do aproveitamento. -, 2020.



- NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; LOPEZ-HERNANDEZ, J. E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/resource recovery. *Reviews in environmental science and bio/technology*, v. 5, n. 1, p. 93-114, 2006. DOI: 10.1007/s11157-005-2754-6
- PERRY, R. H. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 4th ed., New York: McGraw-Hill. 1963, 2433 p.
- POPOVIC, T.; KRASLAWSKI, A.; AVRAMENKO, Y. Applicability of sustainability indicators to wastewater treatment processes. *Computer aided chemical engineering*, p. 931-936, 2013. DOI: 10.1016/B978-0-444-63234-0.50156-1
- PROBIOGÁS. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. 2 ed. Brasília: Ministério das Cidades, 186p. 2017.
- RIO GRANDE DO SUL. *Resolução CONSEMA nº 372, de 22 de fevereiro de 2018*. Rio Grande do Sul: Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, 2018. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202112/23105618-consema-372-2018-atividades-licenciaviesmunicipios.pdf>. Acesso em: 06 de janeiro de 2023.
- RIBEIRO, M. P.; BOTARI, A. Eficiência da remoção de DQO, surfactantes e de óleos e graxas totais na estação de tratamento de esgoto vila city na cidade de Paranaíba-Paraná. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 5, n. 1, p. 3874-3884, 2022. DOI: 10.34119/bjhrv5n1-331.
- ROSA, A. P., LOBATO, L. C. D. S., BORGES, J. M., MELO, G. C. B. D., & CHERNICHARO, C. A. D. L. Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, p. 315-328, 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016123321
- ROSA, A. P.; CHERNICHARO, C. A. L.; LOBATO, L. C. S.; SILVA, R. V.; PADILHA, R. F.; BORGES, J. M. Assessing the potential of renewable energy sources (biogas and sludge) in a full-scale UASB-based treatment plant. *Renewable Energy*, v. 124, p. 21-26, 2018. DOI: 10.1016/j.renene.2017.09.025
- SILVA, T. C. F.; POSSETTI, G. R. C.; COELHO, S.. Avaliação do Potencial de Produção de Energia a partir do Biogás Gerado no Tratamento de Esgotos Domésticos. *Congresso Brasileiro de Planejamento Energético*, Florianópolis, ago. 2014.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, 2010. Brasília. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2010>. Acesso em: 10 ago. 2022.
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, 2020. Brasília. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos>. Acesso em: 10 ago. 2022.
- SOUZA, C. L. Estudo das Rotas de Formação, Transporte e Consumo dos Gases Metano e Sulfeto de Hidrogênio Resultantes do Tratamento de Esgoto Doméstico em Reatores UASB. Belo Horizonte: Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Escola de Engenharia, 2010.
- VALENTE, V. B. Análise de viabilidade econômica e escala mínima de uso do biogás de reatores anaeróbios em estações de Tratamento de Esgoto no Brasil. Tese de mestrado. UFRJ-Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 182, 2015.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Belo Horizonte: UFMG, 2005, 452 p.



USO DE ESTRATÉGIA HIDRÁULICA PARA PROMOVER A GRANULAÇÃO DE LODO ANAMMOX

1*Jadiane Paola Cavaler, 2Éverton Rocha da Silva, 3Jaqueline Klem Bohrer, 4Fabiane Goldschmidt Antes, 5Marina Celant de Prá, 6Airton Kunz

1,3,6 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE - Campus Cascavel, e-mail: *jadianecavalier.ea@gmail.com; jaqueline.bohrer@unioeste.br, airton.kunz@embrapa.br

2 Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Ambiental, UFPR, e-mail: eng.amb.rocha@gmail.com;

4 Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos, e-mail: marinapra@utfpr.edu.br

5 Instituto Federal Catarinense - IFC - Campus Concórdia, e-mail: carolrucks.cr@gmail.com

4,6 Centro Nacional de Pesquisa em Suínos e Aves - EMBRAPA Suínos e Aves, e-mail: fabiane.antes@embrapa.br

Palavras-chave: Anammox, tratamento de efluentes, distribuição granulométrica

Resumo

Neste estudo, correlacionou-se a granulação do lodo anammox após partida do reator utilizando o aumento gradual da velocidade ascensional e com redução do tempo de retenção hidráulica (TRH). Um reator de fluxo ascendente com volume de 1 L foi inoculado com lodo anammox de característica floculenta. O reator foi alimentado com 200 mg L⁻¹ de nitrogênio total (100 mg L⁻¹ de N-NH₄⁺ advindo de um reator UASB alimentado com dejetos suínos e 100 mg L⁻¹ de N-NO₂⁻ suplementado com solução de NaNO₂). A operação do reator ocorreu durante 130 dias, ajustando o TRH a partir da vazão de alimentação (Q_{in}), iniciando em 4,0 L d⁻¹, e carga de nitrogênio aplicada (CNA) de 0,8 kg N m³ d⁻¹. Conforme as concentrações de N-NH₄⁺ e N-NO₂⁻ da saída estabilizaram, Q_{in} foi aumentada, reduzindo TRH, e consequentemente aumentando a CNA. O reator apresentou eficiência média de 84,0 ± 8,7% ao longo dos 130 dias, alcançando uma CNA de 1,7 kg N m³ d⁻¹. O TRH foi reduzido de 6 para 3 horas, e a velocidade ascensional aumentada de 2,03 para 4,07 m h⁻¹. Após 50 dias, grânulos maiores que 0,30 mm e 1,41 mm aumentaram, enquanto grânulos menores que 0,30 mm diminuíram em relação ao T0. No dia 128, 33% do lodo apresentava composição de grânulos ≥ 1,41 mm, 19% ≥ 0,70 mm e apenas 9,8% menores que 0,3 mm. A taxa média de crescimento dos grânulos ao longo de 128 dias foi de 0,0017 mm.d⁻¹. Individualmente, a taxa média de crescimento dos grânulos foi de 0,93 mm d⁻¹ em T0, 1,00 mm d⁻¹ em T50 e 1,15 mm d⁻¹ em T128.

Introdução

O lodo granular resultante da oxidação anaeróbia de amônio, conhecido como anammox, apresenta-se como uma biotecnologia promissora para o tratamento de efluentes industriais e agroindustriais com altas concentrações de nitrogênio e baixas concentrações de carbono orgânico. Este processo se destaca pelo baixo consumo de energia e pela reduzida pegada ecológica quando comparado a outros processos biológicos de remoção de nutrientes (Xue, Ma, e Li 2023).

No entanto, existem desafios futuros a serem enfrentados pelas tecnologias baseadas em anammox, como a dificuldade de enriquecimento do lodo (Wu et al. 2024), devido à lenta taxa de crescimento que dura em média 11 dias (Strous et al. 1998) e a transformação dos flocos em grânulos para evitar a lavagem do lodo para fora do reator.

Tecnologias buscando promover a agregação de bactérias anammox são consideradas essenciais para obter lodo granular e prevenir a perda desses microrganismos durante a aplicação do processo (Jia et al. 2021). Diversos mecanismos já foram estudados sobre o processo de formação de grânulos anammox tais como modelos de pressão, ligação entre substâncias poliméricas extracelulares (EPS), núcleos inertes, atrito, adesão mínima secundária, ligação de íons positivos multivalência e tensão superficial (Xue, Ma, e Li 2023). Dentre os modelos de pressão destaca-se a aplicação de velocidades ascensionais, promovendo uma alta tensão de cisalhamento para acelerar o processo de granulação anammox (Liu et al. 2021). A aplicação de altas taxas de fluxo auxiliam na melhor permeabilidade do grânulo, melhora na transferência de massa e também na atividade microbológica, fatores também relacionados ao tamanho da partícula (Su et al. 2021).

Neste estudo, foi proposta a estratégia de aumentar a velocidade ascensional gradualmente reduzindo o tempo de retenção hidráulica (TRH) e avaliar o comportamento de granulação do lodo anammox, alimentado com efluente natural.

Materiais e métodos

Um reator de fluxo ascendente com volume de 1 L foi inoculado com 300 mL de lodo anammox com característica floculenta. A alimentação do reator foi composta por efluente oriundo de um reator UASB alimentado com dejetos de suínos (Kunz, Miele, e Steinmetz 2009). A concentração de nitrogênio na entrada foi ajustada a 200 ± 20 mg N L⁻¹ sendo N-NH₄⁺ (100 mg N L⁻¹), e suplementada com NaNO₂ como fonte de N-NO₂⁻ (100 mg N L⁻¹).

A operação do reator ocorreu durante 130 dias, ajustando-se o TRH a partir da vazão de alimentação (Q_{in}), iniciando em 4,0 L d⁻¹, e carga de nitrogênio aplicada (CNA) de 0,8 kg N m³ d⁻¹. À medida em que as concentrações de N-NH₄⁺ e N-NO₂⁻ da saída estabilizaram, Q_{in} era aumentada, reduzindo TRH, e consequentemente aumentando a CNA e a velocidade ascensional dentro do reator.



Amônia ($N-NH_4^+$), nitrito ($N-NO_2^-$) e nitrato ($N-NO_3^-$) foram quantificados por métodos colorimétricos em um sistema de análise por injeção em fluxo (modelo 2500, Fialab Instruments, Seattle, EUA), e expressos em $mg N-NH_4^+ L^{-1}$, $mg N-NO_2^- L^{-1}$, $mg N-NO_3^- L^{-1}$, respectivamente, a partir de metodologias adaptadas de Standard Methods (Bridgewater et al. 2017).

A distribuição granulométrica média dos lodos Anammox foi realizada conforme metodologia adaptada de (Qian et al. 2022), com diâmetros nominais das peneiras de 2,4; 1,4; 0,7; 0,3 e 0,2 mm, utilizando-se o volume total de lodo do reator para as medições.

Resultados e discussão

O reator apresentou eficiência média de $84,0 \pm 8,7\%$ durante os 130 dias de operação, com aumento de CNA de 0,8 até $1,7 kg N L d^{-1}$. O TRH foi reduzido de 6 para 3 horas, e a velocidade ascensional aumentada de 2,03 para $4,07 m h^{-1}$.

Como é relatado na literatura (Shi et al. 2017), o processo anammox possui a relação estequiométrica molar de $N-NH_4^+ : N-NO_2^-$ de 1:1,32, com uma produção residual de 0,26 mols de $N-NO_3^-$. Os coeficientes estequiométricos médios do reator foram de $1,02 \pm 0,14$ para $N-NO_2^-$ e $0,13 \pm 0,08$ para $N-NO_3^-$.

O valor um pouco abaixo da literatura pode ser justificável pela alimentação do reator, com efluente natural (digestato), que pode acarretar competições microbiológicas por substrato, como por exemplo a presença de bactérias heterotróficas, que na presença de matéria orgânica consomem o nitrato produzido pelas bactérias anammox (Qian et al. 2022).

Os resultados obtidos na análise de distribuição granulométrica das amostras de lodo do reator estão apresentados na Figura 1, sendo T0 o lodo com característica floculenta utilizado para a inoculação do reator, T50 e T128 as análises de distribuição granulométrica, realizadas nos dias 50 e 128 de operação do sistema, respectivamente.

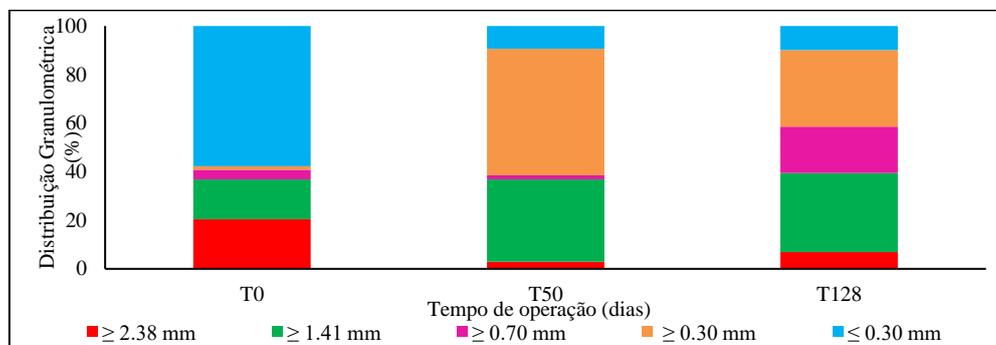


Figura 1 - Distribuição granulométrica em T0, T50 e T128 no reator.

Após 50 dias de operação, houve um aumento de grânulos maiores que 0,30 e 1,41 mm, e redução de grânulos menores que 0,30 mm com relação ao T0. Observando os dados do dia 128, nota-se que 33% do lodo apresentava tamanho de grânulo maior ou igual a 1,41 mm e 19% com tamanho maior ou igual a 0,70 mm, uma melhora significativa na composição de grânulos do sistema, já que grânulos com diâmetro menor que 0,3 mm eram apenas 9,8% da composição do reator. Conforme Xu et al. (2021), o tamanho de grânulo que promove melhora na transferência de massa e efeito na atividade específica anammox é de aproximadamente 2 mm, ou seja, neste trabalho observou-se uma aproximação deste tamanho durante a operação do reator.

Akaboci et al. (2018) afirmou que o lodo granular possui uma resistência maior a flutuações ambientais para aplicações industriais do processo anammox, além de possuir excelente capacidade de retenção no interior do reator. Já Reino e Carrera (2017), apontaram que uma das estratégias mais eficazes para promover a granulação do lodo anammox é a força de cisalhamento hidráulico, provocada pelo aumento dos fluxos de líquido ascendente. Na Figura 2 é possível observar a taxa de crescimento médio dos grânulos em função do tempo, durante os 130 dias de operação do reator, calculados a partir das análises de distribuição granulométrica.

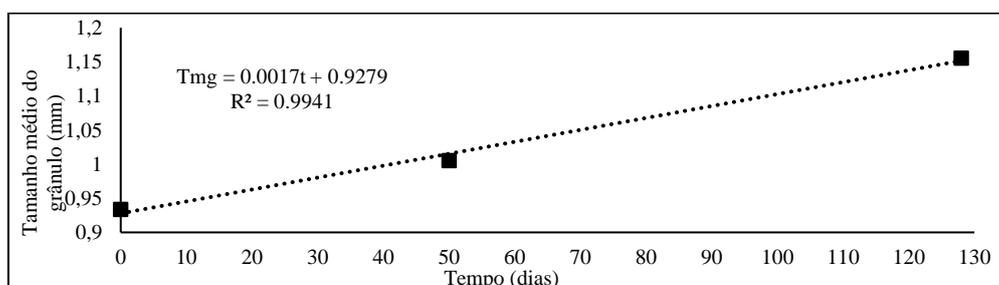


Figura 2 - Taxa de crescimento dos grânulos durante 130 dias de operação do reator Anammox.

A partir da estratégia hidráulica de aumento da velocidade de fluxo ascendente, a taxa média de crescimento do grânulo ao longo de 128 dias foi de $0,0017 mm d^{-1}$. Analisando individualmente os dados, em T0 a taxa média de crescimento do grânulo era de $0,93 mm d^{-1}$, alcançando $1,00 mm d^{-1}$ em T50 e $1,15 mm d^{-1}$ em T128.



Conclusão

A promoção gradual de velocidade ascensional no intervalo de 2 a 4 m h⁻¹ promoveu a granulação do lodo anammox, melhorando a distribuição granulométrica, e consequentemente, possibilitando o aumento na carga de nitrogênio aplicada, atribuindo eficiência e estabilidade ao processo anammox.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento - CNPq e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC pela concessão das bolsas, além da Embrapa Suínos e Aves pela estrutura para desenvolvimento desta pesquisa.

Referências bibliográficas

- Akaboci, Tiago R. V., Frederic Gich, Maël Rusalleda, M. Dolors Balaguer, e Jesús Colprim. 2018. "Assessment of operational conditions towards mainstream partial nitrification-anammox stability at moderate to low temperature: Reactor performance and bacterial community". *Chemical Engineering Journal* 350 (outubro):192-200. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.05.115>.
- Bridgewater, Laura L., Rodger B. Baird, Andrew D. Eaton, Eugene W. Rice, American Public Health Association, American Water Works Association, e Water Environment Federation, orgs. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd edition. Washington, DC: American Public Health Association.
- Jia, Fangxu, Yongzhen Peng, Jianwei Li, Xiyao Li, e Hong Yao. 2021. "Metagenomic Prediction Analysis of Microbial Aggregation in Anammox-dominated Community". *Water Environment Research* 93 (11): 2549-58. <https://doi.org/10.1002/wer.1529>.
- Kunz, A., M. Miele, e R.L.R. Steinmetz. 2009. "Advanced Swine Manure Treatment and Utilization in Brazil". *Bioresource Technology* 100 (22): 5485-89. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.10.039>.
- Liu, Chunshuang, Tao Liu, Xiaoying Zheng, Jia Meng, Hui Chen, Zhiguo Yuan, Shihu Hu, e Jianhua Guo. 2021. "Rapid Formation of Granules Coupling N-DAMO and Anammox Microorganisms to Remove Nitrogen". *Water Research* 194 (abril):116963. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116963>.
- Qian, Yunzhi, Fuqiang Chen, Junhao Shen, Yan Guo, Shaopo Wang, Hong Qiang, Yu Qin, e Yu-You Li. 2022. "Control Strategy and Performance of Simultaneous Removal of Nitrogen and Organic Matter in Treating Swine Manure Digestate Using One Reactor with Airlift and Micro-Granule". *Bioresource Technology* 355 (julho):127199. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127199>.
- Reino, Clara, e Julián Carrera. 2017. "Low-strength wastewater treatment in an anammox UASB reactor: Effect of the liquid upflow velocity". *Chemical Engineering Journal* 313 (abril):217-25. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.051>.
- Shi, Zhi-Jian, Qiong Guo, Yi-Qun Xu, Dan Wu, Si-Mo Liao, Fu-Yue Zhang, Zheng-Zhe Zhang, e Ren-Cun Jin. 2017. "Mass transfer characteristics, rheological behavior and fractal dimension of anammox granules: The roles of upflow velocity and temperature". *Bioresource Technology* 244 (novembro):117-24. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.120>.
- Strous, M., J. J. Heijnen, J. G. Kuenen, e M. S. M. Jetten. 1998. "The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic ammonium-oxidizing microorganisms". *Applied Microbiology and Biotechnology* 50 (5): 589-96. <https://doi.org/10.1007/s002530051340>.
- Su, Yang, Hong Yang, Xiaotong Wang, Xuyan Liu, e Jiawei Wang. 2021. "Successful enhancement and related characteristics of anammox bacterial activity by hydraulic supply strategy under limited inoculum". *Journal of Water Process Engineering* 41 (junho):102005. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102005>.
- Wu, Jianbo, Yafeng Li, Chi Zhang, Zhibo Wang, e Siding Xu. 2024. "An Innovative Strategy for Regenerating Anammox Granule Sludge: Nitrogen Removal Performance, Sludge Characteristics, and Microbial Community". *Biochemical Engineering Journal* 204 (abril):109241. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2024.109241>.
- Xu, Dongdong, Jiahui Fan, Chao Pan, Da Kang, Wenji Li, Wenda Chen, Meng Zhang, Baolan Hu, e Ping Zheng. 2021. "Dimension effect of anammox granule: Potential vs performance". *Science of The Total Environment* 795 (novembro):148681. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148681>.
- Xue, Yi, Haiyuan Ma, e Yu-You Li. 2023. "Anammox-Based Granulation Cycle for Sustainable Granular Sludge Biotechnology from Mechanisms to Strategies: A Critical Review". *Water Research* 228 (janeiro):119353. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119353>.



ENHANCED ANTIBIOTIC REMOVAL IN WASTEWATER USING CONSTRUCTED WETLANDS AND MICROBIAL FUEL CELLS: IMPACT OF VEGETATION AND ELECTRODE MATERIALS

1Ingrid Maldonado, 2Franz Zirena Vilca

1,2 laboratorio de contaminantes orgánicos y ambiente. Universidad Nacional de Moquegua, Ingrid.mj5@gmail.com

Keywords: Antibióticos, *Lemna*, remoción, *Shoenoplectus*.

Abstract

This study investigated the capacity of constructed wetlands combined with microbial fuel cells (MFCs) to remediate contaminants in wastewater. The integration with MFCs enhances treatment potential by utilising microorganisms to generate electricity while removing contaminants. The study focuses on the influence of different macrophyte species (*Lemna gibba* and *Schoenoplectus tatora*), the use of various electrode materials (graphite and biochar derived from *Lemna gibba* biomass), and the optimal time for antibiotic removal. Experiments were conducted using bioelectrochemical devices under controlled conditions, measuring the removal of Ciprofloxacin and Tetracycline. The results demonstrate 100% removal for both Ciprofloxacin and Tetracycline. While most treatment cycles showed no significant differences in antibiotic removal, the second cycle revealed that electrodes made from *Lemna gibba* biomass combined with totora yielded the best results for both antibiotics. Additionally, treatment duration directly influenced removal efficiency, with longer contact times resulting in greater contaminant removal. This study demonstrates that it is possible to remove antibiotics from aqueous environments within 2 hours using a nature-based treatment system.

Introduction

This study investigated the capability of constructed wetlands combined with microbial fuel cells (MFCs) to remediate contaminants in wastewater. Constructed wetlands have been extensively studied for their capacity to remediate contaminants (Ceschin et al., 2019; Oyiwona et al., 2018; Yan et al., 2020). These nature-based systems replicate the functions of natural wetlands and are effective in removing a variety of contaminants from wastewater (Bianchi et al., 2020; Burns et al., 2015). However, a major limitation of constructed wetlands is that they require large areas and long hydraulic retention times to treat wastewater efficiently. These spatial and temporal demands have made their application nearly impossible in densely populated areas where space is limited, and the demand for wastewater treatment is high. To overcome these limitations, the combination of constructed wetlands with microbial fuel cells has proven to be a promising solution. This combination not only minimises spatial and temporal constraints but also significantly enhances the treatment potential of the wetlands (Prado de Nicolás et al., 2022; Wu et al., 2017). Microbial fuel cells utilise bacteria to generate electricity from wastewater, simultaneously contributing to contaminant remediation (Oyiwona et al., 2018).

However, the contaminant removal process in these hybrid systems is influenced by a variety of factors. These include the plant species used, the contact time between the wastewater and the plants, the type of material used for the electrodes, water flow, and temperature, among other factors (Maldonado et al., 2022). This study evaluated the influence of different macrophyte species (*Lemna gibba* and *Shoenoplectus tatora*), as well as the impact of using different electrode materials (graphite and biochar derived from *Lemna gibba* biomass). Additionally, it determined the optimal time for antibiotic removal from wastewater, considering the aforementioned variables.

Methods

For the experiment, a bioelectrochemical device was designed in a PVC tube with an inner diameter of 10 cm and a height of 40 cm. The reactor consisted of three substrate layers: 8 cm of gravel, 8 cm of coarse sand, and 14 cm of fine sand. The anode was placed between the gravel and coarse sand, and the cathode was placed at the top. Two types of electrodes were used, carbon graphite and electrodes derived from *Lemna gibba* biomass, combined with *Lemna gibba* and *Schoenoplectus tatora* in four duplicate combinations. The combinations were LB (*Lemna gibba* and electrode from *Lemna gibba* biochar), LG (*Lemna gibba* and carbon graphite electrode), TB (*Shoenoplectus tatora* and electrode from *Lemna gibba* biochar), and TG (*Shoenoplectus tatora* and carbon graphite electrode). Three treatment cycles were conducted: one for four days with daily antibiotic measurements, another for 4 hours with hourly measurements, and one for two and a half hours with measurements every half hour. The experiment was conducted under controlled light and temperature conditions. The reactors were adapted for a month with anaerobic sludge and synthetic wastewater. Synthetic wastewater with pig manure-derived biol combined with antibiotics was used for the experiment. To evaluate antibiotic concentrations in water samples, 1 ml samples of influent and effluent (to assess system performance) were taken daily to record the removal process over time. Antibiotic analyses were conducted through Liquid Chromatography (UHPLC-DAD). Bioelectricity was monitored using voltage and amperage with a multimeter.



Results

For the influent of the first cycle, the Kruskal-Wallis test was applied. The results showed that the treatments were not significant for the removal of Ciprofloxacin and Tetracycline. However, the time factor (days) was significant for both cases, with a p-value of 1.239×10^{-5} for Ciprofloxacin and 3.866×10^{-5} for Tetracycline ($p < 0.05$). The Holm-Bonferroni test revealed that days 3 and 4 were significantly different from the others. Similarly, for the effluent, only time (Days) was significant for Tetracycline (P-value = 1.25×10^{-5}), with the contrast test indicating that only day 4 is different from the others, achieving mostly 100% removal. In the influent of the second cycle, ANOVA evidenced that both the treatment factor (p-value = $0.038 < 0.05$) and time (hours) (p-value = $0.033 < 0.05$) showed significant differences in Ciprofloxacin removal. The Duncan test identified that the most effective treatments were those using *Lemma gibba* biochar electrodes combined with *Lemma gibba* and *Schoenoplectus tatora* species, with the last hours of the cycle yielding the best results (Fig. 1A, B). For Tetracycline, there were also significant differences between treatments (p-value = 0.0048) and time (p-value = 0.00083). The Duncan test indicated that the TB treatment outperformed the others, and again, the last hours showed the best results (Fig. 1C, D). Regarding the effluent, time (Hours) was significant for Ciprofloxacin (p-value = 0.02017), and the Holm-Bonferroni comparison test revealed that the third measurement corresponding to 2 hours is different from the others. Regarding Tetracycline, the time variable was also significant, with the 4th measurement (at two and a half hours) differing from the others.

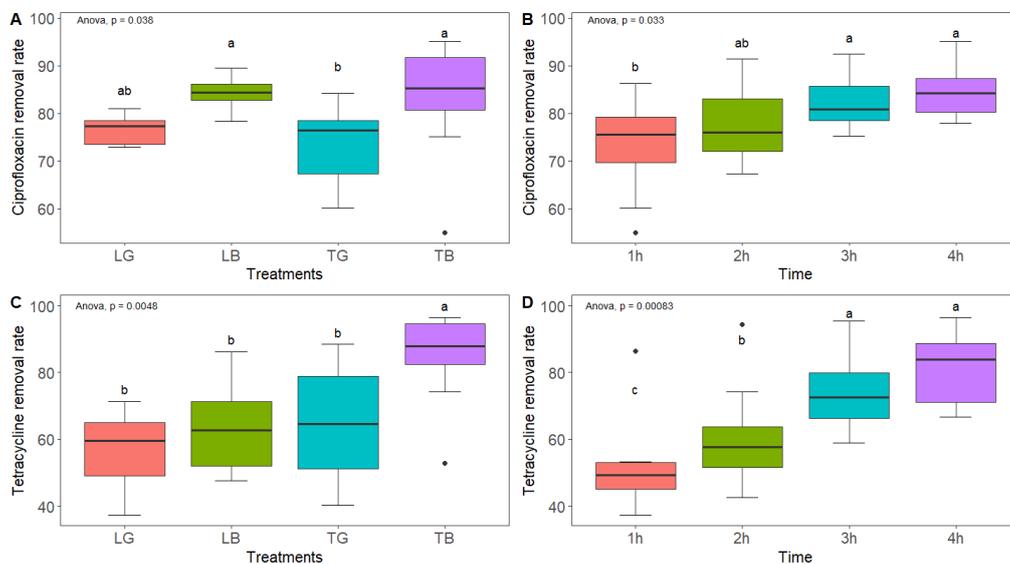


Figura 1: Test de Duncan para la remoción de: A. Ciprofloxacina em tratamentos. B. Ciprofloxacina em horas. C. Tetraciclina em tratamentos. D. Tetraciclina em horas.

In the third treatment cycle, which lasted two and a half hours, generally, no significant differences were observed in the influent and effluent. However, significant differences were observed for Tetracycline concerning measurement times. According to the Holm-Bonferroni comparison test, it is evident that the fourth time point differs from the other treatment levels. Regarding electricity, the LB treatment combination achieved better results, reaching up to 3.94 mW/m².

Discussion

Species have shown a slight influence on contaminant removal, with *S. tatora* exhibiting more influence than *L. gibba*, possibly because rooted species have a greater contact surface with antibiotics, and initial removal is attributed to phytoremediation (Ceschin et al., 2019; Zhang et al., 2023). Various phytoremediation mechanisms employed by plants, such as phytosorption, phytostabilisation in plant roots, and phytovolatilisation of organic compounds, contribute to this phenomenon (Maldonado et al., 2022; Piotrowicz-Cieślak et al., 2010; Yan et al., 2020). Additionally, the high concentrations tested in the study may have had a phytotoxic effect on the *Lemma* species, as a floating species has greater contact with the contaminant, although *Lemma* is widely used in phytoremediation (Bianchi et al., 2020; Di Baccio et al., 2017), elevated concentrations of contaminants can have phytotoxic effects on its development (Burns et al., 2015). It is also noteworthy that in two cycles, there were no differences between treatments, suggesting that the entire system itself may play a significant role in the antibiotic removal process (Prado de Nicolás et al., 2022). In a combined system like the one used, elements complement each other, such as plants, substrate, bacterial community, and electrodes improving removal results (Wu et al., 2017). Regarding the electrodes used in the system, although no significant difference in the influence of this variable was observed in two of the cycles, in the second cycle, it was evident that the *Lemma* bioelectrode showed better results. This demonstrates that electrodes obtained from biomass of this species can achieve similar or even superior results to those acquired on the market. Similarly, in another study where electrodes were obtained from rice biomass, the electrodes showed more efficient results than the electrodes acquired on the market for wastewater treatment (Oyiwona et al., 2018). These results indicate that electrodes can be obtained from plant biomass, thus reducing system installation costs.



Conclusions

Artificial wetlands combined with microbial fuel cells prove effective in removing antibiotics from wastewater. Macrophyte species *L. gibba* and *S. tatora*, especially when used with *L. gibba* biocarbon electrodes, significantly enhance contaminant removal. Biocarbon electrodes outperform graphite ones in 4-hour treatment cycles. Additionally, contact time influences efficiency, with better results in longer cycles. Bioelectricity generation also contributes to removal, optimising treatment efficiency and harnessing energy production.

Acknowledgements

CONCYTEC funded this work through the PROCENCIA program under the "E067-2023-01 Special Projects: Projects for the Incorporation of Postdoctoral Researchers in Peruvian Institutions" competition, according to contract or agreement PE501085790-2023-PROCENCIA.

The authors would like to thank the Universidad Nacional de Moquegua and the project "Presencia de residuos de antibióticos en el Río Osmore, en agua potable de las ciudades de Ilo y Moquegua y su relación con la salud en la población," approved by resolution of the organizing committee N° 310-2020-UNAM.

References

- Bianchi, E., Biancalani, A., Berardi, C., Antal, A., Fibbi, D., Coppi, A., Lastrucci, L., Bussotti, N., Colzi, I., Renai, L., Scordo, C., Del Bubba, M., Gonnelli, C., 2020. Improving the efficiency of wastewater treatment plants: Bio-removal of heavy-metals and pharmaceuticals by *Azolla filiculoides* and *Lemna minuta*. *Sci. Total Environ.*746, pp.141219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141219>
- Burns, M., Hanson, M.L., Prosser, R.S., Crossan, A.N., Kennedy, I.R., 2015. Growth Recovery of *Lemna gibba* and *Lemna minor* Following a 7-Day Exposure to the Herbicide Diuron. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*95, pp.150-156. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1575-8>
- Ceschin, S., Sgambato, V., William, N., Zuccarello, V., 2019. Phytoremediation performance of *Lemna* communities in a constructed wetland system for wastewater treatment. *Environ. Exp. Bot.*1623, pp.67-71.
- Di Baccio, D., Pietrini, F., Bertolotto, P., Pérez, S., Barcelò, D., Zacchini, M., Donati, E., 2017. Response of *Lemna gibba* L. to high and environmentally relevant concentrations of ibuprofen: Removal, metabolism and morpho-physiological traits for biomonitoring of emerging contaminants. *Sci. Total Environ.*584-585, pp.363-373. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.191>
- Maldonado, I., Vega Quispe, A.P., Merma Chacca, D., Zirena, F., 2022. Optimization of the elimination of antibiotics by *Lemna gibba* and *Azolla filiculoides* using response surface methodology (RSM). *Front. Environ. Sci.*10, pp.1-13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.940971>
- Oyiwona, G.E., Ogbonna, J.C., Anyanwu, C.U., Okabe, S., 2018. Electricity generation potential of poultry droppings wastewater in microbial fuel cell using rice husk charcoal electrodes. *Bioresour. Bioprocess.*5. <https://doi.org/10.1186/s40643-018-0201-0>
- Piotrowicz-Cieślak, A.I., Adomas, B., Nałęcz-Jawecki, G., Michalczyk, D.J., 2010. Phytotoxicity of sulfamethazine soil pollutant to six legume plant species. *J. Toxicol. Environ. Heal. - Part A Curr. Issues*73, pp.1220-1229. <https://doi.org/10.1080/15287394.2010.492006>
- Prado de Nicolás, A., Berenguer, R., Esteve-Núñez, A., 2022. Evaluating bioelectrochemically-assisted constructed wetland (METland®) for treating wastewater: Analysis of materials, performance and electroactive communities. *Chem. Eng. J.*440. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135748>
- Wu, D., Sun, F., Zhou, Y., 2017. Degradation of Chloramphenicol with Novel Metal Foam Electrodes in Bioelectrochemical Systems. *Electrochim. Acta*240, pp.136-145. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.04.059>
- Yan, Y., Pengmao, Y., Xu, X., Zhang, L., Wang, G., Jin, Q., Chen, L., 2020. Migration of antibiotic ciprofloxacin during phytoremediation of contaminated water and identification of transformation products. *Aquat. Toxicol.*219, pp.1-7. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105374>
- Zhang, L., Liu, Yunlong, Lv, S., Wang, R., Wang, Y., Lin, K., Hu, X., Liu, Yuchen, Dong, Z., Liu, L., 2023. An overview on constructed wetland-microbial fuel cell: Greenhouse gases emissions and extracellular electron transfer. *J. Environ. Chem. Eng.*11. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109551>



PARTIDA OTIMIZADA DE UM REATOR MBBR EM ESCALA REAL NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

1Silvio Luiz de Souza Rollemberg, 2José Gilmar da Silva do Nascimento, 3Amanda Nascimento de Barros, 4Tatiana Bandeira 5Pedro Duarte 6Alan Miranda Azevedo Camelo 7Davi Gadelha

1 Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC), e-mail: silviorollemberg@gmail.com; 2 Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC), e-mail: gilmar21@alu.ufc.br; 3 Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC), e-mail: amandanbarros11@gmail.com; 4 Universidade de Fortaleza (UNIFOR), email: tatianabandeir@gmail.com;

5 Instituto Federal doCeará (IFCE), email: opedroduarte12@gmail.com; 6 Unifanor, email: alanmac2001@hotmail.com; 7 Centro Universitário Estácio, email: davigadelha@gmail.com

Palavras-chave: Reator MBBR (Reator de Biofilme de Leito Móvel); Remoção DQO; Remoção de amônia, Escala real, Partida otimizada

Introdução

Os reatores de biofilme de leito móvel (MBBR em inglês) foram inicialmente desenvolvidos na Noruega. Os processos MBBR têm sido amplamente utilizados para remoção de DBO/DQO, bem como para nitrificação e desnitrificação no tratamento de águas residuais municipais e industriais (Ødegaard 2006). O trabalho teve como objetivo avaliar a partida otimizada de um reator MBBR em escala real, volume útil de 12,21 m³ para tratar efluente sanitário. A ETE está localizada em Caucaia, Ceará, com capacidade de 6,0 m³/h. A partida do reator foi feita sem adição de lodo, apenas efluente sanitário bruto. O reator foi monitorado por 5 semanas, com análises de parâmetros operacionais e físico-químicos, como temperatura, pH, DQO e amônia seguindo métodos padrões. As eficiências de remoção de DQO e amônia foram da ordem de 72% e 91%, respectivamente. Os parâmetros monitorados apresentaram pequena variação nas duas últimas semanas de monitoramento, indicando uma estabilidade do sistema.

Materiais e método

A figura 1, abaixo mostra a configuração do sistema

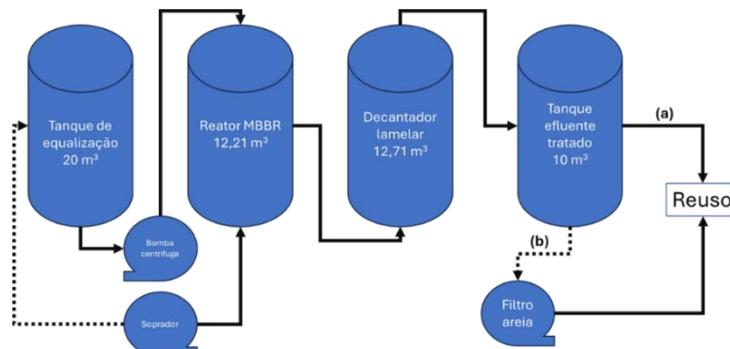


Figura 1 – Configuração do sistema

O reator MBBR era alimentado por Bomba Centrífuga GK-5 1,5cv Trifásica – King, a aeração do reator era feita por compressor Radial Soprador WEG 7,5 hp 7,5 cv e vazão de 8,9 m³/min (Máx). O volume útil do reator era de 12,21 m³. O mesmo tinha TDH de 2,0 horas. O efluente bruto era armazenado em um tanque de equalização, depois bombeado para o reator MBBR. Em seguida, o efluente seguia por gravidade para o decantador lamelar, após o decantador o efluente seguia para o tanque tratado, caso os padrões de lançamento fossem atendidos, o efluente era reutilizado internamente (a), caso não atendimento, o efluente era filtrado (b) antes de seguir para o reuso. A tabela 1 mostra a caracterização do efluente sanitário bruto:

Parâmetro	Unidade	Efluente bruto
pH	-	7,5
Condutividade	µS.cm	1140
TDS	mg/L	782
Oxigênio Dissolvido	mg/L	0,2
Turbidez	NTU	139
NH ₃	mg/L	40,0
DQO	mg/L	682,9
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	45,50

Tabela 1 - Caracterização do efluente bruto



Resultados:

O efluente tratado teve um pH médio de 7,6 (Fig.2), condutividade média de 1030 $\mu\text{S.cm}$, oxigênio dissolvido de 2,01 mg/L, estes resultados mostraram que o sistema atingiu um perfil mais estável, após duas semanas de operação, em que as remoções de amônia foram superiores a 91,26% (Fig. 4), quando o sistema atingiu estabilidade. Vale ressaltar que a carga de nitrogênio amoniacal foi baixa durante o período. Em termos percentuais a remoção de DQO ficou um pouco abaixo do esperado, com remoções da ordem de 72%. No entanto, como reator não teve lodo de inoculo, deve-se observar um aumento na capacidade de remoção da matéria orgânica no reator. Os valores de oxigênio dissolvido apresentaram grande variação nos primeiros dias de operação (Fig.3), possivelmente por conta da adaptação da microbiota presente no efluente, uma vez que, o reator não recebeu lodo para inoculação.

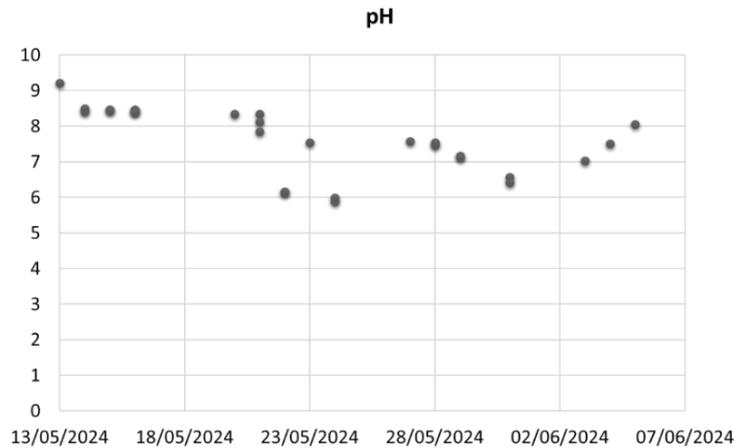


Figura 2 - Variação de pH no efluente tratado

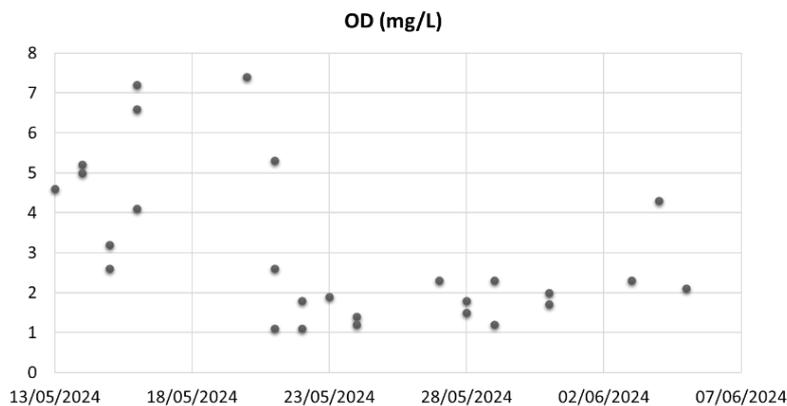


Figura 3 Concentração de oxigênio dissolvido no efluente tratado

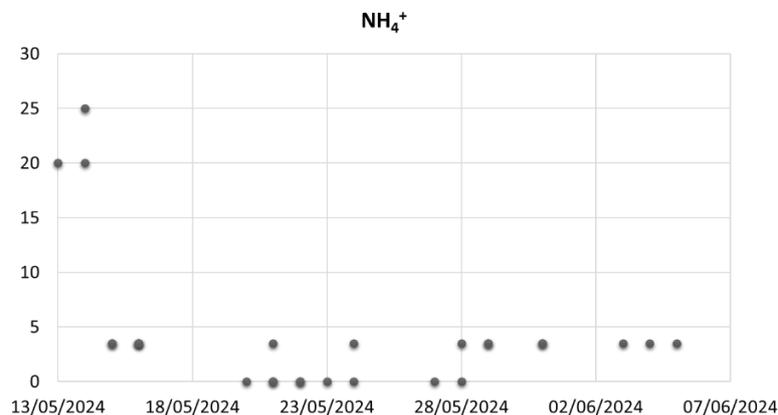


Figura 4 - Concentração de amônia no efluente tratado

A remoção de DQO no reator MBBR teve valor inicial de 402,56 mg/L e depois os valores foram inferiores a 200 mg/L valor abaixo do limite exigido pela Resolução Coema 02/17. Esse resultado mostra que a remoção de material orgânica apresentou estabilidade após uma semana de operação. Trabalhos anteriores como (Kassab et al. 2010); (Nguyen et al. 2018), relatam que, embora a remoção eficiente de nitrogênio e DQO tenha sido alcançada no reator MBBR, independentemente do modo de operação, a alimentação contínua foi recomendada, visto que é mais simples de operar. Em relação ao teor de sólidos presentes nas Biomídias utilizadas (fig. 5), um ensaio de respirometria será conduzido como nos trabalhos: (de Sousa Rollemberg et al. 2022); (P.S.G. da Silva, de Sousa Rollemberg, e Bezerra dos Santos 2023) para determinar o “lodo ativo” presente nas mídias (fig. 6).

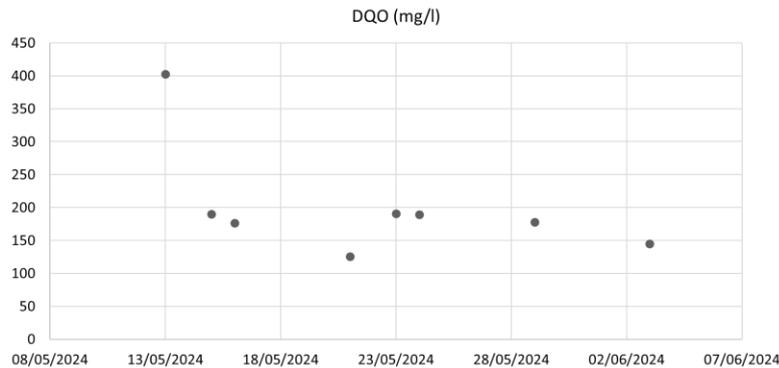


Figura 5 - Concentração de DQO no efluente tratado

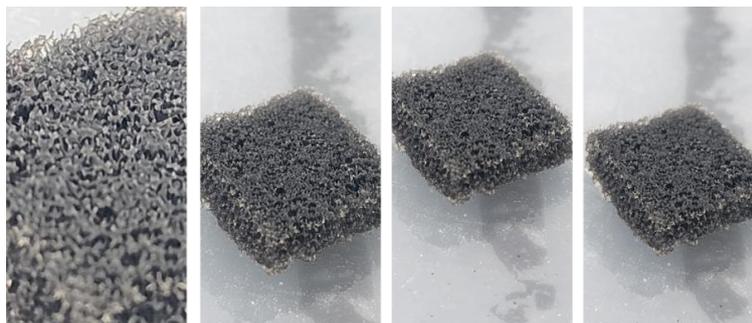


Figura 6 - Biomídias utilizadas no reator

Conclusões

A partida do reator MBBR mesmo sem inóculo, mostrou desempenho satisfatório na remoção de DQO (72%) e amônia (91%). Parâmetros de controle como: pH, condutividade e oxigênio dissolvido, atingiram valores estáveis nas duas últimas semanas de monitoramento.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Empresa Recovery Ambiental pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

Kassab, G., M. Halalshah, A. Klapwijk, M. Fayyad, e J. B. van Lier. 2010. “Sequential anaerobic-aerobic treatment for domestic wastewater - A review”. *Bioresource Technology* 101(10):3299–3310.

Nguyen, P. Y., G. Carvalho, Fabio Polesel, Elena Torresi, Alexandre M. Rodrigues, João E. Rodrigues, Vitor Vale Cardoso, Maria João Benoliel, Benedek Gy. Plósz, M. A. M. Reis, e A. Oehmen. 2018. “Bioaugmentation of activated sludge with *Achromobacter denitrificans* PR1 for enhancing the biotransformation of sulfamethoxazole and its human conjugates in real wastewater: Kinetic tests and modelling”. *Chemical Engineering Journal* 352:79–89.

Ødegaard, Hallvard. 2006. “Innovations in wastewater treatment: –the moving bed biofilm process”. *Water Science and Technology* 53(9):17–33.

P.S.G. da Silva, Vicente Elício, Silvio Luiz de Sousa Rollemberg, e André Bezerra dos Santos. 2023. “Step-feeding in aerobic/anoxic cycles enhanced the performance of aerobic granular sludge (AGS) systems treating effluents with low C:N ratios”. *Process Safety and Environmental Protection* 171:1031–42.

de Sousa Rollemberg, Silvio Luiz, Amanda Nascimento de Barros, Paulo Igor Milen Firmino, e André Bezerra dos Santos. 2022. “Evaluation of sludge discharge methodologies in aerobic granular sludge reactors”. *Bioresource Technology Reports* 18:101018.



EVALUACIÓN DE UN NUEVO COAGULANTE NATURAL A BASE DE *Nostoc sphaericum* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

1Yudith Choque-Quispe, 2David Choque Quispe, 3Carlos Alberto Ligarda Samanez, 4Betsy Suri Ramos Pacheco, 5Aydeé Marilú Solano-Reynoso, 6Yakov Felipe Carhuarupay Molleda, 7Yovana Florez Ccorisapra, 8Liliana Rodriguez Cardenas

¹Universidad Nacional José María Arguedas, ychoque@unajma.edu.pe; ²Universidad Nacional José María Arguedas, dchoque@unajma.edu.pe, ³Universidad Nacional José María Arguedas, caligarda@unajma.edu.pe, ⁴Universidad Nacional José María Arguedas, bsramos@unajma.edu.pe ⁵Universidad Nacional José María Arguedas, amsolano@unajma.edu.pe, ⁶Universidad Nacional José María Arguedas, ycarhuarupay@unajma.edu.pe, ⁷Universidad Nacional José María Arguedas, yflores@unajma.edu.pe ⁸Universidad Nacional José María Arguedas, 1000820181@unajma.edu.pe

Palabras Claves: Aguas residuales, Floculante, Porcentaje de remoción, *Nostoc sphaericum*.

Resumo

El tratamiento de aguas residuales es un reto tecnológico constante, La investigación tuvo como objetivo determinar la capacidad floculante de un nuevo coagulante del alga altoandina *Nostoc sphaericum* (NS), en el tratamiento de aguas residuales. Se preparó agua residual sintética y se le agregó una mezcla de coagulante NS y sulfato de aluminio (AS) a diferentes concentraciones, pH y velocidad de agitación, ajustándose a un diseño experimental factorial 2³. El proceso de floculación se evaluó a través del porcentaje de remoción de parámetros físicos y químicos de calidad del agua. La mezcla coagulante NS/AS en medio ácido mostró buena capacidad floculante, eliminando significativamente color, conductividad, turbiedad, sólidos disueltos totales (TDS), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (TOC) y nitritos, aunque con Baja eliminación de DBO₅ y fosfatos. El coagulante estudiado muestra potencial en el tratamiento de aguas residuales, además de ser biodegradable y respetuoso con el medio ambiente.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA), al Laboratorio de Investigación de Materiales para el Tratamiento de aguas y Alimentos (LIMTA).

Referencias

Asadi-Ghalhari, M.; Usefi, S.; Ghafouri, N.; Kishipour, A.; Mostafaloo, R.; Tabatabaei, Fs Modelado y optimización del proceso de coagulación/floculación en la eliminación de turbidez del agua utilizando cloruro de polialuminio y almidón de arroz como coadyuvante coagulante natural. *Monitoreo y Evaluación Ambiental* **2023** , 195 , 527.

Yu, H.; Zhang, H.; Sol, C.; Yuan, W.; Li, H.; Jiang, W.; Dong, L.; Wang, Y.; Liu, H. Preparación de coagulante compuesto inorgánico-orgánico y su mecanismo para destruir el aceite emulsionado en las aguas residuales de los campos petrolíferos. *Tecnología de separación y purificación* **2024** , 330 , 125446, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125446> .

Zhao, C.; Zhou, J.; Yan, Y.; Yang, L.; Xing, G.; Li, H.; Wu, P.; Wang, M.; Zheng, H. Aplicación de coagulación/floculación en el tratamiento de aguas residuales oleosas: una revisión. *Ciencia del Medio Ambiente Total* **2021** , 765 , 142795.

Katubi, KM; Amari, A.; Harharah, HN; Eldirderi, MM; Tahoona, MA; Ben Rebah, F. El aloe vera como material prometedor para el tratamiento del agua: una revisión. *Procesos* **2021** , 9 , doi:10.3390/pr9050782.

Meftah, K.; Meftah, S.; Lamkhanter, H.; Bouzid, T.; Rezzak, Y.; Touil, S.; Abid, A. Extracción y optimización del polvo de *Austrocylindropuntia subulata* como nuevo coagulante verde. *Desalinización y Tratamiento de Aguas* **2024** , 318 , 100339 .

Neffa, M.; Taourirte, M.; Ouazzani, N.; Hanine, H. Enfoque ecológico para la eliminación de la toxicidad de las aguas residuales de almazara (OMW) utilizando jugo de tuna como coagulante. *Práctica y tecnología del agua* **2020** , 15 , 1050-1067.

Shamika, C.; Goutam, B.; Vincent, C. Tratamiento de efluentes de establecimientos de servicios de alimentos (FSE) mediante procesos físico-químicos: un estudio de caso para Trinidad y Tobago. *Revista de Ingeniería Biológica* **2024** , 18 , 2.

Garcés-Gómez, YA; Pacheco-Gonzalez, SI Método de Extracción y Evaluación de *Heliocarpus popayanensis* y *Triumfetta bogotensis* como Coagulantes Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. *Métodos y protocolos* **2023** , 6 , doi:10.3390/mps6060105.



- El-Gaayda, J.; Titchou, FE; Oukhrib, R.; Yap, P.-S.; Liu, T.; Hamdani, M.; Ait Akbour, R. Floculantes naturales para el tratamiento de aguas residuales que contienen colorantes o metales pesados: una revisión del estado del arte. *Revista de Ingeniería Química Ambiental* **2021** , 9 , 106060, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106060> .
- Ugwu, SN; Umuokoro, AF; Echiegu, EA; Ugwuishiwu, BO; Enweremadu, CC Estudio comparativo del uso de coagulantes naturales y artificiales para el tratamiento de sullage (aguas residuales domésticas). *Ingeniería convincente* **2017** , 4 , 1365676.
- Haarhoff, J.; Cleasby, JL Comparación de coagulantes de aluminio y hierro para la filtración en línea de agua fría. **1988** , 80 , 168-175.
- Yin, C.-Y. Uso emergente de coagulantes de origen vegetal para el tratamiento de agua y aguas residuales. *Bioquímica de procesos* **2010** , 45 , 1437-1444.
- Zahmatkesh, S.; Karimian, M.; Chen, Z.; Ni, B.-J. Combinación de tecnologías de coagulación y adsorción para el tratamiento avanzado de aguas residuales para la reutilización de agua potable: Por ANN, NSGA-II y RSM. *Revista de Gestión Ambiental* **2024** , 349 , 119429, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119429> .
- Haarhoff, J.; Cleasby, JL Comparación de coagulantes de aluminio y hierro para la filtración en línea de agua fría. *Revista-Asociación Estadounidense de Obras Hidráulicas* **1988** , 80 , 168-175.
- Krupińska, IJM Residuos del tratamiento del agua potable de aluminio y su impacto tóxico en la salud humana. **2020** , 25 , 641.
- Bondy, SC Los niveles bajos de aluminio pueden provocar cambios morfológicos y de comportamiento asociados con la enfermedad de Alzheimer y la neurodegeneración relacionada con la edad. *NeuroToxicología* **2016** , 52 , 222-229, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2015.12.002> .
- Owodunni, AA; Ismail, S. Técnica revolucionaria para coagulantes verdes sostenibles a base de plantas en el tratamiento de aguas residuales industriales: una revisión. *Revista de Ingeniería de Procesos de Agua* **2021** , 42 , 102096.
- Mokhtar, Nuevo México; Priyatharishini, M.; Kristanti, RA Estudio sobre la eficacia del coagulante de cáscara de plátano en la reducción de la turbidez de aguas residuales sintéticas. *Revista Internacional de Tecnología y Ciencias de la Ingeniería* **2019** , 6 , 82-90.
- Wu, C.; Wang, Y.; Gao, B.; Zhao, Y.; Yue, Q. Rendimiento de la coagulación y características del flóculo del sulfato de aluminio utilizando alginato de sodio como coadyuvante coagulante para el tratamiento de aguas residuales de tinte sintético. *Tecnología de separación y purificación* **2012** , 95 , 180-187.
- Elsayed, EM; Nour El-Den, AA; Elkady, MF; Zaatout, AA Comparación del rendimiento de la coagulación



AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE HPAS E FIXAÇÃO DE CO₂ POR MICROALGAS MARINHAS EM EFLUENTES INDUSTRIAIS UTILIZANDO UM FOTOBIORREATOR AIRLIFT PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

1Douglas Oliveira Lima, 1Karen Daniela Rios Ramirez, 2Célia Karina Maia Cardoso, Ícaro Thiago Andrade Moreira

1 Universidade Federal da Bahia, Departamento de Engenharia Ambiental, e-mail: douglas.oliveira@gmail.com, karendr@gmail.com, icarotam@ufba.br; 2 Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, e-mail: celiamaia.eng@gmail.com

Palavras-chave: neutralidade carbônica, recuperação de recursos, tratamento de águas residuais, *Chlorella sp.*, biocombustíveis, remoção de poluentes emergentes.

Resumo

A utilização de microalgas tem surgido como uma estratégia promissora em diversas áreas, desde o tratamento de águas residuais até à produção de biocombustíveis, contribuindo assim para a procura da neutralidade carbônica. Esses organismos fotossintéticos podem utilizar os recursos presentes nas águas residuais e fixar o CO₂ atmosférico para produzir biomassa com alto potencial energético. Neste estudo foram avaliadas a eficiência de remoção de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPAs) em águas residuais provenientes de efluentes industriais das indústrias petrolífera e avícola, a biofixação de CO₂ e o conteúdo lipídico na biomassa produzida a partir de microalgas cultivadas em fotobiorreator airlift. Foram realizadas quatro culturas de mesoescala: Controle (Água do Mar + Meio Conway), Tratamento A (Água Produzida com Óleo + Água de Efluente de Aves), Tratamento B (Água de Efluente de Aves + Água do Mar) e Tratamento C (Água Produzida com Óleo, Água do Mar e nutrientes). Foi observado o impacto da bioestimulação, por meio da adição de nutrientes, na eficiência de remoção de HPAs (até 90%), na taxa de fixação de CO₂ (até 0,20 g L⁻¹ d⁻¹) e na composição da biomassa gerada. Primeiramente, a adição de nitratos ao meio de cultura impactou a taxa de fixação de CO₂ das microalgas. Além disso, foi observada uma correlação direta entre a remoção de HPAs e o acúmulo de lipídios na biomassa, até 36% em peso seco, demonstrando a capacidade das microalgas de aproveitar o carbono orgânico (HPAs) presente no meio de cultura para gerar biomassa rica em lipídios. A concentração de polissacarídeos na biomassa obtida não ultrapassou 12% em peso seco, e o Maior Poder Calorífico (HHV) variou entre 17 e 21 MJ kg⁻¹. Por fim, foi destacado o potencial de geração de hidrogénio através da pirólise, aproveitando as características da biomassa como rota de conversão para produção de biocombustíveis. Estes resultados mostram que as microalgas são eficazes no tratamento de águas residuais e têm grande potencial na produção de biocombustíveis, contribuindo assim para a transição para fontes de energia mais sustentáveis e para a mitigação das alterações climáticas.

Referências

Marques I.M., Oliveira A.C.V., de Oliveira O.M.C., Sales E.A., Moreira Í.T.A. A photobioreactor using *Nannochloropsis oculata* marine microalgae for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons and sorption of metals in produced water *Chemosphere*, 281 (2021), Article 130775, 10.1016/j.chemosphere.2021.130775.

Medeiros D.L., Moreira Í.T.A. Microalgae biomass production from cultivation in availability and limitation of nutrients: The technical, environmental and economic performance *Journal of Cleaner Production*, 370 (2022), Article 133538, 10.1016/j.jclepro.2022.133538

Maia Cardoso C.K., Mattedi S., Lobato A.K. de C.L., Andrade Moreira Í.T. Remediation of petroleum contaminated saline water using value-added adsorbents derived from waste coconut fibres *Chemosphere*, 279 (2021), Article 130562, 10.1016/j.chemosphere.2021.130562

Molazadeh M., Danesh S., Ahmadzadeh H., Pourianfar H.R. Influence of CO₂ concentration and N:P ratio on *Chlorella vulgaris*-assisted nutrient bioremediation, CO₂ biofixation and biomass production in a lagoon Treatment plant *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 96 (2019), pp. 114-120, 10.1016/j.jtice.2019.01.005



ANÁLISE MORFOLÓGICA DE FIBRAS DE POLIESTIRENO COM ÓXIDO DE GRAFENO PARA APLICAÇÃO COMO FIBRAS ADSORVENTES

1Beatriz Marques Carvalho, 2Gabriel da Cruz Dias, 3Deuber Lincon da Silva Agostini, 4Rosane Freire
Boina

1 Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, e-mail: beatriz.carvalho@unesp.br; 2 Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, e-mail: gc.dias@unesp.br, 3 Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, e-mail: deuber.agostini@unesp.br, 4 Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, e-mail: rosane.freire@unesp.br

Palavras-chave: nanofibras poliméricas, nanofibras adsorventes, óxido de grafeno

Resumo

A contaminação química da água a partir de poluentes, como corantes e metais, causam prejuízos tanto aos seres humanos quanto a fauna presente no corpo hídrico. A exposição a determinados grupos de íons metálicos traz como consequência doenças como câncer de mama, de pulmão, de próstata e dos rins. Quanto aos corantes, o problema é o descarte de substâncias complexas, visto os aspectos quantitativo e qualitativo da sua geração, e nem todo corante aplicado ao tingimento de fibras é fixado: cerca de 15 % são descartados como águas residuais, representando uma carga de poluente significativa.

Dessa forma, surge a necessidade de aplicar diferentes tecnologias com o intuito de remover esses poluentes do meio líquido, pois estes não são contemplados nos processos convencionais de tratamento de águas residuais. Nesse sentido, a adsorção se destaca, por ser uma técnica de baixo custo, simplicidade operacional e seletividade. É um dos métodos mais promissores para o tratamento de poluentes de alta persistência. A principal vantagem da adsorção é o uso de materiais de baixo custo, como os resíduos produzidos pela sociedade, o que reduz o custo do procedimento.

O emprego de estruturas constituídas por nano/microfibras se tornou uma alternativa viável para aplicação como adsorvente devido a facilidade de incorporar materiais nanoestruturados, além de oferecer uma elevada área superficial, melhorando proporcionalmente a capacidade de remoção de poluentes. Para produção de estruturas poliméricas, a eletrofição se destaca por ser considerada uma técnica simples, versátil e que permite gerar fibras com diâmetros na ordem de micrometros a nanômetros. Outras vantagens oferecidas pelas fibras eletrofiadas são: estrutura porosa e condutividade elétrica o que permite aplicações nas áreas ambientais, médicas e industriais.

Sendo a matriz polimérica importante para a preparação de fibras eletrofiadas, o poliestireno (PS) é um dos plásticos mais conhecidos e utilizados, por ser de boa processabilidade, baixo custo, ter rigidez e transparência. Seu uso mostrou-se promissor como adsorvente, pois além de ser um material poroso, apresenta uma matriz polimérica hidrofóbica. A maioria dos materiais adsorventes passam por processo de ativação física e química visando obter melhorias no processo. Materiais a base de carbono, como o óxido de grafeno (GO), vêm sendo utilizado como material adsorvente devido a sua capacidade de adsorver uma variedade de íons metálicos e corantes. O GO é um derivado do grafite, obtido através da oxidação do grafeno. Por ser um potencial adsorvente para a remoção de variados poluentes, o GO foi escolhido para ser utilizado como aditivo que será incorporado na matriz polimérica do PS. Com o exposto, esse trabalho teve por objetivo analisar morfologicamente as fibras eletrofiadas produzidas a partir de poliestireno e ativadas com óxido de grafeno, nas concentrações de 1% e 2% de GO.

Para isso, preparou-se as soluções de PS em dimetilformamida (DMF) na concentração de 30% (m/m). A solução ficou sob agitação magnética por 2 horas à temperatura ambiente (25 °C ± 3°C). Posteriormente, adicionou-se o GO nas concentrações de 1% e 2%, estabelecendo triplicatas para cada condição. Esse processo consistiu em colocar as soluções em um sonicador ultrassônico da marca Ultronique, por 40 minutos, para que houvesse a dispersão do GO em solução de PS DMF. As soluções de mistura preparadas foram transferidas para seringas de 5 mL, equipada com uma agulha metálica de 1,60x40 mm (16G). A seringa carregada foi conectada à uma bomba de infusão e a agulha à uma fonte de alta tensão (10kV). As soluções foram ejetadas da agulha em direção a um coletor rotativo, mantido a 200rpm e localizado a 12 cm de distância do ejetor, Figura 1.



Figura 1: Sistema para eletrofição. a) Bomba de Infusão, b) Fonte de Alta Tensão, que varia de 0 a 30 kV, c) Coletor rotativo, d) Seringa contendo a solução polimérica (PS/GO).

As duas diferentes matrizes PS-GO produzidas foram encaminhadas para análise morfológica de sua estrutura superficial utilizando o Microscópio Óptico trinocular da Opton (código: TNB-01T-INF-LED), com três lentes com ampliações de 10x, 40x e 100x.

Observou-se analisando as imagens, Figura 2, que para todas as soluções foi possível produzir fibras a partir da eletrofição, porém ao analisar a imagem (b) com 1% de GO nota-se menor quantidade de fibras em comparação ao PS puro (a) e com 2% de GO (c). Além disso, percebe-se a presença de beads nas fibras com 2% de GO (destacados em amarelo), o que não foi visto nas demais amostras, os beads são resultado do acúmulo de material em um único ponto da fibra.

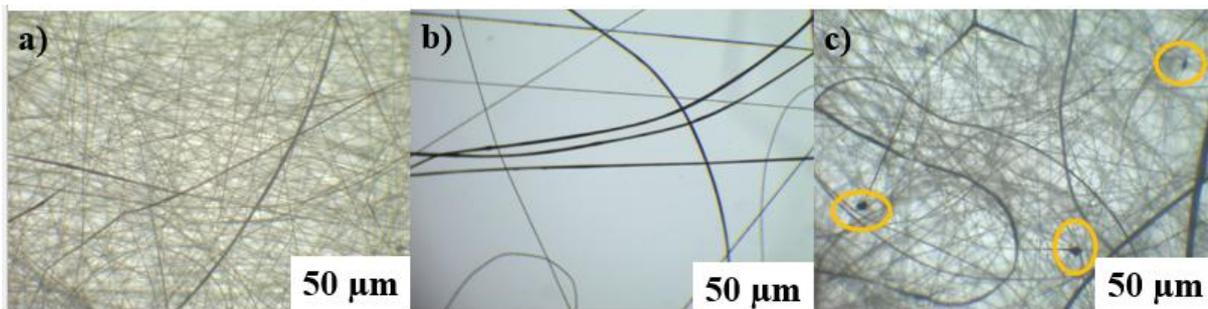


Figura 2: Imagens de microscopia óptica das fibras de (a) PS puro, (b) PS com 1% de GO e (c) PS com 2% de GO.

Referências Bibliográficas

- GENCHI, Giuseppe et al. The effects of cadmium toxicity. *International journal of environmental research and public health*, v. 17, n. 11, p. 3782, 2020.
- POURRAHIM, Solmaz et al. Application of solid waste of ductile cast iron industry for treatment of wastewater contaminated by reactive blue dye via appropriate nano-porous magnesium oxide. *Environmental Pollution*, v. 256, p. 113454, 2020.
- NASCIMENTO, R. F. et al. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. 2020. Livro. Universidade Federal do Ceará.
- KYZAS, George Z.; FU, Jie; MATIS, Kostas A. The change from past to future for adsorbent materials in treatment of dyeing wastewaters. *Materials*, v. 6, n. 11, p. 5131-5158, 2013.
- GORZA, F. DS et al. Electrospun polystyrene-(emeraldine base) mats as high-performance materials for dye removal from aqueous media. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 82, p. 300-311, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.10.034>



ARAÚJO, T. M.; SINHA-RAY, S.; PEGORETTI, A.; YARIN, A. L. Electrospinning of a blend of a liquid crystalline polymer with poly(ethylene oxide): Vectran nanofiber mats and their mechanical properties. *Journal of Materials Chemistry C*, v. 01, n.02, p. 351, 2013. <https://doi.org/10.1039/C2TC00048B>

TRINDADE, L. C. Influência da extrusão no stress cracking de filmes de poliestireno. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande.

SILVEIRA, K. P. Produção de nanofibras adsorventes de poliestireno através de fiação por jato de ar. 2018. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GENG, J. et al. Polyethyleneimine cross-linked graphene oxide for removing hazardous hexavalent chromium: Adsorption performance and mechanism. *Chemical Engineering Journal*, v. 361, p. 1497-1510, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.141>

FANTINEL, L. A. Avaliação do uso de adsorventes a base de óxido de grafeno e celulose para a remoção de íons cromo hexavalente de soluções aquosas. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade de Caxias do Sul.



UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE COCO RESIDUAIS PRÉ-TRATADAS COM BIOSURFACTANTE NA RECUPERAÇÃO DE AMBIENTES MARINHOS IMPACTADOS POR PETRÓLEO CRU

1Célia Karina Maia Cardoso, 2Rafaela Silva Garces de Santana, 3Natalie Silva Romeu, 2Ícaro Thiago Andrade Moreira, 5Olívia Maria Cordeiro de Oliveira, 1,6Ana Katerine de Carvalho Lima Lobato

1Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, e-mail: celiamaia.eng@gmail.com;

2Universidade Federal da Bahia, Departamento de Engenharia Ambiental, e-mail: rafaela.garces14@gmail.com, icarotam@gmail.com; 3Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biotecnologia, e-mail: natalie.romeu@ufba.br;

5Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, e-mail: olivia@ufba.br, 6Universidade Salvador, Escola de Engenharias, e-mail: katerine.carvalho@ufba.br

Palavras-chave: bioadsorventes, fibras residuais, óleo cru

Resumo

Os compostos do petróleo são ameaças significativas para as águas marinhas, representando poluentes preponderantes e implicando riscos à flora, fauna, saúde humana e à economia. Para combater derrames de petróleo, a utilização de materiais adsorventes, como as fibras vegetais, destaca-se como estratégia eficaz (CARDOSO et al., 2022). As fibras de coco, provenientes do resíduo sólido da produção brasileira, são especialmente notáveis devido à sua composição lignocelulósica, à presença abundante de poros e às propriedades sorventes eficientes, apresentando afinidade com óleo (KUMAR et al., 2022).

No entanto, para otimizar a sorção, são essenciais pré-tratamentos que visam aprimorar a molhabilidade com óleo, aumentar a porosidade e alterar as características químicas e físicas das fibras. Os pré-tratamentos comuns incluem métodos químicos e físico-químicos, sendo menos explorados os solventes orgânicos, especialmente os biossurfactantes, compostos microbianos biodegradáveis capazes de reduzir a tensão superficial ou interfacial (TONG et al., 2017).

Este estudo visa avaliar a eficácia de pré-tratamentos convencionais e não convencionais nas fibras de coco para aprimorar sua capacidade de remover petróleo de ambientes marinhos afetados.

A avaliação foi feita por meio de testes de sorção, incorporando simulações hidrodinâmicas em escala laboratorial. As fibras de coco, sendo biomateriais viáveis e desejáveis, representam uma alternativa promissora na remediação de derrames de petróleo em ambientes marinhos. Os pré-tratamentos convencionais incluíram soluções ácida (10% v/v de H₂SO₄) e básica (10% m/v de NaOH), com o térmico em água a 80 °C. Na mercerização, as fibras foram embebidas em solução de NaOH (5% m/v), e as amostras secas a 100 °C até massa constante (KUMAR et al., 2022; CARDOSO et al., 2021). Posteriormente, após a mercerização, as fibras passaram por acetilação em solução de anidrido acético e ácido acético glacial, catalisada por ácido sulfúrico. No pré-tratamento não convencional com biossurfactante (surfactina), 2% de surfactina diluída em água destilada foi misturada e agitada com as fibras de coco. Os procedimentos de lavagem, filtragem e secagem seguiram padrões semelhantes aos demais métodos (GOSHADROU, 2021; TONG et al., 2017). A morfologia das fibras, *in natura* e após os pré-tratamentos, foi examinada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) Joel modelo JSM-6610 LV. A espectroscopia de infravermelho (FTIR) no espectrômetro Shimadzu modelo IR Prestige-21 foi realizada, abrangendo de 4000 a 400 cm⁻¹, com amostras preparadas em pastilhas diluídas em brometo de potássio. Esta análise identificou grupos funcionais nas fibras, verificando alterações químicas durante os pré-tratamentos. Os testes de sorção foram conduzidos em fibras de coco tratadas, agitadas em uma mesa. As fibras foram acondicionadas em mini-barreiras de contenção de malha de polipropileno para minimizar perdas de massa. Cada amostra de fibra (0,5 g) foi colocada em contato com uma mistura de água salina e óleo cru da Bacia de Campos (80 mL.L⁻¹) por 5 minutos. Após o experimento, as amostras foram liofilizadas para remover a umidade. A massa foi determinada para avaliar a capacidade de sorção das fibras.

Como resultados, a análise de FTIR possibilitou a identificação dos grupos funcionais presentes na superfície de cada fibra, os quais interagiram com o óleo cru (Figura 1). A banda a 3420 cm⁻¹ é característica das fibras lignocelulósicas, indicativa do alongamento dos grupos hidroxilas (O-H) presentes na lignina, celulose e hemicelulose. Após o tratamento térmico e com biossurfactante, observou-se uma redução no grupo hidroxila, sugerindo ligações de hidrogênio mais fracas e menor cristalinidade após o pré-tratamentos (GOSHADROU, 2021). Nessas duas condições, a banda a 1600 cm⁻¹, que representa a vibração de flexão da água absorvida, apresentou maior intensidade, indicando uma maior remoção de água, com a presença do alongamento C=C.

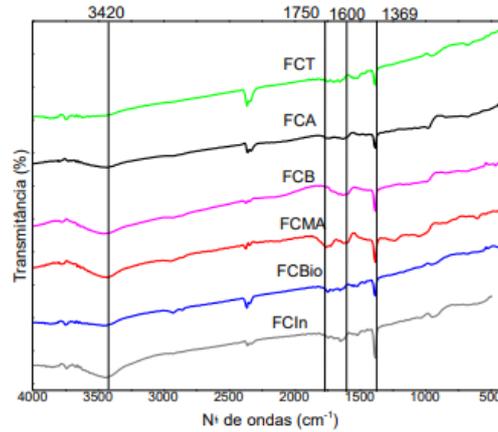


Figura 1: FTIR das fibras de coco com tratamento térmico (FCT), ácido (FCA), básico (FCB), mercerização/acetilação (FCMA), biossurfactante (FCBio) e *in natura* (FCIn).

A banda a 1369 cm^{-1} indica a presença de cadeias alifáticas nas fibras, enquanto nas tratadas com biossurfactante evidencia hidrocarbonetos alifáticos e peptídeos. A banda a 1750 cm^{-1} revela a formação de carboxila do acetato ligada à celulose após a mercerização/acetilação. A análise de FTIR confirma o tratamento, destacando alterações nos grupos funcionais comparadas às fibras *in natura*.

Na análise do MEV (Figura 2), foi notável uma irregularidade e presença de poros na superfície da FCIn, contribuindo para um aumento na área superficial e favorecendo a adsorção (Figura 2a). Após os pré-tratamentos nas fibras de coco, observou-se uma modificação nos poros e na rugosidade, resultando em melhorias nas características morfológicas que promovem um aumento na adsorção. Os poros foram desobstruídos, tornando-se mais visíveis e desimpedidos, enquanto a rugosidade aumentada amplia a área superficial, intensificando a interação com o petróleo.

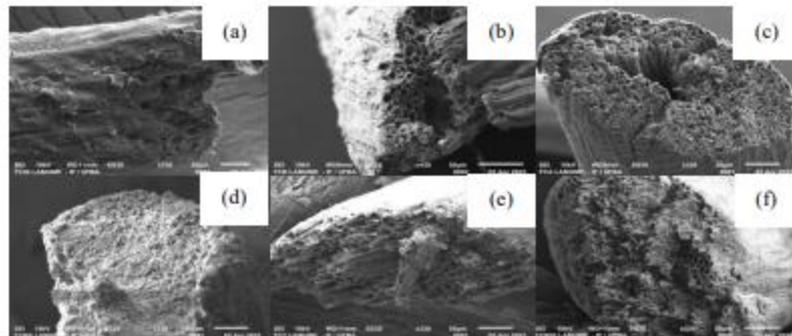


Figura 2: Imagens MEV das FCIn (a), FCB (b), FCA (c), FCMA (d), FCT (e) e FCBio (f).

A análise gravimétrica nos testes de adsorção revelou que, mesmo após os pré-tratamentos nas fibras, persistiu uma interação com a água. Esta interação foi evidenciada pela redução de massa durante a desidratação no liofilizador. Os resultados da sorção nas fibras tratadas, tanto de maneira convencional quanto não convencional, após a liofilização, juntamente com a análise estatística pelo teste de Tukey a 95% de confiança, estão apresentados na Figura 3.

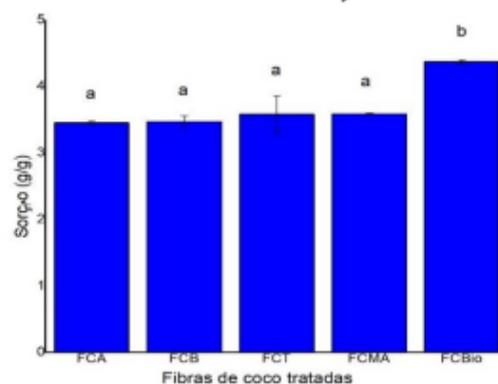


Figura 3: Comparação do teste de adsorção entre os pré-tratamentos nas fibras de coco estudadas e estudo do teste de Tukey a 95% de confiança.



Os resultados do teste de Tukey não revelaram diferenças estatísticas nos níveis de sorção entre os tratamentos convencionais (ácido, básico, térmico, mercerizado/acetilado) nas fibras de coco. Contudo, a fibra tratada com biossurfactante destacou-se significativamente, evidenciando a influência das mudanças estruturais causadas pelos diversos tratamentos nas fibras de coco. A surfactina, reconhecida por sua eficácia como bioemulsificante com uma recuperação de até 95% em petróleo bruto (YANG et al., 2020), mostrou-se crucial no pré-tratamento das fibras, proporcionando interação com grupos polares e apolares. A análise por FTIR confirmou a presença de compostos característicos do biossurfactante, indicando uma possível intensificação da afinidade da fibra com o petróleo e, conseqüentemente, um aumento nos índices de sorção. Estudos complementares, abrangendo áreas como análise da área superficial, tamanho dos poros, análise elementar para determinar a aromaticidade e polaridade, e medição dos ângulos de contato, são imperativos para uma compreensão mais aprofundada desses resultados. Pesquisas anteriores sustentam que os pré-tratamentos não convencionais discutidos neste estudo potencializam a capacidade de sorção das fibras, influenciando em suas estruturas químicas, físicas e morfológicas (CARDOSO et al., 2021; KUMAR et al., 2022). Neste trabalho, a fibra de coco *in natura* exibiu uma capacidade de sorção de $2,91 \pm 0,24$ g/g, inferior aos valores observados nas fibras submetidas a pré-tratamentos.

A partir desses resultados, pode-se concluir que as fibras de coco tratadas com biossurfactante apresentaram maior capacidade de sorção em comparação com as fibras tratadas convencionalmente. Os tratamentos convencionais (ácido, alcalino, mercerização seguida pela acetilação e térmico) demonstraram sorção semelhante, sem diferença significativa, conforme o Teste de Tukey com 95% de confiança. As caracterizações das fibras indicaram alterações benéficas para a sorção após os pré-tratamentos. Assim, este estudo destaca o potencial do biossurfactante como um solvente biológico no pré-tratamento das fibras de coco, visando sua utilização como bioadsorventes de petróleo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH/ANP - PRH36/UFBA), suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas qualificadas na Cláusula de PD&I da Resolução ANP nº 50/2015. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

- Cardoso, C.K.M.; Mattedi, S.; Lobato, A.K.C.; Moreira, I.T.A. Remediation of petroleum contaminated saline water using value-added adsorbents derived from waste coconut fibers. *Chemosp.*, v. 279, p. 130562, 2021.
- Goshadro, A. A novel sequential ultrasound-rhamnolipid assisted [EMIM]OAc pretreatment for enhanced valorization of invasive Cogon grass to bioethanol. *Fuel*, v. 290, p. 119997, 2021.
- Kumar, N.P.; Chellapandian, M.; Arunachalam, N.; Vincent P. Materials Today: Proceedings Effect of mercerization on the chemical characteristics of plant-based natural fibers. *Maters Today: Proc.*, 2022.
- Pereira, J.F.B.; Gudina, E.J.; Costa, R.; Vitorino, R.; Teixeira, J.A.; Coutinho, J.A.P.; Rodrigues, L.R. Optimization and characterization of biosurfactant production by *Bacillus subtilis* isolates towards microbial enhanced oil recovery applications. *Fuel*, 111, p. 259-268, 2013.
- Tong, L.; Liu, W.; Lin, W.; Guo, C.; Yang, J.; Wei, Y.; Xie, Y.; Liu, S.; Dang, Z. Biosurfactant rhamnolipid enhanced modification of corn stalk and its application for sorption of phenanthrene. *Water Sci. Technol.*, v.76, n.5, p. 1167-1176, 2017.
- Yang, Z.; Zu, Y.; Zhu, J.; Jin, M.; Cui, T.; Long, X. Application of biosurfactant surfactin as a pH-switchable biodemulsifier for efficient oil recovery from waste crude oil. *Chemosp.*, v. 240, p. 124946, 2020.



SELEÇÃO DE COLÔNIAS DE BACTÉRIAS PRODUTORAS DE BIOSURFACTANTES DE AMOSTRAS DE SOLO DO LEITO DO RIO AMAZONAS, MACAPÁ - AP

Iris Souza Telis, 2Marcelo Silva Andrade

1 Universidade do Estado do Amapá, e-mail: iristeles18@gmail.com; 2 Universidade do Estado do Amapá, e-mail: marcelo.andrade@ueap.edu.br;

Palavras-chave: Índice de Emulsificação; Querosene; Descontaminação.

Resumo

A cidade de Macapá está intimamente ligada ao rio Amazonas, principalmente por não ter ligação comercial terrestre com outros estados do país, nesse sentido, é necessário cruzar o rio para receber ou enviar mercadorias. A rampa do Açaí no bairro Santa Inês assume um papel importante nesse processo, visto que, é um local de comércio, recebe diariamente trabalhadores, e ainda, o embarque e desembarque de produtos, nesse contexto, observa-se a movimentação de muitas embarcações que utilizam óleos lubrificantes em seus motores que inevitavelmente acabam sendo descartados neste local. Os surfactantes químicos têm sido empregados no tratamento de ambientes contaminados, já que podem ser eficientemente aplicados no controle de derrames de óleo. No entanto, vem crescendo a substituição de surfactantes químicos pelos naturais, os chamados biosurfactantes, produzidos por bactérias, fungos e leveduras. Esse fato é motivado pela necessidade da diminuição de produtos não biodegradáveis e menos agressivos ao ambiente. Assim, este estudo buscou selecionar e avaliar colônias de bactérias produtoras de biosurfactantes de amostras de solo do leito do Rio Amazonas da rampa do Açaí. As amostras de solo foram coletadas em três subamostras aleatórias de solo superficial (1 a 10 cm de profundidade) com uma distância de aproximadamente 20 metros entre uma coleta e outra. Exatos 10 g de amostra de solo foram agitadas em 90mL de água peptonada por 30 minutos e deixado em repouso por mais 30 minutos para precipitação das partículas do solo. Do sobrenadante, 1 mL foi inoculado em 100 mL de caldo nutriente e agitado por 72 horas a temperatura ambiente. A cultura obtida foi submetida a uma diluição seriada e cada diluição foi plaqueada em triplicata pelo método de espalhamento sobre o ágar nutriente. Em seguida, as colônias morfológicamente diferentes foram selecionadas para o teste de emulsificação. Estas foram cultivadas em tubos Falcon contendo 3 mL de caldo nutriente com 1% de azeite de oliva e incubadas a temperatura ambiente por 5 dias. Após este período, os tubos foram agitados em um agitador vórtex por 2 minutos e deixado em repouso por 5 minutos. A razão entre a altura da camada emulsificada (cm) e altura total da coluna (cm) vezes 100 e expressa em porcentagem (Figura 1), determinou o chamado índice de emulsificação (IE 1). O IE é uma análise indireta da presença de biosurfactante, sua presença está relacionada a altas taxas de emulsão e estabilidade da emulsão (De Melo Santos *et al*, 2018). Após 24 horas de incubação a mesma medição foi conduzida, então o IE 2 foi obtido. A razão entre os índices 2 e 1, expressa em %, demonstrou a estabilidade do emulsificante. O índice de emulsificação foi mensurado por até 72 horas (Carvalho, 2012). Das 50 colônias selecionadas, 9 apresentaram resultados positivos para a produção de biosurfactantes, estas foram submetidas ao teste de emulsificação a 5 minutos, 24, 48 e 72 horas, apresentando camada instável. Das 9 colônias, 7 apresentaram camada emulsificante igual ou maior que 30% (Figura 2). Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Gasparin (2012) que obteve índices de emulsificação entre 30 a 50%. Os maiores índices foram obtidos após 5 minutos, como as colônias BSF 20, BSF 15 e BSF 32 que obtiveram 46% e 41% respectivamente. No entanto, quanto à estabilidade, observa-se que estas colônias apresentaram uma diminuição gradativa ao longo do tempo, com exceção da colônia BSF 19. O conceito de estabilidade da emulsão está sempre relacionado à constância ou ao colapso de um sistema distribuído sob certas condições. Salager (2000) menciona que um sistema emulsionado é estável se não mudar suas propriedades por mais de três anos, e instável se a separação de fases ocorrer após alguns minutos. Segundo o autor, tudo que está entre esses extremos é necessário quantificar, de alguma forma, o desenvolvimento da estabilidade ao longo do tempo. Nesse sentido, vários fatores influenciam na estabilidade das emulsões, incluindo viscosidade, tamanho da gota, razão volumar da fase, temperatura, PH, envelhecimento da emulsão, tipo do emulsificante presente, diferença de densidade e agitação (Goodwin, 2004). Dessa forma, é necessário avaliar os aspectos que possam influenciar a instabilidade da emulsificação, afinal, é fundamental analisar o comportamento destes compostos para que sua utilização seja viabilizada. Este estudo demonstrou que as bactérias produtoras de biosurfactantes do solo da Rampa do Açaí da cidade de Macapá, apresentaram bons índices de emulsificação nos primeiros 5 minutos, no entanto, a grande maioria se mostrou instável ao longo do tempo, dessa forma, se faz necessário avaliar os aspectos internos e externos que possam influenciar na instabilidade da emulsão destas, para que possam ser utilizadas de maneira eficaz no tratamento de solos contaminados com óleos.

$$IE = \frac{\text{altura da camada de emulsão}}{\text{altura da camada total}} \times 100$$

Figura 1 - Fórmula para calcular o Índice de Emulsificação (IE)

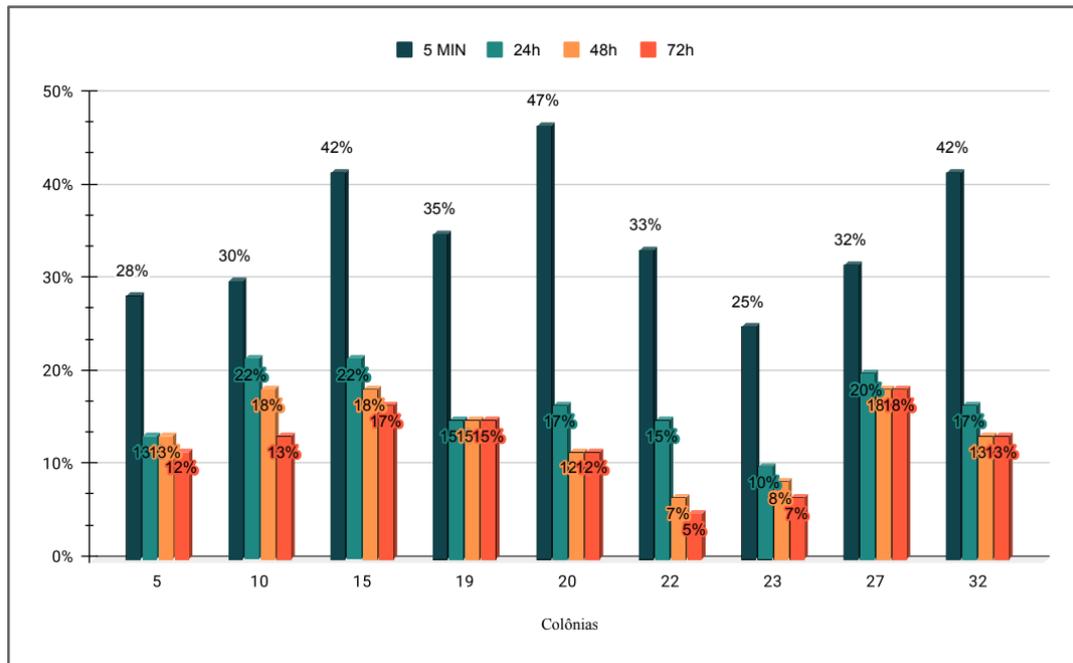


Figura 2 - Índice de Emulsificação no intervalo de tempo de 5 minutos, 24, 48 e 72 horas.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer a Universidade do Estado do Amapá pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

- Carvalho, L.C.T.; 2012. Produção de lipases e biossurfactantes por bactérias isoladas de um solo contaminado com óleo vegetal. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Molecular) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/handle/tede/3643>. Acesso em: 15 de set. 2023.
- De Melo Santos, S. F.; De Melo, A. L. M; Lima, A. O.; Pereira, L. M. S.; Santos, F. A.; De Medeiros, N. M.; Da Silva, M. G. B.; 2018. Avaliação da Produção de Biossurfactante a Partir de Diferentes Fontes de Carbono por Candida *Cuilliermondii*. Revista Saúde & Ciência Online, v. 7, n. 2, p. 413-425, <https://doi.org/10.35572/rsc.v7i2.126>.
- Gasparin, F. G. M., Magri, A., Neves, A. F., & Celligoi, M. A. P. C.; 2012. Produção de lipase e biossurfactante por isolado de efluente de laticínio. BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports, Londrina, v. 1, n. 1, p. 28-31, <https://doi.org/10.5433/2316-5200.2012v1n1p28>
- Goodwin, J.W.; 2004. Colloids and Interfaces with Surfactants and Polymers – An Introduction. England, John Wiley and Sons LTD, <https://doi.org/10.1002/0470093919>
- Salager, J.L.; 2000. “Emulsion Properties and Related Know-how to Attain Them”. In: Marti-Mestres, G.; Nielloud, F. Pharmaceutical emulsions and suspensions, cap. 2 e 3, New York, Marcel Dekker Inc., DOI:10.1201/b14005-4



CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO DO BIOMA MATA ATLÂNTICA BASEADO EM SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

1Frederico Belfort Poletti, 2Karina Leonetti Lopes, 3João Victor Prado, 4José Arnaldo Frutuoso Roveda

5Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda

1 UNESP, poletti.fb@unesp.br; 2 UNESP, karina.leonetti@unesp.br; 3 UNESP, jv.prado@unesp.br; 4 UNESP, jose.roveda@unesp.br; 5 UNESP, sandra.regina@unesp.br

Palavras-chave: Classificação de Vegetação, Estágio de Regeneração, Sistema Fuzzy.

Introdução

O crescimento dos núcleos urbanos tem gerado diversas demandas por infraestrutura, tais como moradia, transporte, trabalho, saúde, educação e lazer. Tais demandas ocasionam modificações na paisagem decorrente da conversão de área de vegetação para outros usos, o que acaba comprometendo a qualidade do meio físico e, conseqüentemente, a qualidade de vida dos habitantes (SILVA, LONGO, et al, 2019; LONDE e MENDES, 2014).

Um fragmento florestal pode ser definido como uma área de vegetação natural interrompidas por barreiras antrópicas (estradas, povoados etc.) ou naturais (lagos, represas, cursos d'água etc.) os quais são capazes de diminuir significativamente o fluxo gênico, tais como animais, pólen e/ou sementes, acarretando alterações na paisagem natural e na dinâmica biótica e abiótica no interior dos fragmentos florestais (VIANA, 1990). Embora o processo de fragmentação implique em diversas mudanças na paisagem, as respostas de cada espécie a este processo variam de acordo com o histórico, o tamanho, forma e grau de isolamento dos fragmentos, bem como o uso e ocupação do solo e a sensibilidade de cada espécie presente na paisagem (MASSOLI, STATELLA e SANTOS, 2016; LAURANCE e VASCONCELOS, 2009).

O principal efeito do processo de fragmentação é a criação de novas áreas de borda, a qual é representada pela interação do remanescente florestal com o novo ambiente de entorno. As diferenças físicas entre as áreas centrais e as bordas do fragmento de vegetação também repercutem sobre a fauna e flora, de tal forma que as áreas centrais apresentam maior riqueza e diversidade de espécies do que as áreas de borda que apresentam menor diversidade e maior abundância de árvores de espécies pioneiras e regenerantes mais adaptadas e tolerantes a perturbações (OLIVEIRA, MARANGON, et al., 2015).

A Política Nacional do Meio Ambiental, instituída pela Lei Federal nº 6.938/1981, estabeleceu o Licenciamento Ambiental como um dos instrumentos relacionados ao cumprimento das diretrizes estabelecidas (BRASIL, 1981). Já o art. 2º do Código Florestal, instituído pela Lei Federal nº 12.651/2012, discorre sobre o caráter de interesse público das florestas e demais formas de vegetação nativa. Desta forma, toda e qualquer supressão de árvore ou vegetação nativa está sujeita a obtenção de autorização junto ao órgão ambiental competente, sendo sua viabilidade e percentual de supressão relacionado ao estágio de regeneração que a vegetação se encontra e o zoneamento da área.

No Estado de São Paulo a Resolução Conjunta SMA/IBAMA nº 01/94 atualmente orienta os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa definindo o que é considerado vegetação Primária e Secundária e seus respectivos estágios de regeneração (Pioneiro, Inicial, Médio e Avançado). Para avaliação do estágio de regeneração do Bioma Mata Atlântica, parâmetros relacionados a estrutura do fragmento, às espécies existente e as características dendrométricas dos indivíduos arbóreos existentes no fragmento são analisadas para avaliar a classificação do estágio sucessional da vegetação (SÃO PAULO, 1994).

Embora os parâmetros sejam bem definidos na legislação, a classificação nem sempre é clara e objetiva quando aplicada em campo. Sendo assim, é comum encontrar situações em que um determinado fragmento apresente características de mais de um estágio de regeneração, implicando em dúvidas em sua classificação, o que acaba abrindo espaço para decisões subjetivas por parte dos técnicos responsáveis pela classificação. Considerando a possibilidade de subjetividade na classificação da vegetação, não é incomum a existência de divergências entre a feita pelo técnico responsável pela elaboração do estudo e o técnico responsável pela análise do pedido dentro do órgão ambiental, o que acabam gerando conflitos. A divergência entre as classificações implica em gasto financeiros e tempo na elaboração de recursos por parte do interessado, enquanto o órgão ambiental irá arcar com o tempo técnico para avaliar o recurso impetrado o qual, muitas vezes, se desenvolve com o acionamento de um ou mais técnicos ou até mesmo outros setores da companhia na tentativa de reduzir a subjetividade na avaliação da classificação da vegetação.

Diante do exposto, este artigo propõe uma metodologia baseada em sistema de inferência fuzzy para auxiliar a classificação da vegetação do Bioma Mata Atlântica, utilizando as características dendrométricas, estruturais e morfométricas dos fragmentos de vegetação.

Materiais e Métodos

Considerando que variável a ser modelada é o estágio de regeneração da vegetação do Bioma Mata Atlântica, utilizou-se uma adaptação da subdivisão indicada na Resolução Conjunta SMA nº 01/94. Para a modelagem Fuzzy, inicialmente separou-se os aspectos avaliados em subconjuntos que apresentam parâmetros numéricos (Altura e Diâmetro), daqueles relacionadas às condições e/ou característica do maciço florestal. Assim, para estas variáveis que não são numericamente estabelecidas, atribuiu-se uma matriz de correlação entre a condição observada e um valor numérico para elaboração dos intervalos Fuzzy. Para tanto,



identificou-se os aspectos principais avaliados para determinação dos estágios de regeneração, denominado, neste artigo, como “aspectos”. Posteriormente, atribuiu-se pesos a cada um deles, visto que determinados aspectos são mais determinantes para a classificação do que outros. A atribuição de pesos aos aspectos foi realizada por meio de um formulário de pesquisa enviado a 12 especialistas em classificação de vegetação.

Após à definição dos aspectos e de seus respectivos pesos, atribuiu-se pesos para cada estágio de regeneração, de forma que os estágios mais novos ficassem com menor peso que os mais avançados.

Posteriormente foi feita a atribuição dos pesos final de cada aspecto avaliado em cada estágio de regeneração multiplicando-se o peso do estágio pelo do aspecto avaliado. Os valores obtidos foram resumidos na Tabela 6.

Peso dos Estágios	Aspecto	Peso final	Aspecto	Peso final	Aspecto	Peso final	Aspecto	Peso final
1	Fisionomia e Estrutura	4,53	Trepadeira	3,41	Diversidade Biológica	4,41	Serrapilheira	3,94
2		9,06		6,82		8,82		7,88
3		13,59		10,23		13,23		11,82
4		18,12		13,64		17,64		15,76
1	Epífitas	3,47	Sub-bosque	3,94	Espécies	2,94		
2		6,94		7,88		5,88		
3		10,41		11,82		8,82		
4		13,88		15,76		11,76		

Tabela 6. Definição de pesos final para os aspectos para cada estágio de regeneração.

A partir dos valores obtidos, foram elaboradas as funções de pertinências para cada subconjunto (Altura, Diâmetro e Índice de Estrutura e Biodiversidade) considerando os atributos avaliados conforme fluxograma estabelecido na Figura 7.

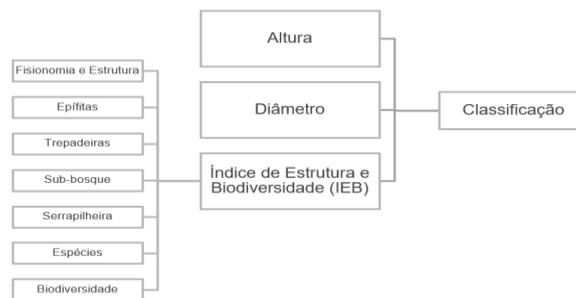


Figura 7. Estrutura dos sistemas para classificação da vegetação.

Após construir o sistema Fuzzy de classificação de vegetação do Bioma de Mata Atlântica e sua base de regras, realizou-se a vistoria a 6 fragmentos florestais (áreas) com o objetivo de classificar o estágio de regeneração de cada uma delas. Finalmente, comparou-se as classificações obtidas por meio do sistema Fuzzy com as classificações obtidas em campo.

Resultados

A classificação da vegetação realizada por meio do sistema Fuzzy foi submetida a validação comparando com classificação obtida por meio de vistorias de campo realizadas em 6 áreas distintas por especialistas em classificação de vegetação.

As áreas 5 e 6, por exemplo, estão localizadas sob as coordenadas UTM, 23K, SIRGAS2000, 298.017 m E, 7.397.650 m S e 297.9 E, 7.397.685 m S e são fragmentos de vegetação que, embora sejam contíguos, apresentam estágios de regeneração diferenciados. Tal fato pode ser explicado quando observada as imagens históricas disponíveis para o ano de 2002 e 2022 conforme indicado na Figura 2. Na primeira identificamos que apenas a porção oeste da área se encontrava recoberta por vegetação de porte arbóreo, enquanto na imagem de 2022 observamos que a vegetação regenerou em toda área, entretanto, a vegetação localizada a oeste da área é mais antiga e, portanto, espera-se uma diferença nas condições estruturais e dendrométricas desta vegetação a qual foi observada e constatada em campo.



Figura 8. Área objeto da quinta e sexta vistoria. A) Imagem de 2002. B) Imagem de 2022.



A compilação dados coletados e a classificação realizada em campo, assim como, a resposta do sistema Fuzzy, estão compiladas na Tabela 7. Ressalta-se que diâmetro ou DAP (Diâmetro à Altura do Peito) é o diâmetro do caule da árvore à altura de, aproximadamente, 1,3m (um metro e trinta centímetros) do solo.

Área	Altura (m)	Diâmetro DAP (cm)	IEB	Classificação das vistorias	Classificação do Sistema Fuzzy	
1	8,00	20,69	67,28	M	7,13	M
2	5,00	12,48	59,34	I	4,10	I
3	10,00	19,00	61,69	M	6,51	M
4	6,99	15,38	45,87	I	4,93	I
5	9,00	23	68,57	M	7,13	M
6	8,00	11	53,28	I	3,44	I

Tabela 7. Dados obtidos nas vistorias de campo comparados a classificação obtida por meio do sistema Fuzzy.

Conforme observa-se na Tabela 7 o sistema Fuzzy apresentou as mesmas classificações da vegetação apontadas pelas vistorias dos especialistas em campo.

Conclusão

A presente proposta de classificação de vegetação do Bioma Atlântico baseado em sistema de inferência Fuzzy, assim como qualquer modelagem ambiental, apresenta limitações em sua aplicação e deve-se ter ciência destas quando da sua aplicação. Entretanto, para as áreas estudadas neste artigo, o modelo proposto demonstra ter potencial para balizar a forma de avaliação destas diferentes informações possibilitando padronizar a classificação da vegetação em áreas do Bioma de Mata Atlântica removendo fatores subjetivos intrínsecos do técnico responsável pela classificação.

Futuros estudos do presente trabalho podem abordar sistematicamente a implicação de tais condições nas características da vegetação, criando-se modelos específicos para cada região ou condição na qual a vegetação sujeita. Outra vertente de suma importância estaria relacionada não somente a caracterização do estágio da vegetação, mas uma proposta de revisão da própria legislação que disciplina o processo de supressão sob a ótica relacionada a relevância ambiental do fragmento de vegetação estudado, uma vez que, atualmente, a legislação leva em consideração tão somente o estágio de regeneração da vegetação e não à função ecológica que o fragmento desempenha no meio ambiente. Como resultado disso a legislação vigente favorece a fragmentação dos grandes fragmentos de vegetação, de maior relevância ambiental, e proporciona maior condição de preservação dos pequenos fragmentos que não desempenham ou não tem condições de desempenhar um papel na preservação das condições ecológicas mínimas para manutenção da fauna e flora mais sensíveis a perturbações.

Referências Bibliográficas

- BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei Federal nº 6.938/1981, 1981. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm>. Acesso em: 12 abril 2023.
- LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. Rio de Janeiro: O ecologia Brasiliensis, v. 13, 2009. 434-451 p.
- LONDE, P. R.; MENDES, P. C. A influência das áreas verdes na qualidade de vida urbana. n. 18, p. 264-272. ed. Uberlândia: Hygeia, v. 10, 2014.
- MASSOLI, J. V.; STATELLA, T.; SANTOS, V. S. Estimativa da fragmentação florestal na microbacia Sepotubinha. Nova Marilândia: Caminhos de Geografia, v. 17, 2016. 480-60 p.
- OLIVEIRA, L. S. C. D. et al. Edge effect in Atlantic Forest Remnants in the watershed of the river Tapacurá, Perbambuco. Lavras: Cerne, v. 21, 2015. 169-174 p.
- SÃO PAULO. Resolução Conjunta SMA IBAMA/SP nº 001, de 17 de fevereiro de 1994, 1994. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/wp-content/uploads/sites/32/2019/05/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-IBAMA-n%C2%BA-01-1994.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2023.
- SILVA, A. L. et al. Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. n. 3, p. 1254-1269. ed. Santa Maria: Ciência Florestal, v. 29, 2019.
- VIANA, V. M. Biologia e manejo de fragmentos florestais naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6. Anais. Campos do Jordão: SBS/SBEF. 1990. p. 113-118.