

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO ARROIO DO SALSO, PORTO ALEGRE/RS, ENTRE OS ANOS DE  
2002 E 2022.**

ALEXANDRE E. P. WENTZ

PORTO ALEGRE/RS

2023

ALEXANDRE EDSON PERIN WENTZ

**A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO ARROIO DO SALSO, PORTO ALEGRE/RS, ENTRE OS ANOS DE  
2002 E 2022.**

Dissertação de pesquisa destinado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção da titulação de Mestre em Geografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Luís Alberto Basso

Porto Alegre/RS

2023

### CIP - Catalogação na Publicação

Wentz, Alexandre Edson Perin  
A degradação ambiental urbana na bacia hidrográfica  
do Arroio do Salso, Porto Alegre/RS, entre os anos de  
2002 e 2022. / Alexandre Edson Perin Wentz. -- 2023.  
230 f.  
Orientador: Luís Alberto Basso.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS,  
2023.

1. Qualidade e Degradação Ambiental. 2. Bacia  
Hidrográfica. 3. Qualidade da Água. 4. Meio Urbano. 5.  
Índices Ambientais. I. Basso, Luis Alberto, orient.  
II. Título.

**ALEXANDRE EDSON PERIN WENTZ**

**A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
ARROIO DO SALSO, PORTO ALEGRE/RS, ENTRE OS ANOS DE 2002 E 2022.**

Dissertação de pesquisa destinado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção da titulação de Mestre em Geografia.

Aprovado em: 19/06/2023.

---

Prof. Dr. Luís Alberto Basso (Orientador)  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Dr<sup>a</sup>. Nina Simone Vilaverde Moura  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

---

Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

---

Dr<sup>a</sup>. Teresinha Guerra  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que fizeram parte da minha jornada como mestrando. Primeiramente, agradeço aos meus familiares que muito me apoiaram nesta jornada, em especial, minha mãe Agenezi Perin, meu pai Eliseu Wentz, e minha companheira de vida Marília Cerciná. Também agradeço com carinho ao Luís Alberto Basso, Marcos Wellausen Dias de Freitas, Nina Simone Vilaverde Moura, Paulo Roberto Rodrigues Soares, Sumirê da Silva Hinata e a todos os professores que tive contato ao longo da graduação e do mestrado, em especial ao corpo docente do POSGEA e aos colegas de disciplinas do mestrado. Também agradeço as pessoas e instituições que me ajudaram e apoiaram nesta jornada: Mateus Signori, Débora Camargo Strada, Fabiane de Vargas Zandavalli, Natasha Franzen; DMAE, CAPES, banda Nightwolf, equipe do IBGE, que juntos realizamos o Censo Demográfico 2022 (em especial a minha equipe de recenseadores e supervisores), e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Por fim, dedico minha dissertação aos meus filhos Benjamin e Pietro, que eles possam desfrutar de águas limpas ao longo de suas vidas.

*“A água é o princípio de tudo”*

*Tales de Mileto*

## RESUMO

As capitais brasileiras costumam apresentar diversos problemas ambientais e, em muitos casos, a ocupação de áreas inapropriadas ocasiona danos e riscos ambientais à população. A Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso (BHAS) é a maior do território do município de Porto Alegre – RS, e possui diferentes tipos de uso e cobertura da terra. Ela contém alguns núcleos urbanos densos, ocupação urbana rarefeita, cultivos, e grande parte de sua área com cobertura vegetal, com destaque para as áreas de vegetação nativa preservada. O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA, 2010) do município, caracteriza a BHAS como área de interesse tanto para a preservação e conservação ambiental, como à expansão urbana de Porto Alegre. A presente pesquisa avalia a evolução da degradação ambiental urbana da BHAS entre o período de 2002 a 2022, e sugere áreas de preservação, conservação e recuperação ambiental, assim como aquelas mais adequadas à expansão urbana. Para tal, foi realizada pesquisa bibliográfica e documental, e aplicação de índices ambientais. Foi proposto um Índice de Degradação Ambiental Urbana (IDAU), tendo em vista os problemas mais comuns no meio urbano, como: supressão da cobertura vegetal, poluição hídrica, assoreamento, erosão, desastres e vulnerabilidade social. Constatou-se que houve ampliação da área urbana em detrimento da superfície ocupada por vegetação, onde parte dessa expansão ocorreu em áreas inadequadas, com alta suscetibilidade à inundação e aos processos erosivos e movimentos de massa, assim como em Áreas de Preservação Permanente (APPs). A aplicação do Índice de Qualidade de Água (IQA) evidenciou a piora da qualidade das águas da BHAS. Entretanto, de maneira geral, observou-se uma melhora quanto às condições de vulnerabilidade social. O IDAU permitiu espacializar a degradação ambiental urbana, discriminando as áreas em classes de qualidade ambiental no período de 2002 a 2022. Em 2002 houve predominância de áreas classificadas como “moderada” e “boa”, já em 2022 predominaram as áreas consideradas como “muito boa”, seguidas de áreas classificadas como “moderada”. As classes “muito boa” e “crítica” foram as duas que demonstraram crescimento em percentual representativo da área da BHAS. Propõe-se a preservação e recuperação das APPs, assim como a conservação de núcleos de vegetação nativa, principalmente no entorno das APPs. Quanto às áreas adequadas à expansão urbana, estas encontram-se nas áreas de “baixa” e “média” suscetibilidade à inundação e aos processos erosivos e movimentos de massa.

**Palavras-Chave:** Qualidade Ambiental; Bacia Hidrográfica; Meio Urbano; Índices Ambientais.

## ABSTRACT

Brazilian capitals usually present several environmental problems and, in many cases, the occupation of inappropriate areas causes environmental damage and risks to the population. The Arroyo Salso Watershed (ASW) is the largest in the territory of the city of Porto Alegre – RS, and has different types of use and land cover. It contains some dense urban centers, rarefied urban occupation, crops, and much of its area has vegetation cover, with emphasis on areas of preserved native vegetation. The city's Master Plan for Urban and Environmental Development (MPUED, 2010) characterizes the ASW as an area of interest both for environmental preservation and conservation, as well as for the urban expansion of Porto Alegre. The present research evaluates the evolution of urban environmental degradation in the ASW between 2002 and 2022, and suggests areas of preservation, conservation and environmental recovery, as well as those most suitable for urban expansion. To achieve this goal, bibliographic and documentary research were carried out, and environmental indexes were applied. An Urban Environmental Degradation Index (UEDI) was proposed, taking into account the most common problems in urban environments, such as: suppression of vegetation cover, water pollution, siltation, erosion, disasters and social vulnerability. An expansion of the urban area to the detriment of the surface occupied by vegetation was observed, in which part of this expansion occurred in inappropriate areas, with high susceptibility to flooding, erosive processes and mass movements, as well as in Permanent Preservation Areas (PPAs). The application of the Water Quality Index (WQI) showed the worsening of the water quality in the ASW. However, in general, there was an improvement in the conditions of social vulnerability. The UEDI allowed the specialization of urban environmental degradation by discriminating the areas into environmental quality classes in the time spanning from 2002 to 2022. In 2002, there was a predominance of areas classified as “moderate” and “good”, whereas in 2022, the areas considered as “very good” predominated, followed by areas classified as “moderate”. The “very good” and “critical” classes were the two that showed growth in a representative percentage of the ASW area. The preservation and recovery of the PPAs are proposed, as well as the conservation of native vegetation nuclei, especially in the surrounding areas of those PPAs. As for the areas suitable for urban expansion, these can be found where there is “low” and “medium” susceptibility to flooding, erosive processes and mass movements.

**Keywords:** Environmental Quality; Watershed; Urban Environment; Environmental Indexes.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Situação e Localização Geográfica da BHAS. ....	21
Figura 2 - Mapa com os Bairros, Macrozonas e Morros na BHAS. ....	22
Figura 3 - Médias Climatológicas para Porto Alegre. ....	24
Figura 4 - Mapa da Geologia da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso. ....	25
Figura 5 - Mapa dos Solos da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso. ....	26
Figura 6 - Mapa da Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso. ....	27
Figura 7 - Unidades Geomorfológicas da BHAS. ....	28
Figura 8 - Esquema de estruturação metodológica da pesquisa. ....	34
Figura 9 - Períodos da história do pensamento geográfico. ....	35
Figura 10 - Classes de Qualidade da Água e usos preponderantes, classificação segundo Resolução CONAMA 357/2005. ....	61
Figura 11 - Divisão Espacial de Porto Alegre segundo PDDUA (2010). ....	80
Figura 12 - Mapa de Localização dos Pontos Amostrais (2001/2002). ....	86
Figura 13 - Mapa de Localização dos Pontos Amostrais (2021/2022). ....	88
Figura 14 - P1 localizado no Arroio Rincão (10/01/2022). ....	90
Figura 15 - P2 localizado no trecho superior do Arroio do Salso (10/01/2022). ....	91
Figura 16 - P3 localizado no curso médio do Arroio do Salso (10/01/2022). ....	91
Figura 17 - Equipamentos e materiais de coleta de amostras de água. ....	92
Figura 18 - Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA. ....	94
Figura 19 - Classes de qualidade da água conforme resultado do IQA. ....	96
Figura 20 - Faixas de Vulnerabilidade Social por Classes do IVS. ....	101
Figura 21 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos e operacionais para elaboração do mapa de degradação ambiental urbana da BHAS. ....	102
Figura 22 - Modelo Digital de Elevação (MDE) da BHAS. ....	112
Figura 23 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra em 2003. ....	121
Figura 24 - Vegetação Nativa. ....	123
Figura 25 - Vegetação Nativa. ....	123
Figura 26 - Vegetação Nativa. ....	123
Figura 27 - Vegetação Exótica e Secundária (11/2019). ....	124
Figura 28 - Área de Cultivo. ....	125
Figura 29 - Área Urbana - Bairro Restinga (2012). ....	125
Figura 30 - Área Urbana - Bairro Hípica. ....	126
Figura 31 - Área de Mineração. ....	126
Figura 32 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra em 2022. ....	128
Figura 33 - Área de Cultivo (11/2019). ....	130

Figura 34 - Expansão Urbana no Bairro Hípica.....	131
Figura 35 - Novos condomínios - Bairro Restinga (09/2021).....	132
Figura 36 - Gráfico comparativo do Uso e Cobertura da Terra na BHAS entre 2003 e 2022. .....	133
Figura 37 - Assoreamento no Arroio do Salso - Curso Médio (11/2019).....	134
Figura 38 - Assoreamento no Arroio do Salso - Curso Inferior (11/2019). ....	134
Figura 39 - Uso e Cobertura da Terra em APP (2003).....	136
Figura 40 - Mata Ripária em APP no curso inferior do Arroio do Salso (11/2019).....	137
Figura 41 - Ocupação Urbana Irregular em APP do Arroio Rincão (01/2022). ....	138
Figura 42 - Uso e Cobertura da Terra em APP (2022).....	139
Figura 43 - Mapa de suscetibilidade à inundação e aos processos erosivos e de movimentos de massa na BHAS. ....	142
Figura 44 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra (2003) em Áreas de Suscetibilidade à Inundação. ....	146
Figura 45 - Área Inundada na Rua Túnel Verde 27/09/2009. ....	147
Figura 46 - Área Inundada na Rua Túnel Verde 28/09/2009. ....	148
Figura 47 - Área Inundada na Rua Dorival Castilho Machado.....	148
Figura 48 - Área Inundada pela cheia do Guaíba em outubro de 2015.....	149
Figura 49 - Área Inundada pela cheia do Guaíba em outubro de 2015.....	149
Figura 50 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra (2022) em Áreas de Suscetibilidade à Inundação. ....	151
Figura 51 - Relação do Uso e Cobertura da Terra x Suscetibilidade à Inundação (2003/2022). .....	153
Figura 52 - Mapa do Uso e Cobertura da Terra (2003) em Áreas de Suscetibilidade aos Processos Erosivos e Movimentos de Massa. ....	154
Figura 53 - Mapa do Uso e Cobertura da Terra (2022) em Áreas de Suscetibilidade aos Processos Erosivos e Movimentos de Massa. ....	156
Figura 54 - Relação Uso e Cobertura da Terra x Suscetibilidade aos Processos Erosivos e Movimentos de Massa (2003/2022).....	158
Figura 55 - Mapa de Classificação do IQA Médio das campanhas 2001/2002.....	161
Figura 56 - Mapa de Classificação do IQA Médio das campanhas 2021/2022.....	164
Figura 57 - Gráfico de Chuva Acumulada Mensal em Porto Alegre (2021).....	165
Figura 58 - Gráfico de Chuva Acumulada Mensal em Porto Alegre (2022).....	166
Figura 59 - Gráfico da Chuva Acumulada Diária no Mês de Setembro de 2021.....	167
Figura 60 - Gráfico da Chuva Acumulada Diária no Mês de Janeiro de 2022. ....	167
Figura 61 - Mapa de localização dos Pontos Amostrais do Plano de Manejo do Refúgio de Vida Silvestre São Pedro .....	168
Figura 62 - Quadro com os parâmetros por grupos para aplicação do IQA-CCME de Strada (2021).....	170
Figura 63 - Gráfico da evolução temporal anual do IQA - CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 na estação 71B.....	171

Figura 64 - Gráfico da evolução temporal anual do IQA - CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 na estação 71B.....	171
Figura 65 - Mapa de Planejamento para Universalização do SES Salso.....	173
Figura 66 - Gráfico da evolução dos valores de OD, Estação 71B do DMAE - 2002-2022. ....	174
Figura 67 - Gráfico da evolução dos valores de Coliformes Fecais e E. Coli, Estação 71B do DMAE - 2002-2022.....	175
Figura 68 - Gráfico da evolução dos valores de DBO, Estação 71B do DMAE -2002-2022. ....	176
Figura 69 - Gráfico da evolução dos valores de Condutividade Elétrica, Estação 71B do DMAE - 2002 - 2022. ....	177
Figura 70 - Gráfico da evolução temporal anual do IQA - CCME para as categorias do Grupo 2 na estação 71B.....	178
Figura 71 - Mapa de Vulnerabilidade Social na BHAS em 2000. ....	180
Figura 72 - Mapa de Vulnerabilidade Social na BHAS em 2010. ....	184
Figura 73 - Gráficos com o percentual de acessibilidade das escolas de ensino infantil e fundamental. ....	188
Figura 74 - Gráfico percentual de acessibilidade das escolas de ensino médio. ....	189
Figura 75 - Mapa de localização dos equipamentos de educação. ....	189
Figura 76 - Gráfico com percentual de acessibilidade dos postos de saúde e hospitais. ....	190
Figura 77 - Mapa de acessibilidade dos hospitais.....	191
Figura 78 - Mapa de localização dos equipamentos públicos de lazer. ....	192
Figura 79 - Gráficos com o percentual de acessibilidade das praças e campos de esporte. ....	192
Figura 80 - Mapa da Degradação Ambiental Urbana em 2002.....	194
Figura 81 - Mapa da Degradação Ambiental Urbana em 2022.....	199
Figura 82 - Gráfico Comparativo (2002 – 2022) dos Percentuais de Cada Classe Ambiental na BAHS. ....	202
Figura 83 - Mapa das Áreas da BHAS a Serem Preservadas, Conservadas e Recuperadas. ....	204
Figura 84 - Mapa das Áreas Adequadas à Ocupação Urbana. ....	209

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual das Classes de Uso e Cobertura da Terra na BHAS em 2003.....	122
Tabela 2 - Percentual das Classes de Uso da e Cobertura da Terra na BHAS em 2022....	129
Tabela 3 - Uso e Cobertura da Terra em APP em 2003 e 2022.....	140
Tabela 4 - Área das classes de suscetibilidade à inundação e aos processos erosivos e movimentos de massa em relação a BHAS. ....	143
Tabela 5 - Dados brutos dos parâmetros de qualidade da água das campanhas amostrais (2001/2002). ....	159
Tabela 6 - Dados brutos dos parâmetros de qualidade da água das campanhas amostrais (2021/2022). ....	162
Tabela 7 - Resultados do IQA das campanhas amostrais do Diagnóstico do Meio Físico do Plano de Manejo do Refúgio de Vida Silvestre São Pedro. ....	169
Tabela 8 - Classes do IDAU em relação a BHAS (2002).....	195
Tabela 9 - Classes do IDAU em relação a BHAS (2022).....	200

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados socioeconômicos de regiões inseridas na BHAS. ....	30
Quadro 2 - Principais agentes poluidores das águas. ....	63
Quadro 3 - Valores da cobertura vegetal no IDA. ....	72
Quadro 4 - Valores dos solos no IDA. ....	73
Quadro 5 - Valores da declividade no IDA. ....	73
Quadro 6 - Valores da densidade demográfica no IDA. ....	73
Quadro 7 - Pressão Antrópica conforme Densidade Demográfica. ....	74
Quadro 8 - Classes do IDA. ....	74
Quadro 9 - Pontos Amostrais (2001/2002). ....	86
Quadro 10 - Pontos Amostrais (2021/2022). ....	89
Quadro 11 - Pesos relativos a cada parâmetro do IQA aplicado por Soares (2002). ....	93
Quadro 12 - Pesos relativos a cada parâmetro do IQA-CETESB. ....	93
Quadro 13 - Redistribuição dos pesos relativos a cada parâmetro do IQA para o P4. ....	97
Quadro 14 - Indicadores que compõem o Índice de Vulnerabilidade Social – IVS. ....	98
Quadro 15 - Valores representativos no IDAU para a relação do UCT com as áreas de suscetibilidade à inundação. ....	106
Quadro 16 - Valores representativos no IDAU para a relação do UCT com as áreas de suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa. ....	109
Quadro 17 - Valores do IQA no IDAU. ....	114
Quadro 18 - Valores de IVS no IDAU. ....	115
Quadro 19 - Classes do IDAU. ....	118
Quadro 20 - Legenda do mapa com dados das UDHS. ....	181
Quadro 21 - Legenda do mapa com dados das UDHS. ....	185

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ANA** – Agência Nacional de Águas  
**APP** – Área de Preservação Permanente  
**AVS** – Atlas da Vulnerabilidade Social  
**BHAS** – Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso  
**CE** – Condutividade Elétrica  
**CETESB** – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo  
**CONAMA** – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
**DAP** – Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre  
**DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
**DMAE** – Departamento Municipal de Água e Esgotos  
**ETE** – Estação de Tratamento de Esgoto  
**FEE** – Fundação de Economia e Estatística  
**IDA** – Índice de Degradação Ambiental  
**IDAU** – Índice de Degradação Ambiental Urbana  
**INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia  
**INPE** – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial  
**IPEA** – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  
**IQA** – Índice de Qualidade da Água  
**IQA-CCME** – Índice de Qualidade da Água do Canadian Council of Ministers of the Environmental  
**IQA – CETESB** - Índice de Qualidade da Água adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo  
**IQA-NSF** – Índice de Qualidade da Água da National Sanitation Foundation  
**IVS** – Índice de Vulnerabilidade Social  
**MDE** – Modelo Digital de Elevação  
**MZ** – Macrozona  
**OD** – Oxigênio Dissolvido  
**ONU** – Organização das Nações Unidas  
**PDDUA** – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental  
**pH** – Potencial Hidrogeniônico  
**PMSB** – Plano Municipal de Saneamento Básico  
**PNMA** – Política Nacional do Meio Ambiente  
**PNRH** – Política Nacional de Recursos Hídricos  
**REVIS** – Refúgio de Vida Silvestre São Pedro  
**SES** – Sistema de Esgotamento Sanitário  
**SIG** – Sistema de Informação Geográfica  
**UC** – Unidades de Conservação  
**UCT** – Uso e Cobertura da Terra  
**UDH** – Unidades de Desenvolvimento Humano

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	20
1.3	HIPÓTESES	20
<b>2</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA</b>	<b>21</b>
2.1	CONTEXTO FÍSICO-AMBIENTAL	23
2.2	ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E URBANO-AMBIENTAL	29
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO</b>	<b>33</b>
3.1	A GEOGRAFIA COMO CIÊNCIA DE ANÁLISE AMBIENTAL E TERRITORIAL	34
3.1.1	Ambiente	37
3.1.2	Espaço Geográfico	38
3.1.3	Território e Ordenamento Territorial	39
3.2	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS	39
3.3	BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE AMBIENTAL E TERRITORIAL	41
3.4	QUALIDADE E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL	42
3.4.1	Contaminação das Águas	45
3.4.2	Erosão, Assoreamento e Movimentos de Massa	46
3.4.3	Eventos de Inundação	51
3.4.4	Cobertura Vegetal e Qualidade Ambiental	58
3.5	QUALIDADE DA ÁGUA	60
3.5.1	Índice de Qualidade da Água – IQA	62
3.5.2	Uso e Cobertura da Terra e Qualidade da Água	63
3.6	SUSCETIBILIDADE, VULNERABILIDADE E RISCO AMBIENTAL	65
3.7	VULNERABILIDADE SOCIAL	67
3.8	ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL (IDA)	70
3.9	PLANEJAMENTO E GESTÃO DO ESPAÇO URBANO	76
3.9.1	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental do Município de Porto Alegre – RS	77
3.9.2	Plano de Bacia do Lago Guaíba	81

3.10	PRESERVAÇÃO, CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL .....	81
3.11	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG.....	82
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICO OPERACIONAIS .....</b>	<b>83</b>
4.1	MATERIAIS, DADOS, EQUIPAMENTOS E <i>SOFTWARES</i> .....	83
4.2	METODOLOGIA .....	84
4.2.1	Pesquisa bibliográfica e análise documental com levantamento de dados sobre a problemática.....	84
4.2.2	Levantamento de dados em campo – Coletas de amostras de água em pontos estratégicos na BHAS. ....	87
4.2.3	Aplicação do Índice de Qualidade da Água – IQA.....	92
4.2.4	Índice de Vulnerabilidade Social – IVS .....	98
4.2.5	Índice de Degradação Ambiental Urbana – IDAU.....	101
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>120</b>
5.1	USO E COBERTURA DA TERRA .....	120
5.1.1	Uso e Cobertura da Terra em APPs.....	135
5.2	SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO E AOS PROCESSOS EROSIVOS E DE MOVIMENTOS DE MASSA .....	141
5.2.1	Relação do Uso e Cobertura da Terra e Suscetibilidade à Inundação e aos Processos Erosivos e de Movimento de Massa .....	145
5.3	QUALIDADE DA ÁGUA NA BHAS.....	158
5.4	DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA VULNERABILIDADE SOCIAL NA BHAS.....	179
5.5	AVALIAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL URBANA NA BHAS .....	193
5.5.1	Situação da Degradação Ambiental Urbana em 2002.....	194
5.5.2	Situação da Degradação Ambiental Urbana em 2022.....	198
5.6	ÁREAS A SEREM PRESERVADAS, CONSERVADAS E RECUPERADAS ....	203
5.6.1	Área a serem preservadas .....	205
5.6.2	Áreas a serem conservadas .....	205
5.6.3	Áreas de Recuperação Ambiental.....	206
5.7	ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA EXPANSÃO URBANA.....	208
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>212</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>217</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O modo de produção capitalista, consolidado pelas revoluções industriais, proporcionou uma reorganização do espaço geográfico, levando ao crescimento das cidades e aumento demográfico mundial. Muitas vezes o modelo capitalista de produção e consumo aliado ao modo de produção do meio urbano ocasiona a degradação dos recursos naturais, assim como proporciona desigualdades sociais, que por sua vez, condicionam distintos graus de vulnerabilidade social e ambiental no espaço geográfico.

Ao longo do século XX houve intenso êxodo rural em escala planetária, principalmente em países industrializados, assim as cidades passaram a ser núcleos que abrigam maior parte da população e concentram as atividades sociais. Nesta perspectiva, como aponta Monte-Mór (2011) o Brasil sofreu grande êxodo rural principalmente entre 1950 e 1970, com a população urbana se tornando maior que a rural, atingindo 56% do país na década de 1970.

A industrialização e o crescimento das cidades no Brasil ocorreram de forma desordenada, ocasionando uma série de problemas ambientais. Conforme Peres e Silva (2010), a partir dos anos 1970, houve a emergência da preocupação com as questões que envolvam a qualidade ambiental, tanto em âmbito global como nacional. Assim, começou a ganhar importância o conceito de sustentabilidade, assim como as discussões sobre gestão ambiental, urbana e dos recursos hídricos, os quais passaram a ganhar destaque no campo político-social.

Nesta perspectiva, o conceito de bacia hidrográfica como unidade adequada à análise ambiental, e do planejamento e gestão territorial, passou a ser preconizado pelas conferências mundiais sobre meio ambiente e pelas políticas nacionais que abordam a temática ambiental e, em especial, dos recursos hídricos.

As bacias hidrográficas em meio urbano geralmente apresentam degradação ambiental por diferentes tipos de causas/fontes. Neste cenário, os planos diretores municipais são os instrumentos que procuram estabelecer as diretrizes que regularizam as atividades desenvolvidas em solo urbano, assim como as maneiras possíveis de ocupação do espaço geográfico. Seu objetivo principal é o ordenamento territorial, com o intuito de equacionar e minimizar os impactos ambientais negativos, visando o desenvolvimento sustentável dos municípios, por conseguinte também a

melhoria da sua qualidade ambiental. Já os planos diretores de bacia hidrográfica possuem propósitos semelhantes, porém seu foco associa-se à qualidade ambiental das bacias hidrográficas, visando equacionar e estabelecer maneiras para que os usos dos recursos hídricos sejam garantidos às gerações futuras e a todos os atores sociais que dependem deles.

A Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso (BHAS), localizada na zona sul de Porto Alegre/RS, é a maior do município. Ela abrange diferentes categorias de uso e cobertura da terra, possuindo muitas áreas com vegetação nativa preservada. Porém, nas últimas décadas, houve intensificação da expansão urbana, e segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) de 2010, a BHAS possui tanto áreas de interesse de preservação e conservação ambiental, como áreas de interesse à expansão urbana. Diante deste contexto é imprescindível avaliar continuamente as condições ambientais e o processo de expansão urbana, para assim corrigir e direcionar uma produção do meio urbano que vise a sustentabilidade.

A presente pesquisa apresenta uma metodologia diferenciada para avaliação da qualidade e da degradação ambiental em bacias hidrográficas do meio urbano, levando em conta problemas ambientais como: poluição hídrica, inundação, erosão, movimentos de massa e vulnerabilidade social. Esta metodologia tem como cerne a proposição de um índice capaz de avaliar de forma integrada as características e condições do meio físico e os aspectos sociais, resultando num panorama da qualidade do ambiente e das áreas com alerta à degradação ambiental. Cabe ressaltar que, esta proposta metodológica pode servir como base para revisões de planos diretores municipais e de bacias hidrográficas, permitindo um diagnóstico espaço-temporal que aponte a evolução das condições ambientais e as áreas que necessitam atenção pelo poder público para o planejamento e gestão do espaço urbano.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A densificação urbana e o uso e cobertura da terra de maneira inapropriada ou em áreas inadequadas a certos tipos de usos, muitas vezes desencadeiam processos de degradação ambiental, como: erosão dos solos e assoreamentos dos cursos fluviais, danos associados aos eventos de inundação, alteração da qualidade das

águas dos arroios urbanos, impactos da supressão da cobertura vegetal, dentre outros. Nessa perspectiva, Lima (2010) aponta a ocorrência de eventos de inundação na BHAS. Por outro lado, Soares (2002), Basso e Silva (2013) e Strada (2021) realizaram estudos sobre a qualidade da água superficial da BHAS, onde constataram que elas se encontravam poluídas.

Apesar da expansão urbana ocorrida nas últimas décadas, a BHAS ainda possui a maior parte de sua área coberta por vegetação, sendo a de caráter nativo, a cobertura da terra predominante. Com a tendência do processo de expansão urbana continuar nas próximas décadas, é importante promover estudos que auxiliem na elaboração de políticas públicas de expansão da cidade que sirvam de subsídio técnico-científico para promover a recuperação e manutenção da qualidade ambiental.

Com a revisão do PDDUA de 2010, que a rigor estava prevista para 2020, mas que recém está em processo de realização, o presente estudo ganha relevância, avaliando a degradação ambiental urbana, e contribuindo para estabelecer as áreas prioritárias que devem ser recuperadas e as áreas adequadas à expansão urbana, de modo que esse processo priorize a conservação ambiental e evite a degradação do ambiente, e mantendo as áreas de preservação, assim, conferindo um desenvolvimento urbano de maneira mais sustentável.

A partir do panorama retratado, destacam-se como questões relevantes desta pesquisa: a forma como se deu a espacialização e a evolução da degradação ambiental urbana na BHAS ao longo das duas primeiras décadas do século XX, e quais são as áreas prioritárias para preservação/conservação/recuperação do ambiente e as adequadas para expansão urbana.

## 1.2 OBJETIVOS

Nesta seção serão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

### 1.2.1 **Objetivo geral**

Diagnosticar a evolução da degradação ambiental urbana na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso do município de Porto Alegre/RS, entre o período de 2002 e 2022.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar através de pesquisa bibliográfica e documental, os principais processos de degradação ambiental na BHAS.
- Comparar a qualidade das águas da BHAS através da aplicação do Índice de Qualidade de Água (IQA) para campanhas de 2001/2002 e 2021/2022.
- Aplicar um Índice de Degradação Ambiental Urbana (IDAU) e mapear a evolução da degradação ambiental na BHAS.
- Identificar as áreas prioritárias para preservação, conservação e recuperação ambiental e expansão urbana na BHAS.

### 1.3 HIPÓTESES

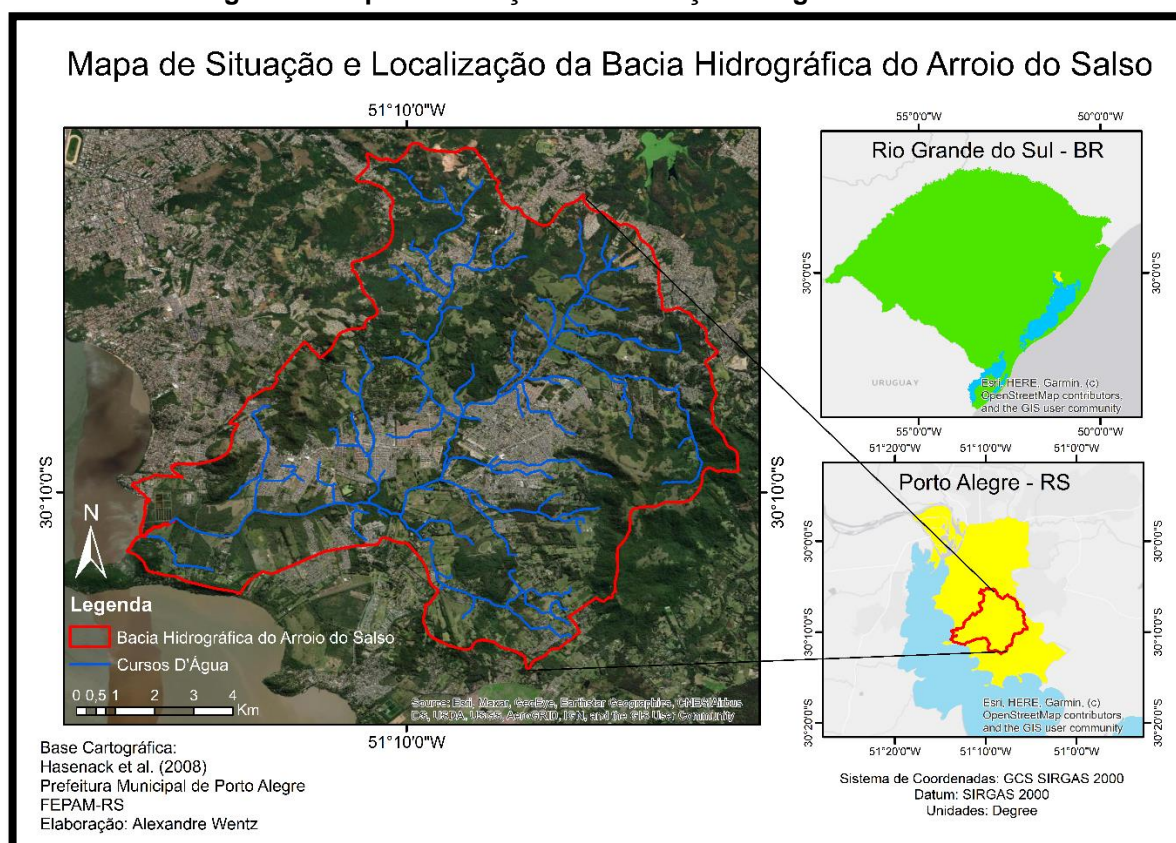
- As águas do Arroio do Salso encontram-se poluídas, principalmente pelo despejo de esgoto *in natura*.
- Há núcleos de ocupação urbana assentados em locais com recorrência de eventos de inundação, assim como em locais com suscetibilidade elevada aos processos erosivos e de movimentos de massa, contribuindo para o quadro de degradação ambiental na BHAS.
- Ocorrem assoreamentos ao longo do Arroio do Salso, que agravam a qualidade hídrica e ambiental no curso d'água.
- A ampliação de áreas urbanizadas em detrimento da cobertura vegetal aliada à condição precária de saneamento básico, causou crescente degradação ambiental ao longo do período entre 2002 e 2022.

A seguir, apresentam-se os capítulos referentes à caracterização geográfica da área de estudo, ao referencial teórico metodológico, aos procedimentos metodológicos e técnico-operacionais, assim como aos resultados e discussões.

## 2 ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso (BHAS) situa-se na zona sul do município de Porto Alegre (RS), e está localizada entre as coordenadas 30°5'10" e 30°12'25" de latitude sul e 51°13'50" e 51°5'25" de longitude oeste. A Figura 1 apresenta a situação e localização geográfica da BHAS.

**Figura 1 - Mapa de Situação e Localização Geográfica da BHAS.**



**FONTE: Elaboração do autor.**

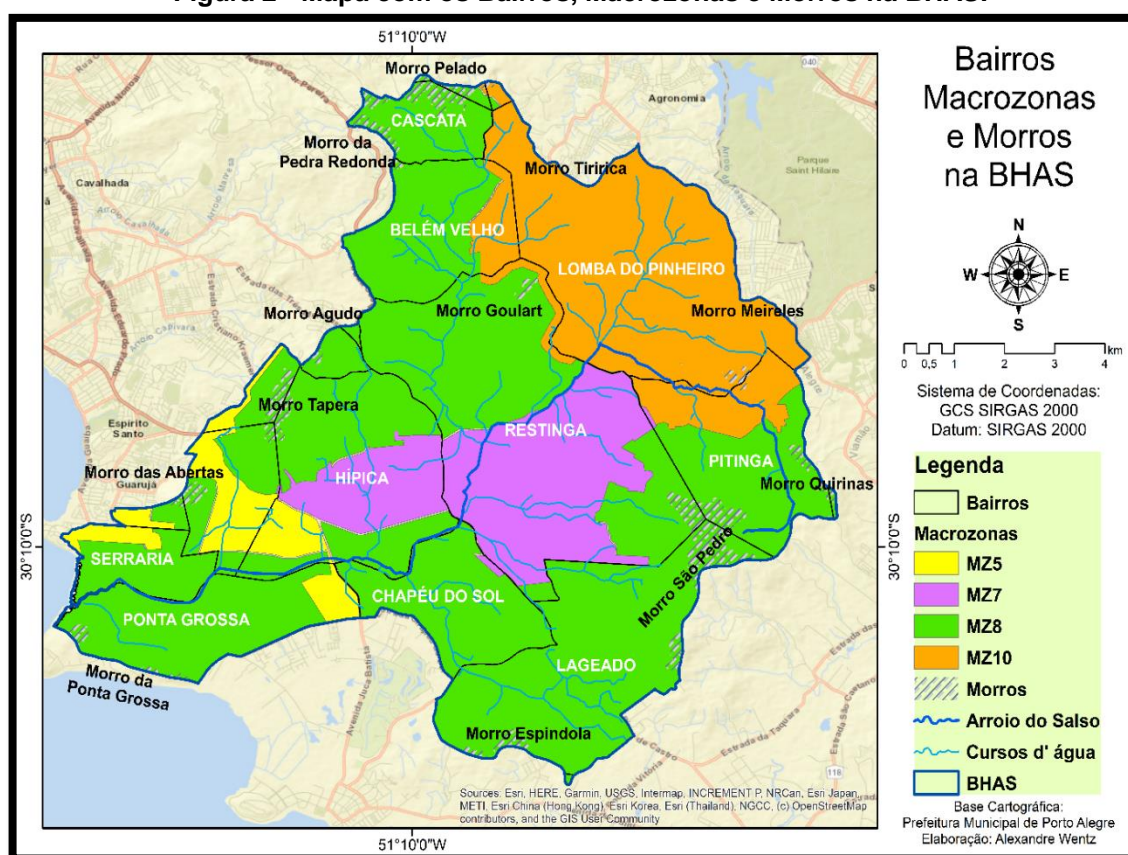
Conforme Menegat *et al.* (1998) a BHAS abarca uma área aproximada de 93,6 km<sup>2</sup>, equivalente a 20% da área total do município de Porto Alegre, o que a torna a maior bacia hidrográfica de seu território.

Soares (2002) descreve os morros que delimitam os divisores de águas formando a área de drenagem da BHAS. Ao sul da BHAS situa-se o morro Espindola, a sudoeste os morros São Pedro e Quirinas, a leste localiza-se o morro Meireles, a noroeste o morro Tiririca, ao norte os morros Pelado e da Pedra Redonda, a nordeste está o morro Agudo e Tapera; e a sudeste está o morro das abertas e mais ao sul o morro Ponta Grossa.

Menegat *et al.* (1998) e Soares (2002) consideram como curso principal (Arroio do Salso) o trecho cujas nascentes localizam-se ao norte no limite com a bacia hidrográfica do arroio Dilúvio e com os morros Meireles, Tiririca e Goulart. Já Almeida e Strohaecker, (2011) consideram que o curso principal (Arroio do Salso) tem a sua nascente principal ao sudoeste, entre o morro São Pedro e Quirinas. Para esta pesquisa, considerou-se que a nascente principal de fato está localizada entre o Morro São Pedro e Quirinas, próximo à divisa com a bacia hidrográfica do Arroio Lami. O critério para esta conclusão foi o maior comprimento do trecho do arroio (da nascente até a foz), de aproximadamente 18 km de extensão, conforme metodologia proposta por Shreve (1974, apud CHRISTOFOLETTI, 1980).

A Figura 2 apresenta o mapa com limite da BHAS e os morros que formam os seus divisores de águas, a rede de drenagem e o curso principal. Além disso, também mostra os bairros que estão totalmente inseridos na BHAS, assim como as Macrozonas do PDDUA (2010).

**Figura 2 - Mapa com os Bairros, Macrozonas e Morros na BHAS.**



**FONTE: Elaboração do autor.**

Conforme a lei complementar (LC 12.112/16), a qual "cria, extingue, denomina e delimita os bairros que integram o território do Município de Porto Alegre" (PORTO ALEGRE, 2016), atualmente encontram-se inseridos na BHAS, total ou parcialmente, 20 bairros: Lomba do Pinheiro, Restinga, Hípica, Serraria, Ponta Grossa, Belém Velho, Cascata, Chapéu do Sol, Guarujá, Lageado, Campo Novo, Pitinga, Agronomia, Espírito Santos, Vila São José, Belém Novo, Boa Vista do Sul, Cel. Aparício Borges, Vila Nova, Aberta dos Morros.

## 2.1 CONTEXTO FÍSICO-AMBIENTAL

Segundo Menegat *et al.* (1998) a vazão média do Arroio do Salso está estimada em  $1,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  ao desembocar no lago Guaíba. As nascentes do arroio do Salso e de seus principais afluentes estão localizadas nos bairros Pitinga, Lomba do Pinheiro, Belém Velho, Cascata, Restinga e Lageado. Já o padrão de drenagem da BHAS varia de dentrítico a subdentrítico (SOARES, 2002; RODRIGUES, 2014).

Discorrendo sobre o clima de Porto Alegre, Cardia (2010) define que o clima encontrado em Porto Alegre é classificado como Cfa (subtropical úmido) segundo proposta de classificação de Köppen. O município apresenta temperatura média anual de  $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , e precipitação média de  $1347,4 \text{ mm}$ , sendo bem distribuídas ao longo do ano. Soares (2002) constata que a temperatura média de Porto Alegre alcança os maiores valores no período do verão (dezembro a março), ficando em torno de  $23^\circ\text{C}$  a  $25^\circ\text{C}$ , enquanto o período de inverno (junho a setembro) registra as temperaturas médias mensais mais baixas, em torno de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ . A Figura 3 apresenta dados de médias climatológicas para temperatura mínima e máxima mensal e chuva acumulada mensal para Porto Alegre.

**Figura 3 - Médias Climatológicas para Porto Alegre.**

Mês	Temp Min.	Temp Max.	Chuva
Jan	20.6 °C	30.5 °C	110.1 mm
Fev	20.5 °C	30.2 °C	106.5 mm
Mar	19.5 °C	29.1 °C	92.2 mm
Abr	16.5 °C	25.9 °C	107.3 mm
Mai	13.3 °C	22.2 °C	118.8 mm
Jun	10.8 °C	19.8 °C	141.3 mm
Jul	10.1 °C	19.3 °C	141.3 mm
Ago	11.1 °C	21.3 °C	117.4 mm
Set	12.8 °C	22.1 °C	141.5 mm
Out	15.3 °C	25 °C	138.3 mm
Nov	17.1 °C	27.4 °C	110.9 mm
Dez	19 °C	29.5 °C	99.6 mm

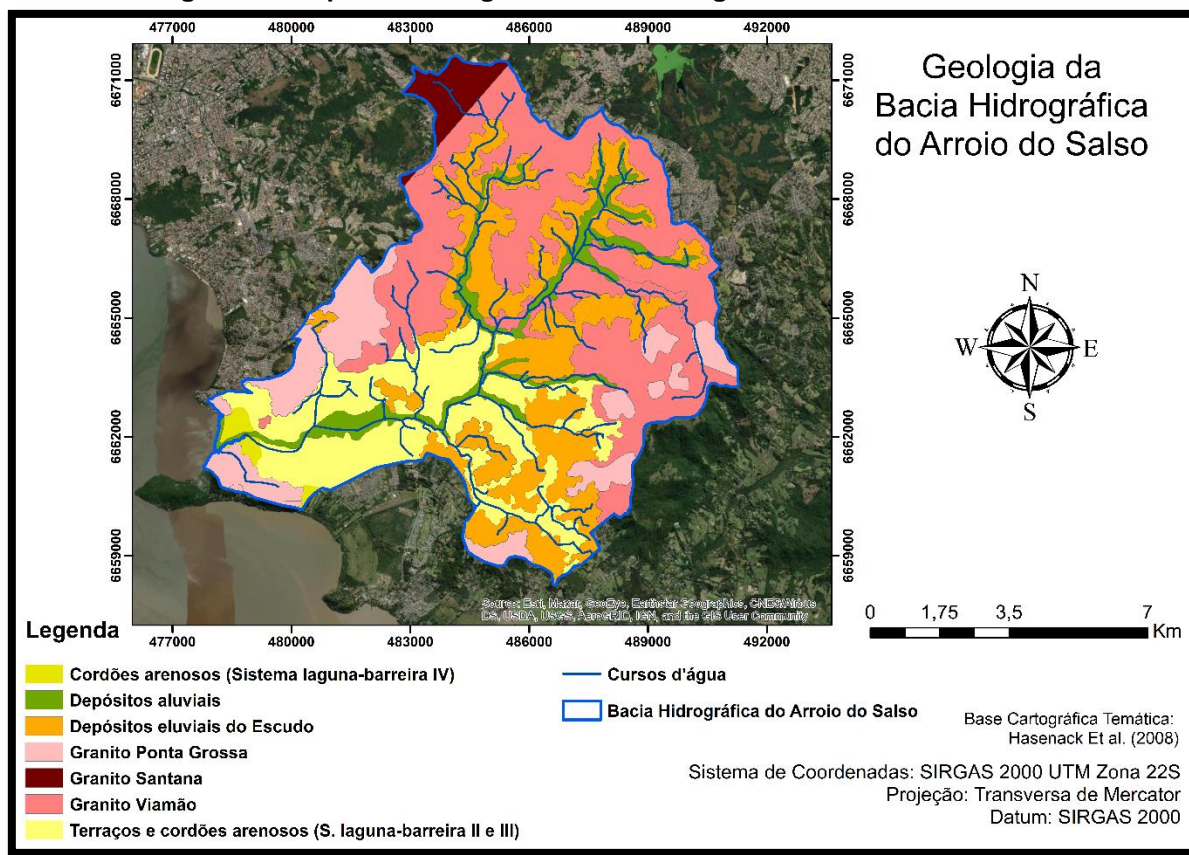
Observação: Média climatológica baseada em 30 anos de dados (1981-2010), usando estações oficiais no INMET, e posteriormente interpolando para as localidades que não tem estação de medição de dados meteorológicos.

**FONTE:** Instituto Rio Grandense do Arroz - IRGA-RS (2023).

Hasenack *et al.* (2008) descrevem o embasamento geológico presente na BHAS, sendo composto predominantemente por rochas graníticas e sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira. A geologia é importante fator para compreender a dinâmica de produção do relevo, pois influencia diretamente nos aspectos geotécnicos e na geomorfologia. Portanto, interfere também na suscetibilidade aos processos de como erosão e inundação. A Figura 4 apresenta o contexto geológico da BHAS.



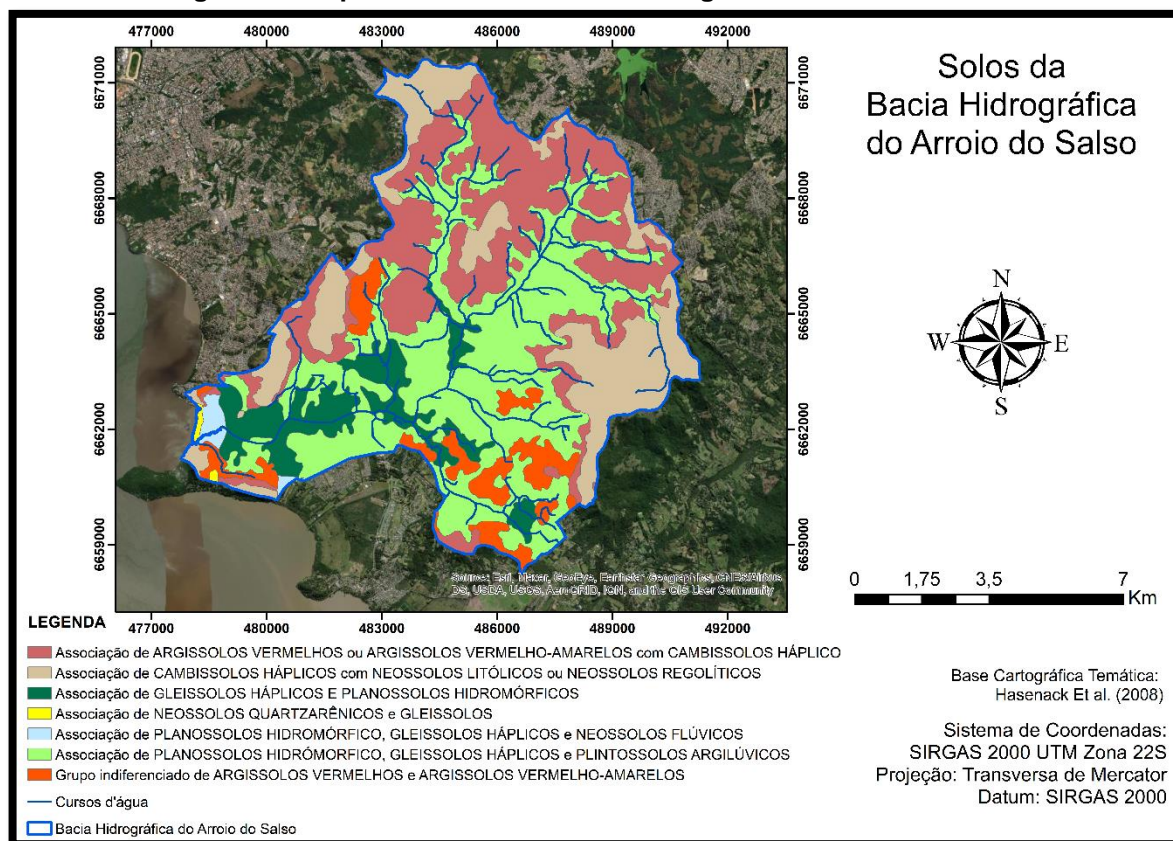
**Figura 4 – Mapa da Geologia da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso.**



**FONTE: Elaboração do autor. Adaptado de Hasenack *et al.* (2008).**

Quanto aos solos encontrados na BHAS, Hasenack *et al.* (2008) apontam que eles consistem basicamente em associações de Argilossos Vermelhos e Vermelho-amarelos com Cambissolos Háplicos e associações de Cambissolos Háplicos com Neossolos Litólicos ou Neossolos Regolíticos, também contendo em alguns pequenos trechos associações de Planossolos Hidromórficos e Gleissolos Háplicos ou Neossolosflúvicos, esses ocorrendo em áreas de menor altitude, geralmente caracterizada por planícies flúvio-lagunares ou terraços. A Figura 5 apresenta o mapa de solos da BHAS.

**Figura 5 – Mapa dos Solos da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso.**



**FONTE: Elaboração do autor. Adaptado de Hasenack et al. (2008).**

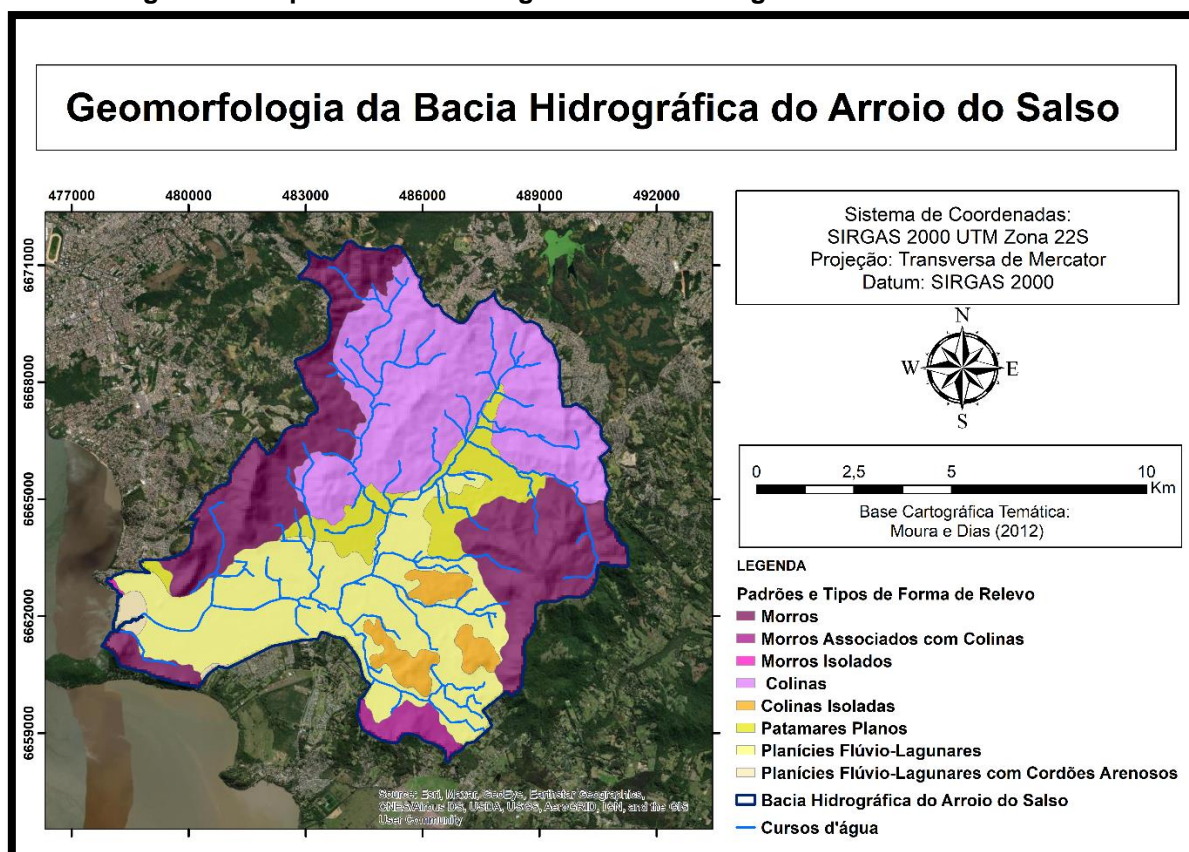
Tendo em vista a importância dos solos no contexto físico-ambiental da BHAS para a problemática desta pesquisa, ressalta-se que a maior parte é considerada com baixa aptidão à ocupação urbana, devido a suas características geotécnicas. De acordo com Hasenack *et al.* (2008), as associações de argissolos e cambissolos háplicos são as mais favoráveis à ocupação urbana. Salienta-se que as associações de Planossolos Hidromórfico, Gleissolos e Neossolos Flúvicos são consideradas com baixa aptidão geotécnica para a ocupação urbana (*ibidem*), estas localizam-se em áreas mais planas e, devido às características geotécnicas e à má drenagem, há um maior dispêndio de recursos financeiros e materiais para a instalação da ocupação urbana, como obras de aterro e de drenagem urbana (*ibidem*). Além disso, somados as características do relevo, podem ocorrer alagamentos em eventos de alta precipitação. Assim, a avaliação geomorfológica se faz importante para determinar em quais áreas ocorrem tais tipos de solo (com má drenagem) e quais são as mais aptas à ocupação urbana com as devidas medidas de construção civil.

Quanto à geomorfologia, Moura e Dias (2012) consideram que os granitos se apresentam em forma de morros e colinas. Associado ao intemperismo dos granitos

há os depósitos eluviais do escudo e depósitos aluviais. Já os terraços flúvio-lagunares e cordões de areia estão relacionados à formação dos sistemas Laguna-Barreira e aos processos de dissecação dos granitos pela hidrografia.

Em relação à declividade do relevo, o setor superior da bacia apresenta predominância de declividades maiores do que 30%, enquanto no seu trecho médio predomina um relevo de colinas e patamares planos, com declividades variando entre 10% a 2%, mas em geral, inferiores a 6%; já na parte inferior em direção à foz no Guaíba, o relevo de maneira geral é plano e apresenta declividades inferiores a 2% (FUJIMOTO; DIAS, 2010). A Figura 6 apresenta os padrões e formas de relevo presentes na BHAS.





**Figura 6 – Mapa da Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso.**



**FONTE:** Elaboração do autor. Adaptado de Moura e Dias (2012).

A Figura 7 ilustra as unidades morfoestruturais e morfoesculturais associadas aos tipos de forma do relevo.

Figura 7 - Unidades Geomorfológicas da BHAS.

MORFOESTRUTURA	MORFOESCULTURA	PADRÕES E TIPOS DE FORMAS DE RELEVO	
Escudo Uruguaio Sulriograndense	Planalto Uruguaio Sulriograndense		Padrão em Forma de Morros
			Padrão em Forma de Morros Associados com Colinas
			Padrão em Forma de Morros Isolados
			Padrão em Forma de Colinas
Bacia Sedimentar de Pelotas	Planície e/ou Terras Baixas Costeiras		Padrão em Forma de Colinas Isoladas
			Padrão em Forma de Patamares Planos
			Padrão em Forma de Planície Fluvio-Lagunar
			Padrão em Forma de Planície Fluvio-Lagunar com Cordões Arenosos

FONTE: Moura e Dias (2012).

Comparando-se os mapas geomorfológico e de solos nota-se que os solos mais adequados para a ocupação urbana estão sobre o relevo colinoso. Outra consideração importante é que nos trechos de relevo de patamares planos há predominância de solos com má drenagem, porém as altitudes mais elevadas e a forma do relevo acabam proporcionando uma baixa suscetibilidade à inundação e uma melhor condição à ocupação urbana em relação às áreas mais a jusante que possuem os mesmos tipos de solos, mas em menor altitude.

Sobre a vegetação natural, Soares (2002) afirma que o juncal predomina nos setores médio e inferior da bacia hidrográfica; já na parte superior há um mosaico vegetacional úmido; há mata aluvial em torno do curso do Arroio do Salso, sendo composta por espécies como o branquilha, o chorão e o ingá; há mata de figueiras nos cordões arenosos próximos à Ponta Grossa; enquanto nas coxilhas e morros predominam as florestas de mata baixa; e ainda há mata alta predominante nos solos profundos das encostas dos morros.

Quantos aos demais tipos de uso e cobertura da terra, a BHAS apresenta um caráter diversificado (MOURA; BASSO; STROHAECKER, 2013), com áreas urbanas de núcleos de urbanização densa, como o bairro Restinga, Belém Velho, Lomba do Pinheiro, Hípica, Aberta dos Morros Serraria e Ponta Grossa, assim como ocupações urbanas mais dispersas ao longo das áreas periféricas destes núcleos, inclusive com caráter de edificações rurais. Também há consideráveis áreas de cultivo.

## 2.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E URBANO-AMBIENTAL

Segundo Menegat *et al.* (1998), a densidade demográfica na BHAS antes da virada para o século XXI estava estimada em 626 hab/km<sup>2</sup>. Através da estimativa de população absoluta de 92.548 habitantes para BHAS, em 2015 (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA, 2017), pode-se inferir que a densidade demográfica na segunda década do século XXI passou para aproximadamente 988 hab/km<sup>2</sup>.

A ocupação urbana na BHAS ocorre, em geral, de maneira concentrada em “núcleos de ocupação intensa”, sendo os principais os bairros Restinga e Lomba do Pinheiro:

As maiores densidades de ocupação ocorrem nos bairros Restinga e Lomba do Pinheiro, que apresentam padrões socioespaciais de baixa renda e de maior comprometimento ambiental. A periferia do bairro Restinga apresenta as maiores áreas de ocupação irregular (urbano não cadastrado) da área de estudo. (IBGE, 2010 *apud* MOURA; BASSO; STROHAECKER, 2013, p. 247).

De acordo com o PDDUA de 2010, segundo a divisão territorial das Macrozonas (MZs), a área da BHAS tem inserida em sua área, total ou parcialmente, as MZs 5, 7, 8 e 10. Conforme Moura *et al.* (2013), a MZ8, denominada Cidade Rururbana, vem sendo alvo de grande especulação imobiliária do município, onde se observa empreendimentos voltados para extratos sociais de média a alta renda, procurando vincular as amenidades naturais existentes (pôr-do-sol, vegetação, fauna, cursos d'água) às amenidades produzidas nos loteamentos e condomínios horizontais (segurança, conforto, equipamentos de lazer e recreação).

Wentz (2019) analisou a expansão urbana ocorrida entre 2008 e 2019 e sua distribuição nas MZs, destacando que houve aumento em todas, sendo que as de maior incremento da malha urbana foram as MZs 7, 8 e 5. A expansão urbana ocorreu principalmente de forma paralela ao eixo viário que liga as MZs 5, 7 e 10.

No curso inferior do arroio, já próximo à foz no Guaíba, há ocupações do tipo espontâneo, muitas vezes em áreas que apresentam vulnerabilidade quanto aos eventos de inundação (MOURA; BASSO; STROHAECKER, 2013; LIMA, 2010). Basso e Silva (2013) ratificam que essas ocupações irregulares na BHAS, muitas vezes, acabam despejando esgoto in natura e degradando a qualidade das águas

superficiais.

Mesmo diante desse contexto, muitas das áreas inundáveis das planícies do Arroio do Salso e de seus afluentes encontram-se pouco ocupadas, ao contrário do que acontece em outras bacias hidrográficas do município (MOURA; BASSO; SANCHES, 2013). Ademais, isso caracteriza a BHAS como um território passível de haver uma expansão urbana na qual considere a sustentabilidade do ambiente.

Ferreira e Menezes (2017), em análise socioeconômica realizada pela Fundação de Economia e Estatística (FEE), apresentaram dados socioeconômicos por regiões que englobam bairros de Porto Alegre. A Região da Restinga é composta pelo bairro Restinga. A Região Lomba do Pinheiro é composta pelos bairros Agronomia e Lomba do Pinheiro. A Região Sul é composta pelos bairros Espírito Santo, Guarujá, Hípica, Ipanema, Jardim Isabel, Pedra Redonda, Serraria, Tristeza, Vila Assunção e Vila Conceição. Já a Região Extremo Sul é composta pelos bairros Belém Novo, Chapéu do Sol, Lageado, Lami e Ponta Grossa. O Quadro 1 apresenta esses dados por região.

**Quadro 1 - Dados socioeconômicos de regiões inseridas na BHAS.**

Região	Percentual de população em relação ao total do município (%)	Densidade demográfica hab/km <sup>2</sup>	Taxa de analfabetismo (%)	Rendimento médio dos responsáveis por domicílio (salários mínimos)
<b>Restinga</b>	4,31	1.574,92	4,03	2,10
<b>Lomba do Pinheiro</b>	4,42	1.230,31	4,03	2,07
<b>Sul</b>	5,91	2.802,29	1,99	6,69
<b>Extremo Sul</b>	2,47	300,60	3,29	2,92

Fonte: Ferreira e Menezes (2017), elaborado pelo autor.

Cabe destacar que poucos bairros da Região Sul estão inseridos na BHAS, sendo que os considerados mais nobres, onde a população dispõe de renda mais alta e melhor infraestrutura, como Vila Assunção, Pedra Redonda e Tristeza, estão totalmente de fora da BHAS.

De modo geral o relatório da FEE considera que:

Nas periferias da Capital, moram, na sua grande maioria, os trabalhadores do Terciário não especializado e da construção civil, que configuram o tipo popular. Em 2000, esses espaços populares se situavam em bairros periféricos de Porto Alegre (Agronomia, Lomba do Pinheiro, Restinga, Mário Quintana, Glória, Cascata, Belém Velho, Serraria e Hípica) (FERREIRA E MENEZES, 2017, p.27).

Desta forma, observa-se que o perfil socioeconômico da população residente na BHAS é predominantemente classificado como popular, onde os bairros inseridos na bacia estão entre os de mais baixa renda do município, ficando atrás somente daqueles que integram a Região das Ilhas e Região Nordeste.

Strohaecker; Verran e Barth (2015) elaboraram estudo sobre a acessibilidade a equipamentos públicos comunitários urbanos como os de educação e saúde. Em conclusão, estabeleceram como panorama geral:

[...] percebeu-se uma grande necessidade de ampliação do número de escolas de ensino médio e fundamental, visto que foram registradas apenas três escolas dentro da área da bacia. [...] Já as escolas de ensino infantil, apresentam uma forte carência de equipamentos nos bairros Lageado, Serraria, Belém Velho e a localidade de Aberta dos Morros. [...] Quanto aos equipamentos públicos de lazer, percebeu-se uma grande desigualdade na distribuição espacial das praças e campos de esporte na área da bacia. Pode-se constatar que esses equipamentos se concentram no bairro Restinga. Dessa forma, outras áreas da bacia carecem dos mesmos, em especial os bairros Belém Novo, Belém Velho, Lageado, Ponta Grossa e Lomba do Pinheiro. Em contraponto, os equipamentos de saúde se mostram bem distribuídos pela área da bacia. (STROHAECKER; VERRAN; BARTH, 2015, p. 105 - 106).

Quanto ao saneamento básico, o Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) do município de Porto Alegre é o responsável pelos Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) do município. O SES Salso abrange de forma integral a BHAS e de forma acoplada ainda as bacias Ponta Grossa Norte e Ponta Grossa Sul. O SES atende de forma integral o bairro Restinga e de forma parcial os demais bairros inseridos na BHAS. O SES do Salso abrange um total de 178,94 km de logradouros com redes coletoras, o que equivale a 39,55% de atendimento considerada a relação extensão de redes coletoras por logradouro (STRADA, 2021). Esse percentual demonstra o quanto a área atendida pelo SES Salso deve melhorar para alcançar a situação ideal da universalização do saneamento básico.

Em síntese, observa-se que tanto as características físicas quanto as

socioeconômicas do ambiente da BHAS apresentam potencialidade<sup>1</sup> à ocorrência de processos que causam degradação ambiental, principalmente onde há ocupação em áreas de fragilidade ambiental, ou seja, aquelas com maior suscetibilidade para processos erosivos, assoreamentos, movimentos de massa, poluição hídrica e eventos de inundação. Em contrapartida, as características da distribuição do uso e cobertura da terra apresentam a potencialidade da promoção de um desenvolvimento urbano e ambiental de maneira sustentável, cumprindo, assim, com as premissas de estratégia de qualificação ambiental apresentada pelo PDDUA de 2010.

---

<sup>1</sup> Nesta pesquisa utiliza-se o termo no sentido de possibilidade, condição preexistente para a ocorrência de algum fenômeno, sem qualquer intuito de mensurar a probabilidade de acontecer ou não. Assim não é usado como sinônimo de nenhum dos outros conceitos utilizados, como: suscetibilidade, vulnerabilidade e risco.



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

O presente estudo tem como referência epistemológica as “geografias pós-modernas”, que conforme Suertegaray (2005) fundamentam-se em uma filosofia plurifacetada e assumem um caráter dialógico, na qual abre a possibilidade de múltiplos “métodos” (caminhos) para a busca do conhecimento científico. Partindo deste paradigma, destaca-se que a pesquisa tem como base os métodos Indutivo, Hipotético-Dedutivo e Sistêmico.

O caráter Indutivo baseia-se em um conhecimento empírico, em que, através da observação, formula-se o problema.

Já o Hipotético–Dedutivo refere-se à elaboração da problemática através de observações empíricas, resultando em um modelo apriorístico (fatores que controlam a degradação ambiental), de onde derivam as hipóteses, que deverão ser corroboradas ou não através das análises (experimentação) e interpretações feitas a partir da coleta de informações.

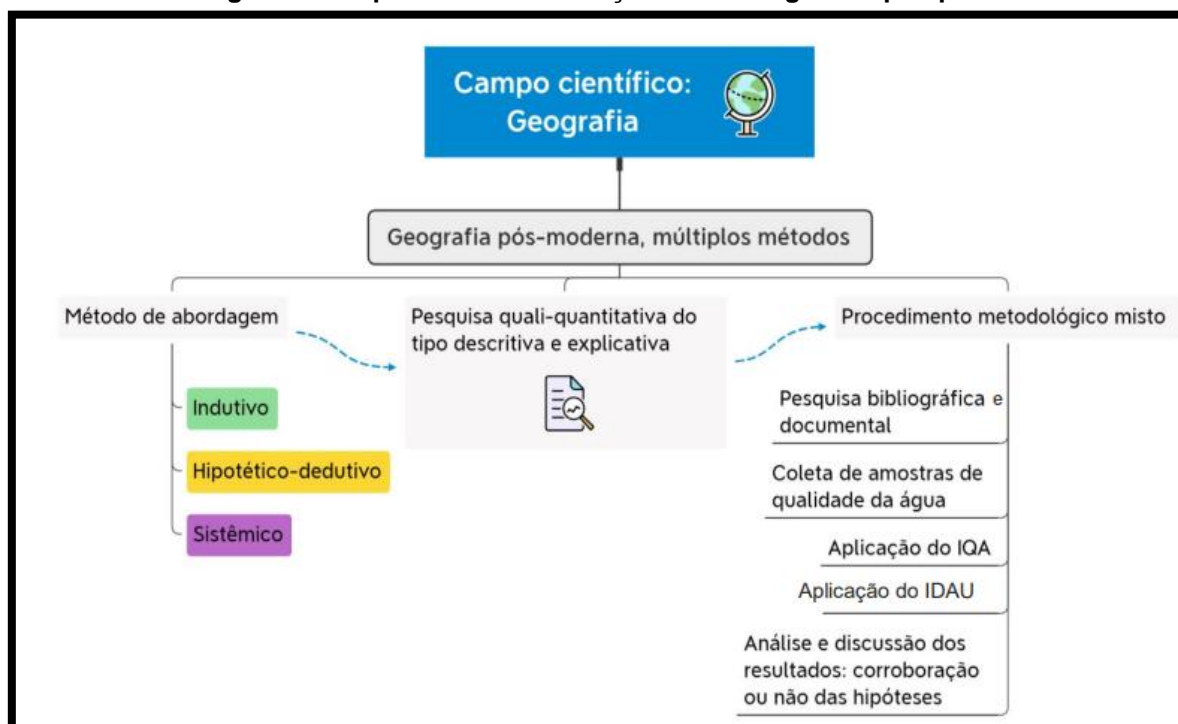
Quanto ao método Sistêmico está presente na base metodológica do Índice de Degradação Ambiental Urbana (IDAU) que visa, através da análise integrada de elementos bióticos, abióticos e socioeconômicos, refletir as relações existentes entre eles, e assim diagnosticar a qualidade e a degradação ambiental na BHAS. Também está presente na concepção conceitual das bacias hidrográficas como um geossistema - sendo o recorte espacial de análise adotado nesta pesquisa.

A abordagem metodológica da pesquisa se apresenta de forma qualitativa e quantitativa. Na primeira os procedimentos visam descrever, explicar e qualificar os processos de degradação ambiental e a própria definição do que é qualidade ambiental, e sobre os fatores sociais que estão imbricados. Tais questões são explanadas em referenciais bibliográficos e documentais a fim de contribuir para a definição e caracterização do fenômeno de degradação ambiental na BHAS. Já na segunda, os procedimentos consistem no levantamento e processamento de dados que são quantificáveis, tendo como exemplos: as análises de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos das águas, aplicação de geoprocessamento para avaliar quantitativamente dados geográficos e a aplicação de Índices.

Em relação ao objetivo da pesquisa, ela caracteriza-se como descritiva e explicativa, visto que pretende descrever e explicar as causas da degradação ambiental na BHAS. Quanto aos procedimentos a serem adotados, podem ser considerados como do tipo misto, pois constituem etapas do seu desenvolvimento, os procedimentos de pesquisa bibliográfica e documental, levantamento de dados em campo, pesquisa experimental e comparativa.

A Figura 8 apresenta o fluxograma do esquema metodológico da pesquisa.

**Figura 8 - Esquema de estruturação metodológica da pesquisa.**



**FONTE: Elaboração do autor.**

### 3.1 A GEOGRAFIA COMO CIÊNCIA DE ANÁLISE AMBIENTAL E TERRITORIAL

A Geografia como ciência passou por diversas transformações epistemológicas. Segundo Suertegaray (2005), tomando como recorte temporal a sua fundação como disciplina, a partir dos anos 1870 até a atualidade, houve um grande debate quanto à definição do seu objeto de estudo e quanto à elaboração dos princípios metodológicos adequados. Estas transformações estão relacionadas com as correntes filosóficas predominantes na produção do conhecimento científico.

Diversos autores (CLAVAL, 1982; SUERTEGARAY; 2005; GOMES, 1996; ROGALSKI, 2011) consideram que os contextos sociais, econômicos, políticos, culturais e ambientais participam da construção filosófica do conhecimento científico, proporcionando mudanças e rupturas epistemológicas.

Rogalski (2011) apresenta uma análise epistemológica sobre o pensamento geográfico, e seu caráter como ciência ambiental. A partir de Claval (1982) e Gomes (1996), ele apresenta e discute uma classificação da história do pensamento geográfico a partir de três grandes períodos, representada na Figura 9.

**Figura 9 - Períodos da história do pensamento geográfico.**

<b>Período</b>	<b>Características</b>
Final do século XVIII	- Triunfo do espírito naturalista - Sistematização e descrição metódica - Humboldt e Ritter: os primeiros a estabelecer metodologias modernas na ciência geográfica
Final do século XIX	- Institucionalização da disciplina - Compartimentação do saber: Geografia Física x Geografia Regional
Década de 1950	- Transformação da Geografia em uma ciência social

**FONTE:** Claval (1982); Gomes (1996) adaptado por Rogalski (2011).

De seu início até as décadas de 1950 a 1970, as correntes do pensamento geográfico, em geral, se contrapunham umas às outras, abordando distintos métodos para a busca do conhecimento e do objeto de estudo da geografia. Essas contraposições muitas vezes representaram rupturas epistemológicas. De acordo com Suertegaray (2005), é principalmente a partir da década de 1970, que as transformações causaram uma certa ruptura diferenciada, marcando o início do que se denomina de período “pós-moderno” da produção científica, e por conseguinte do pensamento geográfico (ibidem). A autora discorre sobre a maneira como passa a ser concebido o conhecimento geográfico:

As geografias pós-modernas são as expressões desse movimento, fundamentam-se numa filosofia plurifacetada, contraditória e dialógica. Compreendem o mundo como expressão do movimento, onde é retomada a

discussão sempre latente entre metafísica e dialética, ordem/manutenção e movimento/criação. Abre a possibilidade de múltiplas interpretações. Por essa razão convivemos com perspectivas analíticas Neomarxistas, com perspectivas Neopositivistas e com perspectivas Fenomenológicas/Hermenêuticas, agora, não se apresentando como únicas e verdadeiras, mas como visões que permitem, através de uma atitude dialógica, contribuir para a explicação/compreensão do mundo contemporâneo. (SUERTEGARAY, 2005, p. 38).

Dentro das transformações que ocorreram, ocasionando o “Pós-modernismo” descrito anteriormente, considera-se que uma delas seja a emergência das questões ambientais frente à degradação da natureza, causada pelo avanço social-econômico-cultural da industrialização. Como aponta a autora a valorização da qualidade de vida promove a emergência da discussão ambiental:

Não só a necessidade de preservação da natureza como recurso, mas também a valorização da natureza como patrimônio, assim como a discussão/proposição das formas de uso/preservação. Esta temática promove no âmbito científico uma releitura dos conceitos de natureza e sociedade. (*ibidem*, p. 35).

Para a autora o conceito de natureza sempre esteve presente ao longo da história da Geografia, sendo compreendido de distintas maneiras, pois também é uma construção cultural.

Backes (2009) apresenta uma discussão sobre a evolução do significado de natureza ao longo da história, e reforça uma ressignificação contemporânea:

Reforça-se o conceito de desordem com a ideia de que as concepções newtonianas são incapazes de compreender os fenômenos sociais e aqui se insere também o "ambiente" a partir de um enfoque multidimensional. É nessa perspectiva que se inscreve o pensamento complexo de Edgar Morin (2001; 2005) que, por sua vez, se originou da teoria dos sistemas. Este novo pensar tem como pano de fundo articular os diferentes saberes com o intuito de apreender as variáveis múltiplas das relações, causalidades e interdependências entre os processos naturais e sociais. (BACKES, 2009, p. 741).

Principalmente a partir da década de 1970, os estudos ambientais ganharam destaque, e foram fortemente influenciados pela Teoria Geral dos Sistemas. Conforme Rogalski (2011) essa perspectiva teórica, trabalha com a ideia de sistemas complexos, a partir da troca de matéria e energia, tendo sido desenvolvido na

Geografia e nas Ciências da Natureza, o conceito de Geossistema<sup>2</sup>.

Suertegaray (2005) discorre sobre o papel fundamental da Geografia na construção de uma concepção integralizada entre natureza e sociedade, na medida em que, historicamente, se constituiu como ciência de interface entre natureza e sociedade.

Na história do pensamento geográfico, diversos conceitos estiveram presentes de forma mais hegemônica do que outros, conforme a corrente filosófica aderida. Neste trabalho três conceitos são fundamentais, e merecem serem explanados e discutidos para o maior aprofundamento teórico, servindo assim como base epistemológica conceitual, são eles: ambiente, espaço geográfico e território.

### 3.1.1 Ambiente

Suertegaray (2005) sinaliza que a Geografia inicialmente referia-se ao conceito de meio (*milieu*), que deu origem ao termo ambiente. Conforme Bertrand (1982 *apud* Suertegaray, 2005) o meio se define em relação a alguma coisa, possui um sentido ecológico. Segundo Abbagnano (2007), a expressão ambiente refere-se a um complexo de relações entre o mundo natural e o ser vivo, que influi na vida e no comportamento desse mesmo ser. Para Aliata e Silvestri (1994, *apud* Suertegaray, 2005) a origem histórica desta noção está vinculada à Biologia, de caráter positivista relacionado a mecânica Newtoniana. No entanto, em seu desenvolvimento histórico, o conceito perde suas raízes (a de veículo mediando um objeto a outro) assumindo uma concepção “de unidade de diversas manifestações entre si relacionadas, sistema, nos termos que o estruturalismo o redefiniu, organismo” (ALIATA E SILVESTRI, 1994, p. 166, *apud* SUERTEGARAY, 2005).

Para Suertegaray (2005), as revoluções no pensamento geográfico e seus

---

<sup>2</sup> Christofolletti (1980) define um sistema como um conjunto de elementos e das relações entre si existentes e entre os seus atributos. Já o Geossistema constitui-se em uma organização espacial resultante da interação sistêmica dos elementos e componentes físicos da natureza (clima, topografia, rochas, solos, água, vegetação, dentre outros de sentido ecológico) e ação antrópica, resultando num sistema complexo e dinâmico. (CRISTOFOLETTI, 1999). Assim o Geossistema pode representar a conexão da natureza e da sociedade (ROGALSKI, 2011).

conceitos chaves implicam em pensar o ambiente diferentemente da abordagem ecológica: “nele o homem se inclui não como ser naturalizado, mas como um ser social produto e produtor de várias tensões ambientais.” (*ibidem*, p. 57).

Abordando a perspectiva sistêmica, conforme Coimbra (1985), pode-se entender o ambiente como um resultado da interação de sistemas, tais como: a atmosfera, litosfera, hidrosfera, biosfera e a criosfera. Porém, na concepção de incluir o ser humano como um ser social produto e produtor da natureza, não se deve negligenciar a psicofera e tecnosfera<sup>3</sup>, como parte do todo, estando essas intrinsecamente ligadas à atividade humana, e quanto a sua relação com os demais elementos que compõem o ambiente (WENTZ, 2019).

### 3.1.2 Espaço Geográfico

O espaço entendido através do olhar geográfico constitui-se como o próprio objeto de estudo da ciência geográfica. Tal afirmação pode ser observada nas considerações de Suertegaray (2005, p.47): “partilho da ideia de que o espaço geográfico constitui o conceito balizador da Geografia”. Ainda discorrendo sobre ele, a autora afirma que:

O que importa é que os geógrafos conceberam, na construção da Geografia, uma análise de junção do natural e do humano, transformando o espaço geográfico em um conceito que expressa a articulação Natureza e Sociedade, ou seja, constituíram um objeto de interface entre as ciências naturais e as ciências sociais. (*ibidem*).

Santos (2003) ao definir espaço geográfico, o considera como um resultado entre sistemas de objetos e sistemas de ações, que de maneira analítica pode ser compreendido através das categorias de “forma, função, estrutura e processo”.

---

<sup>3</sup> Psicofera e Tecnosfera são conceitos apresentados por Santos (2003) designando esferas que representam a maneira de pensar e agir na relação da humanidade com o ambiente, submetendo o espaço ao sistema de ação e objeto na qual resulta num meio técnico-científico-informacional.

### 3.1.3 Território e Ordenamento Territorial

O território é outro conceito que tem íntima relação com a ciência geográfica. Como aponta Souza (2000), o conceito de território surge na tradicional Geografia Política, como espaço concreto em si (elementos naturais e socialmente construídos em um dado recorte espacial), sendo apropriado e ocupado por um grupo social. Tal concepção está atrelada à noção dos territórios dos Estados Nacionais.

Ademais, as revoluções epistemológicas transformaram sua significação. No entanto, desde sua concepção na geografia tradicional, o território está associado a ideia de “poder”. Como define Souza (2000, p. 78), o território: “é fundamentalmente um espaço definido e delimitado por e a partir de relações de poder”.

Partindo deste breve panorama, neste trabalho toma-se o entendimento de território em seu sentido de uso (RAFFESTIN, 1993), no qual se materializam as relações entre indivíduos e grupos sociais, que se constitui em *locus* de exercício de poder (CARGNIN, 2007).

Peres & Chiquito (2012) afirmam que o conceito de ordenamento territorial, mesmo que seja amplo e ainda em construção, pode ser entendido como uma política pública que visa o aproveitamento e desenvolvimento do território, por meio da organização racional do espaço e da implantação de equipamentos apropriados, tendo repercussão na conjuntura social, econômica e ambiental.

## 3.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS

A partir década de 1970, mais em específico através da Conferência da Nações Unidas sobre o Meio Ambiente em 1972, a emergência das questões ambientais e do desenvolvimento sustentável começaram a ganhar importância nas discussões sobre o espaço geográfico. A Conferência de Estocolmo de 1972 é o primeiro encontro promovido pela Organização das Nações Unidas (ONU) para a discussão dos impactos do desenvolvimento sobre o meio ambiente (ONU, BRASIL, 2021).

No entanto, como aponta Acselrad (2009) a noção de sustentabilidade vem ocupando maior importância nos debates sobre desenvolvimento a partir de outro

encontro promovido pela ONU: a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, conhecida como Rio-92, principalmente a partir da discussão sobre “*desenvolvimento sustentável*” do Relatório Brundtland de 1987, que o define como: “o desenvolvimento como um processo que atenda às necessidades atuais, sem comprometer as capacidades de satisfazer as necessidades das gerações futuras” (ONU, BRASIL, 2021). Acselrad (2009) menciona que a partir dessa visão ampla sobre o desenvolvimento sustentável, diversas matrizes discursivas vêm se estabelecendo sobre a promoção da sustentabilidade:

Entre elas, podem-se destacar a matriz da eficiência, que pretende combater o desperdício da base material do desenvolvimento, estendendo a racionalidade econômica ao “espaço não mercantil planetário”; a da escala, que propugna um limite quantitativo ao crescimento econômico e à pressão que ele exerce sobre os “recursos ambientais”; a da equidade, que articula analiticamente princípios de justiça e ecologia; a da autossuficiência, que prega a desvinculação de economias nacionais e sociedades tradicionais dos fluxos do mercado mundial como estratégia apropriada a assegurar a capacidade de autorregulação comunitária das condições de reprodução da base material do desenvolvimento; a da ética, que inscreve a apropriação social do mundo material em um debate sobre valores de bem e de mal, evidenciando as interações da base material do desenvolvimento com as condições de continuidade da vida no planeta. (ACSELRAD, 2009, p. 43).

Importante destacar que para esta pesquisa assume-se a concepção transdisciplinar de sustentabilidade, na qual, conforme Mikhailova (2004), contempla o inter-relacionamento de aspectos socioeconômicos e ecológicos. Ainda cabe salientar que, conforme Acselrad (2009), ao contrário dos conceitos analíticos designados à explicação do mundo real, a noção de sustentabilidade está atrelada à lógica das práticas, na qual articula-se a efeitos sociais desejados, ou seja, que a prática do discurso pretendido torne-se realidade objetiva.

Como forma de promover a sustentabilidade, a Conferência Rio-92 estabelece que o processo de planejamento e gestão deve ser integrado, isto é, agregar os componentes econômicos, ambientais e sociais. Peres e Silva (2013) ao abordar a gestão dos recursos hídricos ressaltam que uma das principais referências para a gestão das águas brasileiras foram os Princípios de Dublin, acordados em reunião preparatória à Rio-92, os quais, sugerem que a gestão dos recursos hídricos deva ser de forma integrada e ter como base as bacias hidrográficas.



Como gestão integrada dos recursos hídricos, Pizzela (2017) considera as políticas, planos, programas e atividades que levem em conta as inter-relações entre o crescente desenvolvimento econômico e a disponibilidade das águas superficiais e subterrâneas, um processo que promova um desenvolvimento coordenado e uma gestão dos recursos naturais, relacionados de forma a potencializar os resultados econômicos e o bem-estar social, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas.

### 3.3 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE AMBIENTAL E TERRITORIAL

A hidrosfera, como destaca Guerra e Cunha (2012), tem a água como seu elemento fundamental, que através do ciclo hidrológico (fenômeno de circulação das águas em escala global), interage com outros sistemas como atmosfera, litosfera, biosfera. Nesta perspectiva sistêmica, as bacias hidrográficas ou bacias de drenagem são recortes espaciais que por sua natureza servem como categoria de análise e cumprem a função para o estudo da interação dos elementos que condicionam as características ambientais, sendo ela definida como:

uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial, [...] drenando para um reservatório terminal comum, como oceanos ou mesmo um lago[...] constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado (GUERRA; CUNHA, 2012, p. 98).

Dentro desse sistema, os elementos constituintes interagem entre si, e qualquer alteração nas entradas e saídas, ou dos elementos do sistema, influencia os seus componentes. Partindo do exposto, pode-se afirmar que:

a bacia de drenagem revela-se como uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos e das ligações especiais entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como o planejamento regional (*ibidem*, p. 100).

Mesmo a bacia hidrográfica sendo uma categoria de estudo antiga no campo da Geografia, a sua definição como uma unidade geográfica, na qual leva em conta

tanto questões ecossistêmicas, como também sociais, culturais e políticas é algo mais recente. Desta forma, a bacia hidrográfica passa a ser tratada como uma realidade física, porém socialmente construída, e assim torna-se um campo de ação política, de partilha de responsabilidades e de tomada de decisões (PERES; SILVA, 2013).

A promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabelece um marco legal sobre os Recursos Hídricos no Brasil. A partir de então, como salientam Braga *et al.* (2015), o gerenciamento de recursos hídricos no Brasil passou a ser constituído por um aparato institucional e legislativo dos mais avançados do mundo, apresentando conceitos, instrumentos e princípios inovadores para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, articulando a esfera pública com diferentes atores envolvidos e interessados na questão dos recursos hídricos. Destacam, ainda, que a PNRH surge como forma de enfrentar o desafio do binômio disponibilidade - demanda, fazendo face à crescente procura e os conflitos gerados pelos diferentes usos, urbano, industrial, agrícola e, também, diante do preocupante avanço da degradação ambiental no meio hídrico. A PNRH adotou as bacias hidrográficas como unidade de estudo, planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Apesar da importância da bacia hidrográfica como unidade espacial adequada à gestão ambiental, ainda há limitações para que ocorra a gestão integrada (PERES; SILVA, 2013). Isto se deve às dificuldades decorrentes de conflitos das divisões político-administrativas em uma mesma bacia hidrográfica, aos usos múltiplos, dentre outros aspectos que acabam por complicar a gestão ambiental integrada, assim a possibilidade de organizar a sociedade por bacias hidrográficas ainda se constitui em um grande desafio (Ibidem).

### 3.4 QUALIDADE E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

A definição e a mensuração da expressão “qualidade ambiental” não é algo simples de determinar, pois trata-se de uma questão ampla e complexa:

De maneira geral, vários autores destacam que as variáveis utilizadas para se definir o padrão de qualidade ambiental de um determinado espaço geográfico são muito discutidas, pois o que é valorizado ou desvalorizado no

meio ambiente para determinar a sua qualidade depende da concepção de cada cidadão, inclusive do pesquisador e do planejador. (GOMES; SOARES, 2004, p. 29).

Como afirmam Camargo e Amorim (2005), a qualidade ambiental está ligada à qualidade de vida, pois vida e meio ambiente são inseparáveis, sendo que a interação e o equilíbrio entre ambos expressam as condições ambientais peculiares a cada espaço geográfico.

Cabe destacar que na busca da definição de qualidade ambiental, se faz fundamental conhecer a relação entre a humanidade e o espaço em que ela realiza suas atividades, assim como as visões que os cidadãos possuem sobre o termo. Assim a expressão “qualidade ambiental” trata tanto das características naturais, (ecológicas), quanto do desenvolvimento das atividades humanas em um determinado espaço, ou seja, como a sociedade percebe e se relaciona com um dado ambiente em que (con)vive: “A qualidade ambiental de um ecossistema expressa as condições e os requisitos básicos que ele detém, de maneira física, química, biológica, social, econômica, tecnológica e política” (MACEDO, 1991, apud MAZZETO, 2000, p. 24).

Antes de se definir o que é degradação ambiental, deve-se abordar o conceito de impacto ambiental. Conforme a Resolução 001/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), impacto ambiental é: “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que afetem diretamente ou indiretamente” (BRASIL, 1986, Art. 01):

- A saúde, a segurança, e o bem-estar da população.
- As atividades sociais e econômicas.
- A biota.
- As condições estéticas e sanitárias ambientais.
- A qualidade dos recursos ambientais.

Para Bitar (1997), por meio da avaliação das alterações ou efeitos ambientais considerados significativos, derivados de um projeto para um determinado empreendimento, concebe-se o impacto ambiental, podendo este ser negativo ou

positivo. Quando as atividades desenvolvidas ocasionam danos ao ambiente, acontece a degradação ambiental, como consta na Política Nacional de Meio Ambiente. Em seu Art. 03, inciso II, é esclarecido que: “degradação da qualidade ambiental é a alteração adversa das características do meio ambiente” (BRASIL, 1981, Art. 03). Apesar de a lei não tratar especificamente sobre a origem da degradação ambiental, ou seja, sobre a definição da causa, é possível considerar: “que a degradação ambiental caracteriza-se como um impacto ambiental negativo (SÁNCHEZ, 2008, p. 27).

Partindo da bacia hidrográfica como unidade de análise, a degradação ambiental não pode ser analisada somente sob o ponto de vista físico, uma vez que deve ser entendida de forma global, integrada, holística, levando-se em conta as relações existentes entre a degradação natural e a sociedade, que pode ser a causadora dessa deterioração” (CUNHA; GUERRA, 2003).

Quando se discute a degradação ambiental, é importante abordar os diversos tipos de fenômenos que causam impacto negativo e degradam o ambiente. As distintas características geográficas das regiões, paisagens, espaços geográfico, seja qual for o recorte espacial, proporcionam fenômenos/processos de dinâmicas distintas, um dado fenômeno pode gerar degradação do ambiente em uma certa região, por suas características geográficas, e não ser tão impactante ou não degradar outra região, devido as características geográficas distintas; assim o pesquisador deve atentar para as características ambientais locais para definir que tipo de fenômenos/processos ocasionam degradação. Também é importante registrar que a amplitude do conceito de degradação, e a gama de processos que pode ser concebida como causadora de degradação, reforça o papel do pesquisador em conhecer as características ambientais do local e estabelecer e definir o escopo (os processos) que irá pesquisar sobre a temática, pois por uma série de razões, torna-se inviável abarcar todos os processos que causam degradação, seja pela abrangência e amplitude do termo, seja pela complexidade da realidade.

Ainda sobre esta reflexão, cabe salientar a existência de uma diferenciação espacial básica: o meio rural e o urbano. Compreender essa distinção é fundamental na análise de variáveis, processos e fenômenos que serão estudados para determinar as causas da degradação ambiental.

Neste trabalho o enfoque será dado a alguns fenômenos/processos causadores de impacto ambiental negativo, e que degradam o ambiente e afetam os recursos hídricos no meio urbano, assim como a qualidade de vida da população, destacando-se:

- Contaminação das águas.
- Assoreamento dos rios associado aos processos de erosão.
- Movimentos de massa, principalmente em locais habitados.
- Eventos de Inundação.
- Supressão da Vegetação pela expansão urbana em áreas importantes a serem conservadas e preservadas, principalmente em Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Além dos fenômenos/processos mencionados, associados à condição física do ambiente, e que levam à degradação do ambiente, o trabalho propõe incluir na análise a vulnerabilidade social como uma variável importante, condicionante da degradação ambiental. A seguir, discute-se mais detalhadamente os fenômenos supracitados causadores de degradação ambiental relacionados à temática da presente pesquisa.

#### 3.4.1 **Contaminação das Águas**

A poluição hídrica concerne na ocorrência de fenômenos que afetam diretamente ou indiretamente os recursos hídricos e prejudicam possíveis usos que possam ser feitos dele (BRASIL, 2006, p. 55). Cabe sinalizar que ela acontece sob três aspectos: introdução de substâncias artificiais; introdução de substâncias naturais; e alteração na proporção ou nas características dos elementos constituintes do próprio meio, como as alterações hidrológicas (*Ibidem*, p. 56). Neste trabalho é a avaliação está centrada sobre os aspectos que condicionam a contaminação das águas, sendo os principais agentes poluidores que caracterizam tal fenômeno:

- Matéria orgânica biodegradável (esgotos, por exemplo)
- Sólidos em suspensão

- Nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo
- Organismos patogênicos
- Matéria orgânica não biodegradável (pesticidas, detergentes),
- Metais pesados.

Abordando sobre o fenômeno da contaminação, refere-se à adição de substâncias, compostos ou elementos químicos, ou organismos que afetam a qualidade das águas, afetando as comunidades aquáticas e diversos tipos de usos. Ocorre contaminação quando há toxicidade da água ocasionada pela dissolução de elementos ou substâncias que são tóxicas, como os metais pesados e compostos de agrotóxicos. Outros casos de contaminação se dão pelo excesso de nutrientes como Nitrogênio e Fósforo, que podem levar ao fenômeno de eutrofização, permitindo uma superpopulação de algas, que para serem decompostas pelas bactérias, consomem o oxigênio dissolvido, diminuindo a sua concentração no ambiente aquático, e conseqüentemente prejudicando os demais organismos vivos presentes nos rios e lagos. Ou ainda, há a contaminação por organismos patogênicos que podem levar a graves doenças de veiculação hídrica (BRASIL, 2006).

É abordado com mais profundidade o tema da contaminação das águas no subcapítulo “qualidade da água” (3.5) no referencial teórico-metodológico.

Por fim, apesar do assoreamento ser considerado um fenômeno que condiciona poluição hídrica, está abordado no próximo subcapítulo, em conjunto com os processos erosivos e movimentos de massa.

### **3.4.2 Erosão, Assoreamento e Movimentos de Massa**

Os processos erosivos, de assoreamento e movimentos de massa se relacionam entre si, apesar de serem fenômenos naturais<sup>4</sup>, podem sofrer intensificação diante de alterações nas características ambientais realizadas pelas atividades humanas.

---

<sup>4</sup> Nesta pesquisa o termo fenômeno natural é usado no sentido de caracterizar um processo que pode ocorrer independente da presença humana ou da intervenção de atividades antrópicas no ambiente.

De forma básica: “a **erosão** é o processo pelo qual as partículas produzidas por intemperismo são deslocadas e removidas de sua origem, geralmente por meio de correntes de água e ar” (GROTZINGER; JORDAN, 2013). Os processos erosivos acontecem de maneira distinta conforme sua associação com sistemas morfogenéticos<sup>5</sup>, assim a dinâmica da atuação de processos atmosféricos (ação das correntes de ar, precipitação pluvial ou nival) sobre as vertentes<sup>6</sup> vai caracterizar os tipos de processos erosivos (pluvial, eólico ou glacial). A predominância do tipo de processo erosivo está associada as regiões morfogenéticas ou zonas morfoclimáticas (CHRISTOFOLETTI, 1980), ou seja, está relacionada com o clima predominante em uma dada região, que por sua vez condiciona a prevalência da ação de certos tipos de intemperismo (químico ou físico), assim como o tipo de ação erosiva das correntes de água, ar ou gelo. Cabe ainda destacar que os estudos dos processos erosivos recebem distintas abordagens, conforme o ambiente e o sistema que atuam, como por exemplo: processos de erosão fluvial que ocorrem no canal de escoamento superficial, a erosão eólica que ocorre em ambientes costeiros e desérticos, a ação erosiva das águas marinhas sobre uma zona costeira, a ação erosiva das geleiras em ambientes glaciais.

Partindo da característica climática de Porto alegre, subtropical úmido (Cfa), e a partir das considerações expostas por Christofolletti (1980), pode-se considerar que há o predomínio da ação erosiva pelas águas pluviais e sua dinâmica de escoamento superficial e subsuperficial, isso não descarta em segundo plano a ação erosiva de caráter eólico, porém a ação das águas exerce maior influência nos processos erosivos atuais que modelam o relevo do município.

Conforme Guerra (2012) a erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases, sendo estas a remoção de partículas e o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos. A partir da consideração de que a ação das águas é o

---

<sup>5</sup> Conforme Christofolletti (1980, p.27), os processos morfogenéticos são responsáveis pela esculturação das formas de relevo, ação da dinâmica externa sobre a vertentes.

<sup>6</sup> As vertentes podem ser subáreas ou submarinas, podendo resultar da influência de qualquer processo, e, nesse sentido amplo, abrangem todos os elementos componentes da superfície terrestre, sendo formadas pela ampla variedade de condições internas e externas (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 26).

processo dominante quanto a erosão dos solos na área de estudo, pode-se destacar os principais fatores controladores destacados por Guerra (2012):

O processo erosivo depende de uma série de fatores controladores: erosividade das chuvas, propriedades dos solos, cobertura vegetal e características das encostas. A partir da ação desses fatores, ocorrem mecanismos de infiltração de água no solo, armazenamento e escoamento em superfície e subsuperfície. (Guerra, 2012, p. 178).

Não irá se adentrar nas considerações de cada fator, mas cabe salientar que o autor aponta que grande parte dos estudos de erosão dos solos são oriundos de trabalhos empíricos, com uma vasta gama de dados sobre perda de solos e sobre a influência de fatores controladores. Neste sentido, cabe ressaltar as metodologias de Ross (1994), INPE (1996, 2001) e Brandão (2005), que abordam de forma integrada esses fatores controladores em índices que avaliam fragilidade, vulnerabilidade e degradação ambiental, dando enfoque para os processos erosivos e de perda de solo.

Ligado a esses fatores controladores da ação erosiva das águas, têm-se os tipos de erosão, explanados a seguir conforme (Guerra, 2012):

**Erosão em Lençol** – também conhecida como erosão laminar, se dá através do escoamento superficial nas encostas de forma dispersa, removendo e transportando material, de forma não concentrada em canais.

**Erosão em Ravinas** – ocorre quando a velocidade do fluxo de água aumenta nas encostas e dão origem a um escoamento superficial canalizado que originam as ravinas, assim passam a remover e transportar material de forma concentrada em um canal, em geral são efêmeras nas encostas e descontínuas, sem conexão com a rede de drenagem. Muitas vezes em episódio de precipitação elevada formam-se ravinas e que são posteriormente obliteradas pela deposição sedimentar da erosão laminar ou até por outros episódios de precipitação elevada que formam novas redes de ravinas independentes.

**Erosão em Voçorocas** – Apresentam-se com caráter mais permanente nas encostas do que ravinas, possuem paredes laterais íngremes, e em geral, fundo chato, também sendo característico o fluxo da água canalizado de forma canalizada no seu interior, em eventos chuvosos. Em alguns casos o aprofundamento do leito pode alcançar o nível freático. Sua origem em geral está associada a ação erosiva do



escoamento superficial que em eventos chuvosos causam alargamento e aprofundamento de ravinas, causando instabilidade das paredes do canal e assim proporcionando uma evolução de ravina para voçoroca. A origem também pode estar associada ao escoamento subsuperficial, com o colapso do material superficial dando origem as voçorocas, ou ainda estar associada a uma cicatriz de deslizamento que conforme os eventos chuvosos passam a desenvolver a voçoroca.

Importante ressaltar que Guerra (2012) afirma que o desmatamento, o uso agrícola ou até mesmo o manejo inadequado do solo em áreas urbanas podem aumentar a erosão laminar, assim como desencadear ou acelerar a formação de ravinas e voçorocas.

Por fim, cabe salientar o aspecto relacional entre erosão e degradação ambiental na perspectiva do escopo deste trabalho:

O material que é erodido de uma bacia hidrográfica pode causar assoreamento de rios e reservatórios. Além disso as partículas transportadas pela água, em uma área agrícola, podem estar impregnadas de defensivos agrícolas e contaminar as águas dos rios. O desmatamento e a erosão dos solos podem provocar desaparecimento de mananciais, bem como acentuar os efeitos das inundações. Enfim, a erosão dos solos causa uma grande gama de impactos ambientais. (Guerra, 2012, p. 187).

O **assoreamento** consiste na diminuição da profundidade e do volume útil de curso d'água, através da introdução de substâncias naturais, de material mineral (areia, silte, argila) a um corpo hídrico, assim prejudicando diversos usos da água. (BRASIL, 2006). A principal origem dos processos de assoreamento está relacionada aos movimentos de terra: “abertura de loteamentos, construção de rodovias e exposição do solo, sem proteção, em áreas agrícolas na bacia de drenagem de um rio ou lago” (*ibidem*, p. 60). Como salientado por Moura; Basso e Sanches (2013) a BHAS tem sido alvo de expansão urbana, que desencadeiam processos de assoreamento:

A expansão urbana contribui, assim, para o aumento dos sedimentos fornecidos pela bacia hidrográfica, ocasionando o assoreamento dos cursos fluviais e a deterioração da qualidade da água, provocada pelo transporte de substâncias agregadas às partículas de argila e silte. (MOURA, BASSO; SANCHES, 2013, p. 106).

Conforme Stevaux e Latrubesse (2017) o assoreamento nos canais fluviais costumam acontecer devido as mudanças no uso e cobertura da terra na bacia, que a partir delas desencadeiam aceleração da erosão e aumento no suprimento de sedimentos na rede de drenagem, este processo pode desencadear uma retroalimentação positiva, assim o desencadeamento de uma erosão acelerada pode remover a camada de solo mais superficial, enquanto que as camadas inferior tendem a ser mais impermeáveis, o que facilita o escoamento superficial e por conseguinte a erosão, este processo pode desencadear assoreamento nos canais, alterando a própria capacidade hidrológica de transporte de sedimentos.

Os **movimentos de massa** também ocorrem naturalmente, independente das intervenções antrópicas no ambiente, porém as alterações realizadas no meio pelas atividades humanas podem potencializar ou intensificar tais fenômenos. Conforme Fernandes e Amaral (2012) os movimentos de massa ganham destaque pelos grandes danos que podem causar à sociedade, como prejuízos materiais e perdas de vida humanas. Os autores destacam ainda que pelas condições climáticas e geomorfológicas, o Brasil apresenta diversas áreas suscetíveis aos movimentos de massa, alertando ainda que além da elevada frequência de origem natural, há um grande número de acidentes induzidos pela ação antrópica, o que é observado em diversas metrópoles brasileiras, eles destacam que os cortes do relevo para implementação de moradias e estradas, desmatamentos, atividades de pedreiras, depósitos de lixo induzem o acontecimento de tais fenômenos. Conforme Guimarães *et al.* (2008) as ocupações irregulares nas encostas, com consequentemente desmatamento e cortes de taludes, acabam propiciando ou favorecendo a ocorrência dos movimentos de massa, ocasionando situações graves, pois tais moradias acabam se instalando em áreas de risco, que em muitas ocasiões acabam em tragédias por desastres naturais.

A principal questão para determinar as áreas suscetíveis e o perigo de acontecer tais fenômenos pressupõem a avaliação da estabilidade das encostas, sendo que diversos fatores locais avaliados de forma integrada vão constituir o grau de estabilidade: estrutura geológica; tipo de materiais; declividade; orientação e forma das vertentes; área de contribuição; intensidade e distribuição das precipitações (*ibidem*). Conforme as características destas variáveis no ambiente podem ocorrer

diferentes tipos de movimentos de massa, que são classificados basicamente devido ao material, aos processos e fatores condicionantes (FERNANDES; AMARAL, 1996 *apud* GUIMARÃES *et al.*, 2008). Há diversas classificações, mas de forma genérica, conforme Fernandes e Amaral (2012), compreendem: rastejos; corridas de massa; escorregamentos; quedas/tombamentos.

Não irá se adentrar em explicar cada tipo com maior aprofundamento na questão, o que cabe ressaltar que para esta pesquisa o mapeamento utilizado que representa a suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa na BHAS, englobam de maneira geral e conjunta os processos erosivos, assim como os movimentos massa, desta forma, representa de maneira sintética a suscetibilidade a qualquer processo associados a tais fenômenos, seja erosão laminar, ravinas, rastejo, deslizamentos.

### 3.4.3 Eventos de Inundação

As inundações são fenômenos naturais derivados de processos meteorológicos e hidrológicos (UNDRR, 2021). Conforme Amaral e Ribeiro (2009) a frequência e magnitude das inundações são decorrentes em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas de uma bacia de drenagem, porém, podem estar associados às mudanças das características ambientais ocorridas a partir das intervenções antrópicas em uma dada bacia hidrográfica. Tucci (2003) corrobora ao afirmar que, muitas vezes as inundações podem estar relacionadas às mudanças nas características hidrogeomorfológicas, como a canalização de rios, impermeabilização do solo e a ocupação urbana.

Para a compreensão da dinâmica dos processos de inundações aborda-se brevemente alguns conceitos essenciais, como vazão, regime fluvial, tipos de leitos fluvial, planície de inundação, cheias e enchentes.

Partindo da concepção da bacia hidrográfica como um sistema aberto, as transferências (entradas e saídas) de matéria e energia criam as relações entre os elementos do seu sistema (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017), sendo um deles o sistema fluvial, que pode ser considerado um sub-sistema da bacia hidrográfica, e

abrange a rede de drenagem. As principais entradas no sistema fluvial ocorrem por meio das águas de escoamentos superficiais e subterrâneos (OLIVEIRA, 2012), além das precipitações que incidem diretamente sobre um curso d'água, enquanto que as saídas se dão basicamente através de processos de deposição sedimentar ou pelo deflúvio. Assim partindo de uma explicação didática, as precipitações caracterizam as entradas de matéria/energia na bacia hidrográfica, assim como os débitos fluvial que ocorrem na foz do rio principal caracterizam as saídas.

O deflúvio, também denominado como vazão, descarga ou débito do rio, refere-se ao volume de água que em uma determinada unidade de tempo passa sob uma determinada seção transversal (OLIVEIRA, 2012). Os períodos de chuvas mais abundantes condicionam fluxos superficiais mais expressivos que elevam a magnitude das vazões na rede de drenagem, enquanto que períodos secos ou de estiagem, diminuem a magnitude das vazões. Esta variação ao longo de um determinado período de análise vai caracterizar o regime fluvial ou regime de descarga (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). Conforme Oliveira (2012) os monitoramentos das vazões geralmente são realizados através de estações fluviométricas, e são fundamentais para estudo da dinâmica e prevenção dos processos de inundação. Conforme Stevaux e Latrubesse (2017) as vazões são estudadas de diferentes formas, com diferentes escalas de distribuição temporal (vazões diárias, mensais, anuais ou até períodos mais longos para descargas de cheias). Os autores ainda salientam que em relação a distribuição temporal, as vazões são avaliadas em função da magnitude (tamanho, volume do fluxo), da recorrência (a que período recorre estatisticamente) e da frequência (número de dias na série histórica). Cabe destacar alguns dos tipos de medidas como a vazão média, vazão dominante, vazão de margens plenas; vazão de cheias, vazão excepcional e vazão máxima. A seguir descreve-se com mais detalhe cada um dos tipos, a partir das definições apresentadas pelos autores (TUCCI, 2004; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; GRISON; KOBIYAMA, 2011).

**Vazão média** – a vazão média anual é obtida pela média diária de todos os valores do ano, permitindo identificar padrões sazonais e variações interanuais, enquanto que a vazão média de longo período é o valor médio das vazões médias anuais, ou seja, a média das médias ao longo de um longo período de tempo, obtida

a partir de uma série histórica, de certa forma representa uma referência da descarga habitual ao longo dos anos.

**Vazão dominante** - É a vazão que escoar o maior volume de água ao longo do ano hidrológico ou da série histórica. Sua definição envolve o produto do valor do débito diário por sua frequência na série histórica, pode ser estimada a partir da definição de uma vazão com determinado tempo de recorrência, para uma mesma frequência.

**Vazão de margens plenas** – refere-se à situação em que o escoamento de água em um curso d'água atinge o nível máximo, enchendo completamente a calha principal do curso d'água, mas sem transbordar para a planície de inundação adjacente.

**Vazão de Cheias** - ocorre durante um período de enchente ou cheia, sendo caracterizada pela elevação da cota do nível d'água e volume de água escoada consideravelmente acima do que a vazão média, podendo atingir ou não a cota da vazão de margens plenas, ou ainda, ultrapassá-la quando ocorrer o transbordamento das águas para a planície de inundação, é de suma importância o estudo do tempo de retorno e magnitude destas vazões.

**Vazão Excepcional** – decorre de um evento hidrológico extremo, geralmente ligado a condições meteorológicas excepcionais, fora do padrão, ocasionando uma vazão excepcionalmente alta, muito acima dos valores médios ou das cheias típicas de um curso d'água. Ocorre apenas em intervalos de tempo muito longos, por via de regra tem como base o tempo de retorno secular. O estudo para determinar a recorrência deste tipo de evento e as magnitudes já registradas, muitas vezes requer abordagens de paleohidrologia e técnicas estatísticas avançadas.

**Vazão Máxima** - é o valor mais alto de vazão observado durante um evento de cheia específico, ou período considerado para a análise. Portanto, pode variar dependendo da intensidade e da duração das chuvas ou por outros fatores que influenciam a magnitude da cheia. A estimativa de vazão máxima é utilizada para previsão de processos de inundação, compreendendo um valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado.

Por fim, cabe destacar que há diferentes maneiras de avaliar a vazão, conforme o propósito pretendido, porém basicamente leva em conta a relação, magnitude,

recorrência e frequência.

Através da abordagem da geomorfologia fluvial, Christofolletti (1980) distingue quatro tipos de leitos fluviais quanto aos aspectos da geometria hidráulica, que são caracterizados a partir das formas e processos relacionados ao escoamento superficial contínuo ou sazonal e ainda, com a recorrência e magnitude das cheias. A seguir, conforme (CHRISTOFOLETTI, 1980; CUNHA, 2012; OLIVEIRA, 2012; FERRAZ, 2021) definem-se os quatro tipos de leitos fluviais.

**Leito vazante** – caracterizado como o leito de menor seção transversal, ele serpenteia entre as margens do leito menor, acompanhando o talvegue (linha de maior profundidade), apresenta o fluxo contínuo do escoamento superficial, em qualquer época – estação – do ano, em épocas mais secas ou de estiagem, é a parte do canal ocupada durante o escoamento das águas de vazante.

**Leito menor** – é bem delimitado, apresentando margens geralmente bem delimitadas (limite da seção transversal e diques marginais), o escoamento das águas nesse leito tem a frequência suficiente para impedir o crescimento da vegetação.

**Leito maior periódico ou sazonal** – pelo menos uma vez ao ano é regularmente ocupado pelas cheias.

**Leito maior excepcional** – são ocupadas pelas águas que transbordam os demais leitos quando ocorrem cheias mais elevadas, ficando submerso em tempos irregulares, decorrentes de situações excepcionais, por definição, não ocorrendo todos os anos, podendo ter frequência de intervalos superiores a décadas.

Assim de forma didática, pode-se considerar que a vazão média e a vazão dominante podem ocorrer dentro do leito menor, enquanto que nas vazões de margens plenas, o volume de água atinge a cota limite do leito menor, já as vazões de cheia podem ocorrer tanto no leito menor como no maior sazonal ou ainda no leito maior excepcional, enquanto que as vazões excepcionais referem-se exclusivamente àquelas que alcançam o leito maior excepcional.

A geometria hidráulica dos leitos é decorrente desta variação cíclica do regime fluvial, vazante - cheia - vazante (Oliveira, 2012). A configuração dela será resultado da relação que o regime fluvial determina nas variações do fluxo de água e sedimentos associadas ao trabalho dos rios, conferindo os ajustes das formas em função dos processos erosivos e deposicionais (STEVANUX; LATRUBESSE, 2017;

CHRISTOFOLETTI, 1980). Conforme Stevaux e Latrubesse (2017) um canal se encontra em regime quando sua forma oscila em torno de uma condição de equilíbrio em determinada escala temporal, porém, os canais podem se encontrar numa condição de não regime, o que caracteriza um desequilíbrio quanto aos processos de ajuste de sua geometria hidráulica, tal fato estará associado a sensibilidade às condições hidráulicas e de aporte de sedimentos, causadas por processos exógenos à dinâmica do sistema fluvial, como tectonismo, mudanças climáticas que alteram o regime de precipitação, ou até mesmo alterações antrópicas na bacia hidrográfica ou no curso fluvial. Cunha (2012) destaca que a delimitação entre eles tipos de leitos pode ser desafiadora devido à falta de nitidez em seus limites, sendo que tais limites e suas relações podem variar de um curso de água para outro ou mesmo dentro do mesmo rio. Assim, conforme Ferraz (2021) para a compreensão dos processos de inundação, as áreas de sedimentação fluvial que sofrem inundações podem ser entendidas de forma genérica como planície de inundação ou várzeas.

Desta forma, cabe discorrer brevemente sobre o conceito de planície de inundação, também denominado como várzea: “é uma faixa do vale fluvial composta de sedimentos aluviais, bordejando o curso de água, e periodicamente inundada pelas águas de transbordamento provenientes do rio” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 76). Conforme Cunha (2012) a planície de inundação compreende o leito maior periódico ou sazonal e o leito maior excepcional. Segundo Stevaux e Latrubesse (2017), a planície de inundação, embora se apresente como uma superfície plana, é formada por um mosaico de variados subambiente com distintos graus de conexão hidrológica com o canal, sendo constituído pelo cinturão aluvial, por tipos de unidades de escoamento limitado e por bacias de inundação.

Não irá se adentrar nas mais variadas formas e processos de morfogênese que podem ocorrer numa planície de inundação, apenas salienta-se que estes subambientes possuem uma complexa dinâmica e uma grande importância ecológica. Contudo, duas formas merecem atenção nesta explanação, que são os diques marginais e as bacias de inundação. Os diques marginais delimitam o leito menor do leito maior, ou seja separa o canal (calha principal do rio) da planície de inundação (calha secundária), em geral ele apresenta seção transversal ligeiramente triangular, com uma declividade mais suave da superfície voltada para bacia de inundação e

outra mais íngreme voltada para o canal, sendo formado pela deposição dos sedimentos em eventos de cheias que superam as margens plenas, sua largura é modesta, mas de maneira geral bordeja o perfil longitudinal do canal, sua altura é variável, podendo ser de poucos decímetros a mais oito metros, situa-se alguns metros acima do nível do canal e da bacia de inundação (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; CHRISTOFOLETTI, 1980) . O transbordamento das águas do canal sobre os diques marginais devido um evento de cheia, irá caracterizar uma inundação com extravasamento das águas do canal para a planície de inundação.

Já as bacias de inundação são depressões na planície de inundação, pobremente drenadas, e constituem-se como ambientes hidrófilo, já que a água não provém unicamente do extravasamento do canal,, mas também do lençol freático aflorante e da precipitação local, também são áreas de decantação de sedimentos finos quando as águas oriundas do extravasamento do canal as atingem (STEVAUX E LATRUBESSE, 2017; CHRISTOFOLETTI, 1980). Mesmo que numa série histórica de monitoramento de um curso fluvial, as vazões máximas de cheia não atinjam as bacias de inundação, são áreas inadequadas para ocupação urbana, pois além de estarem sujeitas a um evento excepcional de cheia, exercem um papel de controle natural de detenção das cheias do canal principal, além disso estão propicia a ocorrência de alagamentos<sup>7</sup> (quando ocorre a ocupação urbana), devido à má drenagem e sua condição topográfica, ou ainda, quando se apresentam no seu estado natural, podem caracterizar área úmidas ou banhados, sendo assim áreas que possuem grande importância ecológica (SIMIONI; GUASSELLI 2017).

Outra definição importante é diferenciar o conceito de cheia, enchente e inundação. Estes termos têm sido muitas vezes empregados de forma confusa ou até mesmo como sinônimos, é possível observar tal colocação em diversas literaturas que abordam o assunto, como em Kobiyama *et al.* 2006 e Amaral e Ribeiro (2009). Para os autores as cheias ou enchentes são definidas pela elevação do nível d'água no canal de drenagem, atingindo a cota máxima do canal, devido ao aumento da vazão,

---

<sup>7</sup> Refere-se a um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais, devido a deficiência no sistema de drenagem (AMARAL; RIBEIRO, 2009), esta concepção refere-se a locais do meio urbano, geralmente impermeabilizados (calçadas, ruas ou outras infraestruturas urbanas) ao contrário das áreas úmidas, que são locais alagadiços em seu estado natural, caracterizando um ecossistema de interface terrestre-aquático (SIMIONI; GUASSELLI, 2017).



porém, sem a ocorrência do transbordamento das águas para planície de inundação, enquanto que a inundação refere-se ao transbordamento das águas de um curso fluvial, atingindo a planície de inundação ou área de várzea (AMARAL; RIBEIRO, 2009; KOBIYAMA *et al.* 2006).

Porém, neste trabalho, ainda sugere-se distinguir os termos cheia e enchente. Primeiramente cabe distinguir o termo cheia através duas formas de abordagem: a primeira como um processo, partindo-se da definição dada por Christofolletti (1980, p. 75): “com as cheias, há a elevação do nível das águas que, muitas vezes transbordando por sobre as margens, inundam as áreas baixas marginais”. Assim as cheias são entendidas como o processo de elevação da cota do nível d’água, decorrente do aumento da vazão (para uma situação acima do normal) podendo atingir a cota máxima da calha do rio (leito menor) ou ainda ocorrer o transbordamento das águas para o leito maior. Já a segunda, refere-se a uma condição/situação da cota do nível d’água, quando esta está no limite da cota máxima da calha do rio (leito menor), ou seja, refere-se ao evento onde ocorre vazão de margens plenas, nesta segunda abordagem o termo cheia assume o sinônimo de enchente, sendo assim, esta é compreendida a partir da definição dada anteriormente por Kobiyama et al. (2006). Sintetizando, quando ocorrem processos de cheias (elevação da cota do nível d’água de curso fluvial), a enchente refere-se a cota máxima do nível d’água no limite do leito menor (débito de margens plenas), já o transbordamento das águas para o leito maior, passa a caracterizar um evento de inundação.

Discorrendo sobre os processos de inundação, eles podem ser classificados de acordo com o seu padrão evolutivo, o que envolve a velocidade do processo, podendo ser uma inundação brusca ou gradual (FERRAZ, 2021). Também cabe destacar que pode ser classificada segundo os aspectos geográficos e causas, assim pode-se diferenciar inundações associadas ao transbordamento das águas de rio, ou ainda uma inundação litorânea (ligada a subida do nível do mar), quanto as causas, envolvem desde questões naturais (como eventos de precipitação elevada e características do terreno) assim como alterações antrópicas no meio, como impermeabilização do solo, retificação e canalização dos rios, ou até assoreamento dos rios causados pelas atividades humanas numa da bacia hidrográfica (AMARAL; RIBEIRO, 2009; FERRAZ, 2021). Sobre as inundações bruscas, elas ocorrem devido

a chuvas intensas e concentradas, na qual a elevação das águas se dá de forma súbita com escoamentos violentos: “Os vales encaixados (em V) e vertentes com altas declividades predis põem as águas a atingirem grandes velocidades em curto tempo, causando inundações bruscas e mais destrutivas” (AMARAL; RIBEIRO, 2009, p. 45). Conforme Ferraz (2009), este tipo de inundação, em geral tende a causar mais mortes do que as graduais, porém, a área impactada é menor. Já nas inundações graduais, o nível da água eleva-se de forma lenta e previsível, mantendo-se em situação de cheia durante algum tempo, sendo o transbordamento é mais lento (*ibidem*). Vales abertos, com extensas planícies e terraços fluviais predis põem inundações mais lentas (graduais), pois apresentam menor gradiente de declividade das vertentes (AMARAL; RIBEIRO, 2009), nestes tipos, a área impactada é maior e a normalização dos níveis das águas é mais lento (FERRAZ, 2009).

Lima (2010) adverte que a problemática da inundação no meio urbano é justamente a ocupação do leito maior, local de ocorrência do fenômeno de inundação, onde muitas vezes há moradias irregulares em situações precárias. Ele trabalhou com tal temática na BHAS, e considera que as condições ambientais da BHAS formam um conjunto de características favoráveis a problemas de inundação. O autor salienta que a BHAS possui áreas suscetíveis a inundação tanto por transbordamento das águas do Arroio do Salso, como as do Guaíba. Além disso, aponta que as áreas de planícies flúvio-lagunares, apresentam um mosaico de banhados e áreas alagadiças por natureza. Ainda, ressalta que os processos de inundação podem gerar sérios problemas ambientais, como a propagação de doenças de vinculação hídrica, perdas de bens materiais, degradação da paisagem e destruição de residências e equipamento de infraestrutura. No capítulo 5 são apresentados locais com habitações instaladas na planície de inundação do Arroio do Salso e que periodicamente sofrem com os eventos de inundação.

#### **3.4.4 Cobertura Vegetal e Qualidade Ambiental**

Quanto ao papel desempenhado pela cobertura vegetal sobre a qualidade ambiental, é importante levar em consideração a sua influência sobre os recursos hídricos:

Além de exercer papel essencial na manutenção do ciclo da água, protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, aumentando a porosidade e a permeabilidade do solo através da ação das raízes, reduzindo o escoamento superficial, mantendo a umidade e a fertilidade do solo pela presença de matéria orgânica. (BELTRAME, 1994, p.14).

Melo, Sales e Oliveira (2011) explicam que a cobertura vegetal serve como um manto protetor dos recursos naturais, e nesse sentido, a sua distribuição e densidade definem o estado de conservação de um dado ambiente. Consideram que analisar a densidade da cobertura vegetal, assim como, sua espacialidade, faz-se de suma importância para estudos voltados à análise da degradação ambiental em bacias hidrográficas.

Segundo Brandão (2005) a grande importância da cobertura vegetal no contexto ambiental perpassa a manutenção da biodiversidade e proporciona a proteção dos solos, minimizando a ocorrência dos processos morfogenéticos.

Conforme Stevaux e Latrubesse (2017) a retirada da vegetação original da bacia e sua substituição por outro tipo de cobertura (agricultura, pastagem, urbanização, etc.) provoca instabilidade no sistema, podendo acelerar os processos erosivos, ainda salientam quanto ao impacto da urbanização no regime hidrológico, segundo os autores a urbanização de 20% da área de uma bacia produz um aumento na vazão, podendo as alterar as vazões de cheias anuais numa proporção de ser dez vezes maiores do que seriam numa condição natural.

Cabe ainda salientar a importância da cobertura vegetal em Áreas de Preservação Permanente (APPs) como suporte para a manutenção da qualidade ambiental das bacias hidrográficas. Anbumozhi, Radhakrishnan e Yamaji (2005) e Gonçalves e Rocha (2016), sinalizam que as matas ripárias reduzem a influência de nutrientes agrícolas e produtos químicos, diminuem a turbidez das águas e minimizam o escoamento, dessa maneira há decréscimo da velocidade de percolação de contaminantes até as águas superficiais ou subterrâneas.

### 3.5 QUALIDADE DA ÁGUA

Segundo Von Sperling (1996), a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e das atividades humanas. As condições naturais que podem afetar a qualidade da água estão associadas à dinâmica do ciclo hidrológico. Para o autor, o impacto está atrelado ao contato das águas de escoamento ou infiltração com as partículas, substâncias e impurezas no solo. Assim, a incorporação de sólidos em suspensão (ex. partículas de solo) ou dissolvidos (ex. íons oriundos da dissolução de rochas) ocorre mesmo na condição em que a bacia hidrográfica esteja totalmente preservada em suas condições naturais (cobertura do solo com vegetação preservada), neste caso, a qualidade é influenciada pela cobertura e a composição do solo. Quanto a interferência antrópica na qualidade das águas, considera que ela se dá de maneira concentrada, através da geração de despejos domésticos ou industriais, e de forma dispersa, através da aplicação de agrotóxicos no solo. Essas atividades contribuem na introdução de compostos na água, afetando a sua qualidade. Portanto, fica evidente que a forma ou a maneira em que se estabelece o uso e a cobertura da terra tem uma implicação direta sobre a qualidade da água das bacias hidrográficas (VON SPERLING, 1996).












Dias *et al.* (2011) considera que a qualidade da água pode ser mensurada através de um conjunto de parâmetros físico-químicos, organolépticos, biológicos e sensoriais.

Importante lembrar que a qualidade da água está relacionada aos tipos de usos para determinadas finalidades, ou seja, o conceito de qualidade da água é “adaptável”, ajusta-se ao uso requerido, como por exemplo: a qualidade da água para abastecimento humano difere da qualidade da água para irrigar lavouras (VON SPERLING, 1996; GONÇALVES *et al.* 2005; BRASIL, 2006).

Quando se analisa a qualidade da água dos corpos hídricos nacionais, é fundamental mencionar a Resolução CONAMA 357/2005. Trata-se do principal marco legal brasileiro, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (BRASIL, 2005). Essa norma legal determina os limites de concentração de parâmetros físico/químicos e biológicos nas águas superficiais, visando estabelecer uma classificação quanto a qualidade das águas,

conforme os usos pretendidos. A Figura 10 apresenta as classes de qualidade de água e os tipos de usos permitidos em cada uma dela.

**Figura 10 - Classes de Qualidade da Água e usos preponderantes, classificação segundo Resolução CONAMA 357/2005.**

USOS DAS ÁGUAS DOÇES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
		ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas			Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário						
Aquicultura						
Abastecimento para consumo humano		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário						
Pesca						
Irrigação			Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

FONTE: ANA (2021).

Já o enquadramento refere-se ao estabelecimento de uma meta para uma certa classe de qualidade de água almejada, a ser alcançada ou mantida em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos pretendidos (BRASIL, 2005).

O monitoramento da qualidade das águas refere-se a um conjunto de práticas que visam acompanhar as alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, decorrentes de atividades antrópicas e de fenômenos naturais (ANA, 2021). A finalidade do monitoramento é verificar se a qualidade está adequada para os usos que se faz ou pretende-se fazer. Nesse sentido, as práticas consistem em campanhas de trabalho de campo que envolvem coletas de amostras de água em pontos estratégicos e a realização de ensaios físico-químicos e biológicos laboratoriais. Dessa maneira, a verificação da qualidade da água pode ser realizada através de técnicas analíticas para determinar os parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e

hidrobiológicos (VON SPERLING, 1996).

### 3.5.1 Índice de Qualidade da Água – IQA

Existem diversos Índices de Qualidade da Água (IQA) (CETESB, 2021; GLÓRIA; HORN; HILGEMANN, 2017; STRADA, 2021). O mais conhecido mundialmente é o que foi desenvolvido na década de 1970 pela *Nacional Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos: o WQI – *Water Quality Index*. Tal índice foi adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) em 1988, que substituiu o Nitrato e Fosfato por Nitrogênio total e Fósforo total, respectivamente (STRADA, 2021). Conforme Hinata (2014) essa adaptação foi estabelecida em função dos esgotos domésticos, ricos em outras formas de Nitrogênio, que tem comprometido significativamente os cursos d'água do território brasileiro.

Coradi *et al.* (2009) expressam bem a relevância e utilidade dos IQA:

Tem como objetivo a simplificação de uma série de variáveis em valores únicos. Dessa forma, esses índices são bastante úteis para transmitir informação a respeito da qualidade da água ao público em geral, podendo dar boa ideia da tendência de evolução da qualidade ao longo do tempo e do espaço, sendo importante ferramenta para o gerenciamento de bacias hidrográficas (CORADI *et al.*, 2009, p. 54).

O IQA-NSF, que posteriormente foi adotado pela CETESB, incorpora nove parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade de água, com o foco para abastecimento público (CETESB, 2021). Ele foi desenvolvido através da combinação de questionários aplicados com 142 especialistas, através da técnica Delphi da Rand Corporation (STRADA, 2021). Neste processo de elaboração do índice, selecionaram-se nove parâmetros, sendo estabelecidas as curvas de variação da qualidade da água, de acordo com o estado de condição de cada um (DERÍSIO, 2017 *apud* STRADA, 2021).

Basicamente o IQA é calculado pelo produtório da qualidade correspondente aos parâmetros: Temperatura da amostra; pH; Oxigênio Dissolvido; Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias, 20 °C); Coliformes termotolerantes; Nitrogênio Total; Fósforo Total; Sólidos Totais e Turbidez (CETESB, 2021).

### 3.5.2 Uso e Cobertura da Terra e Qualidade da Água

Conforme Von Sperling (1996), o uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas influenciam de maneira direta e indireta a sua qualidade das águas.

Sobre a expansão urbana e seus efeitos de poluição hídrica, Moura *et al.* (2016) afirmam que:

O adensamento populacional e a impermeabilização crescente do solo condicionam impactos negativos ao ambiente, destacando-se, entre outros, a intensificação dos processos de inundação urbana; alteração no escoamento devido ao aumento da produção de sedimentos; degradação da qualidade da água pelos esgotos pluviais e/ou cloacais e contaminação dos aquíferos (MOURA *et al.*, 2016, p. 300).

Quanto ao tipo de contaminação da água por substâncias, elementos químicos ou indivíduos patogênicos, é importante salientar as diferenças esperadas para o uso agrícola e o uso urbano-doméstico. Geralmente, as atividades agrícolas têm forte influência sobre as concentrações de nutrientes na água, como o Nitrogênio e o Fósforo, enquanto nas áreas urbanas e industriais, a poluição predominante é do tipo orgânica e também deriva dos metais pesados e nutrientes (MENEZES *et al.*, 2016)

O Quadro 2 apresenta considerações sobre os agentes poluidores das águas, suas principais fontes e os possíveis efeitos poluidores.

**Quadro 2 - Principais agentes poluidores das águas.**

Poluente	Principais parâmetros	Fonte				Possível efeito poluidor
		Esgoto		Drenagem		
		Doméstico	Industrial	urbana	rural	
Sólidos em suspensão	Turbidez, sólidos totais (ST)	xxx	<->	xx	x	Problemas estéticos; depósito de lama; adsorção de poluentes; proteção de patógenos.
Matéria orgânica biodegradável	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	xxx	<->	xx	x	Consumo de oxigênio; mortandade de peixes; condições sépticas.

Poluente	Principais parâmetros	Fonte				Possível efeito poluidor
		Esgoto		Drenagem		
		Doméstico	Industrial	urbana	rural	
Nutrientes	Nitrogênio total, NTK, nitrato, amônia, fósforo total, fosfatos.	xxx	<->	xx	x	Crescimento excessivo de algas; toxicidade aos peixes (amônia); doença em recém-nascidos (nitrato); poluição das águas subterrâneas.
Patógenos	coliformes termotolerantes <i>Escherichia coli</i> ( <i>E. coli</i> )	xxx	<->	xx	x	Doenças de veiculação hídrica (ex.: cólera, hepatite infecciosa, amebíase, giardíase, esquistossomose, ascaridíase).
Matéria orgânica não-biodegradável	Pesticidas, alguns detergentes, demanda química de oxigênio (DQO) e outros.		<->		xx	Toxicidade (vários); espumas (detergentes); redução da transferência de oxigênio entre água e atmosfera (detergentes); maus odores (fenóis)
Metais pesados	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn etc.)		<->			Toxicidade; inibição do tratamento biológico de esgotos; contaminação das águas subterrâneas; problemas na disposição de lodos na agricultura.
Sólidos inorgânicos dissolvidos	Cor, sólidos dissolvidos totais SDT, condutividade elétrica				<->	Salinidade excessiva - prejuízo às plantações (irrigação), toxicidade a plantas (alguns íons); problemas de permeabilidade do solo (sódio).
Calor	Temperatura		<->			Redução da solubilidade de gases (oxigênio); afeta biota.
Álcalis e Ácidos	Potencial hidrogeniônico (pH)	xx	<->	xxx		Biota exige pH entre 6,5 e 8,5 para não sofrer danos; pH baixo está relacionado à corrosividade e pH alto incrustações em tubulações.
Óleos e graxas	Teor de óleos e graxas	x	<->	xx		Redução da transferência de oxigênio entre água e atmosfera

**Legenda:** x = pouco; xx = médio; xxx = muito; <-> = variável; em branco = usualmente não importante. Fonte: Von Sperling (1996), adaptado por Hinata (2014, p. 50), e por Krummenauer (2020, p. 28).

Conforme o quadro, é possível observar os tipos de poluentes, assim como os tipos de ambientes (urbano ou rural) que geralmente costumam ser as fontes originárias da poluição. É possível observar que em meio urbano, os poluentes



condicionam alterações dos parâmetros que compõem o IQA-NSF, enquanto no meio rural, além das possíveis alterações dos parâmetros do IQA-NSF, ganham destaque os pesticidas e, também, substâncias que são consideradas nutrientes (séries nitrogenadas e fosfato). As atividades industriais merecem destaque quanto à alteração de parâmetros como pH, temperatura, assim como fonte de introdução de substâncias como óleos e graxas, e principalmente metais pesados.

Por estar situada em meio urbano, a BHAS (apesar de contemplar áreas de caráter rural e de cobertura vegetal preservada) sofre com os possíveis efeitos dos agentes poluidores típicos desse meio. Soares (2002), Basso e Silva (2013) e Strada (2021) são alguns dos estudos realizados na BHAS que trataram sobre a qualidade das águas da sua rede hidrográfica. Todos eles indicaram que a contaminação das águas superficiais da bacia era causada principalmente pelo despejo de esgotos domésticos não tratados.

### 3.6 SUSCETIBILIDADE, VULNERABILIDADE E RISCO AMBIENTAL

É importante abordar brevemente três conceitos que envolvem a relação da sociedade com o ambiente, e expressam as condições favoráveis ou não da forma como a sociedade se desenvolve no ambiente. São eles: suscetibilidade, vulnerabilidade e risco ambiental. Dependendo da relação que o ambiente apresenta quanto as condições referentes à suscetibilidade, vulnerabilidade e risco acabam ocorrendo **desastres naturais** ou simplesmente desastres.

Inundações, escorregamentos, secas, furacões, entre outros, são fenômenos naturais severos, fortemente influenciados pelas características regionais, tais como, rocha, solo, topografia, vegetação, condições meteorológicas. Quando estes fenômenos intensos ocorrem em locais onde os seres humanos vivem, resultando em danos (materiais e humanos) e prejuízos (sócio-econômico) são considerados como “desastres naturais”. (KOBAYAMA *et al.*, 2006, p. 7).

Já para Castro (1998, *apud* KOBAYAMA *et al.*, 2006), **desastre** é definido como resultado dos eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um

ecossistema (vulnerável), e assim causam danos ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais, além de possíveis perdas de vida. **Danos** são entendidos como os prejuízos humanos, materiais e ambientais (LIMA, 2010), decorrentes de efeitos adversos de um dado evento.

A **suscetibilidade** é concebida como a predisposição ou propensão de uma área à ocorrência de certos processos ou eventos, não necessariamente mensura e indica a ocorrência dos eventos, mas sim conforme as condições encontradas na área, o quão provável será o acontecimento de algum fenômeno. (GIRÃO; RABELO; ZANELLA, 2018). A suscetibilidade pode proporcionar uma área de risco quando há “perigo”, este entendido como uma condição ambiental que demonstra potencialidade a causar impactos que gerem desastres (KOBAYAMA *et al.*, 2006). Quando há áreas suscetíveis a certos eventos que apresentam perigo, pode-se dizer que esta área apresenta certa **vulnerabilidade**, esta é entendida como o grau de capacidade de uma dada sociedade ou comunidade de enfrentar as perdas e danos decorrentes de algum evento que possa atingir a área em que habitam GIRÃO; RABELO; ZANELLA, 2018; LIMA, 2010). Dito de outra maneira: mede o grau de possibilidade de uma comunidade resistir ou não e o quanto são afetadas por algum dano causado por algum evento adverso. Conforme Zanella *et al.* (2013) as condições culturais, étnicas, políticas, econômicas, educacionais, sociais e de saúde vão tornar uma dada comunidade ou população mais ou menos vulneráveis, ou seja, refletem na capacidade de enfrentar, superar ou minimizar as dificuldades decorrentes de uma situação que apresente riscos.

Por fim, o **risco** pode ser compreendido como a probabilidade de ocorrer um efeito adverso (danos) de um evento sobre uma dada área habitada (KOBAYAMA *et al.*, 2006). Apresenta-se como a relação entre perigo e vulnerabilidade, pressupondo sempre danos diante da ocorrência de um evento:

Exemplificando tal relação, um fenômeno atmosférico extremo como um tornado, que costuma ocorrer em uma determinada região (susceptibilidade) e época conhecida, gera uma situação de perigo. Se este se deslocar na direção de uma determinada área povoada, com uma possibilidade real de prejuízos em um determinado período (vulnerabilidade), teremos então uma situação de risco. Se o tornado atingir a área povoada, provocando danos

materiais e vítimas, será denominado como um desastre natural. (KOBAYAMA *et al.*, 2006, p.17)

Já em casos que ocorra um fenômeno não ocasionando danos, será considerado como um evento natural” (OGURA E MACEDO, 2002 *apud* KOBAYAMA *et al.*, 2006).

### 3.7 VULNERABILIDADE SOCIAL

Avaliar e qualificar parâmetros que indicam a condição social, que refletem as características sociais de uma dada população é uma tarefa complexa, a qual muitas vezes apresenta desafios metodológicos. Existem diversos parâmetros e elementos que podem compor uma análise da condição social, das relações humanas, da inserção da população na sociedade local e global, do nível de bem-estar social que uma dada população tem acesso. Para além da condição econômica, existem outras variáveis que expressam a condição em que vive uma população.

A definição de quais são os parâmetros que vão compor a análise que irão indicar a condição social de uma dada população é um fator complexo e que muitas vezes implica no conhecimento empírico do território pelo pesquisador, das condições ambientais e das características sociais da população local, sendo este conhecimento prévio um aspecto fundamental para uma abordagem que abarque a complexidade social. Os estudos sobre os arranjos sociais, suas características, sobre os elementos que indicam o nível de bem-estar de uma população são fundamentais para o planejamento e a gestão territorial, sendo assim servem de embasamento técnico-científico para a formulação de políticas públicas que visam a melhoria da qualidade de vida da população.

Muitas abordagens de análise das características sociais trabalham com a ideia de mensurar o grau de vulnerabilidade social. Embora seja uma expressão com certo desenvolvimento teórico, não há um consenso único em relação ao seu significado conceitual (IPEA, 2018). Conforme David Prowse (2001 *apud* IPEA, 2018) há uma multiplicidade de significados sobre a expressão. Alguns autores referem-se à vulnerabilidade como suscetibilidade à pobreza, outros a indicam como o sintoma de

pobreza de uma da população. O termo pobreza vem perdendo sua capacidade de significância quanto a vulnerabilidade social, pois há a percepção de que o bem-estar e a qualidade de vida possuem outros determinantes para além da renda monetária: a disponibilidade de serviços públicos; a qualidade ambiental; os graus de liberdade individual e política que uma sociedade oferece (ROCHA, 2000; BARROS *et al.* 2006; CODES, 2008 *apud* IPEA 2018). A noção conceitual de vulnerabilidade social é concebida como uma noção política, alargando seu escopo conceitual e colocando em evidência as responsabilidades do Estado na promoção do bem-estar dos cidadãos (IPEA, 2018).

O Atlas da Vulnerabilidade Social (AVS) é concebido como uma ferramenta simples que proporciona a disponibilização de informações, possibilitado a consulta, em diversos formatos de dados sobre a vulnerabilidade social no território brasileiro, assim estimulando e facilitando a produção de análises e informações sobre a temática. Ele apresenta o Índice de Vulnerabilidade Social – IVS, a concepção de vulnerabilidade do índice está baseada em conceituações tratadas por Moser (1998) e Castel (1998): “ele aproxima-se da definição de Castel (1995/1998), quando este considera, como condicionante da vulnerabilidade social, a insegurança de renda, decorrente da precária inserção no mundo do trabalho.”(IPEA, 2018 p. 15). Contudo, também considera:

a vulnerabilidade de ativos de Moser (1998) e demais textos do Banco Mundial, pois reconhece que o bem-estar das famílias depende da posse de algumas condições que podem ser denominadas de ativos: além de um fluxo de renda, depende ainda de moradia adequada, com abastecimento de água limpa e saneamento básico; acesso a serviços de saúde, escolas e transporte público de qualidade, entre outros. (*ibidem*).

Apesar de o IVS ter como base teórica aspectos dos autores mencionados, há divergências em alguns pontos das concepções em relação à origem da vulnerabilidade social. O principal ponto discordante é que:

A questão da capacidade dos indivíduos, de usarem os ativos de que dispõem, associada a uma perspectiva que não reconhece a exposição diferencial dos indivíduos aos riscos, em função de sua inserção na sociedade de mercado (e que não reconhece sequer que a sociedade de mercado produz inserções desiguais), acaba por reduzir as vulnerabilidades

sociais a vulnerabilidades individuais, porque determinadas por atributos individuais. (*ibidem*, p.15 -16)

Partindo dessa lógica, o Estado acaba por ter um papel mínimo quanto a responsabilidade na origem e redução da vulnerabilidade social, não havendo a necessidade de intervir para minimizar as desigualdades socioespaciais. Em contrapartida, a concepção adotada pelo IVS, reconhece que as vulnerabilidades sociais decorrem de processos sociais amplos, onde os indivíduos não possuem capacidade por si só de superar tais condições, cabendo ao Estado através de políticas públicas intervir para proporcionar os meios de alcance das mudanças que proporcionem melhores condições na busca do bem-estar das populações:

O IVS foi pensado para dialogar com o desenho da política social brasileira, uma vez que atesta a ausência ou insuficiência de “ativos” que, pela própria Constituição Federal de 1988, deveriam ser providos aos cidadãos pelo Estado, nas suas diversas instâncias administrativas. (*ibidem*, p. 16).

Nesta pesquisa assume-se o conceito de vulnerabilidade social proposto pelo IPEA (2018), partindo da ideia de que o bem-estar da população está atrelado a condição de acesso aos “ativos” sociais, ou seja: moradia adequada, coleta de lixo, saneamento básico, transporte público, dentre outros, assim como a capacidade de inserção social na sociedade, como o acesso ao trabalho e educação, a possibilidade de ter uma renda que satisfaça as necessidades humanas básicas. Além disso, compartilha da ideia da participação e responsabilidade do Estado em garantir tais condições sociais de bem-estar da população.

Portanto, para apresentar uma avaliação da vulnerabilidade da população residente na área que compreende a BHAS, irá se trabalhar com o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) proposto pelo IPEA (2018), além da análise dos resultados sintéticos do índice para as Unidades de Desenvolvimento Humano (UDH). Outros dados referentes à acessibilidade a serviços públicos essenciais como educação, saúde e transporte serão abordados conjuntamente no capítulo referente aos resultados. Estes dados foram providos da pesquisa realizada por Strohaecker, Verran e Barth (2015).

### 3.8 ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL (IDA)

Brandão (2005) formulou um Índice de Degradação Ambiental (IDA), respaldado no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) e nas metodologias desenvolvida por Ross (1994) e pelo INPE (1996). O índice leva em conta os parâmetros: vegetação, solos, declividade e pressão demográfica:

O IDA foi desenvolvido a partir do conceito de Ecodinâmica, já desenvolvido por Tricart (1977), e dos métodos de classificação ambiental formulados por Ross (1994) com o “Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio nas Classes de declividade” e o “Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio nos Índices de Dissecção do Relevo”, além do método elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE - denominado de “Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio em Unidades Territoriais Básicas (BRANDÃO, 2005, p. 140).

Conforme Rogalski (2011), essa metodologia avalia não apenas o grau de degradação, mas permite a realização de comparações entre bacias hidrográficas, e segundo Brandão (2005), o IDA leva em conta os fatores no tempo e espaço, assim permite traçar uma evolução e comparação espaço-temporal da degradação em bacias hidrográficas.

São três metodologias que embasam a formulação do IDA, e é importante abordar alguns conceitos e premissas das bases teórico-metodológicas desse índice.

De acordo com Tricart (1977), os ambientes que se encontram em equilíbrio dinâmico são considerados como estáveis, enquanto os meios instáveis são aqueles que estão em desequilíbrio. Ross (1999) considera que as contribuições dessa metodologia de Tricart consistem em permitir que a paisagem seja analisada pelo seu comportamento dinâmico, através da identificação de unidades de paisagem, que são denominadas por Tricart como Unidades Ecodinâmicas.

A partir da abordagem de Tricart (1977), Ross (1994) desenvolveu uma metodologia que busca desenvolver critérios para análise da fragilidade dos ambientes, através das Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Unidades Ecodinâmicas Instáveis. A metodologia de Ross (1994) refere-se aos Modelos de Fragilidade Natural do Ambiente, que através do levantamento de informações sobre geomorfologia, solos, cobertura vegetal, clima e uso da terra, pode-se analisar de forma integrada,

realizando se diagnósticos da fragilidade do ambiente natural. Conforme Rogalski (2011), este tipo de diagnóstico expressa o grau de fragilidade do ambiente devido a suas características genéticas.

A terceira metodologia que embasa a formulação do IDA corresponde ao “Modelo de Fragilidade Potencial Natural com apoio em Unidades Territoriais Básicas” desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Nela, se analisa de forma integrada a geologia, solo, relevo, vegetação e clima. O modelo é aplicado individualmente a esses elementos que compõem cada unidade territorial básica. Eles recebem valores quanto a fragilidade, que variam entre 1 e 3. Assim, através da média aritmética dos valores individuais aplicados na equação empírica (Equação 1), resulta um valor final que representa a posição da unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda do solo (INPE, 2001). A Equação 1 é utilizada para a aplicação do modelo:

$$V = \frac{(G+R+S+Vg+C)}{5} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

V= vulnerabilidade

G= vulnerabilidade para o tema Geologia

R= vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S= vulnerabilidade para o tema Solos

Vg= vulnerabilidade para o tema Vegetação

C= vulnerabilidade para o tema Clima

Os valores que consideram as unidades mais estáveis ficam em torno de 1,0, já a faixa intermediária, fica em torno de 2,0 e as unidades mais vulneráveis, apresentam valores próximos de 3,0 (Ibidem).

Para aplicar o Índice de Degradação Ambiental proposto por Brandão (2005) é necessário cruzar dados de vegetação, solos, declividade e pressão demográfica.

A aplicação da fórmula de Brandão (2005) proporciona a discriminação de áreas enquadradas em classes de qualidade ambiental e assim também indica as

áreas degradadas na bacia hidrográfica. O índice é definido pela Equação 2:

$$IDA = \frac{\left[1 - \left(\frac{V+S}{2}\right)\right] + \left(\frac{D+P}{2}\right)}{2} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

V: Vegetação (percentual de cobertura vegetal)

S: Característica do horizonte A do solo

D: Declividade

P: Pressão Antrópica (densidade demográfica)

### Comportamento das variáveis

A vegetação refere-se ao percentual de cobertura da vegetação natural, representado pelo percentual de área deste tipo de cobertura da terra em cada variável base da matriz (setor censitário, bairro, município). Conforme a metodologia de Brandão (2005), o percentual de cobertura vegetal é dividido por 100, fornecendo um número entre 0 e 1, que será inserido na fórmula, onde zero (0) representa a ausência total da cobertura vegetal e a unidade (1) significa a predominância total da cobertura vegetal. Como foi explanado no capítulo 3, a cobertura vegetal tem grande influência sobre diversos processos que causam degradação ambiental em bacias hidrográficas. O Quadro 3 apresenta a conversão de valores para aplicar na fórmula.

**Quadro 3 - Valores da cobertura vegetal no IDA.**

<b>Cobertura Vegetal (%)</b>	<b>Valor no IDA</b>
10	0,10
35	0,35
89	0,89
100	1

**FONTE: Brandão (2005).**

A classificação dos solos como variável no IDA leva em conta as características do horizonte A quanto à sua textura. Conforme Brandão (2005), a textura evidencia a maior ou menor potencialidade aos processos erosivos. Para incorporação da variável



de solos no IDA há três possíveis valores: solos de textura arenosa (mais suscetíveis à erosão) atribui-se valor 0, enquanto os solos de textura argilosa (menos suscetíveis à erosão) atribui-se o valor 1. Já os solos de textura média (areno-argiloso ou argilo-arenoso) são representados pelo valor 0,5. O Quadro 4 apresenta a representação dos solos no IDA.

**Quadro 4 - Valores dos solos no IDA.**

<b>Característica do Horizonte A do Solo</b>	<b>Valor no IDA</b>
Textura arenosa	0
Textura areno-argilosa ou argilo-arenosa	0,5
Textura argilosa	1

**FONTE: Brandão (2005).**

Quanto a variável Declividade, o valor da declividade em percentual é dividido por 100, e assim fornece um número que varia entre 0 e 1, o resultado será inserido na fórmula. Declividades superiores a 100%, são enquadradas no valor 1. A declividade é um elemento importante no controle geotécnico e relaciona-se com a potencialidade erosiva. O Quadro 5 apresenta os valores no IDA correspondentes a essa variável.

**Quadro 5 - Valores da declividade no IDA.**

<b>Declividade (%)</b>	<b>Valor no IDA</b>
2	0,02
35	0,35
≥100	1

**FONTE: Brandão (2005).**

Para a variável Pressão Demográfica utiliza-se o valor da densidade demográfica dividido por 100, resultando no valor a ser utilizado na fórmula do IDA, o qual varia entre 0 e 1. Valores superiores a 100 hab/km<sup>2</sup>, serão representados pelo valor 1. Quanto maior for a densidade demográfica, maior será a pressão antrópica sobre o ambiente. O Quadro 6 apresenta os valores para essa variável.

**Quadro 6 - Valores da densidade demográfica no IDA.**

<b>Densidade Demográfica (hab/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Valor no IDA</b>
15	0,15
57	0,57
≥100	1

**FONTE: Brandão (2005).**

Conforme Rogalski (2011) os modelos de Ross (1994) e do INPE (1996) não incorporam uma variável que demonstre a pressão antrópica no ambiente. Nesta perspectiva o IDA de Brandão (2005) inclui a variável da densidade demográfica como um fator que representa a pressão antrópica sobre o ambiente, na qual, dependendo do grau de densidade, há uma resposta na ocorrência da degradação ambiental. Para o embasamento da relação entre densidade demográfica e pressão antrópica, Brandão apoiou-se em Almeida e Tertuliano (1999). O Quadro 7 apresenta essa relação.

**Quadro 7 - Pressão Antrópica conforme Densidade Demográfica.**

Densidade Demográfica (hab/km <sup>2</sup> )	Pressão Antrópica
0 -3,8	Fraca
3,9 – 25,5	Média
25,5	Alta

**FONTE: Almeida e Tertuliano (1999) adaptado por Brandão (2005).**

O quadro 8 apresenta a classificação da qualidade ambiental conforme o resultado obtido através da aplicação do IDA.

**Quadro 8 - Classes do IDA.**

Valores do IDA	Classes do IDA
0 – 0,25	Qualidade Ambiental Alta
0,26 – 0,50	Qualidade Ambiental Moderada
0,51 – 0,75	Qualidade Ambiental Subcrítica
0,76 – 1,0	Qualidade Ambiental Crítica

**FONTE: Brandão (2005).**

Conforme Brandão (2005), cabe ao pesquisador, que será o intérprete dos resultados do IDA, avaliar os fatores determinantes que influenciam e determinam o resultado da qualidade ambiental.

O IDA proposto por Brandão foi aplicado para uma área extensa e de caráter rural, na Região Nordeste do país, além disso seu embasamento teórico e sua elaboração avalia principalmente a degradação ambiental com o viés relacionado aos problemas ambientais de erosão e perda do solo.

Os problemas de degradação ambiental em bacias hidrográficas urbanas diferem muitas vezes das bacias hidrográficas em áreas rurais, as diferenças ocorrem tanto na ocorrência e tipos de processos de degradação, assim como nas causas.

Cabe também salientar que conforme a localização de uma dada área de estudo, o bioma, o ecossistema e as características físicas desta área influenciam para determinar a suscetibilidade aos tipos de processos de degradação ambiental que podem ocorrer.

Assim, após discussões com pesquisadores do ramo geográfico e consulta a trabalhos realizados na mesma área de estudo (BHAS), optou-se por adaptar o IDA, reformulando os parâmetros que contemplam o índice, a fim de adequá-lo à análise da área de estudo e, em especial, às bacias hidrográficas do meio urbano. Partindo da mesma base teórica e metodológica operacional da aplicação do IDA de Brandão (2005), foi proposto o Índice de Degradação Ambiental Urbana (IDAU) para analisar a degradação ambiental urbana na BHAS. O IDAU permite a avaliação da qualidade ambiental de bacias hidrográficas no meio urbano, tendo como resultado da interação das variáveis que contemplam o índice, áreas discriminadas em classes de qualidade ambiental, e assim também proporcionando a discriminação das áreas mais críticas que apresentam ou condicionam degradação ambiental.

Os parâmetros definidos que compõem o IDAU atendem ao escopo dos objetivos da pesquisa e são eles: Uso e Cobertura da Terra; Suscetibilidade à Inundação e aos Processos Erosivos e de Movimentos de Massa; Qualidade da Água (IQA); e Vulnerabilidade Social (IVS).

Manteve-se a proposta de analisar a degradação incluindo variáveis que representam o meio físico e a pressão antrópica, similares ao IDA original proposto por Brandão (2005). Porém, incluiu-se o indicador qualidade da água através do IQA, como um parâmetro ambiental (físico) importante para as bacias hidrográficas; e a suscetibilidade à inundação e aos processos erosivos e de movimentos de massa, considerada como uma variável de suma importância para o planejamento da ocupação urbana frente as possíveis consequências de degradação do ambiente nas bacias hidrográficas urbanas. Já, o parâmetro que representa a pressão antrópica na proposta de Brandão (2005), também sofreu modificação, tendo-se optado pela inclusão do IVS, um índice sintético com maior amplitude das condições socioeconômicas que afetam o ambiente. Além disso, o mapeamento da cobertura da terra também fornece subsídios para analisar a pressão antrópica sobre o ambiente, considerando a modificação da natureza pelas intervenções humanas como: a

ocupação urbana, os cultivos, a mineração ou até mesmo o desmatamento que origina áreas de solo exposto.

A opção de substituir a densidade demográfica pelo IVS, parte de duas premissas. A primeira diz respeito às diferenças de escala e de caráter de pesquisa. A área de estudo de Brandão (2005) é muito maior e com característica predominantemente rural, o que faz com que a densidade demográfica se encaixe como um parâmetro “ideal” para estimar a pressão antrópica. Enquanto no meio urbano, muitas vezes a densidade demográfica é muito mais alta, o que afeta o resultado do IDA, pois o meio urbano é mais suscetível a grande densidade demográfica. Já, a segunda, refere-se ao fato de que no meio urbano a realidade ambiental difere bastante do meio rural, cabendo mais avaliar as condições de produção e vivência da cidade pela população e o impacto resultante no ambiente, do que incorporar simplesmente a densidade demográfica. Além disso, a concepção de integração sociedade-natureza leva em consideração que a condição de bem-estar social é um fator componente do ambiente, por tais motivos o IVS torna-se um parâmetro mais adequado e com mais informações condizentes à realidade urbana. No capítulo 4, há a descrição metodológica-operacional da aplicação do IDAU.

### 3.9 PLANEJAMENTO E GESTÃO DO ESPAÇO URBANO

Existe uma discussão ampla e fervorosa tratando sobre a questão da densidade urbana e a sustentabilidade. Conforme Neuman (2005), a “polêmica” sobre a sustentabilidade da cidade através da sua forma (cidade compacta x expansão urbana) mantém um foco errôneo: “a pergunta que deve ser feita é se os processos de construção de cidades e os processos de viver, consumir e produzir cidades são sustentáveis” (NEUMAN, 2005, p. 22). Com este pano de fundo, emerge a questão fundamental no processo que é o planejamento e a gestão do espaço urbano.

O planejamento e a gestão do espaço urbano devem ser compreendidos como um processo multi-escalar (SOLER; SANTOS, 2019), no qual, a coordenação do processo de ordenamento territorial passa pela esfera nacional, estadual e municipal. Pode-se ainda acrescentar a escala global, através das tendências políticas internacionais que afetam diretamente ou indiretamente as políticas dos Estados

Nacionais, e mais recentemente, como aponta Oliveira e Lima (2013), acrescentar o fortalecimento do papel das esferas de atores privados e Organizações Não Governamentais (ONGs) no processo.

A década de 1990 pode ser considerada como uma marca do fim de um período na história do planejamento urbano brasileiro, determinando o início do seu processo de politização, fruto do avanço da consciência e organização populares (VILLAÇA, 1995). É nesse período que há a entrada do Projeto de Lei 5.788/90 que visava a construção de uma Política Urbana Nacional. Em 2001, após mais de dez anos, efetiva-se a aprovação da Política Urbana Nacional, pela Lei Federal 10.257/2001 (Estatuto da Cidade). Segundo Lacerda *et al.* (2005), o Estatuto da Cidade estabeleceu as diretrizes e normas gerais da política urbana nacional, enquanto os municípios ao legislar, estabelecem a política urbana no âmbito local, através do Plano Diretor Municipal.

O cerne dos Planos Diretores está em fornecer estratégias e regular o modo de crescimento urbano das cidades, caracterizando as formas a serem implementadas, e as atividades e funcionalidade dos espaços urbanos e da cidade no contexto regional. Portas (2007) estabelece que uma das estratégias fundamentais no século XXI para o planejamento urbano e regional é a busca de “Espaços Naturais como Estruturas de Suscetibilidade dos Territórios”.

### **3.9.1 Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental do Município de Porto Alegre – RS**

O PDDUA é o documento decretado pela Lei Complementar nº 434, de 1º de dezembro de 1999, atualizada e compilada até a Lei Complementar nº 667, de 3 de janeiro de 2011, incluindo a Lei Complementar 646, de 22 de julho de 2010. No Art. 02 consta sua função e objetivo:

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental incorpora o enfoque ambiental de planejamento na definição do modelo de desenvolvimento do Município, enfatizando a participação popular, a sustentabilidade econômica, social e ambiental (Porto Alegre, 2010, p. 17).

O Art. 03 estabelece os sete eixos estratégicos que compõem e norteiam o conteúdo do PDDUA, sendo eles: Estratégia de Estruturação Urbana; Estratégia de Mobilidade Urbana; Estratégia de Uso do Solo Privado; Estratégia de Qualificação Ambiental; Estratégia de Promoção Econômica; Estratégia de Produção da Cidade; Estratégia do Sistema de Planejamento (PORTO ALEGRE, 2010).

Para embasar a discussão no capítulo de análises dos resultados na dissertação, será consultado o documento do PDDUA, dando principalmente enfoque para as diretrizes dos eixos estratégicos de *Qualificação Ambiental*, e *Uso do Solo Privado*, esses eixos concentram as questões que interessam ao objetivo do trabalho. A seguir, apresentam-se algumas definições estabelecidas no PDDUA (2010) com vistas a uma melhor compreensão da discussão que será feita em capítulos posteriores.

O Art. 13. define a “*Estratégia de Qualificação Ambiental*”: tem como objetivo geral qualificar o território municipal, através da valorização do Patrimônio Ambiental, promovendo suas potencialidades e garantindo sua perpetuação, e da superação dos conflitos referentes à poluição e degradação do meio ambiente, saneamento e desperdício energético. Algumas considerações ressaltadas por este eixo estratégico que embasam a discussão dos resultados obtidos.

§ 1º A Preservação Permanente aplicar-se-á às áreas referidas no art. 245 da Lei Orgânica do Município de Porto Alegre que, pelas suas condições fisiográficas, geológicas, hidrológicas, botânicas, climatológicas e faunísticas, formem um ecossistema de importância no ambiente natural. (Alterado pela L.C. nº 646, de 22 de julho de 2010).

§ 2º A Conservação aplicar-se-á às áreas naturais que se encontrem parcialmente descaracterizadas em suas condições naturais originais e apresentem maior compatibilidade com as transformações urbanas.

§ 3º As zonas de Preservação Permanente descritas no art. 245 da Lei Orgânica do Município de Porto Alegre que não estejam prejudicadas em seus atributos e funções essenciais poderão receber apenas o manejo indispensável para a recuperação do equilíbrio e de sua perpetuação. (Alterado pela L.C. nº 646, de 22 de julho de 2010).

§ 4º As zonas de Conservação poderão receber atividades destinadas à

educação ambiental, ao lazer, à recreação, à habitação e à produção primária, desde que tais atividades não impliquem comprometimento significativo dos elementos naturais e da paisagem, favorecendo sua recuperação.

Já O Art. 11 apresenta a Estratégia de Uso do Solo Privado: tem como objetivos gerais disciplinar e ordenar a ocupação do solo privado, através dos instrumentos de regulação que definem a distribuição espacial das atividades, a densificação e a configuração da paisagem urbana no que se refere à edificação e ao parcelamento do solo.

Para fim de planejamento e gestão urbana, o PDDUA (2010) possui um modelo espacial próprio de divisão territorial da cidade. Segundo o Art. 27 do PDDUA (2010), o território divide-se, por seu Modelo Espacial, em área de Ocupação Intensiva (AOI) e Área de Ocupação Rarefeita (AOR). Segundo o guia de consulta Regime Urbanístico (2019), em 2015 a categoria Área Rural (AR) foi reintroduzida pela L.C. 775/2015, tornando-se a terceira macro divisão urbanística da cidade.

A AOI é a área que, conciliada com a proteção ambiental, se caracteriza como prioritária para fins de urbanização, ela abrange toda mancha densamente urbanizada e contínua e alguns núcleos urbanos densos, porém isolados.

A AOR é a área com características de baixa densificação, onde será dada predominância à proteção da flora, da fauna e demais elementos naturais, admitindo-se, para a sua perpetuação e sustentabilidade, usos científicos, habitacionais, turísticos, de lazer e atividades compatíveis com o desenvolvimento da produção primária, tem sua maior porção de área dentro da zona sul e leste de Porto Alegre.

Já a AR abarca espaços antes enquadrados na AOR, que estão dentro da Macrozona 8, mas que devido a algumas finalidades específicas de estratégias passou a ser considerada novamente de Área Rural (AR), mantendo o mesmo Regime Urbanístico previsto para a Zona de Uso denominada Área de Produção Primária.

O Art. 28 do PDDUA (2010) estabelece que as AOI e AOR estão divididas em Unidades de Estruturação Urbana (UEU), nas Macrozonas (MZ) e Regiões de Gestão de Planejamento (RGP).

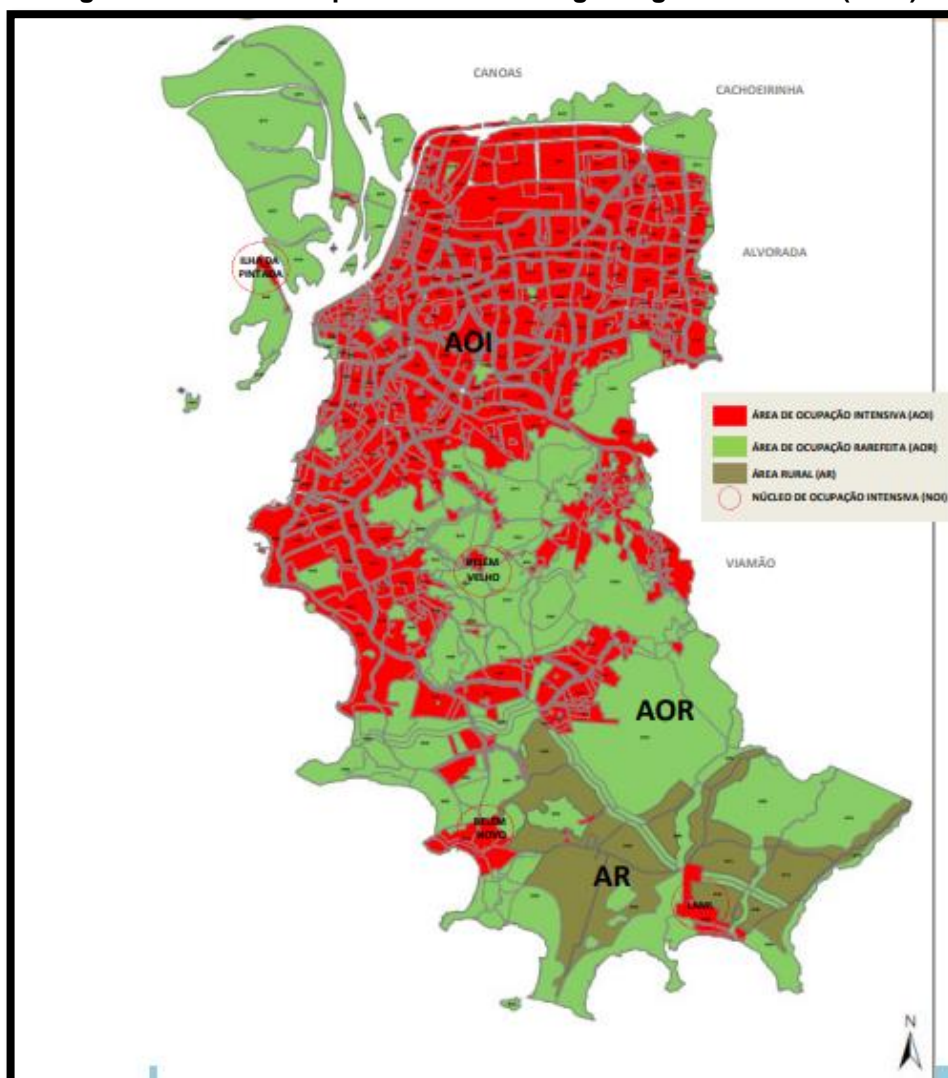
Para esta pesquisa interessa saber, também, a definição das Macrozonas (MZs) que são conjuntos de Unidades de Estruturação Urbana com características peculiares quanto a aspectos socioeconômicos, paisagísticos e ambientais (PDDUA,

2010).

A BHAS tem a maior parte de sua área dentro da macrodivisão AOR, mais especificamente, grande parte incluída na MZ 8 (denominada Cidade Rururbana). Também, integram a BHAS: a MZ 7 (denominada Restinga), uma grande parte da MZ 10 (denominada Eixo Lomba do Pinheiro-Restinga) e uma pequena porção da Macrozona 5 (denominada Cidade Jardim). A BHAS também possui uma pequena área dentro da macrodivisão AR (área rural que no início do PDDUA, encaixava-se na MZ 8, denominada cidade rururbana). Todas estas Macrozonas (MZs) possuem diretrizes específicas de estratégias de planejamento urbano e ambiental.

A Figura 11 apresenta as macrodivisões do modelo espacial do PDDUA.

**Figura 11 - Divisão Espacial de Porto Alegre segundo PDDUA (2010).**



FONTE: PDDUA (2010).



### 3.9.2 Plano de Bacia do Lago Guaíba.

Em 1998 foi criado através do Decreto Estadual nº 38.989/98 o Comitê da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (RS), que é o responsável pela elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba. O processo de elaboração foi desenvolvido em duas etapas. Numa primeira, entre 2002 e 2006, foram realizados os estudos de “Diagnóstico e Prognóstico da Situação dos Recursos Hídricos”. Já a segunda, entre 2013 e 2015, correspondeu a definição das metas intermediárias para a qualidade das águas superficiais e à elaboração de um “Programa de Ações” (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA, 2017).

No contexto regional, a BHAS é uma sub-bacia hidrográfica que faz parte da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba. O enquadramento das águas do Arroio do Salso, o classifica atualmente na classe 4 da Resolução CONAMA 357/2005, onde a meta a ser alcançada é a recuperação/melhoria da qualidade das suas águas em um período de 10 anos, passando da classe 4 para a classe 3 (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA, 2017).

### 3.10 PRESERVAÇÃO, CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

Os termos preservação e conservação ambiental são alvos de discussões quanto aos seus significados conceituais. Conforme Costa, Oliveira e Santos (2018), há confusão no emprego de tais conceitos e muitas vezes os termos têm sido utilizados como sinônimos, desde a comunidade científica até a sociedade civil.

Os conceitos de preservação e conservação, derivam de movimentos sociais ideológicos que começaram no século XIX (OLIVEIRA; FERREIRA, 2017).

Conforme Padua (2006), a preservação refere-se à proteção da natureza, de tal forma que não haja interferências humanas, devendo o ambiente permanecer intocado (neste caso o ser humano é visto como dissociado da natureza e ainda como agente de degradação da mesma devido, o caráter utilitário das suas atividades no ambiente). A preservação está relacionada em proteger a biodiversidade, os ecossistemas e biomas quando há o risco quanto ao equilíbrio ecológico e/ou importância ecossistêmica. Sobre conservação, ela considera que significa a proteção

dos recursos naturais, permitindo o seu uso de forma racional, visando a manutenção ecológica a fim de garanti-los para as gerações futuras, assim a conservação é marcada pela prática do uso sustentável dos recursos naturais (*Ibidem*).

Russo (2014) apresenta uma análise bibliográfica das leis pertinentes no Brasil quanto à questão da recuperação de áreas degradadas. Informa que o PRAD (Projeto/Plano de Recuperação de Área Degradada) consiste em um conjunto de atividades a serem implantadas visando a recuperação, restauração ou reabilitação de uma área degradada, onde tais projetos são apresentados aos órgãos ambientais, quando há empreendimentos que irão causar danos ao ambiente.

Assim como ocorre com os termos preservação e conservação, há também certa “confusão” entre os conceitos de recuperação e restauração. Essa distinção é apresentada na Lei nº 9.985 de 18/07/2000 (BRASIL, 2000), que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC):

- recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original;
- restauração: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original;

### 3.11 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG

As geotecnologias, também conhecidas como “geoprocessamento”, são um conjunto de tecnologias compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware* que constituem poderosas ferramentas de análise e que servem para a tomada de decisões para fins de planejamento e gestão ambiental e/ou territorial (ROSA, 2005). Dentre elas estão o emprego do Sistema de Informação Geográfica (SIG), a cartografia digital, o sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e a topografia (*Ibidem*). Para Scheneider (2010) essa geotecnologia dispõe de um conjunto de ferramentas especializadas em produzir, armazenar, transformar e emitir informações espaciais, utilizando um sistema de coordenadas para estabelecer a espacialização geográfica.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICO OPERACIONAIS

Os procedimentos metodológicos e técnico-operacionais realizados no presente estudo estão estruturados em quatro etapas:

- 1ª etapa - Pesquisa bibliográfica e análise documental com levantamento de dados sobre a problemática.
- 2ª etapa – Levantamento de Campo – coleta de amostras de água e análise laboratorial, e registros fotográficos dos processos de degradação.
- 3ª etapa – Aplicação do IQA nos pontos amostrados por Soares (2001/2002) e DMAE (2001/2002) e para as campanhas realizadas pelo autor e DMAE (2021/2022).
- 4ª etapa – Aplicação do IDAU para a BHAS, nos anos de 2002 e 2022.

### 4.1 MATERIAIS, DADOS, EQUIPAMENTOS E SOFTWARES

- Base cartográfica no formato de arquivo *shapefile* do Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso/ Rede de Drenagem/ Geologia/ Solos/ Uso e Cobertura da Terra).
- Base cartográfica no formato de arquivo *shapefile* do banco de dados da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (APPs/ Limite Municipal/ Limite dos Bairros/ Macrozonas/ Curvas de Nível/ Limite da UC – São Pedro).
- Base cartográfica no formato de arquivo *shapefile* do banco de dados da FEPAM (Limite Estadual).
- Base cartográfica no formato de arquivo *shapefile* do uso e cobertura da terra do ano de 2019 para BHAS, do mapeamento realizado por Wentz (2019).
- Base cartográfica no formato de arquivo *shapefile* das UDHS e os dados tabulados do IVS para os anos 2000 e 2010, disponíveis na plataforma web do AVS do IPEA (2018).
- Base cartográfica temática no formato de arquivo *shapefile* da geomorfologia de Porto Alegre e das áreas de suscetibilidades, mapeamento realizado por Moura e Dias (2010; 2012) e Moura e Camargo (2011).

- Dados de qualidade da água (Soares, 2002 e DMAE, 2022).
- Dados de Precipitação disponíveis pelo INMET.
- Materiais e equipamentos para coleta de amostras de água (Fracos, Reagente Químicos, Recipiente de Armazenamento/ Turbidímetro/ Termômetro/ pHâmetro/ GPS de navegação).
- Veículo automotivo para o deslocamento em etapa de campo.
- Câmera fotográfica com seu respectivo aplicativo de edição de fotografias.
- *Software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS 10.51 cedido pelo Departamento de Geografia da UFRGS.
- Pacote de *Software* Microsoft Office, Word e Excel 2016.
- *Software* Google Earth Pro.
- *Software* IQADData para o cálculo do IQA.

Através da bibliografia e documentos citados acima, montou-se o banco de dados necessário para aplicação metodológica. Os equipamentos e softwares utilizados foram imprescindíveis para o processo técnico-operacional da metodologia.

## 4.2 METODOLOGIA

A seguir são descritos os procedimentos metodológicos e técnico-operacionais de cada etapa.

### 4.2.1 **Pesquisa bibliográfica e análise documental com levantamento de dados sobre a problemática.**

Nesta etapa realizou-se o levantamento das informações para a caracterização da área de estudo, verificando-se as características ambientais pertinentes aos objetivos da pesquisa e a contextualização da problemática.

Foram utilizados trabalhos acadêmicos (artigos, trabalhos de conclusão de graduação, dissertações de mestrado, teses de doutorado, entre outros) que serviram de base para a caracterização da área de estudo, referencial teórico e composição metodológica, assim como para as discussões dos resultados obtidos. Lista-se as

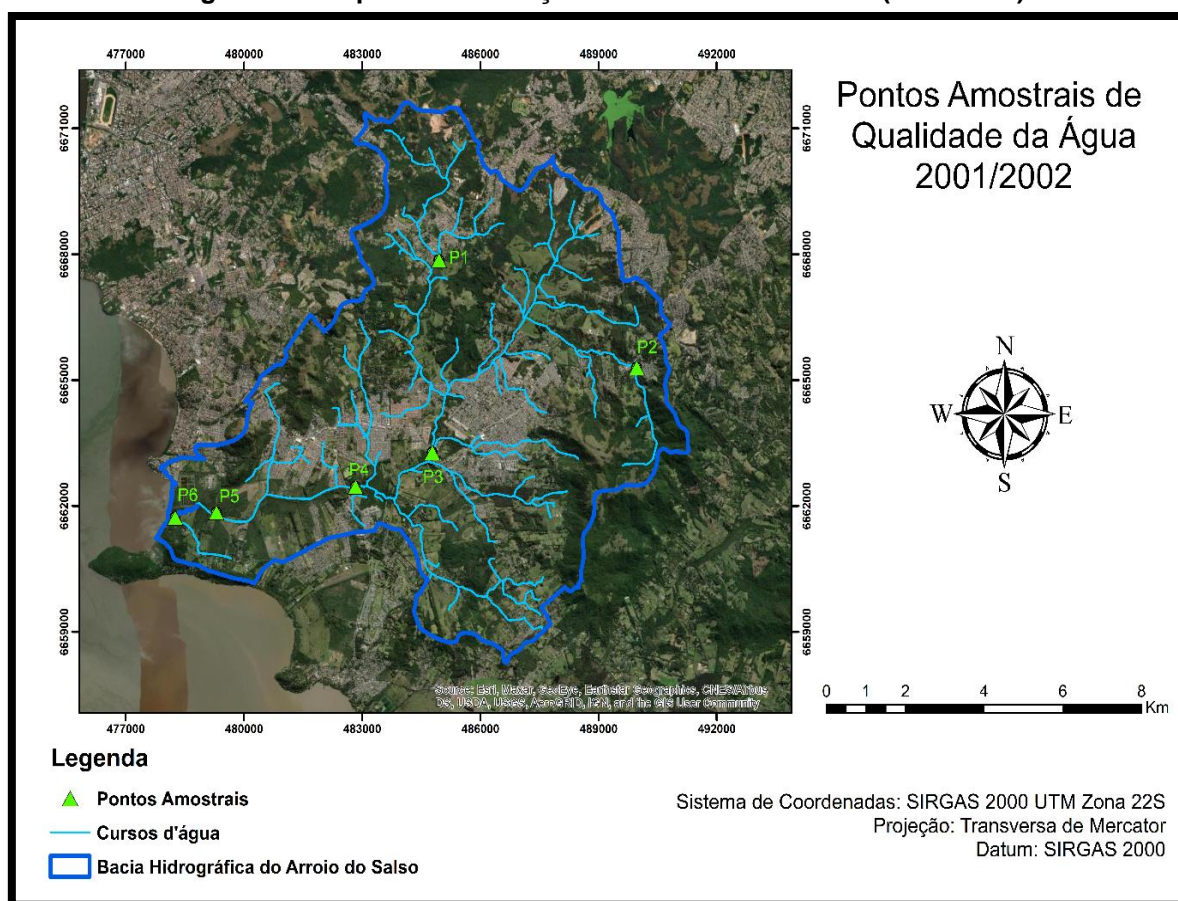
principais fontes bibliográficas para a problemática da pesquisa: (BASSO; SILVA (2013); BRANDÃO (2005); CETESB (2021); FUJIMOTO; CAMARGO (2010) FUJIMOTO; DIAS, (2010); HASENACK *et al.* (2008); IGAM (2018); INPE (2001); IPEA (2018); LIMA (2010); MOURA; DIAS (2012); MOURA; BASSO; STROHAECKER (2013); MOURA; BASSO; SANCHES (2013); ROGALSKI (2011); SOARES (2002); STRADA (2021); STROHAECKER; VERRAN; BARTH (2015); WENTZ (2019), entre outros autores que aparecem ao longo do texto.

A análise documental, teve como base a pesquisa em documentos em âmbito da legislação federal, estadual e municipal pertinente à temática. Alguns dos principais documentos e leis que foram examinados: PDDUA; PNMA; PNRH; Relatórios do Comitê de Bacia do Lago Guaíba (2017); Resolução CONAMA 357/2005; Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Alegre – PMSB (2015) e Plano de Manejo do Refúgio de Vida Silvestre São Pedro (2017).

Por fim, esta etapa compreende ainda o levantamento de dados secundários necessários para execução das próximas fases da pesquisa, como os dados temáticos (arquivos vetoriais) de uso e cobertura da terra, suscetibilidade à inundação e aos processos erosivos e de movimento de massa, vulnerabilidade social na BHAS, curvas de nível, hidrografia e APPs, assim como os dados de qualidade da água levantados por Soares (2002) e pelo DMAE (2022) e registros de precipitação obtidos no portal do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

Os dados de qualidade água referentes aos anos 2001 e 2002 são de fontes secundárias, obtidos através da pesquisa realizada na mesma bacia hidrográfica por Soares (2002) e do monitoramento realizado pelo DMAE na foz do Arroio do Salso. A Figura 12 apresenta a localização dos pontos amostrais.

**Figura 12 - Mapa de Localização dos Pontos Amostrais (2001/2002).**



**FONTE: Elaboração do autor.**

Já o quadro 9 apresenta as coordenadas e fonte dos dados, assim como a contextualização da localização em relação a bacia hidrográfica.

**Quadro 9 - Pontos Amostrais (2001/2002).**

Pontos	Coordenadas UTM	Fontes das amostras	Situação/Contexto
P1	485005 E 6667857 S	Soares (2002)	Curso Superior: Jusante das nascentes do Arroio Rincão, próximo a áreas de ocupação intensiva e irregulares
P2	489999 E 6665298 S	Soares (2002)	Curso Superior: Jusante de nascentes, próxima ao morro Quirinas, com vila de ocupação intensiva na margem do arroio
P3	484906 E 6663200 S	Soares (2002)	Curso Médio: Av. Edgar Pires de Castro, após área urbana intensiva do bairro Restinga

<b>Pontos</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Fontes das amostras</b>	<b>Situação/Contexto</b>
P4	482861 E 6662407S	Soares (2002)	Curso Médio a Inferior: Av. Juca Batista, local com ocupação rarefeita a montante da avenida, e com vila de ocupação irregular em direção a jusante
P5	0479299 6661898	Soares (2002)	Curso Inferior: Estrada da Serraria, antes da ETE Ipanema, ~1,6 km da foz do Arroio do Salso
P6	478230 E 6661709 S	Estação 71B - DMAE	Curso Inferior: ponto a jusante do lançamento da ETE Ipanema, 80 m da foz do Arroio do Salso

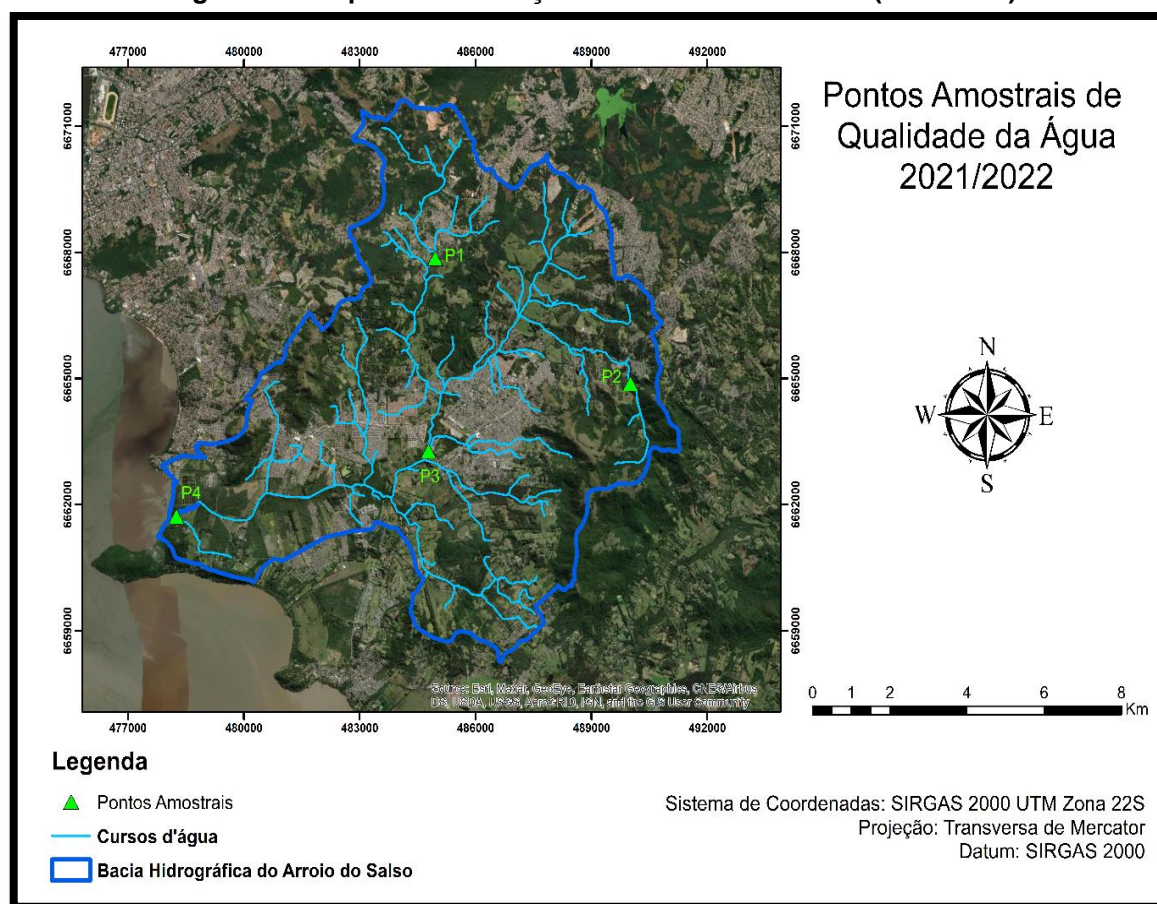
**FONTE:** Adaptado de Soares (2002), elaboração do autor.

#### **4.2.2 Levantamento de dados em campo – Coletas de amostras de água em pontos estratégicos na BHAS.**

Esta etapa compreende as coletas de amostras de água em pontos estratégicos para análise da qualidade das águas ao longo da BHAS para o ano de 2021 e 2022, além de registros fotográficos sobre as condições ambientais. Foram coletadas amostras em 3 locais.

A Figura 13 apresenta o mapa de localização dos pontos amostrais referente a 2021 e 2022, contendo tanto os pontos das campanhas realizadas pelo autor (fonte primária), assim como o ponto do DMAE (fonte secundária).

**Figura 13 - Mapa de Localização dos Pontos Amostrais (2021/2022).**



**FONTE: Elaboração do autor.**

Foram coletadas amostras nos mesmos pontos (P1 e P3) do trabalho de Soares (2002), para fins de comparação dos resultados, os quais localizam-se no setor superior e médio da bacia. Quanto ao P2 (2021/2022), a localização é próxima ao P2 de Soares (2002), porém, optou-se por coletar à montante da vila de ocupação urbana intensiva, procurando-se fazer as amostragens sem a influência da ocupação urbana, registrando dessa maneira a qualidade da água de nascentes com vegetação preservada.

Já para o curso inferior, serão utilizados os dados do monitoramento do DMAE nas estações 71B (P4). Havia a intenção de usar os dados da Estação 71A do DMAE, que tem a mesma localização do P5 de Soares (2002), para se ter mais um ponto de comparação, porém não foi possível devido à descontinuidade dos dados a partir de 2021 e a falta de parâmetros essenciais para aplicação do IQA.

O Quadro 10 esclarece a fonte das amostras, assim como a localização de



cada ponto amostral.

**Quadro 10 - Pontos Amostrais (2021/2022).**

<b>Pontos</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Fonte das amostras</b>	<b>Situação/Contexto</b>
P1	485005 E 6667857 S	Realizada pelo autor	Curso Superior: Jusante das nascentes do Arroio Rincão, próximo às áreas de ocupação intensiva e irregulares
P2	490027 E 6664868 S	Realizada pelo autor	Curso Superior: Entre o Morro Quirinas e o Morro São Pedro, próximo às nascentes e antes de qualquer ocupação urbana intensiva
P3	484906 E 6663200 S	Realizada pelo autor	Curso Médio: Av. Edgar Pires de Castro, após área urbana intensiva do bairro Restinga
P4	478230 E 6661709 S	Estação 71B - DMAE	Curso Inferior: ponto a jusante do lançamento da ETE Ipanema, 80 m da foz do Arroio do Salso

**FONTE: Elaboração do autor.**

A escolha dos locais dos pontos amostrais teve o intuito de permitir a realização de uma comparação espaço-temporal da qualidade das águas. As amostras coletadas nas campanhas 2021/2022 em P1 e P3 foram comparadas com as amostras das campanhas de Soares (2002), realizadas nos mesmos pontos. Já a escolha do local de coleta de P2 teve o objetivo de demonstrar e avaliar as águas próximas às nascentes, em áreas onde a vegetação encontra-se preservada e com pouca interferência antrópica. Além disso, permite um panorama comparativo com P2 de Soares (2002), pois ambos estão muito próximos. Já P4 situado no trecho inferior da BHAS, corresponde à estação de monitoramento 71B do DMAE, que representa a qualidade final das águas da BHAS, junto à desembocadura no Lago Guaíba.

As amostras são do tipo simples, e foram coletadas manualmente em duas campanhas: a primeira em 16 de setembro de 2021 e a segunda em 10 de janeiro de 2022. Para definir o mês da realização das coletas das amostras para avaliação da qualidade da água, Soares (2002) observou o comportamento médio de variáveis climáticas como temperatura (°C), precipitação (mm), insolação (horas) e evaporação (mm) e, assim, constatou que as amostras deveriam ser realizadas em janeiro e setembro, para representar o período verão e inverno, respectivamente, devido à variação sazonal da precipitação e conseqüentemente da vazão, que influenciam a qualidade das águas.

Com o intuito de realizar a comparação da qualidade da água através do IQA, entre os resultados de Soares (2002) e os produzidos nesta pesquisa, as coletas das amostras foram realizadas nos mesmos meses representativos (verão e inverno) sugeridos pela autora.

As coletas foram realizadas seguindo o manual metodológico para os procedimentos de coleta e de análises laboratoriais: Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos (CETESB; ANA, 2011).

As análises laboratoriais foram realizadas pelo Laboratório Químioambiental de Porto Alegre/RS.

As figuras 14; 15; 16; e 17 apresentam os locais das campanhas amostrais referentes ao mês de janeiro de 2022, assim como alguns dos equipamentos utilizados nas amostragens.

Por fim, para a aplicação do IQA foram considerados os seguintes parâmetros físico-químicos e biológicos: Oxigênio Dissolvido (OD); Coliformes Termotolerantes; pH; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); Temperatura da Água; Nitrogênio Total; Fósforo Total; Turbidez; Resíduo Total.

**Figura 14 – P1 localizado no Arroio Rincão (10/01/2022).**



**FONTE: O autor.**

**Figura 15 – P2 localizado no trecho superior do Arroio do Salso (10/01/2022).**



**FONTE: O autor.**

**Figura 16 – P3 localizado no curso médio do Arroio do Salso (10/01/2022).**



**FONTE: O autor.**

**Figura 17 – Equipamentos e materiais de coleta de amostras de água.**



**FONTE: O autor.**

#### **4.2.3 Aplicação do Índice de Qualidade da Água – IQA**

Para avaliação da qualidade das águas em 2021/2022, aplicou-se IQA-NSF adaptado pela CETESB, visto que este índice avalia a qualidade bruta das águas para abastecimento urbano, tendo como uma das principais características a capacidade de avaliar as águas quanto a contaminação por esgotos, um dos principais tipos de poluição hídrica dos arroios urbanos.

Devido a diferenças encontradas na metodologia de aplicação do IQA por alguns autores ou órgãos públicos, assim como na metodologia empregada por Soares (2002) na aplicação do IQA em sua pesquisa, foram necessários alguns esclarecimentos metodológicos.

Primeiramente, quanto à diferença entre o IQA-NSF original e o adaptado pela CETESB: o primeiro utiliza os parâmetros Nitratos, Fosfato Total e Sólidos Totais Dissolvidos, enquanto o segundo (IQA CETESB) utiliza no lugar Nitrogênio Total, Fósforo Total e Resíduo Total, além disso houve pequenas adaptações nos pesos dos parâmetros, e nas faixas de classificação.

Alguns órgãos públicos e pesquisadores que aplicam o IQA realizam pequenas adaptações no IQA-NSF como, por exemplo, retirar o parâmetro “Temperatura” e

redistribuir os pesos nos demais parâmetros, caso do IQA aplicado por Soares (2002). Como nesta pesquisa foram utilizados os dados de IQA e parâmetros coletados e analisados por Soares (2002) como forma de representar a qualidade da água em 2001/2002, é necessário apresentar os parâmetros e pesos utilizados na aplicação do IQA pela autora, o Quadro 11 apresenta tais informações.

**Quadro 11 - Pesos relativos a cada parâmetro do IQA aplicado por Soares (2002).**

Variáveis	Pesos relativos (wi)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,19
Coliformes Fecais (UFC/100 mL)	0,17
pH	0,13
DBO5,20 (mg/L)	0,10
Fósforo Total (mg/L)	0,10
Nitratos (mg/L)	0,10
Turbidez (UNT)	0,10
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	0,09

**Fonte: Soares (2002).**

Foi incluso na avaliação da qualidade das águas de 2001/2002 o ponto de monitoramento do DMAE, a 80 metros da foz do arroio do Salso (P6). Para este ponto referente as amostras de 2001/2002, a fim de obter maior consistência metodológica, optou-se por utilizar os mesmos parâmetros e mesmos pesos utilizados por Soares (2002).

Para as amostras coletadas em 2021 e 2022, foi aplicado o IQA-CETESB. Para cada parâmetro é atribuído um peso, conforme sua importância relativa, e dessa forma são traçadas curvas médias da variação da qualidade das águas em função da concentração de cada parâmetro. O Quadro 12 apresenta os pesos relativos de cada parâmetro do IQA.

**Quadro 12 - Pesos relativos a cada parâmetro do IQA-CETESB.**

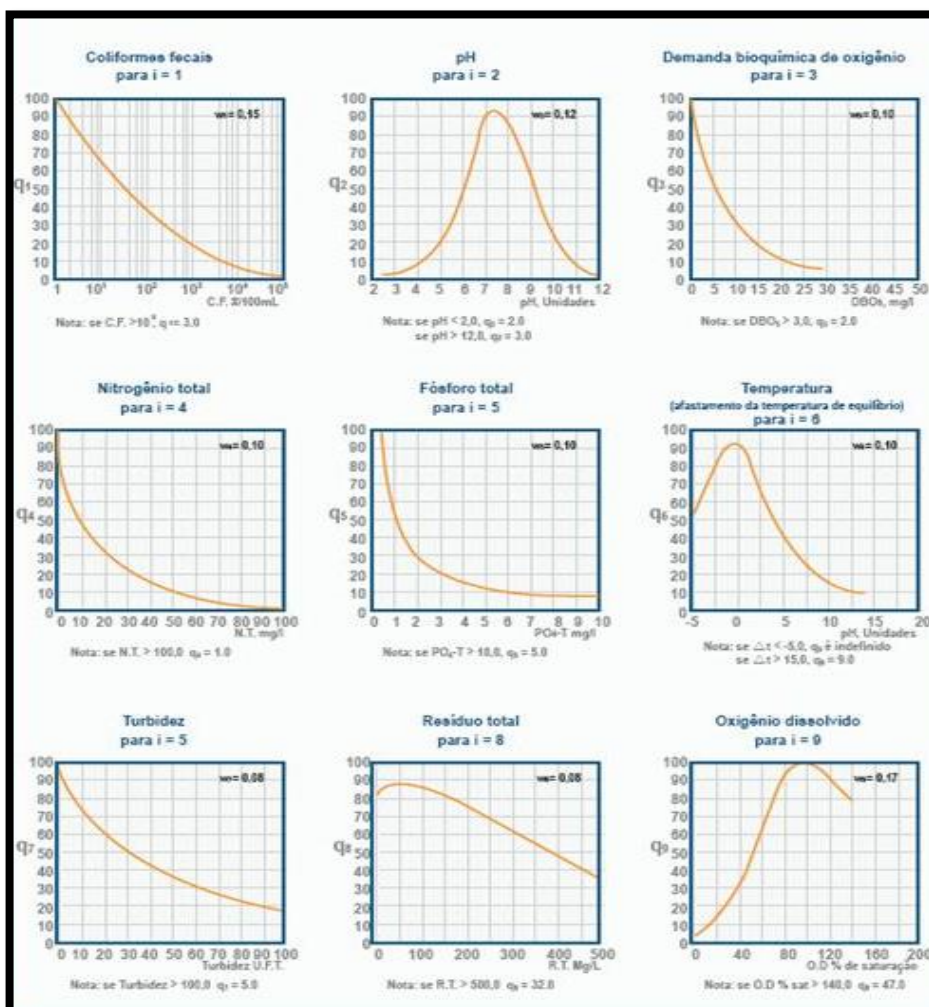
Variáveis	Pesos relativos (wi)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,17
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	0,15

Variáveis	Pesos relativos (wi)
pH	0,12
DBO5,20 (mg/L)	0,10
Fósforo Total (mg/L)	0,10
Nitrogênio Total (mg/L)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Sólidos Totais (mg/L)	0,08
Temperatura da Água (°C)	0,10

FONTE: ANA (2021).

A Figura 18 apresenta as Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA.

Figura 18 - Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA.



FONTE: ANA (2021).

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice (CETESB, 2021). A partir da Equação 3 e 4 é possível chegar-se ao resultado final:

$$\text{IQA} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde:

**IQA:** Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

**qi:** qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,

**wi:** peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (\text{Eq. 4})$$

Sendo **n**: número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Assim, a partir do cálculo, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, indicada pelo IQA, que varia no intervalo entre 0 e 100. A Figura 19 apresenta a classificação conforme resultado do cálculo do IQA.

**Figura 19 - Classes de qualidade da água conforme resultado do IQA.**

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$
BOA	$51 < IQA \leq 79$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$
PÉSSIMA	$IQA \leq 19$

**FONTE: CETESB (2021).**

Em relação ao cômputo dos Coliformes Termotolerantes é importante esclarecer que o laboratório realizou apenas a contagem até o limite de 1600 (NMP/100 mL). Isto significa que aquelas amostras que ultrapassaram esse valor foram expressas no laudo final como >1600 (NMP/100 mL). Este “equivoco” acabou afetando a contagem total de coliformes fecais para P1 (campanhas de inverno e verão) e P3 (campanha de verão). Assim, optou-se por utilizar um valor de referência para este parâmetro nas campanhas que foram afetadas pelo “equivoco”. Por isso, decidiu-se utilizar os dados do ponto do DMAE (P4) localizado próximo à foz.

A justificativa para optar por um valor de referência partiu de duas premissas: a primeira é de que os valores apresentados no trabalho de Soares (2002) indicam quantidades bem elevadas de Coliformes Termotolerantes nos pontos P1 e P3, tanto no inverno quanto no verão. A segunda, foi adotar os dados da Estação 71B, pois eles possuem as datas de amostragem mais próximas das coletas realizadas pelo autor. Além disso, ao se realizar testes de aplicação do IQA com valores de coliformes fecais entre 1600 (NMP/100 mL) e a contagem no P4 (2021/2022) para P1 e P3, observou-se que os resultados finais ficavam dentro da mesma faixa de classificação final da qualidade das águas.

Outro ponto importante a ser esclarecido é que o DMAE substituiu a contagem de Coliformes Termotolerantes pela análise de *Escherichia coli* (*E. coli*) nos últimos anos. Portanto, foi necessário aplicar um fator de correção de 1,25 para estimar os Coliformes Termotolerantes, adotando-se o procedimento recomendado pela CETESB (2021):

Para ensaios de *Escherichia coli* é possível utilizar a mesma curva de qualidade que foi desenvolvida para Coliformes Termotolerantes. Constatou-



se mediante estudo realizado pela própria CETESB em 2008 que existe uma correlação entre os resultados de ambas as análises. Para cada 100 Coliformes Termotolerantes detectados em uma amostra havia aproximadamente 80 representantes de *Escherichia coli*, ou seja, aplicando-se um fator de correção de 1,25 sobre o resultado de *E. coli* pode-se utilizar o valor equivalente da curva de Coliformes Termotolerantes. (CETESB, 2021, p.5).

Outra adaptação metodológica foi necessária para calcular o IQA no P4 do DMAE, devido à falta de dados dos parâmetros Turbidez e Sólidos Totais. Houve a redistribuição dos pesos desses dois parâmetros entre as demais variáveis. Esse procedimento é embasado em FERRI (2019) e IGAM (2018) que recomenda:

Para o cálculo do IQA são consideradas algumas condições. Na ausência de resultado do parâmetro oxigênio dissolvido e/ou coliformes termotolerantes/*E. coli*, o sistema não calcula o indicador. Em relação à ausência dos demais parâmetros, o sistema redefine os pesos correspondentes, de modo a ser obtido um resultado final compatível, ou seja, o peso é repartido igualmente entre os demais parâmetros. (IGAM, 2018).

O Quadro 13 apresenta a adaptação com os parâmetros com dados disponíveis e a redistribuição dos respectivos pesos para o P4 (Estação 71B do DMAE, campanhas 2021/2022).

**Quadro 13 – Redistribuição dos pesos relativos a cada parâmetro do IQA para o P4.**

Variáveis	Pesos relativos (wi)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,20
Coliformes Fecais (UFC/100 mL)	0,18
pH	0,14
DBO5,20 (mg/L)	0,12
Fósforo Total (mg/L)	0,12
Nitrogênio Total (mg/L)	0,12
Temperatura da Água (°C)	0,12

**FONTE: Elaboração do autor.**

O IQA foi aplicado a partir de dados secundários (SOARES, 2002) e DMAE e, também, de dados primários produzidos pelo autor.

Na aplicação do IQA foi utilizado o *software IQAData*. Nele, insere-se os dados brutos dos parâmetros e o aplicativo efetua o cálculo ponderado do IQA,

proporcionando um breve relatório e a classificação da qualidade da água da amostra. Adverte-se que foi feita a validação do IQA calculado a partir do *software* através da comparação com o cálculo manual.

#### 4.2.4 Índice de Vulnerabilidade Social – IVS

O IVS tem a pretensão de representar o acesso, a ausência ou a insuficiência de alguns “ativos” para porções do território brasileiro. Os ativos que compõem o escopo do IVS são parâmetros que refletem as condições de bem-estar dos cidadãos, onde alguns são serviços que atendem as necessidades básicas dos indivíduos, como o acesso à água tratada e os demais componentes do saneamento básico; já outros representam as condições sociais e humanas da população, como a taxa de mortalidade infantil e o percentual de adolescentes com filhos; outros ainda consideram parâmetros referentes à inserção no mercado de trabalho e o acesso à renda:

O IVS é, portanto, resultado da seleção de 16 indicadores selecionados da Plataforma do ADH e foram organizados em três dimensões da vulnerabilidade social, a saber: I – a Infraestrutura Urbana do território em tela (seja ele um município, uma região, um estado ou uma Unidade de Desenvolvimento Humano); II- o Capital Humano dos domicílios deste território; e III - a Renda, o acesso ao trabalho e a forma de inserção (formal ou não) dos residentes nestes domicílios. Cada uma dessas dimensões reúne, por sua vez, um conjunto de variáveis obtidas nas bases dos Censos Demográficos do IBGE, que refletem diferentes aspectos das condições de vida. (IPEA, 2018, p. 21).

O resultado do IVS é obtido através da média aritmética dos sub-índices: IVS Infraestrutura Urbana, IVS Capital Humano e IVS Renda e Trabalho, cada um deles entra no cálculo do IVS final com o mesmo peso (IPEA, 2018). O Quadro 14 apresenta as 16 variáveis que compõem cada subíndice.

**Quadro 14 - Indicadores que compõem o Índice de Vulnerabilidade Social – IVS.**

<b>IVS Infraestrutura Urbana</b>	<b>IVS Capital Humano</b>	<b>IVS Renda e Trabalho</b>
Percentual de pessoas em domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados	Taxa de mortalidade até um ano de idade	Percentual de pessoas com renda domiciliar per capita

<b>IVS Infraestrutura Urbana</b>	<b>IVS Capital Humano</b>	<b>IVS Renda e Trabalho</b>
		igual ou inferior a meio salário mínimo (2010)
Percentual da população que vive em domicílios urbanos sem serviço de coleta de lixo	Percentual de crianças de 0 a 5 anos que não frequentam a escola	Taxa de desocupação da população de 18 anos ou mais de idade
Percentual de pessoas que vivem em domicílios com renda per capita inferior a meio salário mínimo e gastam mais de uma hora até o trabalho no total de pessoas ocupadas, vulneráveis e que retornam diariamente do trabalho	Percentual de pessoas de 6 a 14 anos que não frequentam a escola	Percentual de pessoas com 18 anos ou mais sem ensino fundamental completo e em ocupação informal
	Percentual de mulheres de 10 a 17 anos de idade que tiveram filhos	Percentual de pessoas em domicílios com renda per capita inferior a meio salário mínimo (2010) e dependentes de idosos
	Percentual de mães chefes de família, sem ensino fundamental completo e com pelo menos um filho menor de 15 anos de idade, no total de mães chefe de família	Taxa de atividade das pessoas de 10 a 14 anos de idade
	Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais de idade	
	Percentual de crianças que vivem em domicílios em que nenhum dos moradores tem o ensino fundamental completo	
	Percentual de pessoas de 15 a 24 anos que não estudam, não trabalham e possuem renda domiciliar per capita igual ou inferior a meio salário mínimo (2010), na população dessa faixa etária	

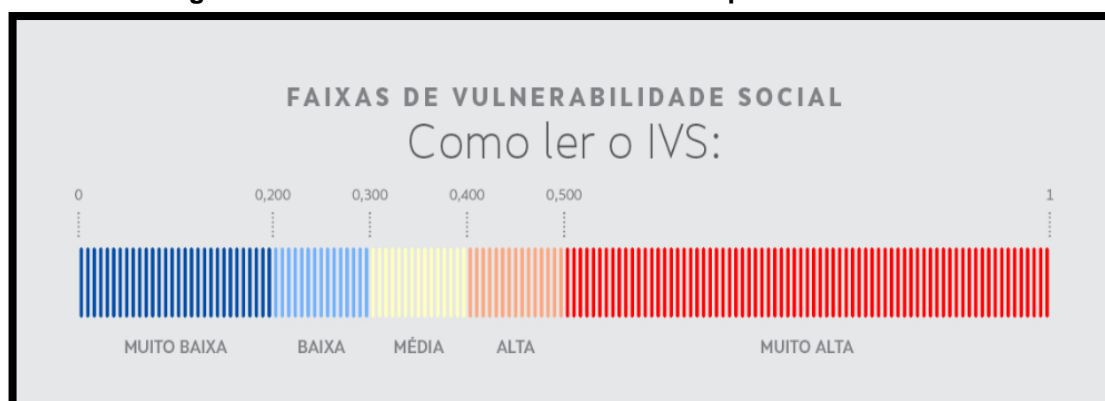
**FONTE: IPEA (2018), elaboração do autor.**

Os dados que compõem o IVS foram obtidos através dos Censos Demográficos do IBGE, para os anos de 2000 e 2010. O Censo Demográfico do IBGE é realizado a cada dez anos, porém por uma série de fatores, o censo não foi realizado em 2020, assim há uma defasagem quanto aos dados demográficos disponíveis no presente momento (2022). Os dados coletados, produzidos e divulgados de um censo decenal são tidos como oficiais e referenciais ao longo da década posterior à sua coleta para serem utilizados em pesquisas, políticas públicas e demais fins. Desse modo, pela ausência do censo, que deveria ter ocorrido em 2020, ainda se tem como base de dados demográficos, aqueles que foram produzidos em 2010, o que sinaliza certa defasagem com a realidade atual.

O panorama descrito justifica e contextualiza a utilização de dados demográficos de 2010 para representar a atual condição da vulnerabilidade social na BHAS, visto que ainda são os dados oficiais. O IVS é uma metodologia desenvolvida recentemente, e sua atualização para a década de 2020 será um processo longo, mesmo após a execução do Censo Demográfico de 2022, isto significa que ainda se levará alguns anos de pesquisa para se ter um IVS referente aos dados de 2022.

Outro aspecto importante a salientar refere-se à normalização dos dados dos indicadores que compõem o IVS. Cada indicador teve seu valor normalizado numa escala entre 0 e 1, em que 0 representa a situação ideal e desejável e 1 corresponde a pior situação. Essa normalização é um fator metodológico importante para esta pesquisa, pois o Índice de Degradação Ambiental Urbana (IDAU) formulado no presente estudo, também varia em uma escala entre 0 e 1 com a mesma valoração qualitativa, onde 0 representa a situação ideal e desejável e 1 corresponde a pior situação. Todos os valores dos indicadores listados apresentam relação direta com as situações de vulnerabilidade social, ou seja, quanto maior for o valor do indicador, maior a vulnerabilidade social (IPEA, 2018). A Figura 20 apresenta a classificação da vulnerabilidade social conforme o resultado do IVS.

**Figura 20 - Faixas de Vulnerabilidade Social por Classes do IVS.**



**FONTE: IPEA (2018).**

Por fim, ao se abordar a espacialidade, o IVS é desenvolvido para diferentes recortes territoriais: Brasil, Macroregiões, Unidades Federativas (Estados), Regiões Metropolitanas, Municípios e, por fim, Unidades de Desenvolvimento Humano (UDHs).

As UDHs são recortes territoriais de maior escala, internos a uma Região Metropolitana, que podem ser parte de um bairro, bairros completos ou, até mesmo, municípios pequenos. São formadas a partir de setores censitários do IBGE (menor recorte territorial para produção de dados demográficos estatísticos), sua delimitação é estabelecida através da homogeneidade das características socioeconômicas, e que fossem reconhecidos por parte da população residente. As UDHs foram pensadas para a análise espacial das Regiões Metropolitanas (RM), tendo como objetivo retratar as desigualdades intrametropolitanas (IPEA, 2018).

Isto posto, julgou-se conveniente utilizar as UDHs por serem as unidades do IVS com maior escala, proporcionando analisar a diferenciação das áreas e do grau de vulnerabilidade social no espaço geográfico da BHAS.

#### 4.2.5 Índice de Degradação Ambiental Urbana – IDAU

A quarta etapa metodológica consistiu na elaboração dos mapas temáticos e a aplicação do IDAU.

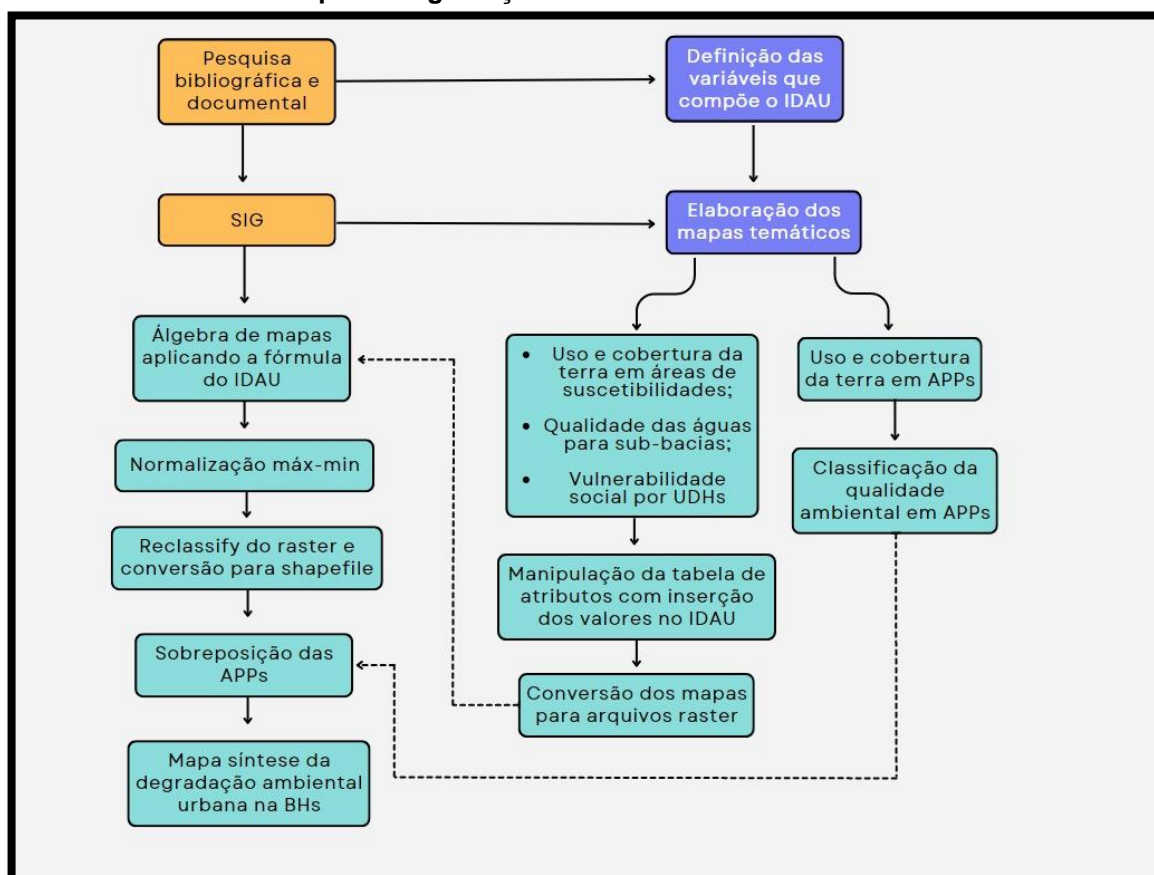
Como dito anteriormente, o presente trabalho propõe modificar e adaptar a fórmula do IDA de Brandão (2005), o que resultará no IDAU. A partir das explanações realizadas no subcapítulo 3.7 referentes à base teórica e adaptações do IDA,

apresentam-se as variáveis que compõem o IDAU: Uso e Cobertura da Terra; Suscetibilidade à Inundação e ao Processos de Erosão e de Movimentos de Massa; Qualidade da Água (IQA); e Vulnerabilidade Social (IVS).

O primeiro passo foi normalizar todas as variáveis para valores que variem entre 0 e 1, sendo a escala de classes da classificação da qualidade ambiental. A seguir, conjuntamente com a descrição metodológica para elaboração de cada mapa temático, estão descritos os valores atribuídos a cada variável que entram na fórmula do IDAU, sendo este aplicado através de álgebra de mapas. Por fim, foram sobrepostas as APPs com a sua classificação quanto à qualidade ambiental sobre as áreas do mapa resultante da aplicação do IDAU e, assim, foi gerado o mapa sintético da degradação ambiental urbana na BHAS.

A Figura 21 apresenta um fluxograma com os procedimentos metodológicos e operacionais para elaboração do mapa de degradação ambiental urbana da BHAS.

**Figura 21 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos e operacionais para elaboração do mapa de degradação ambiental urbana da BHAS.**



**FONTE: Elaboração do autor.**

## Mapas temáticos

Os mapas temáticos são os produtos primários de cada variável que compõem o IDAU, sendo eles:

- Mapa do Uso e Cobertura da Terra.
- Mapa da Suscetibilidade à Inundação e aos Processos Erosivos e Movimento de Massa.
- Mapa da Qualidade das Águas.
- Mapa da Vulnerabilidade Social.
- Mapa do Uso e Cobertura da Terra em APPs.

## Uso e Cobertura da Terra

Para elaboração do mapa de uso e cobertura da terra (2002), realizou-se uma adaptação do mapeamento de vegetação e uso e cobertura da terra realizado por Hasenack *et al.* (2008), publicado no Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre (DAP).

O mapeamento do DAP resultou da interpretação em tela sobre um mosaico de imagens do satélite Quickbird obtidas durante o período de março de 2002 e março de 2003 (HASENACK *et al.*, 2008). Há um detalhamento quanto a distinção de classes quanto aos tipos de vegetação (nativa, exótica, campos, mata), tipos de cultivos (permanentes, sazonais), tipos de ocupação urbana (edificações residenciais, comerciais, pavilhões), isso foi possível devido à interpretação corroborada por trabalho de campo em equipe multidisciplinar.

Através do *software* ArcGIS 10.51 editaram-se os arquivos *shapefile* de vegetação e uso e ocupação do solo do DAP, adaptando e agrupando as diversas classes mapeadas em detalhe para seis classes distintas: *Afloramento Rochoso e Solo Exposto*; *Área Urbana*; *Corpos d'água*; *Cultivos*; *Vegetação Exótica e Secundária*; e *Vegetação Nativa*. Para o estudo aqui proposto as classes estabelecidas cumprem a função de demonstrar o grau de intervenção antrópica e sua relação com a degradação ambiental urbana resultante na aplicação do IDAU. A seguir, segue o detalhamento das subclasses agrupadas que resultaram nas seis

classes referentes a adaptação realizada:

**Afloramento Rochoso e Solo Exposto:** nesta classe uniram-se as duas subclasses “afloramento rochoso e solo exposto”.

**Área Urbana:** uniram-se as subclasses que expressam qualquer tipo de edificação, seja comercial ou residencial, seja de ocupação urbana contínua ou dispersa como propriedades rurais, também são inclusas as vias (estradas e pavimentações).

**Corpos d’água:** manteve-se a classe original do mapeamento do DAP.

**Cultivo:** uniram-se as subclasses de qualquer tipo de cultivo, seja perene ou sazonal, também inclui a silvicultura.

**Vegetação Exótica e Secundária:** abrange todos os tipos de vegetação enquadradas na subclasse que não inclui mata nativa, sendo assim abarca campo de manejo, campo degradado, bosques urbanos, e áreas de transição entre vegetação arbórea, herbácea e arbustiva.

**Vegetação Nativa:** todos os tipos de subclasses de vegetação nativa, sejam essas do tipo arbórea, herbácea ou arbustiva; inclui mata nativa e campos nativos.

Wentz (2019) realizou a comparação do uso e cobertura da terra referente ao mapeamento realizado por Hasenack *et al.* (2008) e a sua cartografia elaborada para o ano de 2019. O mapeamento de Wentz (2019) partiu da base cartográfica temática do DAP, e utilizou uma imagem do satélite LandSat 8 do dia 15/08/2019 para fazer a interpretação e atualização do mapeamento. Foram feitas algumas campanhas em campo para observar as mudanças mapeadas. Partindo-se da cartografia atualizada em 2019, procedeu-se a uma nova revisão e atualização para o ano de 2022. Isto permitiu verificar a expansão da área urbana, principalmente através da construção de novos condomínios na área da BHAS. Esta atualização teve como base uma composição de imagem satélite Landsat/Copernicus disponível no software Google Earth Pro, datada em 13/01/2022.

É importante observar que o uso e cobertura da terra modifica-se ao longo dos anos, porém em muitos casos tais mudanças de ano para ano são sutis, sendo mais perceptíveis quando comparadas entre períodos mais longos, como entre décadas



distintas. Assim para representar o uso e cobertura da terra na aplicação do IDAU para a situação de 2002, utilizou-se o mapeamento original do DAP.

### **Suscetibilidade à Inundação e aos Processos Erosivos e Movimento de Massa**

Este mapa foi elaborado por Fujimoto e Dias (2010) e Moura e Camargo (2011). No entanto, obteve-se os dados vetoriais do mapeamento realizado em seus trabalhos.

Importante destacar que o caráter geomorfológico, geológico, hidrológico e pedológico que determinam o mapa de suscetibilidade não variam ou variaram pouco na escala temporal desta pesquisa, ou seja, pode-se considerar estas variáveis constantes, portanto foi considerado o mesmo mapeamento da suscetibilidade tanto para o período de 2002 como 2022.

### **Relação do Uso e Cobertura da Terra e Suscetibilidade à Inundação e aos Processos Erosivos e de Movimento de Massa.**

Foi realizada a relação do uso e cobertura da terra com as áreas de suscetibilidade à inundação e aos processos erosivos e movimento de massa, gerando um subproduto temático do cruzamento destas duas variáveis que compõem o índice, para assim, atribuir-se os valores representativos da qualidade ambiental que entram na fórmula de aplicação do IDAU.

O cruzamento do mapa de uso e cobertura da terra com o mapa de suscetibilidade foi realizado através da ferramenta de geoprocessamento *Intersect* do software ArcGIS 10.51. Este procedimento foi feito tanto para a situação de 2003 como para o de 2022.

A atribuição de valores que representam a qualidade ambiental desta relação baseou-se em outros estudos similares (ROSS, 1994; ROCHA E CRUZ, 2009; INPE, 2001; BRANDÃO, 2005, ROGALSKI, 2011) que avaliam a condição de degradação ambiental relacionadas as classes de uso e cobertura da terra.

A determinação dos valores foi baseada nos estudos citados, no conhecimento prévio da área de estudo e discussões com especialistas do ramo geográfico.

O Quadro 15 apresenta os valores atribuídos que representam a qualidade ambiental da relação do uso e cobertura da terra (UCT) e das classes de suscetibilidade à inundação. Os valores atribuídos são que entram na fórmula do IDAU.

**Quadro 15 - Valores representativos no IDAU para a relação do UCT com as áreas de suscetibilidade à inundação.**

<b>Classes de UCT</b>	<b>Classes de Suscetibilidade à Inundação</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificativa e descrição de impactos ambientais</b>
Área Urbana	Muito alta	1	Áreas com maior tendência a sofrer inundação, podendo gerar perdas materiais, danificação das edificações ou vias, arraste erosivo de lixo urbano ou materiais sólidos que provocam assoreamento nos rios, em casos drásticos podendo haver perdas de vidas.
Área Urbana	Alta	0,75	Mesmos tipos de problemas da classe “Muito alta”, porém os danos e o perigo tendem a ser menores.
Área Urbana	Média	0,5	Valor intermediário, pois são áreas que podem sofrer inundação, mas a intensidade e frequência de possíveis danos tendem a ser menor do que as classes “Muito alta” e “Alta”.
Área Urbana	Baixa	0,25	Valor de qualidade ambiental “Boa”, pois são áreas adequadas à ocupação devido à baixa suscetibilidade aos eventos de inundação.
Cultivo	Muito alta	1	Perda da safra, destruição da infraestrutura agrícola, erosão e transporte de sedimentos até os cursos d’água devido ao manejo do solo. Há também a possibilidade de transporte de insumos agrícolas como agrotóxicos e pesticidas até os cursos d’água.

<b>Classes de UCT</b>	<b>Classes de Suscetibilidade à Inundação</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificativa e descrição de impactos ambientais</b>
Cultivo	Alta	0,75	Mesmos problemas relatados na classe "Muito Alta", porém com a tendência dos danos e frequência dos eventos serem menores.
Cultivo	Média	0,5	Valor intermediário, pois são áreas que podem sofrer inundação, mas a intensidade dos danos e a frequência dos eventos tendem a ser menor do que as classes "Muito alta" e "Alta".
Cultivo	Baixa	0,25	O valor é de qualidade ambiental "Boa", pois são áreas adequadas à ocupação e manejo do solo devido à baixa suscetibilidade aos eventos de inundação.
Afloramento Rochoso e Solo Exposto	Muito alta	1	Erosão e transporte de sedimentos aos cursos d'água, o que pode provocar assoreamento.
Afloramento Rochoso e Solo Exposto	Alta	0,75	Mesmos problemas relatados na classe "Muito Alta", porém com tendência dos danos e frequência dos eventos serem menores.
Afloramento Rochoso e Solo Exposto	Média	0,5	Valor intermediário, pois são áreas que podem sofrer inundação, mas a intensidade dos danos e frequência dos eventos tendem a ser menor do que as classes "Muito alta" e "Alta".
Afloramento Rochoso e Solo Exposto	Baixa	0,25	Valor de qualidade ambiental "Boa", pois são áreas adequadas à ocupação e manejo do solo devido à baixa suscetibilidade aos eventos de inundação.

Classes de UCT	Classes de Suscetibilidade à Inundação	Valor	Justificativa e descrição de impactos ambientais
Vegetação Nativa	Todas as classes	0	Qualidade Ambiental “Muito boa”, pois são áreas que se mantêm preservadas ou conservadas, e proporcionam papel fundamental hidrológico, como retenção da velocidade de escoamento das águas, diminuindo a chance de eventos de inundação, além da importância ecológica.
Vegetação Exótica e Secundária	Todas as Classes	0,25	Qualidade Ambiental Boa, proporcionam papel hidrológico, como retenção da velocidade de escoamento das águas, diminuindo a chance de eventos de inundação, porém sendo uma vegetação que sofreu interferência antrópica, sua importância ecológica, é de menor grau de importância do que comparada com a vegetação nativa.
Corpos d’ Água	Todas as Classes	0,25	Qualidade Ambiental Boa, não apresenta riscos elevados associados aos eventos de inundação.

**FONTE: Elaboração do autor.**

Por sua vez, o Quadro 16 mostra os valores atribuídos que representam a qualidade ambiental da relação do uso e cobertura da terra (UCT) e das classes de suscetibilidade aos processos erosivos e movimento de massa. Optou-se por distinguir os valores atribuídos para afloramento rochoso e solo exposto devido às distintas características destas classes em relação ao terreno e às classes de suscetibilidade. Os valores atribuídos são os que entram na fórmula do IDAU.

**Quadro 16 - Valores representativos no IDAU para a relação do UCT com as áreas de suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa.**

<b>Classes de UCT</b>	<b>Classes de Suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificativa e descrição de impactos ambientais</b>
Área Urbana	Alta	1	Áreas sujeitas aos movimentos de massa, o que pode ocasionar perdas materiais como destruição das edificações ou vias, em casos extremos perdas de vidas. A suscetibilidade alta à erosão faz com que a exposição do solo e dejetos de construção possam ser transportados a montante elevando o carregamento de sedimentos pelo escoamento superficial aos cursos d'água.
Área Urbana	Média	0,5	Mesmos tipos de problemas da classe "Alta", porém, com tendência do perigo e danos serem menores.
Área Urbana	Baixa	0,75	A classe de baixa suscetibilidade ocorre em topos de morro, onde a declividade não é acentuada, assim, apesar de não haver um risco maior quanto aos movimentos de massa, a alteração da velocidade do escoamento superficial devido impermeabilização e mudanças na geotecnia podem afetar áreas a jusante, agravando os problemas descritos na classe "Alta". Além disso topos de morro são áreas de grande importância ecológica, muitas vezes sem a interferência antrópica, abrigam vegetação endêmica, além do que dependendo das características, devem ser consideradas APPs.
Cultivo	Alta	1	O manejo do solo afeta o equilíbrio geomorfológico das vertentes, podendo agravar situações de erosão e propensão aos movimentos de massa. Além disso o possível uso de insumos agrícolas como agrotóxicos e pesticidas podem afetar as águas próximas das nascentes através do carregamento das partículas pelo escoamento superficial e também pela percolação que através do fluxo subsuperficial pode chegar aos cursos d'água, ou até mesmo os aquíferos.

<b>Classes de UCT</b>	<b>Classes de Suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificativa e descrição de impactos ambientais</b>
Cultivo	Média	0,5	Mesmos tipos de problemas da classe “Alta”, porém, com tendência de apresentar riscos em menor grau.
Cultivo	Baixa	0,75	Apesar de não haver um risco maior quanto aos movimentos de massa, a exposição do solo devido ao manejo, podem, fazer com que possam ser erodidos e transportados para áreas a montante agravando os problemas descritos na classe “Alta”. Além disso o possível uso de insumos agrícolas como agrotóxicos e pesticidas podem afetar as águas das nascentes através do carregamento das partículas pelo escoamento superficial e também pela percolação que através do fluxo subsuperficial pode chegar aos cursos d’água, ou até mesmo dependendo da geologia até os aquíferos.
Afloramento Rochoso	Alta	0,75	Apesar dos afloramentos rochosos muitas vezes serem naturais, a ocorrência no meio urbano em alta declividade pode gerar movimentos de massa, como queda de blocos, que podem afetar edificações e infraestrutura urbana, assim como perdas de vidas.
Afloramento Rochoso	Média	0,5	Mesmos tipos de problemas da classe “Alta”, porém com tendência de apresentar menor risco.
Afloramento Rochoso	Baixa	0	O valor atribuído é devido ao fato de que é natural a ocorrência de afloramentos em topos de morro, não havendo também declividades acentuadas, geralmente não proporcionam maiores riscos associados à movimento de massa.
Solo Exposto	Alta	1	O solo exposto em áreas sujeitas aos movimentos de massa, intensificam a chance de ocorrência de tais eventos, que como consequência pode ocasionar perdas materiais como destruição das edificações ou vias, em casos extremos perdas de vidas. A erosão e o transporte de sedimentos podem- se intensificar devido ao solo

<b>Classes de UCT</b>	<b>Classes de Suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa</b>	<b>Valor</b>	<b>Justificativa e descrição de impactos ambientais</b>
			exposto em alta declividade, assim aumentando o aporte de sedimentos carregados pelo escoamento superficial até os cursos d'água.
Solo Exposto	Média	0,75	Mesmos tipos de problemas da classe "Alta", porém, os danos tendem a ser menos intensos ou menos frequentes.
Solo Exposto	Baixa	0,5	A exposição do solo facilita a erosão e transporte para áreas a montante agravando os problemas descritos na classe "Alta".
Vegetação Nativa	Todas as Classes	0	Qualidade Ambiental "Muito boa", pois são áreas que se mantêm preservadas ou conservadas, e proporcionam papel fundamental quanto a contenção da velocidade de escoamento superficial das águas pluviais, assim, contendo processos erosivos. Além da importância ecológica.
Vegetação Exótica e Secundária	Todas as Classes	0,25	Qualidade Ambiental "Boa", proporcionam papel fundamental quanto a contenção da velocidade de escoamento superficial das águas pluviais, assim contendo processos erosivos. Porém sendo uma vegetação que sofreu interferência antrópica, sua importância ecológica é de menor grau do que comparada com a vegetação nativa.
Corpos d' Água	Todas as Classes	0,25	Qualidade Ambiental "Boa", não apresenta riscos elevados associados aos processos erosivos e movimento de massa. Em geral são açudes, por isso se apresentam como uma interferência antrópica.

**FONTE: Elaboração do autor.**

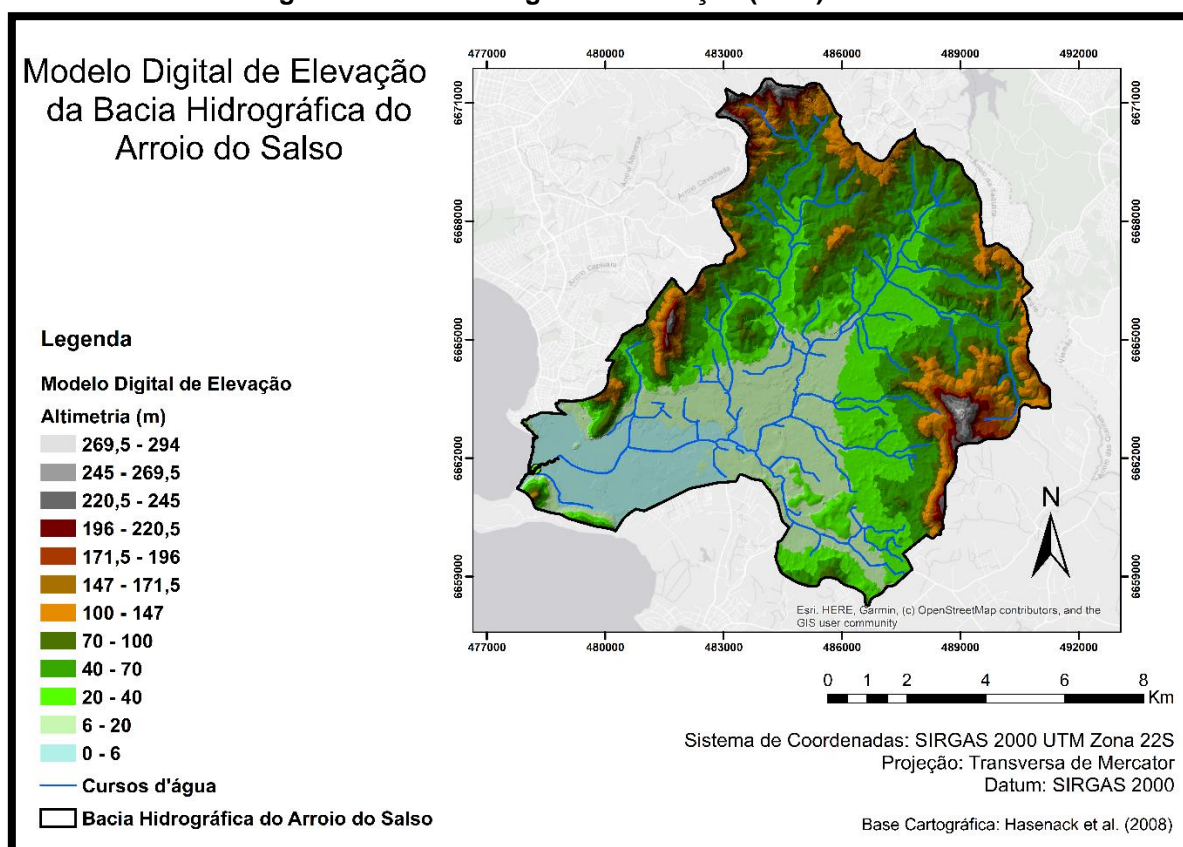
### **Qualidade da Água (IQA)**

Para o mapeamento da qualidade da água na BHAS, foi necessário gerar as sub-bacias referentes a cada ponto amostral em que se aplicou o IQA. Este

procedimento foi realizado através do *software* ArcGIS 10.51

Primeiramente gerou-se um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir de curvas de nível com equidistâncias de 1 m e, após, converteu-se o arquivo MDE para um arquivo do tipo *raster* para poder efetuar os procedimentos de delimitação das sub-bacias. A Figura 22 apresenta o MDE da BHAS.

Figura 22 - Modelo Digital de Elevação (MDE) da BHAS.



FONTE: O autor.

Através das ferramentas da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS 10.51, realizou-se os seguintes procedimentos: com o arquivo *raster* do MDE aplicou-se o comando *Fill* para detectar e preencher as depressões espúrias do modelo. A partir disto, calculou-se a direção de fluxo da água através do comando *Flow Direction* e, em seguida, o fluxo acumulado de água através do *Flow Accumulation*.

O próximo passo foi executar o comando *Watershed* para delimitar a área das sub-bacias hidrográficas fornecendo-lhe o ponto específico de exutório (*pour point*), este procedimento foi realizado para cada ponto amostral. Por fim, os arquivos *raster*



gerados pela função *Watershed* foram convertidos para formato vetorial pela ferramenta *Raster to Polygon*. O último passo foi revisar a delimitação automatizada, para isso colou-se transparência nas camadas das sub-bacias e confrontou-se com as curvas de nível e o MDE, corrigindo possíveis distorções e refinando a delimitação das bordas de todas as sub-bacias, tal procedimento foi feito com as ferramentas de geoprocessamento de edição avançada.

Após a delimitação das sub-bacias, todas foram unidas em uma única camada e assim editou-se a tabela de atributo, colocando os valores e as classes de IQA referente a cada ponto amostral. Cabe salientar que cada ponto amostral, com seu respectivo resultado de IQA, corresponde a uma certa área de drenagem da BHAS que são as sub-bacias delimitadas. Portanto, o valor do IQA para um dado ponto, foi incorporado na fórmula como o valor correspondente a toda a área de drenagem do respectivo ponto.

Para incorporação dos dados de IQA no IDAU, foi necessária a normalização dos dados para compatibilidade com as demais variáveis, a seguir está a descrição metodológica dos procedimentos necessários:

- Dividir o valor resultante do IQA por 100, obtendo um valor entre 0 e 1.
- Aplica-se a subtração do algarismo 1 pelo valor do IQA/100, obtendo o valor a ser utilizado no IDAU.

O primeiro passo é a normalização dos valores, dividindo o valor obtido na aplicação do IQA por 100, assim gerando um valor entre 0 e 1, compatível com a fórmula do IDAU.

Como os resultados possíveis do IQA variam entre 0 e 100, sendo o valor máximo (100) o que representa a melhor qualidade da água, com a divisão do valor de IQA por 100, obtém-se um número entre 0 e 1, onde 1 representa a melhor qualidade da água. Porém a atribuição do valor 1 no IDAU representa “Qualidade Ambiental Crítica”. Assim, deve-se efetuar o segundo passo para que o valor de IQA influencie na fórmula de modo correto. Desta forma, deve-se subtrair o algarismo 1 pelo valor normalizado do IQA (após ter sido dividido por 100). Esse segundo passo fará com que se transforme a qualificação do valor, estabelecendo que, quanto mais

próximo a 1 for o valor do IQA, mais degradada estará a qualidade da água.

O Quadro 17 exemplifica os valores obtidos pelo procedimento de normalização dos valores de IQA para a utilização desta variável na fórmula do IDAU para os pontos P1, P2, e P3 da campanha amostral do inverno de 2021.

**Quadro 17 - Valores do IQA no IDAU.**

<b>Pontos</b>	<b>IQA Original</b>	<b>IQA Normalizado</b>	<b>Valor Inserido no IDAU</b>
P1	51,17	0,5117	0,4883
P2	80,02	0,8002	0,1998
P3	64,04	0,6404	0,3596

**FONTE: Elaboração do autor.**

Como há campanhas de inverno e verão nos mesmos pontos, tanto para o período 2001-2002 quanto para 2021-2022, após o procedimento de normalização, aplicou-se a média aritmética das campanhas de inverno e verão, obtendo-se como resultado o valor representativo do IQA para cada sub-bacia, o qual entra na fórmula do IDAU.

### **Vulnerabilidade Social (IVS)**

Para representar a vulnerabilidade social, utilizou-se a incorporação do IVS na fórmula do IDAU. O IVS é um dado estabelecido por UDHS, ou seja, cada UDH tem seu valor de IVS atribuído.

Para realização do mapa temático da vulnerabilidade social, utilizou-se o *software* ArcGIS 10.51 e o *software* Excel do pacote Microsoft Office 2016. A base de dados foi retirada da plataforma web do Atlas da Vulnerabilidade Social (AVS) do IPEA. A seguir, serão descritos os passos operacionais para confecção do mapa temático.

Primeiramente, foi necessário fazer download dos dados tabulados em planilha, arquivos do tipo CVS, os quais contém os valores de todos os 16 indicadores, o IVS em subíndices (infraestrutura, capital humano, renda e trabalho) e o valor do IVS final, assim como os códigos da localização espacial (Estado, Região Metropolitana, Município e UDHS), bem como a nomenclatura de cada UDHS. Também foi feito

download do arquivo de extensão *shapfile* das UDHs da Região Metropolitana de Porto Alegre.

Após o download, o próximo passo foi a filtragem e extração do que interessou a esta pesquisa. Para tal, através das ferramentas de geoprocessamento do ArcGIS 10.51, extraíram-se as UDHs que estão inseridas na área da BHAS, e após isso, exportou-se a tabela de atributos para poder obter os códigos de cada UDH presente na BHAS e, assim, filtrar o arquivo CVS que contém os valores de IVS. Após a filtragem da planilha, foi realizada a conferência e revisão, a fim de evitar equívocos no procedimento seguinte, a união das informações tabuladas com o arquivo vetorial das UDHs.

Depois de unidas as informações tabuladas do IVS com o arquivo vetorial, realizou-se o procedimento de confecção do mapa, primeiramente determinado as classes do IVS e aplicando a simbologia no mapa, assim apresentando a distribuição espacial da vulnerabilidade social por UDHs na BHAS. Após esta etapa, organizou-se o *layout* final dos mapas. Os procedimentos descritos foram aplicados para a elaboração do mapa que representa a vulnerabilidade social em 2000 e para 2010.

Como o dado de IVS já está normalizado entre 0 e 1, e suas classes condizem praticamente com mesma relação escalar do IDAU, ou seja, 0 representa a situação de ausência de vulnerabilidade, enquanto o valor 1 corresponde a pior situação, este dado já está compatível para inserção no IDAU. O Quadro 18 apresenta um exemplo de inclusão do IVS no IDA.

**Quadro 18 - Valores de IVS no IDAU.**

<b>Vulnerabilidade Social (IVS) por UDH</b>	<b>Valor no IDA</b>
IVS – 0,00	0
IVS – 0,304	0,304
IVS – 0,5	0,5
IVS – 0,72	0,72

**FONTE: Elaboração do autor.**

Os valores do quadro são hipotéticos, apenas demonstrativos, os valores do IVS de cada UDH, são os mesmos que entram na fórmula do IDAU.

## Uso e Cobertura da Terra em APP

Por fim, o último mapa temático que compõe o IDAU refere-se ao uso e cobertura da terra em APP. Como se sabe, as APPs são áreas que em teoria e legalmente devem ser preservadas. Devido à sua importância ecológica são áreas que devem estar livres de interferência antrópica direta, como ocupação urbana ou lavouras, em teoria deve prevalecer a preservação da vegetação nativa ou ao menos da vegetação secundária estabelecida após algum desmatamento. Portanto, é de extrema relevância averiguar as condições das APPs para determinar a degradação ambiental de uma bacia hidrográfica.

O mapa teve elaboração simples: através dos arquivos vetoriais das APPs oficiais disponibilizados pela prefeitura de Porto Alegre, extraíram-se, através da ferramenta de geoprocessamento *Clip* do ArcGIS 10.51, apenas as APPs da BHAS. Após isto, efetuou-se o mesmo procedimento do comando *Clip*, extraindo-se o uso e cobertura da terra dentro de APPs, tanto para 2002 como 2022.

O critério de classificação quanto à degradação da qualidade ambiental em APP deu-se exclusivamente pelo tipo de cobertura da terra existentes nelas. Assumiu-se que qualidade ambiental das APPs está associada à preservação ou conservação da cobertura vegetal, assim atribui-se o valor 0 para as APPs cobertas por vegetação nativa, 0,25 para as APPs com vegetação secundária ou exótica e corpos d'água, e o valor 1 para as APPs com os demais tipos de uso e cobertura da terra.

## Aplicação do Índice de Degradação Ambiental Urbana (IDAU)

Partindo-se da base metodológica original desenvolvida por Brandão (2005), da fórmula de seu IDA e da apresentada pelo INPE (2001), realizaram-se as modificações e adaptações que resultaram na elaboração do IDAU. A equação 5 apresenta a fórmula de cálculo do IDAU:

$$IDAU = \frac{(UCT \cap S + IQA + IVS)}{3} \quad (\text{Eq. 5})$$

Lê-se:

UCT=Uso e Cobertura da Terra

S= Suscetibilidade à Inundação e aos processos Erosivos e de Movimento de Massa

IQA= Índice de Qualidade da Água

IVS= índice de Vulnerabilidade Social

Nota-se na fórmula o símbolo de intersecção ( $\cap$ ) das variáveis do “UCT” e “S”, isto significa que o valor que entra na fórmula é decorrente da relação das duas variáveis, expressadas nos Quadros 15 e 16. A seguir, são demonstradas as situações de aplicação para a melhor e a pior condição possível.

Situação Positiva, se:

$$UCT \cap S = 0$$

$$IQA = 0$$

$$IVS = 0$$

O resultado final do IDAU sendo igual a zero (0) representa a situação positiva, representada na Equação 6.

$$IDAU = \frac{(0 + 0 + 0)}{3} = 0 \quad (\text{Eq. 6})$$

Enquanto a situação negativa, se:

$$UCT \cap S = 1$$

$$IQA = 1$$

$$IVS = 1$$

Nesta situação o resultado final do IDAU será igual a um (1), representado na resolução da Equação 7.

$$IDAU = \frac{(1 + 1 + 1)}{3} = 1 \quad (\text{Eq. 7})$$

Para a aplicação do IDAU, realizou-se o cruzamento dos mapas intermediários de cada variável através da álgebra de mapas. O procedimento foi feito no *software* ArcGIS 10.51 através da ferramenta “*Raster Calculator*”. Primeiramente, converteram-se todas as camadas para arquivos do tipo *raster*, no campo “*value*” deve-se inserir a coluna que contém os valores atribuídos das variáveis, assim cada pixel terá o seu valor correspondente para a aplicação do cruzamento dos mapas temáticos através da álgebra de mapas.

Conforme já mencionado anteriormente o resultado da aplicação do IDAU permite discriminar as áreas em classes de qualidade ambiental. Brandão (2005) apresenta uma divisão em 4 classes. A presente pesquisa optou por segmentar em 5 classes de qualidade ambiental o resultado obtido através da aplicação do IDAU. O Quadro 19 apresenta as faixas do IDAU e as respectivas classes.

**Quadro 19 - Classes do IDAU.**

Valores do IDAU	Classes do IDAU
0 – 0,2	Qualidade Ambiental Muito Boa
0,21 – 0,35	Qualidade Ambiental Boa
0,36 – 0,5	Qualidade Ambiental Moderada
0,51 – 0,75	Qualidade Ambiental Subcrítica
0,76 – 1,0	Qualidade Ambiental Crítica

**FONTE:** Elaboração do autor.

Com o novo arquivo *raster* gerado pela aplicação da fórmula, tem-se um resultado bruto classificatório, atribuindo os valores resultante do cruzamento das variáveis do IDAU aos *pixels* do novo arquivo *raster*. Este processo gera o valor mínimo e máximo que representa a melhor e a pior situação da qualidade ambiental.

Conforme a classificação resultante, é possível discriminar as áreas que sofrem ou condicionam a degradação ambiental.

Com intuito de ter uma maior amplitude dos resultados e assim dividi-los em 5 classes, optou-se por realizar o procedimento de Normalização min-max<sup>8</sup>, aplicando a Equação 8 através da ferramenta *Raster Calculator* ao arquivo resultando da aplicação do IDAU:

$$X_{norm} = \frac{x - \min(x)}{[\max(x) - \min(x)]} \quad (\text{Eq. 8})$$

Após a normalização, aplicou-se a ferramenta *Reclassify* para reclassificar os pixels enquadrados em 5 classes e após converteu-se para o formato vetorial através da ferramenta *Raster to Polygon*, para assim ser possível trabalhar a tabela de atributos, gerar a simbologia de classificação e calcular as áreas de cada classe.

Cabe destacar que a avaliação da degradação ambiental urbana apenas na área interna da BHAS, permite que o procedimento de normalização min-max apenas amplie a faixa dos valores brutos da aplicação do IDAU. Todavia este procedimento não é adequado se for aplicado em duas áreas distintas, como por exemplo, duas bacias hidrográficas, na qual deseja-se comparar.

A última etapa da cartografia síntese da degradação na BHAS consistiu em inserir as APPs. Como a classificação da qualidade ambiental nas APPs se dá exclusivamente pelos tipos de cobertura da terra, acaba sendo uma variável que não entra na fórmula do IDAU, assim para inserir essa variável foram realizados dois procedimentos. O primeiro foi aplicar a ferramenta de geoprocessamento *“Erase”*, essa ferramenta apagou as áreas de APP do produto gerado pela aplicação do IDAU, e após isso realizou-se a união do mapa de classificação ambiental das APPs através da ferramenta de geoprocessamento *Merge*. Por fim, foi elaborado o mapa final, seu layout e simbologia.

Todos estes procedimentos foram realizados para a situação de 2002 e 2022.

---

<sup>8</sup> A normalização min-max consiste em redimensionar cada recurso para o dimensionar o intervalo em [0,1] ou [-1,1] (WikiR, UFRGS, 2021).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

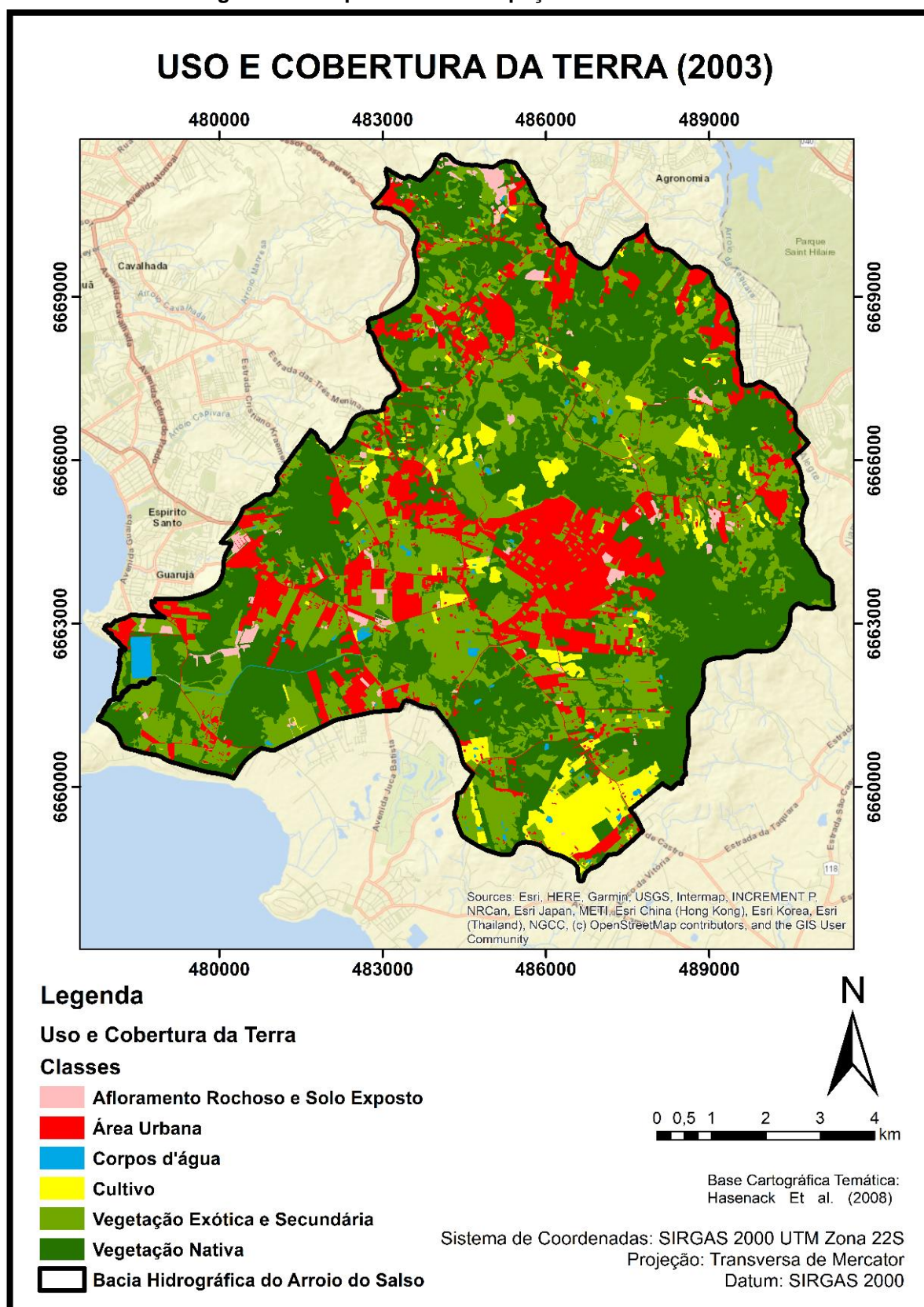
Os resultados e as discussões são apresentados em subcapítulos referentes a cada temática que compõem o IDAU, sendo estes: Uso e Cobertura da Terra; Susceptibilidade à Inundação e Movimento de Massa; Qualidade da Água; e Vulnerabilidade Social. Após a apresentação dos resultados individuais de cada temática, há um sub capítulo referente à degradação ambiental urbana na BHAS com os resultados da aplicação do IDAU e, por fim, os dois últimos subcapítulos indicando as áreas a serem preservadas, conservadas e recuperadas, assim como as áreas mais favoráveis à expansão urbana.

### 5.1 USO E COBERTURA DA TERRA

Como já mencionado no capítulo 4, para a representação do uso e cobertura da terra em 2003 na BHAS, foi realizada uma adaptação do mapeamento de Hasenack *et al.* (2008). Já para representação da situação em 2022, realizou-se uma adaptação de Wentz (2019). Assim, foi possível gerar os mapas para cada período e efetuar as comparações das mudanças do uso e cobertura da terra ocorridas na BHAS para o período em questão. A Figura 23 apresenta o mapa de uso e ocupação da terra em 2003.



Figura 23 – Mapa de Uso e Ocupação da Terra em 2003.



FONTE: Adaptado de Hasenack *et al.* (2008), elaboração do autor.

A Tabela 1 apresenta a superfície de cada classe de uso e cobertura da terra referente ao mapeamento de Hasenack *et al.* (2008).

**Tabela 1 – Percentual das Classes de Uso e Cobertura da Terra na BHAS em 2003.**

<b>Classes</b>	<b>Área em Hectares (ha)</b>	<b>Área em Percentual (%)</b>
<b>Afloramento Rochoso e Solo Exposto</b>	153,45	1,64
<b>Área Urbana</b>	1538,64	16,43
<b>Corpos d' Água</b>	68,43	0,73
<b>Cultivos</b>	485,33	5,18
<b>Vegetação Exótica e Secundária</b>	2908,25	31,06
<b>Vegetação Nativa</b>	4208,73	44,95
<b>Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso</b>	9363,26	100,00

**FONTE: Adaptado de Hasenack *et al.* (2008), elaboração do autor.**

É possível observar que a cobertura vegetal está dividida em duas classes: vegetação nativa, com aproximadamente 45% da área da BHAS; e vegetação exótica e secundária, com aproximadamente 31% da área da BHAS. Somadas as áreas das duas classes se constata que no início da década de 2000 a cobertura vegetal na BHAS era de aproximadamente 76% da área total da BHAS. Ao se analisar o mapa da figura 24, se percebe que a cobertura vegetal está bem distribuída na BHAS. Em relação à a vegetação nativa, ela distribui-se de forma mais concentrada nas áreas de relevo acentuado, como nos morros São Pedro Quirinas, Goulart, Tapera e Aberta, além de áreas no entorno dos morros ou em áreas mais elevadas que abarcam o curso superior do Arroio do Salso. Também, há áreas com vegetação nativa em setores mais planos, junto a planície de inundação, no curso inferior do Arroio do Salso. As Figuras 24, 25, e 26 apresentam fotos de vegetação nativa.

**Figura 24 - Vegetação Nativa.**



**FONTE: Hasenack *et al.* (2008).**

**Figura 25 - Vegetação Nativa.**



**FONTE: Hasenack *et al.* (2008).**

**Figura 26 - Vegetação Nativa.**



**FONTE: Hasenack *et al.* (2008).**

A vegetação exótica e secundária encontra-se distribuída ao longo de toda BHAS, mas em geral concentra-se mais em áreas com patamares mais planos ou colinosos, em relevo menos acentuado do que os morros. A Figura 27 apresenta vegetação exótica com Eucaliptos e vegetação de gramíneas e secundárias no bairro Lomba do Pinheiro.

**Figura 27 - Vegetação Exótica e Secundária (11/2019).**



**FONTE: O autor.**

As áreas de cultivo correspondiam a aproximadamente 5,1% da área total da BHAS. Elas estão distribuídas de forma descontínuas e esparsas em toda área da BHAS, se tratando de pequenas e médias propriedades. Há uma área mais extensa e concentrada de cultivo localizada na parte mais ao sul da BHAS, no bairro Lageado, e outras áreas de cultivo com menor porte, estão distribuídas principalmente entre os bairros Restinga, Lomba do Pinheiro, Pitinga, Belém Velho e Hípica. A Figura 28 mostra uma área de cultivo no bairro Belém Velho.

**Figura 28 - Área de Cultivo.**



Encostas suaves ocupadas por culturas de hortifrutigranjeiros e remanescentes de mata mesófila em Belém Velho.

**FONTE: Hasenack Et al. (2008).**

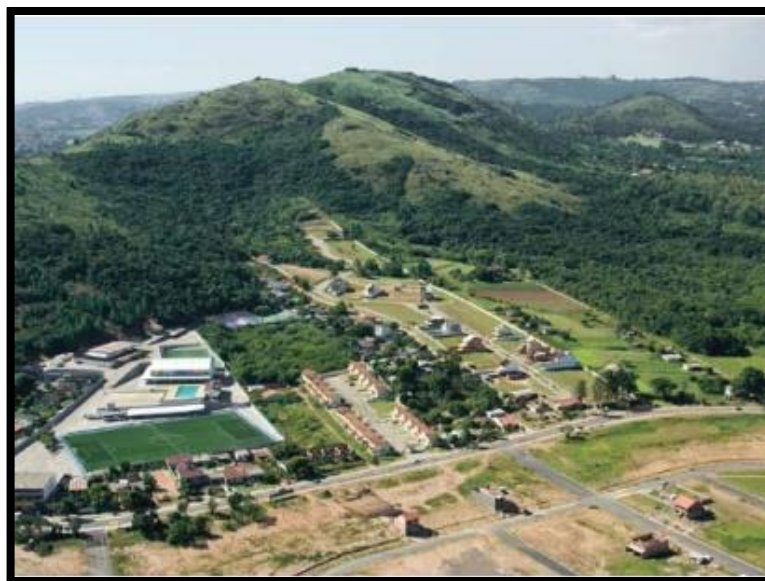
Já a classe “área urbana” corresponde a pouco mais de 16%, sendo o principal núcleo de urbanização, o bairro: Restinga; há também outros núcleos a serem destacados, mas com menor densidade, sendo estes os bairros: Lomba do Pinheiro, Belém Velho, Hípica, Aberta dos Morros e Ponta Grossa. Quanto ao caráter urbano, há a predominância de ocupação residencial. As Figuras 29 e 30 apresentam áreas urbanas do bairro Restinga (urbanização densa e consolidada) e bairro Hípica (urbanização mais rarefeita e em expansão, meados de 2002).

**Figura 29 - Área Urbana - Bairro Restinga (2012).**



**FONTE: Prefeitura Municipal de Porto Alegre - RS (2012).**

**Figura 30 - Área Urbana - Bairro Hípica.**



**FONTE: Haseack *et al.* (2008).**

Quanto à classe Afloramento Rochoso e Solo Exposto, esta representava aproximadamente 1,6 % da área total da BHAS, tratando-se principalmente de solo exposto, geralmente oriundos de novas obras de condomínios, edificações ou vias, ou ainda também oriundas do manejo agropecuário. Destaca-se uma grande porção de afloramento rochoso e solo exposto, fruto da degradação ocasionada por uma área de mineração. É uma cratera localizada na divisa dos bairros Agronomia, Cascata, e Lomba do Pinheiro, na porção norte da BHAS. A Figura 31 apresenta a foto da cratera com afloramento rochoso e solo exposto da área de mineração.

**Figura 31 - Área de Mineração.**

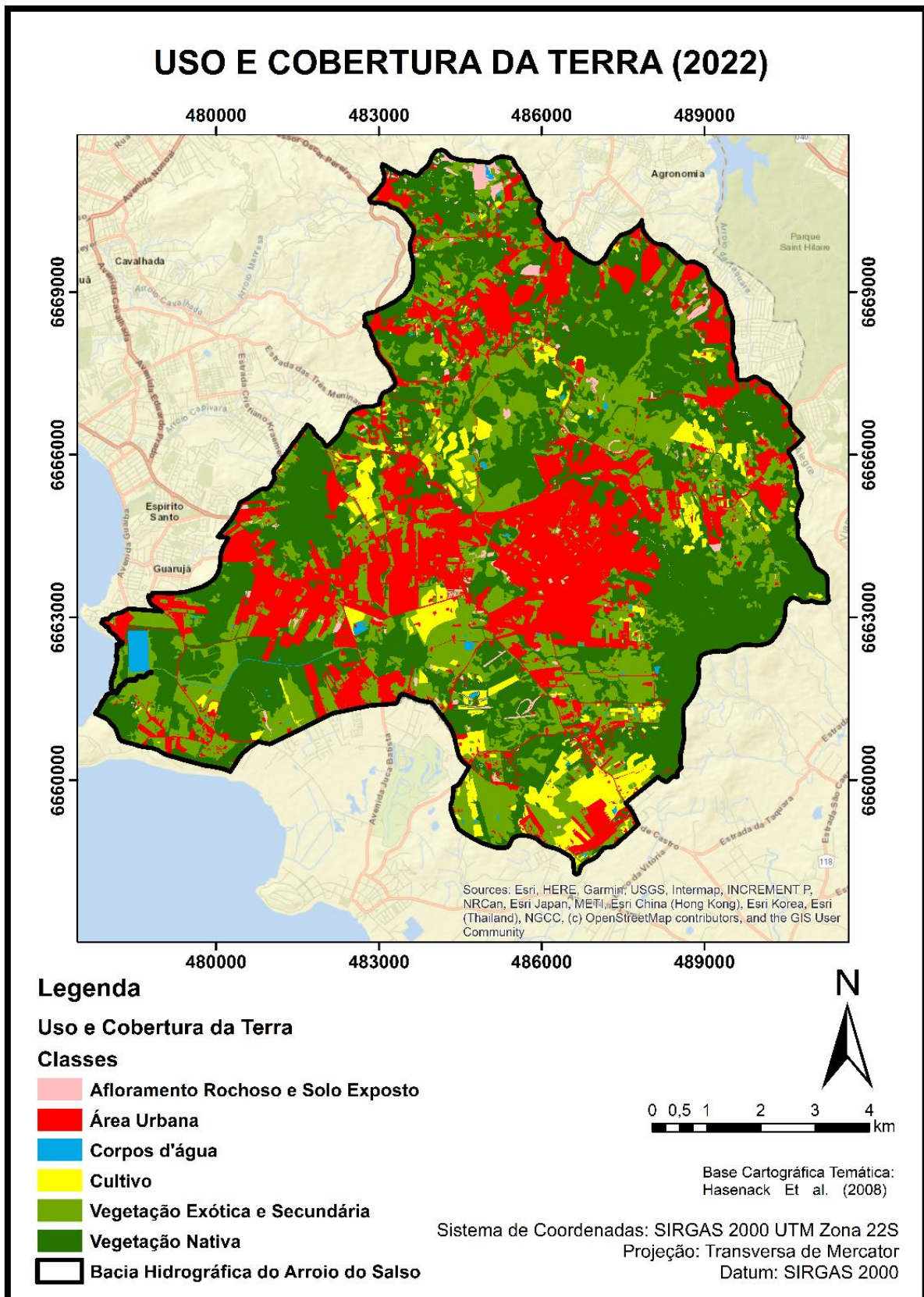


**FONTE: Juliano Bonotto (2015).**

Por fim, a classe corpos d'água, representava aproximadamente 0,7% da área da BHAS geral, são açudes ou barragens em propriedades rurais, ou cursos d'água visíveis na escala do mapeamento.

A Figura 32 apresenta a cartografia referente à situação no ano de 2022.

Figura 32 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra em 2022.



FONTE: Adaptado de Haseack *et al.* (2008) e Wentz (2019), elaboração do autor.



A Tabela 2 apresenta o percentual em área relativa ao total da área da BHAS, para cada classe de uso e cobertura da terra referente ao mapeamento de 2022.

**Tabela 2 - Percentual das Classes de Uso da e Cobertura da Terra na BHAS em 2022.**

<b>Classes</b>	<b>Área em Hectares (ha)</b>	<b>Área em Percentual (%)</b>
<b>Afloramento Rochoso e Solo Exposto</b>	131,25	1,40
<b>Área Urbana</b>	2382,74	25,45
<b>Corpos d'Água</b>	66,83	0,71
<b>Cultivos</b>	511,96	5,47
<b>Vegetação Exótica e Secundária</b>	2452,08	26,19
<b>Vegetação Nativa</b>	3818,40	40,78
<b>Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso</b>	9363,26	100,00

**FONTE:** Adaptado de Hasenack *et al.* (2008) e Wentz (2019), elaboração do autor.

Na comparação entre os anos de 2003 e 2022, se verificou que as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra na BHAS que merecem maior destaque referem-se à supressão da cobertura vegetal, tanto a vegetação nativa como a exótica e secundária. Isto se deve, principalmente, ao aumento das áreas urbanas, ocorrido nas últimas duas décadas. Em menor destaque, houve um pequeno acréscimo das áreas de cultivo. A Figura 33 ilustra uma área de cultivo “nova” em relação a 2003, localizada no bairro hípica.

**Figura 33 - Área de Cultivo (11/2019).**



**FONTE: O autor.**

Já as classes de Afloramento Rochoso e Solo Exposto e Corpos d'água se mantiveram com pouca mudança, apresentando uma pequena redução do percentual em relação a área total da BHAS para o período da pesquisa.

A área urbana em 2022 representa cerca de 25% do total da área da BHAS, esse crescimento urbano decorreu principalmente pela implantação de novos condomínios residenciais horizontais e verticais, além da abertura de novas vias. Mediante a observação do mapa da Figura 32 percebe-se o aumento da área urbana, que está mais densa e conurbada. Nota-se que esse incremento ocorreu ao longo da malha viária que liga os bairros Hípica, Aberta dos Morros, Restinga, Pitinga e Lomba do Pinheiro. Enfatiza-se o processo de conurbação entre os bairros Aberta dos Morros, Hípica e Restinga. Houve também densificação urbana no eixo que liga os bairros Belém Velho e Lomba do Pinheiro. Todas essas novas áreas urbanizadas, em sua maior parte, substituíram o que antes era cobertura vegetal. A Figura 34 exemplifica a expansão urbana na BHAS.

**Figura 34 – Expansão Urbana no Bairro Hípica.**



**FONTE:** Hasenack et al. (2008) e Google Earth Pro (13/01/2022).

A imagem obtida através do software Google Earth Pro, com datação de 13/01/2022, refere-se a uma mesma área em torno do morro da Tapera no bairro Hípica, apresentada pelo DAP para situação em 2003. Observa-se a densificação urbana em relação à 2003, principalmente pela construção de residências em condomínios horizontais, além de edificações com fins comerciais. A Figura 35 mostra a instalação de condomínios verticais no bairro Restinga.

**Figura 35 - Novos condomínios - Bairro Restinga (09/2021).**



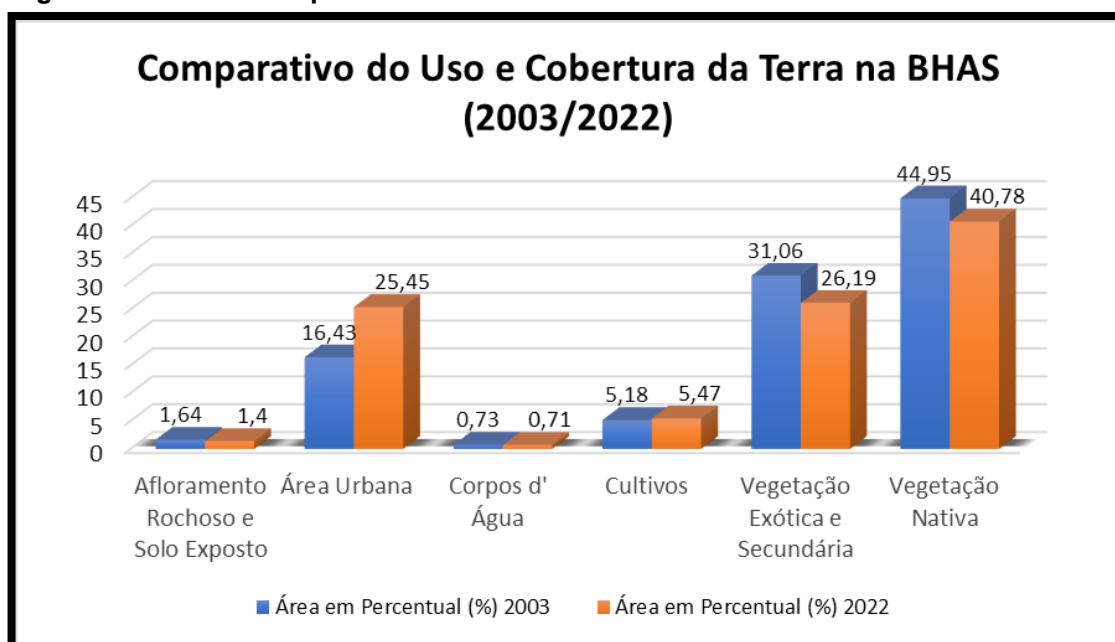
**FONTE: O autor.**

A vegetação nativa em 2022 representa cerca de 40% da área total da BHAS, o equivalente a uma redução de quase 5% se comparado a 2003. A classe de vegetação exótica e secundária em 2022 também teve redução em quase 5%, passando a representar aproximadamente 26% da área total da BHAS em 2022. As duas classes de vegetação correspondem a 67% da área da BHAS em 2022.

Quanto às classes de “afloramento rochoso e solo exposto” e “corpos d’água” não houve alteração significativa dos seus percentuais. O pequeno decréscimo do percentual da classe afloramento rochoso e solo exposto, deve-se provavelmente a conclusão de alguns condomínios que estavam em construção nos anos 2002/2003 e, também, a regeneração da vegetação em alguns locais anteriormente desmatados. Porém, novos locais de desmatamento ou em processo de construção de condomínios foram observados na área da BHAS.

A Figura 36 exibe um gráfico que compara os percentuais das áreas de categoria de uso e cobertura da terra nos anos 2003 e 2022 na BHAS. Ela sintetiza a evolução das categorias para o período analisado: houve aumento da mancha urbana em detrimento das áreas de vegetação!

Figura 36 - Gráfico comparativo do Uso e Cobertura da Terra na BHAS entre 2003 e 2022.



**FONTE: Adaptado de Hasenack Et al. (2008), elaboração do autor.**

Apesar de a BHAS ainda possuir grande parte de sua área coberta por vegetação, tanto o PDDUA (2010) quanto outras pesquisas apontam que há um direcionamento da expansão urbana de Porto Alegre em direção à zona sul da cidade (MOURA; BASSO; STROHAECKER, 2013; MOURA *et al.*, 2016). Moura *et al.* (2016) mencionam as consequências da expansão urbana, como a impermeabilização do solo, o aumento do escoamento superficial, a erosão e o assoreamento, além da degradação da qualidade das águas. As Figuras 37 e 38 mostram trechos do Arroio do Salso com ocorrência de assoreamento, o primeiro localizado na ponte da Av. Edgar Pires de Castro, e o segundo na Av. Juca Batista.

**Figura 37 - Assoreamento no Arroio do Salso - Curso Médio (11/2019).**



**FONTE: O autor.**

**Figura 38 - Assoreamento no Arroio do Salso - Curso Inferior (11/2019).**

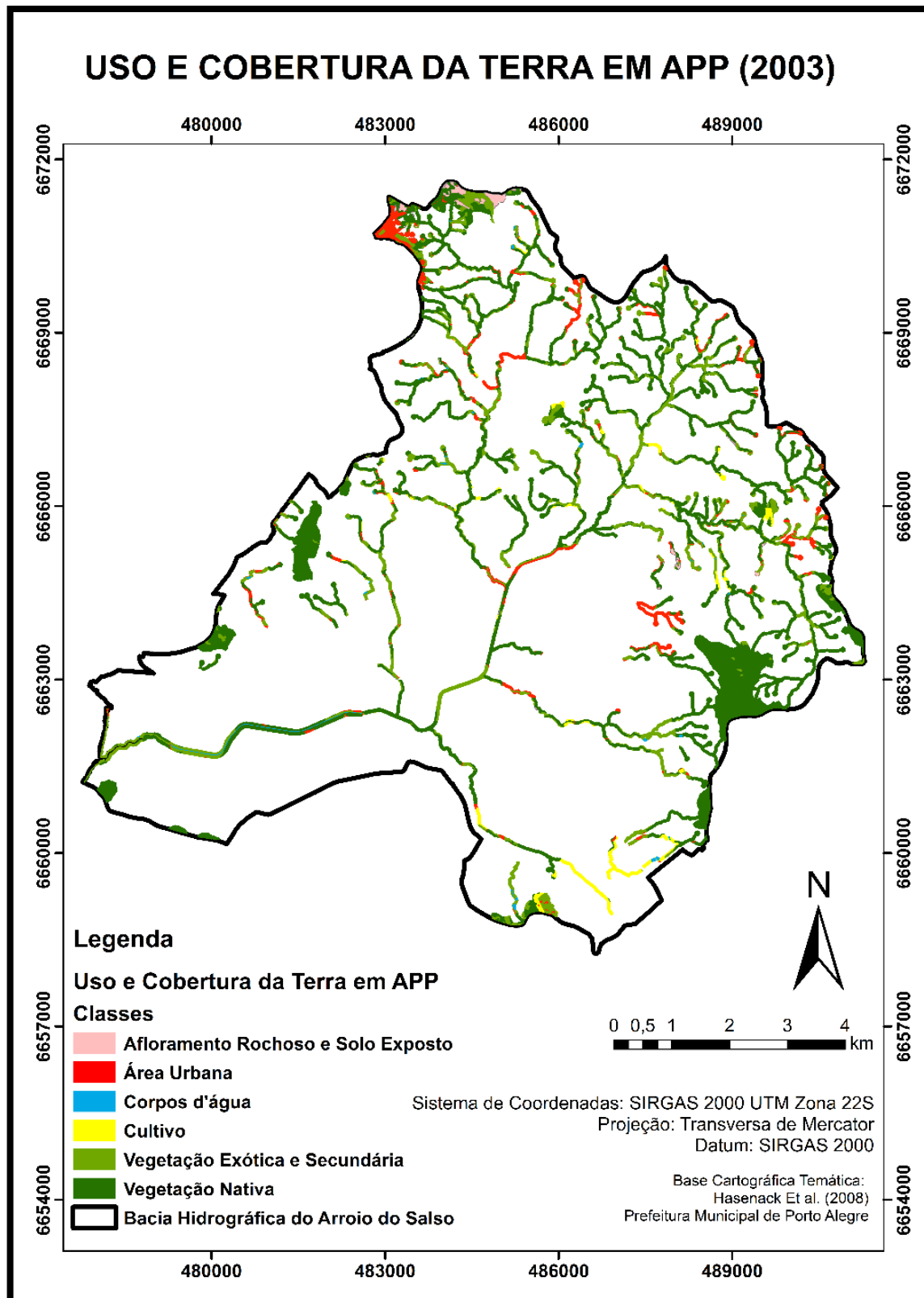


**FONTE: O autor.**

### 5.1.1 Uso e Cobertura da Terra em APPs

As APPs constituem áreas de suma importância à manutenção da qualidade ambiental e ecológica. Elas devem permanecer preservadas, ou seja, estarem com as suas características ambientais originais referentes ao bioma e ao ecossistema onde estão inseridas. Devido às características da área de estudo, as APPs no entorno dos cursos d'água são compostas de mata ripária, já as APPs de topo de morro podem possuir vegetação arbórea, arbustiva e herbácea. Portanto, os usos da terra como ocupações urbanas e cultivos em APPs caracterizam certa degradação ambiental, além de desconformidade legal. A Figura 39 apresenta a situação do uso e cobertura da terra da BHAS em 2003.

Figura 39 - Uso e Cobertura da Terra em APP (2003).



FONTE: Elaboração do autor.



Analisando a distribuição do uso e cobertura da terra em APP em 2003, observa-se que há predomínio de cobertura vegetal nas APPs, sendo boa parte vegetação nativa, um fator positivo em comparação a outras bacias hidrográficas localizadas em meio urbano da maioria das capitais brasileiras, inclusive as de Porto Alegre. A Figura 40 mostra as APPs com cobertura vegetal nativa nas margens do Arroio do Salso no seu curso inferior.

**Figura 40 - Mata Ripária em APP no curso inferior do Arroio do Salso (11/2019).**



**FONTE: O autor.**

Porém, notam-se diversas ocupações urbanas em algumas APPs de cunho hídrico e, também, em topos de morro, sendo que a situação mais grave são as ocupações urbanas estabelecidas nas nascentes do Arroio do Salso e afluentes, principalmente aquelas situadas no bairro Lomba do Pinheiro, Pitinga e Restinga. A ocupação urbana em área de APPs dos arroios, acaba por deixar as águas mais suscetíveis à contaminação por esgotos, ocorrendo assim degradação da sua qualidade desde as nascentes. A Figura 41 ilustra as ocupações em APPs do arroio Rincão no bairro Belém Velho, com despejo de esgoto *in natura* e lixo dentro do curso d'água.

**Figura 41 – Ocupação Urbana Irregular em APP do Arroio Rincão (01/2022).**

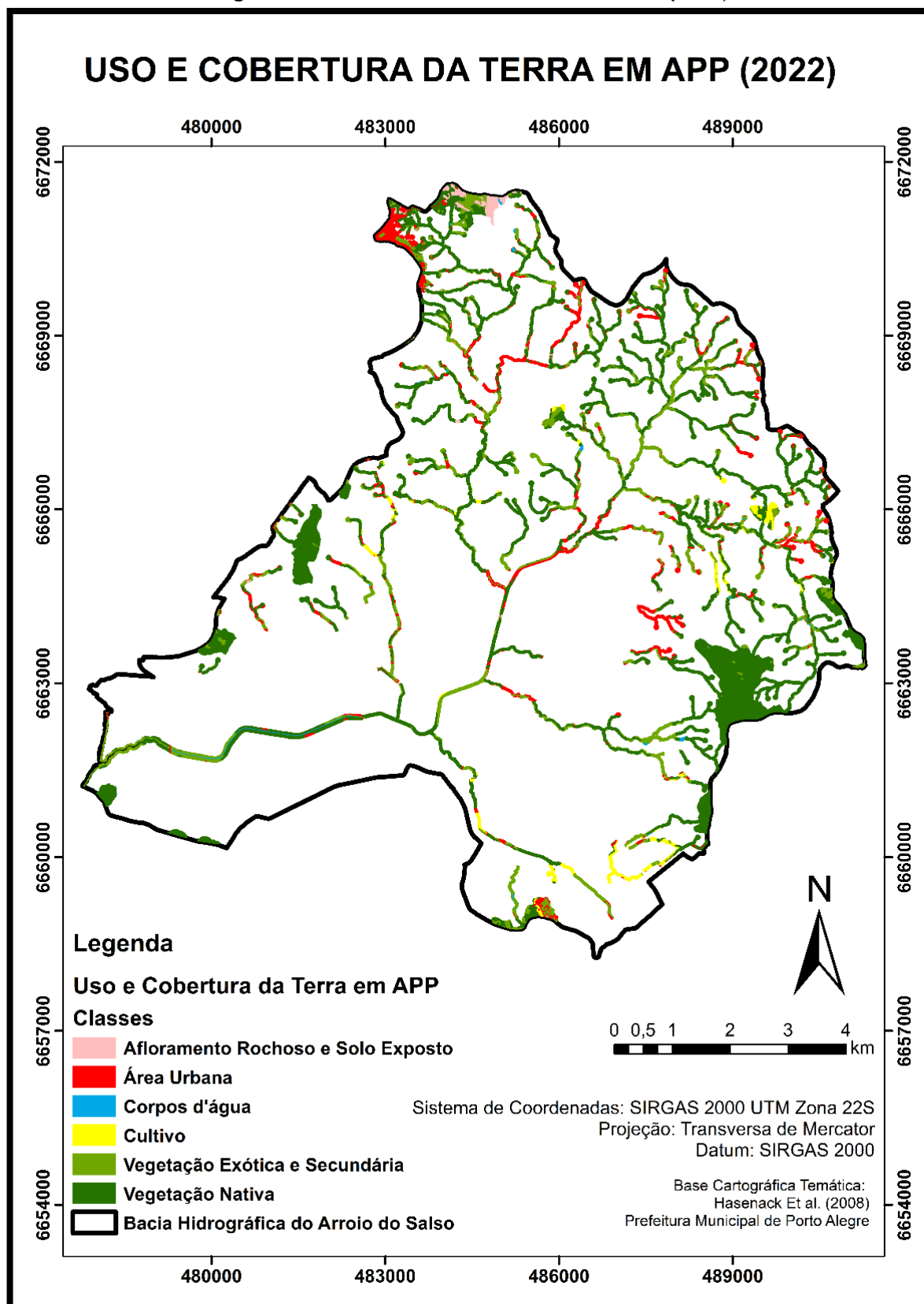


**FONTE: Google Earth Pro.**

Ao norte da bacia também há ocupações urbanas em APPs de topo de morro, como as do bairro Cascata, além dos riscos associados à ocupação destas áreas. Ainda ao norte da BHAS, há um setor com solo exposto de uma área de mineração que se sobrepõe a uma área de APP de topo de morro. Isto caracteriza uma desconformidade legal e indica certa degradação ambiental. Mas, a maior parte das APPs de topo de morro encontram-se com vegetação nativa preservada, como as situadas nos morros São Pedro, Quirinas, Tapera e Abertas. Por fim, o cultivo é um uso da terra que em APP também causa degradação ambiental e aparece em alguns pontos isolados de algumas APPs na BHAS, o que não deveria ocorrer.

A Figura 42 apresenta a situação da BHAS em 2022.

Figura 42 - Uso e Cobertura da Terra em APP (2022).



FONTE: Elaboração do autor.

Ainda que haja o predomínio de cobertura vegetal, e inclusive de vegetação nativa nas APPs da BHAS, observa-se que as áreas urbanas e de cultivo se expandiram sobre as APPs em 2022 em comparação a 2003, o que evidencia uma situação alarmante, que causa aumento da degradação ambiental e inconformidade legal quanto às APPs.

Destaca-se o aumento da área urbana em APPs entre o bairro Belém Velho e o Lomba do Pinheiro; e no morro Espíndola ao sul da BHAS, no bairro Lageado. Houve mudanças em APP de afluentes localizadas no bairro Lageado, onde um trecho apresentou remoção de cultivo, sendo substituído por vegetação (exótica ou secundária). Em outros setores houve alterações de áreas de lavouras para áreas urbanas.

Ainda, as APPs de topo de morro que tinham vegetação nativa em 2002 permaneceram assim em 2022, um ponto positivo quanto à preservação e conservação destas áreas. Em contrapartida, praticamente não houve medidas de recuperação das APPs de cursos d'água ao longo das duas décadas, sendo observado que continuam a existir ocupações irregulares nas APPs localizadas nas áreas de nascentes no bairro Lomba do Pinheiro e Pitinga, além de parte das APPs em torno dos cursos d'água, como no bairro Restinga, Belém Velho e Hípica. É de suma importância que o poder público tome medidas para recuperação das APPs.

A Tabela 3 compara os percentuais das classes de UCT dentro de APP em relação a área total das mesmas.

**Tabela 3 – Uso e Cobertura da Terra em APP em 2003 e 2022.**

<b>Uso e Cobertura da Terra em APP (2003)</b>		
<b>Classes de Uso e Cobertura da Terra</b>	<b>Área em Hectares (ha)</b>	<b>Percentual %</b>
Afloramento Rochoso e Solo Exposto	18,94	1,22
Área Urbana	112,60	7,26
Corpos d'água	10,68	0,69
Cultivo	45,73	2,95
Vegetação Exótica e Secundária	335,74	21,65
Vegetação Nativa	1027,09	66,23
<b>Área Total de APP</b>	<b>1550,78</b>	<b>100,00</b>

<b>Uso e Cobertura da Terra em APP (2022)</b>		
<b>Classes de Uso e Cobertura da Terra</b>	<b>Área em Hectares (ha)</b>	<b>Percentual %</b>
Afloramento Rochoso e Solo Exposto	23,03	1,48
Área Urbana	168,21	10,85
Corpos d'água	9,66	0,62
Cultivo	46,32	2,99
Vegetação Exótica e Secundária	314,37	20,27
Vegetação Nativa	989,19	63,79
<b>Área Total de APP</b>	<b>1550,78</b>	<b>100,00</b>

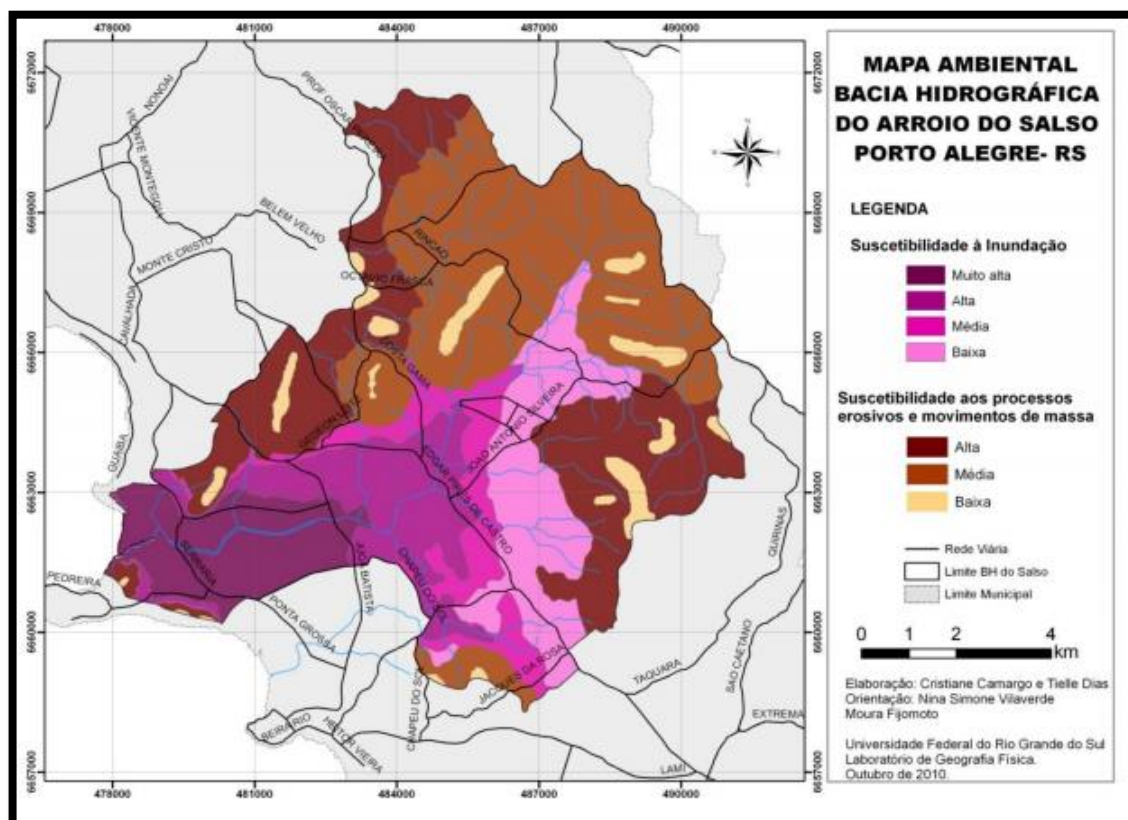
**FONTE: Adaptado de Hasenack *et al.* (2008) e PMPA (2022), elaboração do autor.**

As duas classes de vegetação somadas representam cerca de 83% de toda área de APP em 2022, porém se observa que houve um decréscimo em relação a 2002 quando havia cerca de 87%. A cobertura vegetal basicamente deu espaço a novas áreas urbanas, que passaram de aproximadamente 7% para 10% da área total de APP no período de 2002 a 2022.

## 5.2 SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO E AOS PROCESSOS EROSIVOS E DE MOVIMENTOS DE MASSA

Fujimoto e Dias (2010) e Fujimoto e Camargo (2010) elaboraram um mapa ambiental. Na sua análise consideraram as características litológicas, geomorfológicas e pedológicas do BHAS para classificar as áreas de suscetibilidade à inundação e aos processos e movimento de massa na bacia. A Figura 43 mostra o resultado deste mapeamento.

Figura 43 - Mapa de suscetibilidade à inunda o e aos processos erosivos e de movimentos de massa na BHAS.



FONTE: Fujimoto e Dias (2010); Fujimoto e Camargo (2010).

Nas áreas de maior altitude e declividade, predominam os processos degradacionais do relevo, por isso tendem a ter maior suscetibilidade  erosão e movimentos de massa. Em cotas altimétricas mais baixas e de caráter topográfico plano tende a predominar os processos agradacionais do relevo, acúmulo dos sedimentos. Nas áreas do mapa (Figura 43) que apresentam suscetibilidade  inunda o, há a predominância dos processos geomorfológicos de sistema fluvial: deposi o sedimentar e forma o de planícies fluviais. Enquanto nas áreas que têm suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa, há o domínio de processos geomorfológicos de sistema de vertente, ocorrendo a degrada o do relevo e maior tendência de erosão e transporte de sedimentos, devido à a o da gravidade e do intemperismo.

De acordo com esses trabalhos que analisaram a suscetibilidade  inunda o, as áreas classificadas em muito alta, são as que têm as cotas de mais baixa altitude da BHAS, abaixo de 5 m, compreendem as áreas ao longo do trecho inferior do Arroio

do Salso, próximas ao Guaíba. Já as áreas classificadas como alta, apresentam altitudes entre 5 e 15 m, também com solos mal drenados. Quanto as áreas classificadas como média, compreendem o padrão de patamares planos com altitudes entre 15 e 20 m, com porções de solos com melhores condições de drenagem. Enquanto isso a classe de baixa suscetibilidade corresponde aos patamares planos, porém com altitudes entre 20 a 30m.

Segundo as autoras as áreas com alta suscetibilidade aos movimentos de massa e à erosão correspondem aos padrões em forma de morros com altitudes superiores à 100 m e com declividades entre 20 e 30 %; já as áreas com média suscetibilidades referem-se aos padrões de colinas, morros associados com colinas e morros isolados, apresentando declividades inferiores à 20% e altitude abaixo da cota de 100 m. E por fim, a classe de baixa suscetibilidade correspondem aos topos de morros e colinas em áreas com baixa declividade (FUJIMOTO; CAMARGO, 2010). A Tabela 4 apresenta uma síntese da classificação e o percentual que cada classe de suscetibilidade ocupa em relação a área total da BHAS.

**Tabela 4 - Área das classes de suscetibilidade à inundação e aos processos erosivos e movimentos de massa em relação a BHAS.**

<b>Suscetibilidade à Inundação</b>		
<b>Classes</b>	<b>Área em Hectares (ha)</b>	<b>Percentual %</b>
Baixa	1211,37	12,94
Média	715,56	7,64
Alta	77,69	11,51
Muito Alta	952,74	10,18
<b>Total</b>	<b>3957,36</b>	<b>42,26</b>
<b>Suscetibilidade aos processos erosivos e movimento de massa</b>		
<b>Classes</b>	<b>Área em Hectares (ha)</b>	<b>Percentual %</b>
Baixa	402,35	4,30
Média	2722,13	29,07
Alta	2281,41	24,37
<b>Total</b>	<b>5405,90</b>	<b>57,74</b>

**FONTE:** Fujimoto e Dias (2010); Fujimoto e Camargo (2010), elaboração do autor.

Percebe-se que há um percentual maior de áreas com predominância aos processos de sistema de vertente, as quais tendem a proporcionar maior suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa. Este tipo de suscetibilidade abrange as áreas com maior altitude e declividade, na parte superior da bacia hidrográfica, porção mais ao leste da BHAS. 24% da área total da BHAS apresenta alta suscetibilidade aos processos erosivos e movimento de massa. São as áreas que apresentam os maiores riscos à ocupação urbana ou com maior propensão a problemas ambientais devido ao manejo do solo e retirada da cobertura vegetal:

Na área próxima à Lomba do Pinheiro, ou seja, nas cabeceiras da bacia, as declividades são elevadas e ocorrem situações de perigo ligadas ao rolamento de rochas e matacões. Em determinadas partes do bairro, verificam-se depósitos de lixo e a retirada da mata ciliar. Esses fatores associados ao solapamento das margens de alguns cursos d'água provocam aumento considerável do aporte de sedimentos nos arroios, contribuindo para o assoreamento e intensificam as inundações nas partes mais baixas da bacia situadas a jusante. Já no setor central, próximo ao bairro Restinga, ocorrem processos erosivos, caracterizados pela formação de ravinas e voçorocas em pontos isolados. (MOURA; BASSO; STROHAECKER, 2013, p. 238).

Na Tabela 4 também é possível observar que aproximadamente 29% são áreas com classificação média quanto a suscetibilidade aos processos erosivos de movimento de massa. Estas áreas merecem atenção quanto a ocupação urbana e manejo do solo devendo haver uma avaliação geotécnica e métodos adequados de construção civil e manejo do solo, para evitar possíveis danos ambientais ou os riscos eminentes.

Já classe baixa representa aproximadamente 4% da área total da BHAS, porém são áreas de topos de morro, não sendo adequadas a ocupação urbana ou manejo do solo, devido abarcar APPs e, também, pela importância ecológica.

Quanto as áreas com predominância dos sistemas fluviais, na qual, possuem maior tendência de eventos de inundação, pode-se observar que juntas as classes “muito alta” e “alta” representam aproximadamente 21% da área total da BHAS, são áreas que sofrem periodicamente com eventos de inundação, principalmente as áreas enquadradas na classe “muito alta”. Deve-se evitar o adensamento urbano nestas áreas, visto que a impermeabilização do solo gera aumento na velocidade e na quantidade de água escoada pelo escoamento superficial, aumentando a intensidade



dos processos e dos riscos associados aos eventos de inundação (MOURA et al., 2016).

Quanto as áreas classificadas com média suscetibilidade à inundação representam aproximadamente 7 % da área da BHAS, avalia-se que as restrições são mais baixas, porém deve-se ter avaliação geotécnica e cuidados quanto ao manejo do solo, evitando que possam proporcionar danos ambientais e evitar os riscos associados aos eventos de inundação. Já as áreas classificadas com baixa suscetibilidade à inundação representam aproximadamente 12% da área da BHAS, são as áreas com melhores condições à expansão urbana e ao manejo do solo, por apresentar menor risco aos problemas e danos ambientais tanto quanto aos eventos de inundação, como dos processos erosivos e movimento de massa, o que não exige técnicas adequadas do manejo do solo pelas atividades agrícolas e dos métodos de construção civil.

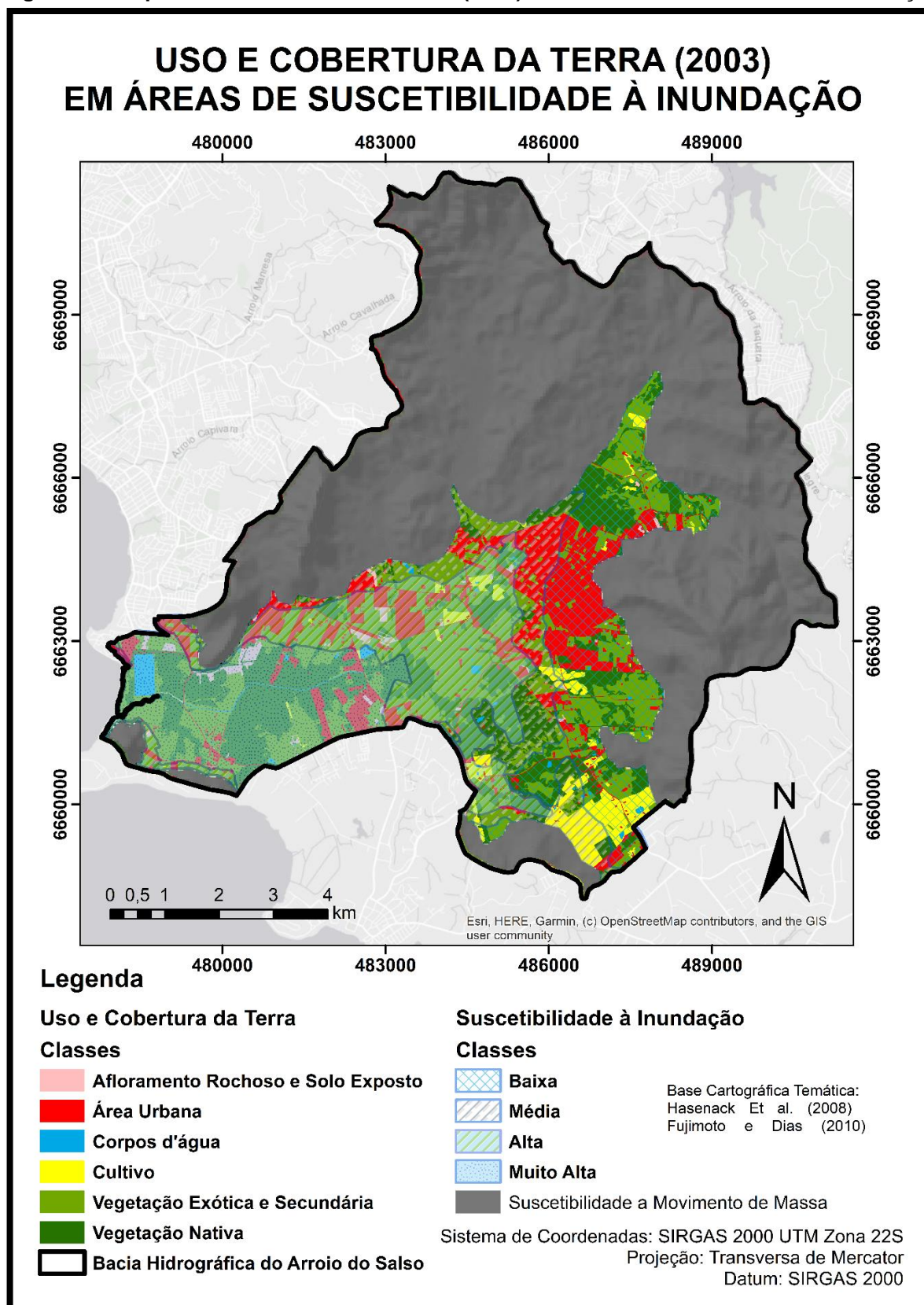
Partindo da compartimentação topográfica e geomorfológica, os trechos superiores com predomínio de morros e colinas, devido a declividade estão mais propensas às inundações bruscas, já as áreas mais planas no curso inferior estão mais propensas a inundações graduais, principalmente aos processos referentes a elevação da cota do Guaíba.

#### **5.2.1 Relação do Uso e Cobertura da Terra e Suscetibilidade à Inundação e aos Processos Erosivos e de Movimento de Massa.**

Através do SIG efetuou-se uma avaliação do uso e cobertura da terra em relação às áreas de suscetibilidade, tanto para o ano de 2003 como para 2022, com intuito de levantar o potencial de degradação ambiental dos tipos de cobertura da terra em decorrência das características do terreno em relação às suscetibilidades. Esta relação indicou os valores atribuídos para as variáveis na aplicação do IDAU (ver Capítulo 4).

A Figura 44 expressa o mapa da intersecção do uso e cobertura da terra (2003) em áreas de suscetibilidade à inundação.

Figura 44 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra (2003) em Áreas de Suscetibilidade à Inundação.



FONTE: Elaboração do autor.

É possível observar que há maior ocorrência e densidade de áreas urbanas nas classes “baixa” e “média”, referente ao bairro Restinga. Porém, os núcleos urbanos dos bairros Ponta Grossa, Hípica, Aberta dos Morros e Serraria, estão inseridos nas classes “muito alta” e “alta”, onde se constata eventos de inundação. Lima (2010) apresenta duas situações quanto aos eventos de inundações que afetam diretamente a população. A primeira refere-se aos eventos de inundação devido as cheias do Arroio do Salso, que afeta a população residente próxima das margens do arroio, como as áreas ocupadas na Rua Dorival Castilho Machado (bairro Hípica) e Rua Túnel Verde (bairro Ponta Grossa). Já, a segunda, refere-se aos eventos de inundação devido cheias do Guaíba, causadas pelo transbordamento de suas águas, assim como o encharcamento do solo (afloração do lençol freático) que ocorre em áreas úmidas ou banhados localizados na unidade geomorfológica “planícies flúvio-lagunar”. Ainda cabe ressaltar a ocorrência de alagamentos em locais urbanizados nesta mesma unidade geomorfológica, quando há ocorrência de eventos de precipitação elevada que aliado às características do terreno e impermeabilização do solo, ocasionam tais fenômenos, são áreas afetadas frequentemente com estas situações a Vila Sargento (bairro Serraria) e uma porção do bairro Guarujá. Além do que ocupações destes bairros mais próximas às margens do Guaíba estão suscetíveis às cheias excepcionais, na qual ocasiona o transbordamento das águas do Guaíba. As Figuras 45, 46 e 47 apresentam as situações de inundação associadas ao transbordamento das águas do Arroio do Salso.

**Figura 45 - Área Inundada na Rua Túnel Verde 27/09/2009.**



**FONTE: Lima (2010).**

**Figura 46 - Área Inundada na Rua Túnel Verde 28/09/2009.**



**FONTE:** Jornal Zero Hora (2009, *apud* Lima (2010)).

**Figura 47 - Área Inundada na Rua Dorival Castilho Machado.**



**FONTE:** Lima (2010).

Já as Figuras 48 e 49 apresentam situações de inundação causadas pelo transbordamento das águas do Guaíba, como exemplo, as imagens referem-se a locais afetados pelo evento de inundação excepcional ocorrido em 2015<sup>9</sup>, com

---

<sup>9</sup> Conforme Müller (2018), em 17 de outubro de 2015 a cota fluviométrica do Guaíba atingiu a marca de aproximadamente 2,94 m, se tornando a segunda maior cheia do Guaíba, ficando atrás apenas de 1941.

elevação da cota das águas do Guaíba atingiram o bairro Guarujá, inundando ruas e residências próximas às margens. Apesar dos locais das imagens não estarem propriamente dentro da BHAS, e sim, na bacia do Arroio Guarujá (bacia que faz divisa com a BHAS), representam a situações que acontecem também nas porções inferior da BHAS (com características geomorfológicas, pedológicas e topográficas similares).

**Figura 48 - Área Inundada pela cheia do Guaíba em outubro de 2015.**



**Fonte: Ronaldo Bernardi/ Agência RBS (2015).**

**Figura 49 - Área Inundada pela cheia do Guaíba em outubro de 2015.**



**FONTE: Ronaldo Bernardi/ Agência RBS (2015).**

Fato que muitas vezes agrava os impactos dos eventos de inundação é que em grande parte as moradias nestes locais são irregulares e com precariedade de

estrutura e técnicas inadequadas de construção:

Na parte inferior da bacia, próximo à desembocadura do arroio do Salso no Guaíba, há ocupações irregulares. A medida de proteção prevista nessa área, pela administração municipal, é a retirada das famílias assentadas nos terrenos de topografia mais baixa, restringindo a ocupação em uma área sujeita a inundações a cada 10 anos, em média. (MOURA; BASSO; STROHAECKER, 2013, p. 238).

Na prática, houve pouco avanço na retirada e realocação de tais moradias, que costumam sofrer com os eventos de inundação, porém, algumas houve algumas iniciativas como a remoção da ocupação localizada no final da rua Túnel Verde (WENTZ, 2019). Mesmo assim, existe a possibilidade que novas moradias irregulares voltem a se instalar nesses locais.

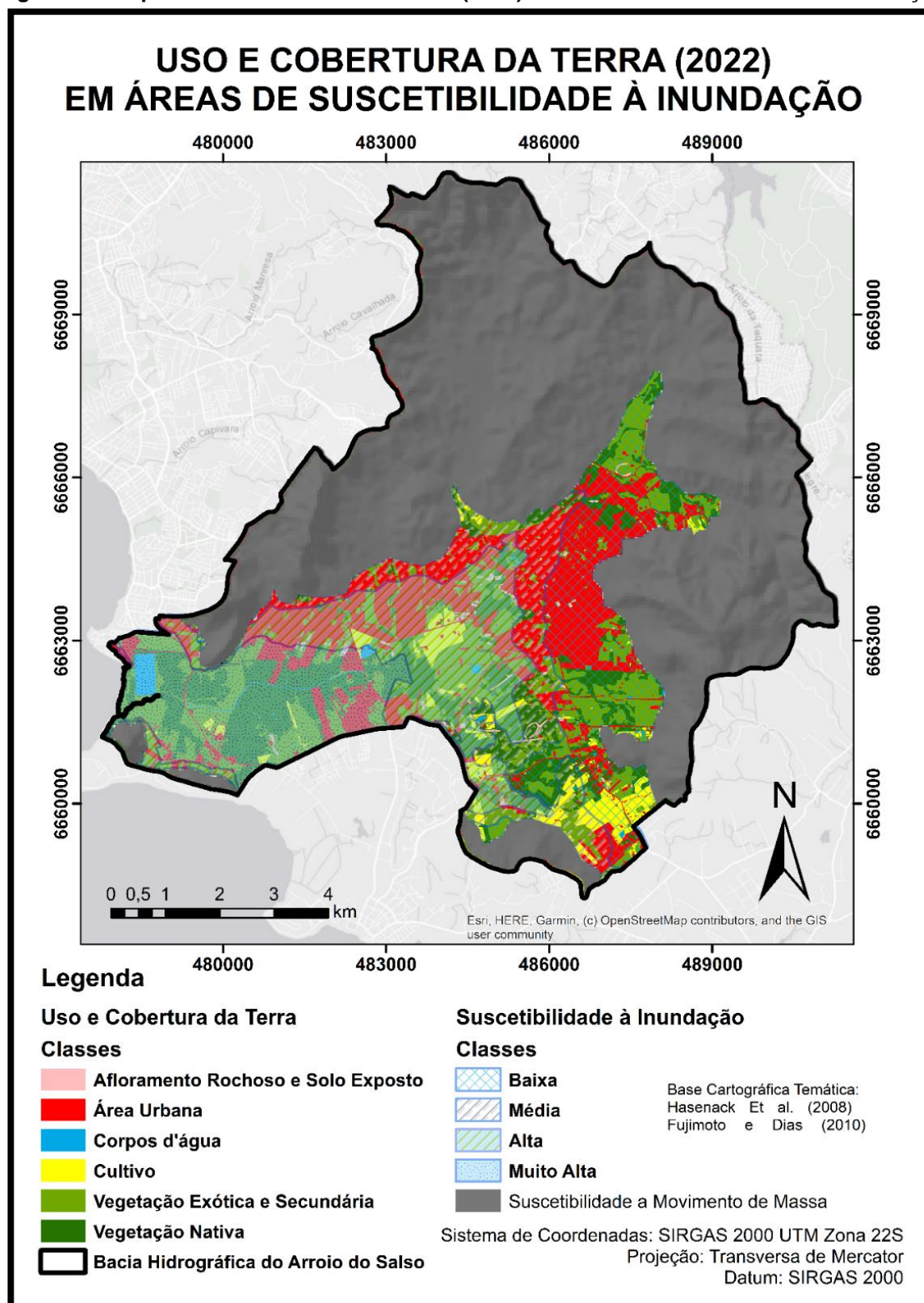
Importante registrar que com exceção dos núcleos urbanos dos bairros Ponta Grossa Serraria e Guarujá, na área da classe “muito alta”, há predominância de cobertura vegetal, inclusive com boa parte de vegetação nativa. Estas áreas ainda são pouco povoadas e têm ocupação mais rarefeita conforme afirmam MOURA; BASSO; STROHAECKER (2013), devendo ser evitada a expansão urbana. Porém, há moradias em locais que são afetados periodicamente por eventos de inundação que merecem atenção do poder público.

Em relação aos cultivos, estão mais concentrados no bairro Lageado, dentro das classes “baixa” e “média”. Correspondem a áreas mais adequadas tanto para ocupação urbana como agrícola, além disso estão na macrodivisão “AR” do PDDUA (2010).

As áreas com solo exposto concentram-se nas classes “alta” e “muito alta”. São setores desmatados, que de maneira geral estavam em processo de loteamento para a construção de novos condomínios.

A Figura 50 mostra o mapa com a situação em 2022.

Figura 50 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra (2022) em Áreas de Suscetibilidade à Inundação.



FONTE: Elaboração do autor.

A análise do mapa permite verificar que houve expansão urbana sobre todas as classes de suscetibilidade à inundação. A expansão em área das classes “baixa”, “média” e “alta” foram mais acentuadas do que na classe “muito alta”, porém a expansão deve ser evitada nas classes “alta” e “muito alta”, pois pode agravar os eventos de inundação e os problemas associados.

Mesmo com uma pequena expansão da área urbana na classe “muito alta”, ainda há predominância de cobertura vegetal que é importante à retenção do pico de cheia e processos de inundação:

O agravamento dos eventos de inundação pode ocorrer pela ocupação de ambientes reguladores (banhados e margens de cursos d'água), uma vez que o volume de água de precipitação, que ficaria antes retido e absorvido pelo solo, chega aos cursos d'água, fluindo rapidamente, favorecendo as inundações (MOURA; BASSO; STROHAECKER, 2013, p. 248).

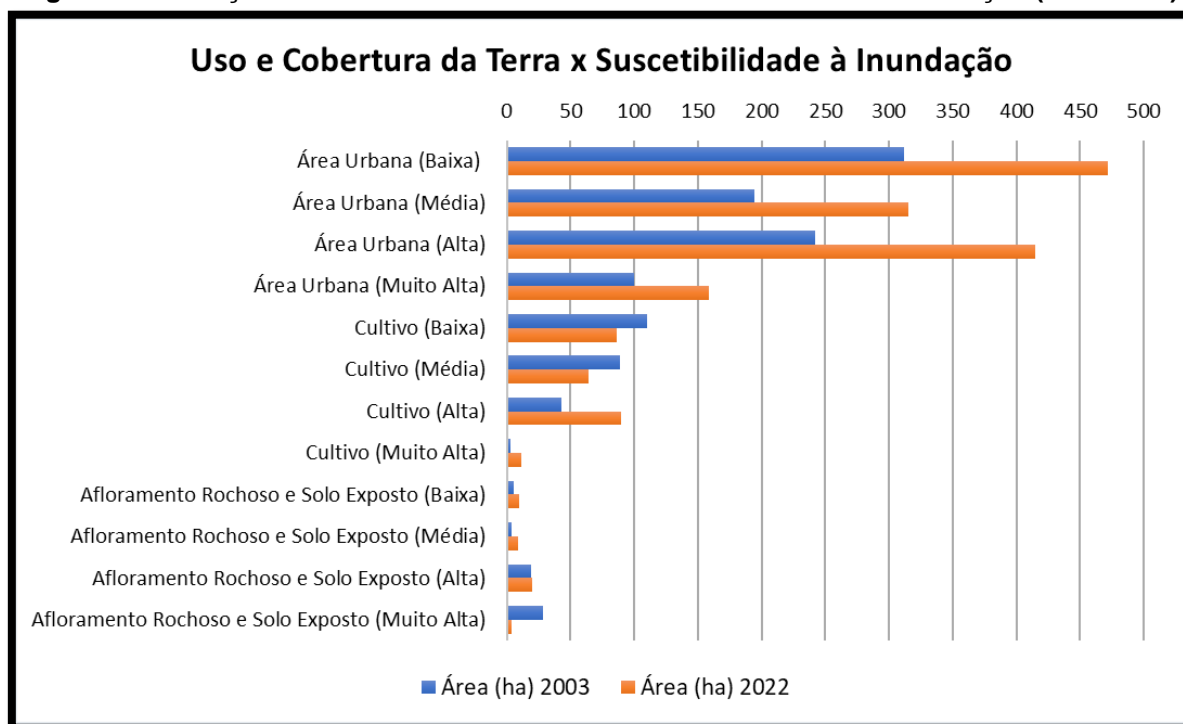
Também se observa um aumento das áreas de cultivo na área da classe “alta”, o que deve ser evitado devido aos impactos do manejo do solo e utilização de insumos agrícolas. A ocorrência de eventos de inundação pode gerar degradação da qualidade das águas dos arroios, devido ao carreamento de sedimentos e poluentes às águas.

Já a categoria “afloramento rochoso e solo exposto”, as mudanças mais expressivas correspondem à classe de suscetibilidade “muito alta”, ocorrendo a diminuição da área em 2022 em comparação com 2003. Nas demais classes os pequenos aumentos relacionam-se à expansão urbana, que ocorreu de maneira mais acentuada nas classes “baixa”, “média” e “alta”.

A Figura 51, através de gráfico, relaciona o uso e cobertura da terra da BHAS com as classes de suscetibilidade à inundação. Apresentam-se apenas as classes de cobertura da terra (área urbana, cultivo e afloramento rochoso e solo exposto), visto que são os tipos que podem proporcionar maiores problemas de degradação ambiental urbana.



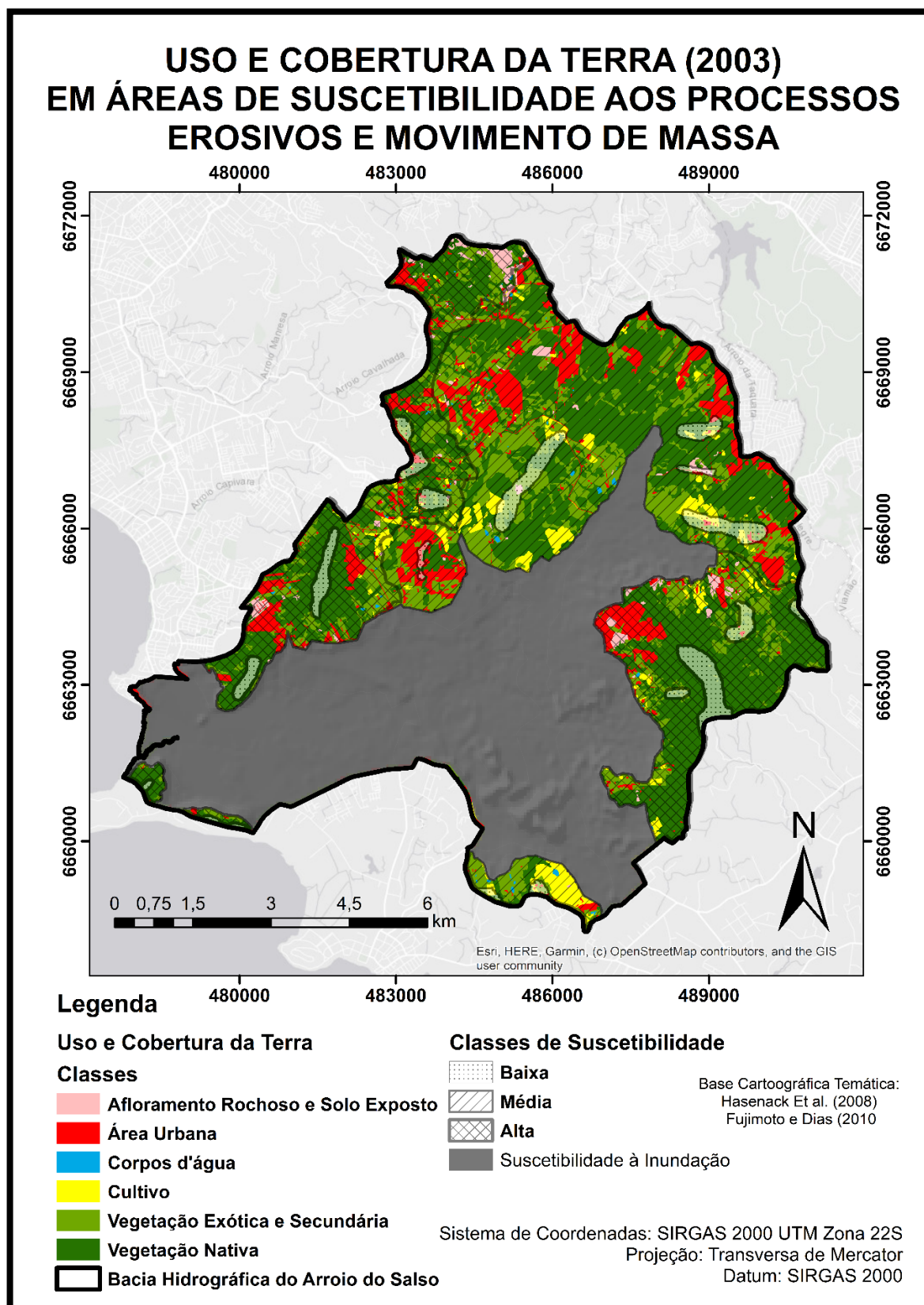
**Figura 51 – Relação do Uso e Cobertura da Terra x Suscetibilidade à Inundação (2003/2022).**



**FONTE: Elaboração do autor.**

A Figura 52 apresenta o panorama do uso e cobertura da terra (2003) em áreas de suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa.

Figura 52 - Mapa do Uso e Cobertura da Terra (2003) em Áreas de Suscetibilidade aos Processos Erosivos e Movimentos de Massa.



FONTE: Elaboração do autor.

O mapa da Figura 52 permite verificar o domínio da cobertura vegetal em todas as classes de suscetibilidade. Isto é um fator positivo para a contenção de processos erosivos e movimentos de massa.

As áreas urbanas concentram-se nas áreas de “média” e “alta” suscetibilidade, apesar da maior concentração em áreas de média suscetibilidade. Há grandes porções localizadas em áreas da classe “alta”, que estão mais propícias aos riscos associados com os processos erosivos e movimento de massa. As ocupações espontâneas, não planejadas e muitas vezes irregulares são construídas a partir de técnicas inadequadas de construção e em locais inconvenientes. Dois são os exemplos que representam bem tal situação na BHAS. Um, situa-se em uma porção do bairro Restinga, a noroeste do morro São Pedro; e, o outro, em setores menores, localizados no bairro Pitinga, ao norte do morro São Pedro:

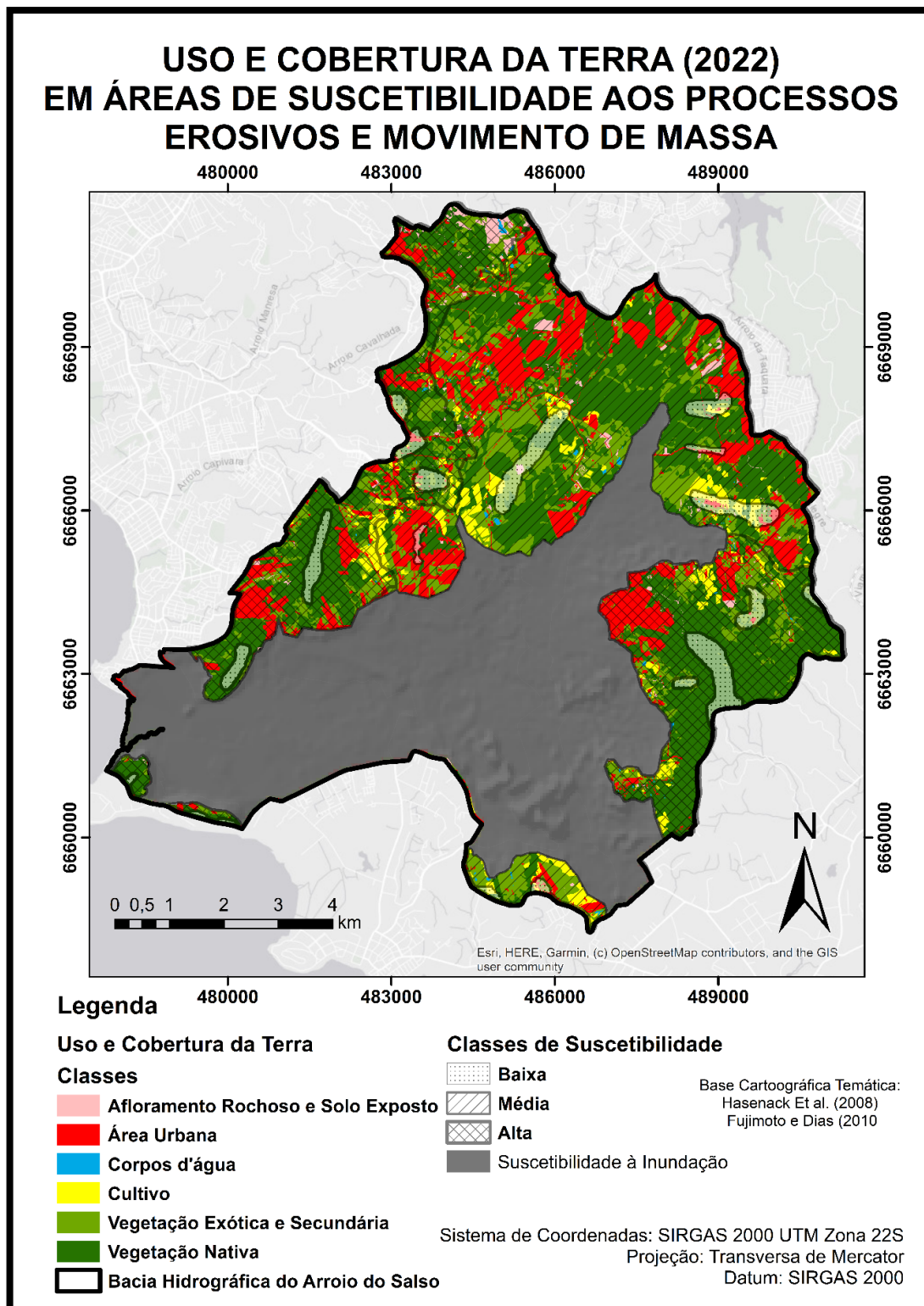
a carência de infraestrutura é concentrada, sendo que algumas das mais graves estão inseridas na bacia, como o bairro Lomba do Pinheiro. Esse, conjuntamente com o bairro Restinga, são os que apresentam os maiores índices de ocupações irregulares. (MOURA, BASSO, SANCHES, 2013, p. 87).

Soares (2002) destaca o avanço de ocupações irregulares próximas às nascentes do Arroio do Salso, que provocam desmatamento da vegetação, acelerando processos erosivos e, conseqüentemente assoreamentos.

Já as áreas de cultivo concentram-se nas classes “media” e “alta”. Cultivo em áreas de “alta” suscetibilidade deve ser evitado ou, ao menos, ser realizado com técnicas adequadas e com cautela quanto ao manejo do solo, a fim de evitar os riscos associados aos processos erosivos e de movimentos de massa, porém “é comum a remoção da camada superficial do solo ocasionada pela erosão em função do mau manejo da terra agrícola” (MOURA, BASSO, SANCHES, 2013, p.83). Igualmente, Soares (2002) salienta que as lavouras podem ocasionar degradação das águas, através de contaminação por metais pesados, pesticidas e outras substâncias tóxicas, sendo mais grave se ela acontecer na rede hidrográfica próxima às cabeceiras das bacias hidrográficas. Quanto às áreas de afloramento rochoso e solo exposto, merece destaque uma área de mineração localizada ao norte da BHAS, localizada dentro da classe de suscetibilidade “alta”.

A Figura 53 apresenta a situação para 2022.

Figura 53 - Mapa do Uso e Cobertura da Terra (2022) em Áreas de Suscetibilidade aos Processos Erosivos e Movimentos de Massa.



FONTE: Elaboração do autor.

Através do mapa, é possível observar que houve expansão urbana em todas as classes de suscetibilidade. A expansão urbana geralmente afeta a velocidade e quantidade de água do escoamento superficial e pode proporcionar maior intensidade dos processos erosivos, devido ao aumento da maior exposição do solo, o que pode agravar a jusante, também, os efeitos dos eventos de inundação.

Devido aos riscos maiores em área de alta suscetibilidade, deve ser evitada a expansão urbana. Já nas áreas de “média” suscetibilidade, devem-se avaliar as características do relevo e aptidão geotécnica local e utilizar técnicas adequadas para construção civil, com o intuito de evitar os problemas já mencionados.

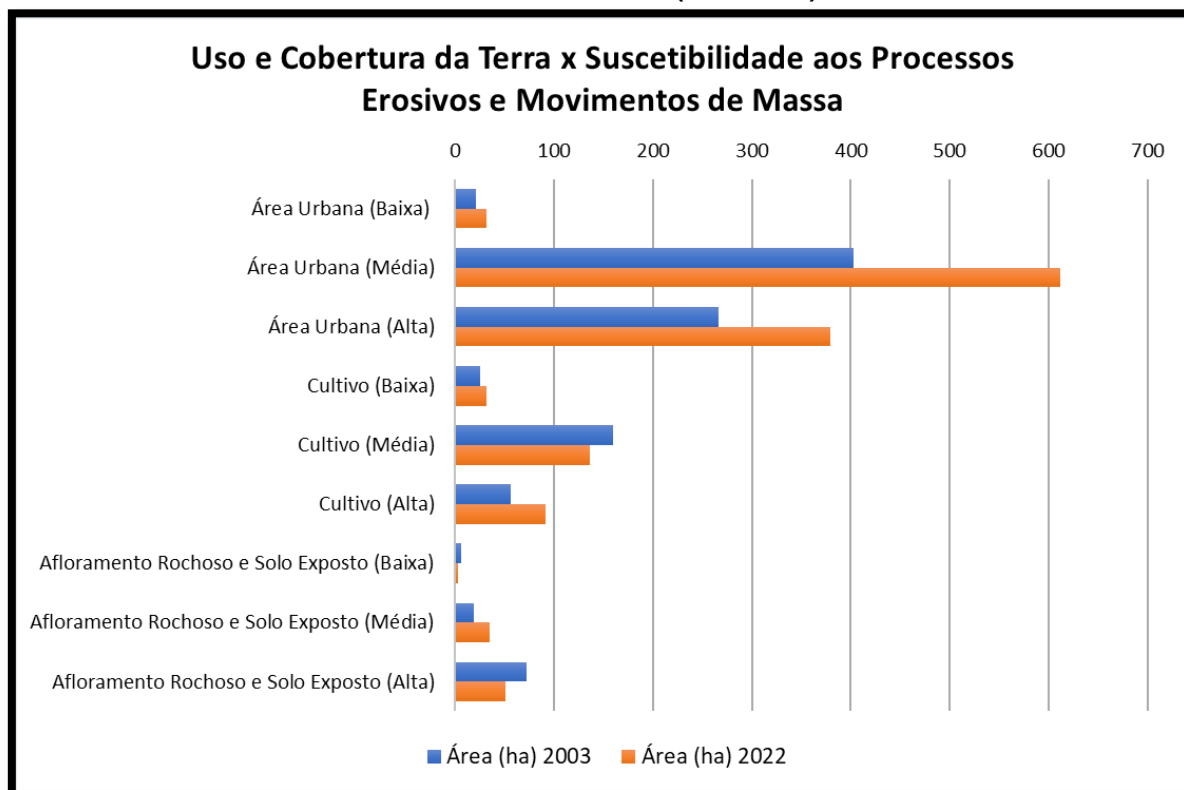
A classe de “baixa” suscetibilidade são topos de morro, que pela importância ecológica e por abrigarem APP, não devem apresentar ocupação urbana, nem cultivos.

As áreas de cultivo aumentaram nas classes de suscetibilidade “baixa” e “alta”, sendo que são as áreas mais inadequadas para o cultivo devido aos impactos ambientais que podem ocasionar.

Já nas áreas de afloramento rochoso e de solo exposto, houve pequenas variações, com decréscimo de área nas classes “baixa” e “alta”, e aumento na classe “média”.

A Figura 54 apresenta um gráfico que estabelece a relação do uso e cobertura da terra com as classes de suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa.

**Figura 54 – Relação Uso e Cobertura da Terra x Suscetibilidade aos Processos Erosivos e Movimentos de Massa (2003/2022).**



**FONTE:** Elaboração do autor.

Por fim, há maior concentração urbana nas áreas com predominância da suscetibilidade à inundação do que em áreas suscetíveis aos processos erosivos e movimento de massa. Além disso, verificou-se que a expansão urbana de 2003 a 2022 também foi maior nas áreas com predominância da suscetibilidade à inundação.

### 5.3 QUALIDADE DA ÁGUA NA BHAS

O comportamento da qualidade da água na BHAS foi avaliado através do estabelecimento de um panorama espaço-temporal. As campanhas de coletas amostrais foram realizadas entre 2001-2002 e 2021-2022, com o intuito de comparar a qualidade da água no início da década de 2000 com o início da década de 2020. Posteriormente, através dos dados brutos dos parâmetros analisados, aplicou-se o

IQA para avaliar a qualidade da água.

A Tabela 5 expõe os dados brutos dos parâmetros de qualidade da água referente as campanhas de coleta realizadas por Soares (2002) e o ponto monitorado pelo DMAE (P6, estação 71B do DMAE).

**Tabela 5 - Dados brutos dos parâmetros de qualidade da água das campanhas amostrais (2001/2002).**

<b>Campanha Inverno - 2001</b>							
<b>Parâmetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Pontos Amostrais</b>					
		<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6*</b>
Coliformes							
Fecais/Termotolerantes	UFC/100mL	68000	3200	200000	36000	51000	80000
DBO5	mg/L	13,5	12,8	14,8	8,07	6,74	16
Fósforo Total	mg/L	0,24	0,42	0,86	0,25	0,56	1,83
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/L	0,2	0,3	0,37	0,21	0,2	0,22
Oxigênio Dissolvido	mg/L	7,6	9,9	7,6	8,6	6,0	1,6
Saturação de Oxigênio	%	76,8	101,6	76,2	84,9	57,7	17,51
pH	-	6,2	5,7	6,6	7,5	6,9	6,9
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	107	93	50	116	97	171
Turbidez	UNT	44	40	35,5	40	42	18,5
Temperatura da Amostra	C°	16,4	16,7	15,8	15	14	19,5
<b>Campanha Verão - 2002</b>							
Coliformes							
Fecais/Termotolerantes	UFC/100mL	350000	260000	500000	240000	75000	300000
DBO5	mg/L	5,78	8,24	8,66	5,56	6,15	14,8
Fósforo Total	mg/L	0,31	0,38	0,60	0,64	0,85	1,56
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/L	0,26	0,21	0,10	0,08	0,12	0,04
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	5,2	7,4	7,8	5,0	5,4	2,5
Saturação de Oxigênio	%	63,5	89,7	92,7	58,8	62,8	31,89
pH	-	6,6	7,0	7,2	7,1	7,2	7,6
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	277	175	156	142	171	182
Turbidez	UNT	44	40	35,5	40	42	35,9
Temperatura da Amostra	C°	25,5	25,5	24,7	23,3	23,1	27,5

\* Ponto de monitoramento do DMAE, Estação 71B, 80 m a montante da foz do Arroio do Salso.

**FONTE: Soares (2002); DMAE (2022); elaboração do autor.**

Através da tabela, é possível observar as variações nas medidas dos parâmetros entre inverno e verão. Conforme Soares (2002), a vazão tende a ser menor no período do verão, o que afeta a qualidade da água, essa situação é bem

exemplificada quando se verifica as quantidades de coliformes fecais, onde em todos os pontos houve um aumento expressivo na estação do verão.

Tomando como base a Resolução CONAMA 357/2005 para o enquadramento em classes de qualidade da água, conforme os limites das concentrações dos parâmetros nas amostras estabelecidos por ela, foram analisados os parâmetros OD, DBO, Fósforo Total e Coliforme Fecais.

Para o parâmetro Oxigênio Dissolvido (OD), houve redução nos seus valores no período do verão em todos os pontos amostrados. Apenas em P6, o valor do OD foi menor no inverno do que no verão. P1, P2, P3, P4 e P5 estão com valores de OD admitidos para o enquadramento na classe 1 (limite de 6 mg/L O<sub>2</sub>) para a campanha amostral de inverno, enquanto que na campanha de verão, P2 e P3 enquadram-se na classe 1, já P1, P4 e P5 enquadram-se na classe 2 da resolução (limite de 5 mg/L O<sub>2</sub>). Em P6, próximo a foz, os valores de OD em ambas as amostras estão abaixo do limite de 4 mg/L O<sub>2</sub> da classe 3, inclusive na amostra de inverno estando abaixo do limite estabelecido (de 2 mg/l O<sub>2</sub>) para a classe 4, o que demonstra a qualidade péssima da água deste ponto.

Em relação ao parâmetro Fósforo Total, em todos os pontos amostrados os valores estiveram bem acima do limite de 0,15 mg/L P. estabelecido para a Classe 3.

Para os Coliformes Fecais e DBO, os valores também ficaram acima dos limites estabelecidos pela Resolução para a classe 3, em todos os pontos amostrados.

Constatou-se que P6, levando em conta os parâmetros OD, DBO, Coliforme Fecais e Fósforo Total, fica com enquadramento das águas na classe 4 da Resolução CONAMA (357/2005).

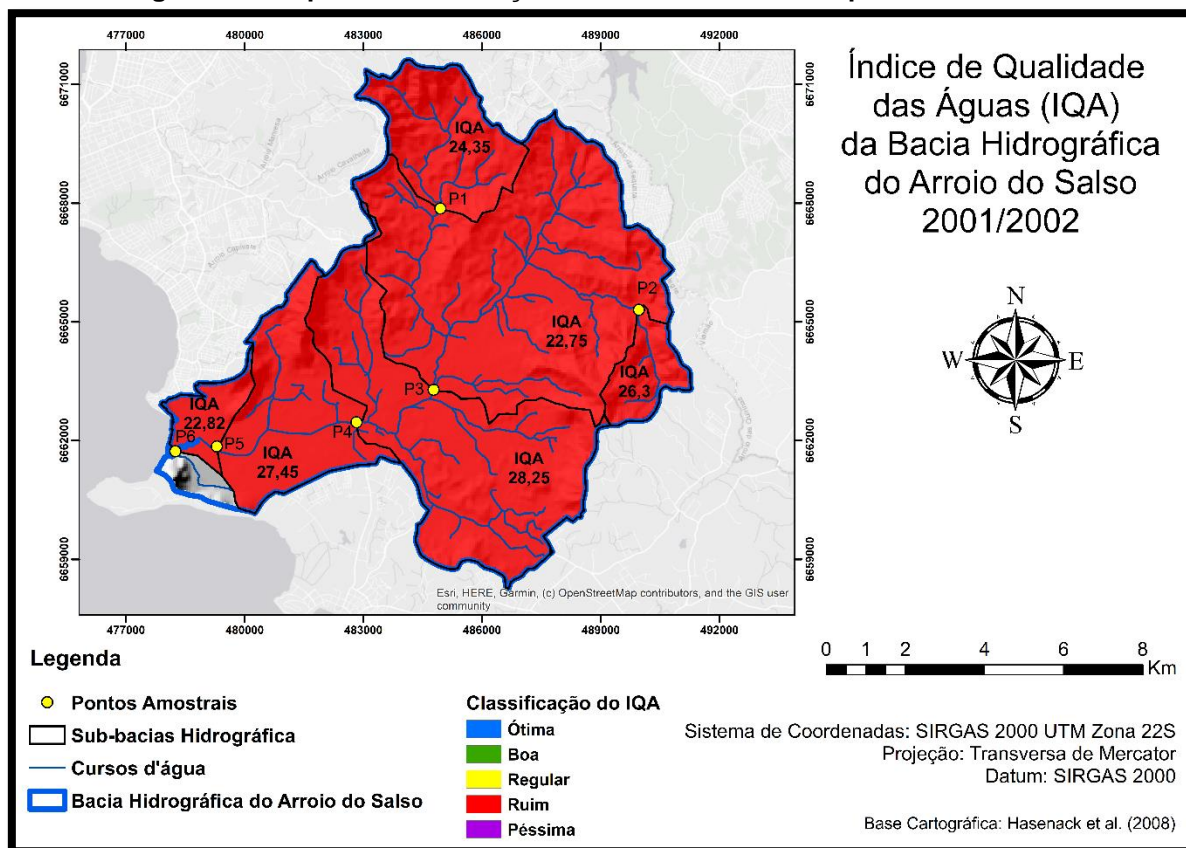
A elaboração da cartografia da qualidade das águas da BHAS considerou a aplicação do IQA. Foram utilizados os dados de Soares (2002). Também foi aplicado o IQA para as amostras de P6 (Estação 71B do DMAE). Por fim, foi realizado o cálculo da média aritmética dos resultados de IQA para as campanhas de inverno/verão para todos os pontos. Assim, o valor da média representa a situação da qualidade da água na sub-bacia dos respectivos pontos, sendo também, o valor atribuído para a aplicação do IDAU.

A Figura 55 expressa a classificação da média aritmética do IQA para os pontos amostrais das campanhas 2001/2002 de Soares (2002) e do ponto de monitoramento



do DMAE.

**Figura 55 - Mapa de Classificação do IQA Médio das campanhas 2001/2002.**



**FONTE: Elaboração do autor.**

Fica nítido que todos os pontos analisados tiveram IQA classificado como ruim, tanto nas nascentes quanto na foz. Os valores do IQA na categoria ruim, decorrem principalmente das concentrações elevadas de coliformes fecais e DBO. O pior valor de IQA no período foi em P3, com IQA de 22,75. Isto demonstra o impacto negativo na qualidade das águas, que é ocasionado pelos despejos de esgoto sem tratamento lançados no bairro Restinga e ocupações, muitas irregulares e nas nascentes, situadas a montante do P3. Já o ponto final da BHAS, o P6, apresentou praticamente o mesmo valor de P3 com IQA igual a 22,82. Isto evidencia que a qualidade da água que é lançada no Guaíba pela BHAS é ruim.

Com a finalidade de comparar a situação da qualidade da água na BHAS após duas décadas, foram coletadas amostras realizadas pelo autor também no inverno e verão no período 2021/2022, utilizando os mesmos pontos P1 e P3 de Soares (2002). Já as amostras de P2 foram realizadas um pouco mais a montante em relação ao P2

de Soares). E, para avaliar a qualidade no curso inferior foram utilizados os dados do mesmo ponto de monitoramento do DMAE, o P4 (Figura 55).

A Tabela 6 apresenta os dados brutos dos parâmetros de qualidade de água analisados a partir das campanhas que foram efetuadas para este estudo, realizadas pelo autor em 2021 e 2022, e para o ponto de monitoramento do DMAE.

**Tabela 6 - Dados brutos dos parâmetros de qualidade da água das campanhas amostrais (2021/2022).**

<b>Campanha Inverno - 2021</b>					
<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Pontos Amostrais</b>			
		<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4*</b>
-	-				
Coliformes					
Fecais/Termotolerantes	NMP/100mL	>1600**	49	1600	91250
DBO5	mg/L O2	2	1,5	4,8	10
Fósforo Total	mg/L P	0,08	< 0,01	0,15	1,39
Nitrogênio Total	mg/L N	2,4	2,5	2,6	10,96
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L O2	11	11	11,1	<1
Saturação de Oxigênio	%	107,9	112,69	111,29	6,34
pH	-	7,6	7,3	7,3	7,3
Sólidos Totais	mg/L	152	92	168	-
Turbidez	NTU	9,79	15	16,7	-
Temperatura da Amostra	Cº	14	16	15	18
<b>Campanha Verão - 2022</b>					
Coliforme					
Fecais/Termotolerantes	NMP/100mL	>1600**	540	>1600**	762500
DBO5	mg/L O2	1,9	2,0	1,8	40
Fósforo Total	mg/L P	0,4	0,02	0,9	2,38
Nitrogênio Total (NTK)	mg/L N	1,8	1,2	1,1	15,12
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L O2	9,4	9,6	10,2	<1
Saturação de Oxigênio	%	108,81	108,97	120,37	7,4
pH	-	7,3	5,2	6,6	7,2
Sólidos Totais (ST)	mg/L	188	132	228	-
Turbidez	NTU	2,4	2,8	4,7	-
Temperatura da Amostra	Cº	22	21	23	27

\*Ponto de monitoramento do DMAE, Estação 71B, 80 m a montante da foz do Arroio do Salso

\*\* Resultados com valor >1600, foram substituídos na aplicação do IQA pelos valores de referência do ponto do DMAE (P4), para cada campanha.

**FONTE: O autor; DMAE (2022); elaboração do autor.**

Para a campanha de 2021/2022, percebe-se o mesmo comportamento verificado por Soares (2002). No verão, devido a menor vazão, houve a piora da

poluição pela quantidade maior de coliformes fecais, assim como uma leve redução dos valores de OD. De maneira geral, as medidas apontam para uma melhor qualidade da água nos pontos P2 e P1 (situados mais próximos às nascentes) do que em P3 (situado no curso médio do Arroio do Salso). Por outro lado, o P4 tem valores muito ruins para a maioria dos parâmetros analisados em ambas amostragens (inverno/verão), em especial para os coliformes fecais, OD e DBO.

Os valores de OD para P1 e P3 foram bons tanto nas campanhas de inverno (2021) quanto verão (2022), quando comparados com os valores obtidos por Soares (2002). Pode-se afirmar que houve melhoria nos valores para quase todos os parâmetros, com exceção do Nitrogênio Total que não foi coletado pela autora na época.

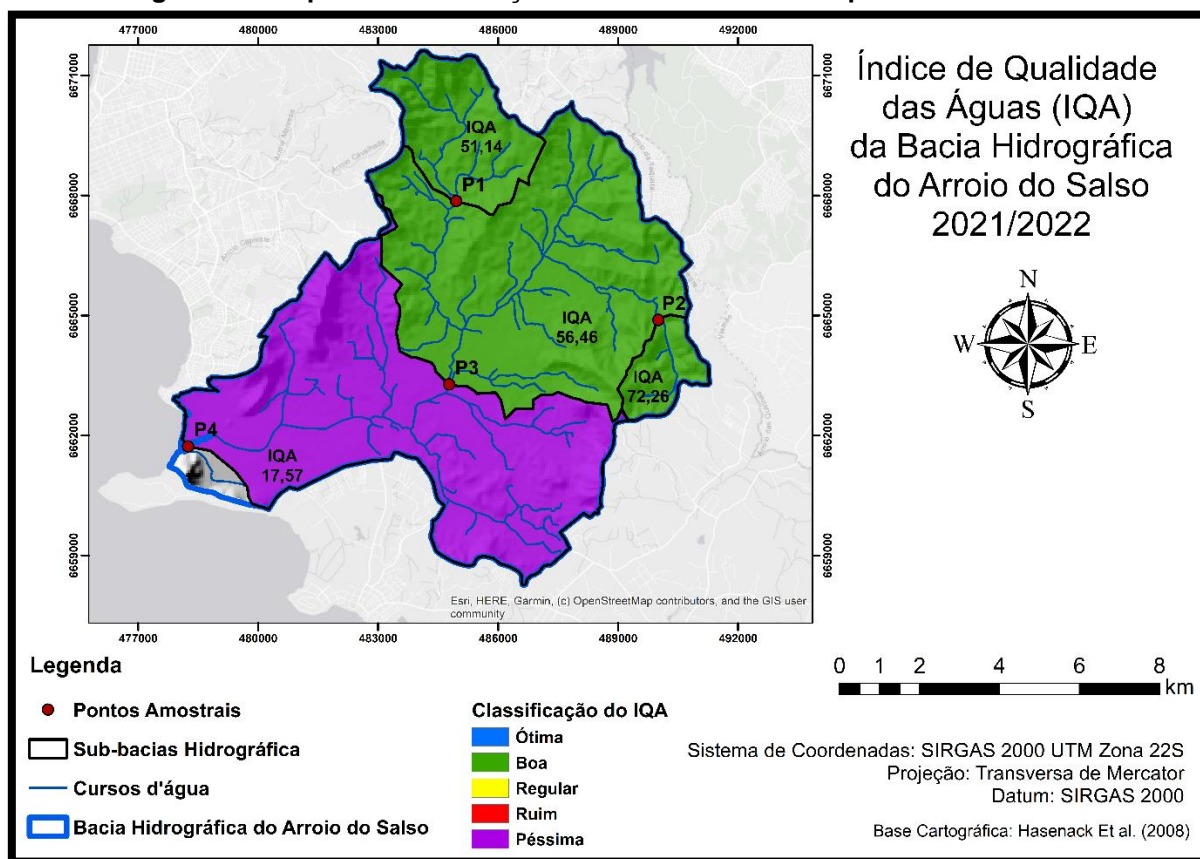
Os resultados da DBO foram melhores em ambas campanhas de 2021/2022 em relação às de 2001/2002 para P1 e P3. No entanto, mesmo apresentando valores menores em comparação com 2001/2002, o parâmetro Fósforo Total em P3 apresentou concentrações acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para a classes 3, nas campanhas de verão e inverno.

Os resultados de P2 são interessantes tendo em vista a sua localização próxima das nascentes e sem interferência significativa de ocupações/moradias. Nele, foi observado valores baixos de coliformes fecais, assim como os demais parâmetros, que também tiveram valores que revelam uma qualidade boa da água. Isto evidencia que a preservação da vegetação associada à área de nascente sem ocupação urbana, proporciona uma qualidade boa nas águas da sub-bacia de P2. Porém, as ocupações irregulares localizadas mais a jusante de P2 já degradam a qualidade da água devido aos despejos de esgoto sem tratamento. Os dados de coliformes fecais e DBO para P2 de Soares (2002) demonstram essa condição e corroboram a análise de quanto prejudicial é à qualidade das águas a ocupação das APPs e os efluentes domésticos de áreas urbanas.

Já o ponto de monitoramento do DMAE, a 80 metros da foz do Arroio do Salso (quase no exutório da bacia), apresenta valores muito ruins para quase todos os parâmetros, tanto no inverno como no verão (2021/2022). Ele registrou valores elevadíssimos de coliformes fecais, e valores péssimos de OD, abaixo de 1 mg/L O<sub>2</sub>, o que significa um “rio morto”, bastante degradado. Os valores de DBO também foram

altos, assim como os demais parâmetros que tiveram valores ruins, acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para a classe 3, salvo o pH e a temperatura. E, no caso do OD, os resultados ficaram abaixo do limite de 2 mg/L O<sub>2</sub> exigido para classe 4 (usos menos nobres). Comparando-se os dados atuais desse ponto com a campanha de 2001/2002, observa-se a piora da qualidade da água ao longo de duas décadas. Naquela ocasião a qualidade já era ruim, com elevados valores de coliformes fecais e DBO, e baixos valores de OD, e em 2021/2022 comprovou-se o agravamento desta situação, com aumento nos valores de coliformes fecais e DBO, e valores mais baixos ainda de OD. Tudo isso proporcionou uma classificação do IQA no P4 como péssima. A Figura 56 ilustra a classificação da média aritmética do IQA para os pontos amostrais das campanhas 2021/2022, realizadas pelo autor e pelo DMAE.

**Figura 56 - Mapa de Classificação do IQA Médio das campanhas 2021/2022.**



**FONTE: Elaboração do autor.**

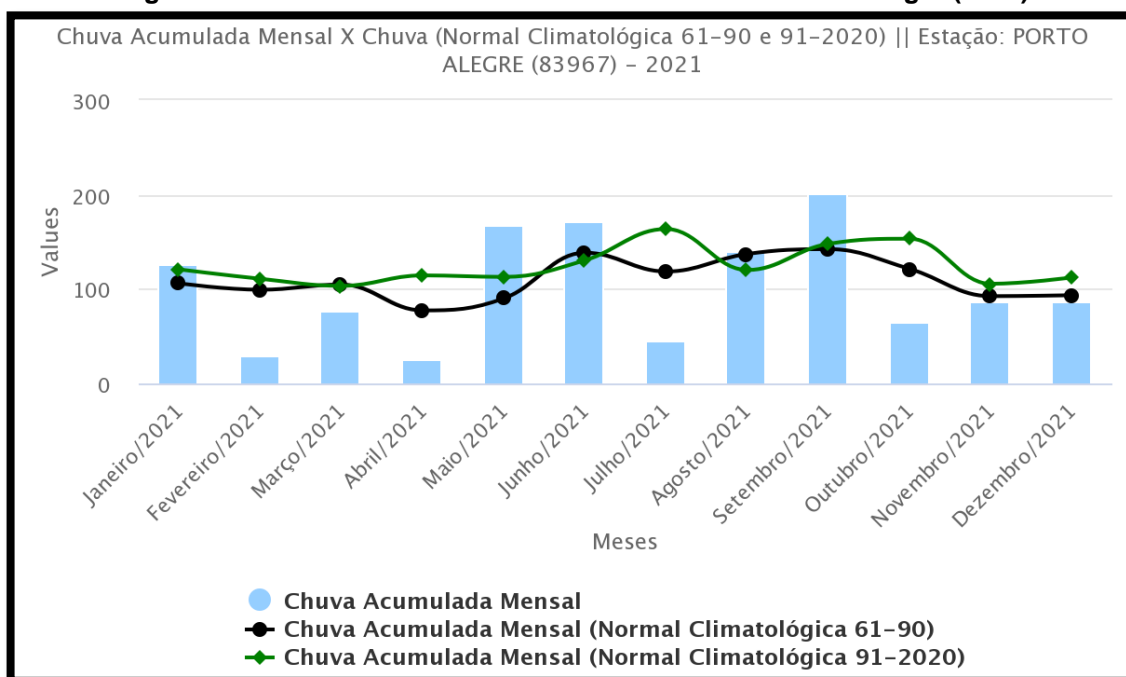
A Figura 56 esclarece o contraste da qualidade da água entre o curso superior

e o inferior, com a classificação do IQA como “Boa” para os pontos P1, P2 e P3, e em P4 como péssima. Ao se relacionar esses dados com o uso e cobertura da terra percebe-se como essa variável afeta a qualidade das águas, visto que em P2, IQA de 72,26, refere-se a uma sub-bacia com predomínio de vegetação nativa e ausência de núcleo urbano. Enquanto isso, em P4 (exutório da bacia) o valor médio do IQA ficou em 17,57. Trata-se de ponto de monitoramento muito importante, pois abrange a quase totalidade da BHAS. Desse modo, a qualidade da água ali reflete o impacto gerado por todas as categorias de uso e cobertura da terra presentes na BHAS.

Quanto à qualidade da água ter sido classificada como boa em P1 e P3, é interessante levantar algumas considerações para buscar compreender a situação, visto que esses pontos apresentaram valores melhores do que os de Soares (2002).

Primeiramente, cabe ressaltar que as concentrações dos parâmetros na água são influenciadas pela vazão que, por sua vez, é influenciada pela precipitação. Portanto, para entender melhor a situação, apresenta-se o regime pluviométrico dos meses em que foram coletadas as amostras, os quais tiveram chuva acumulada acima da normal climática, como se observa nos gráficos das Figuras 57 e 58.

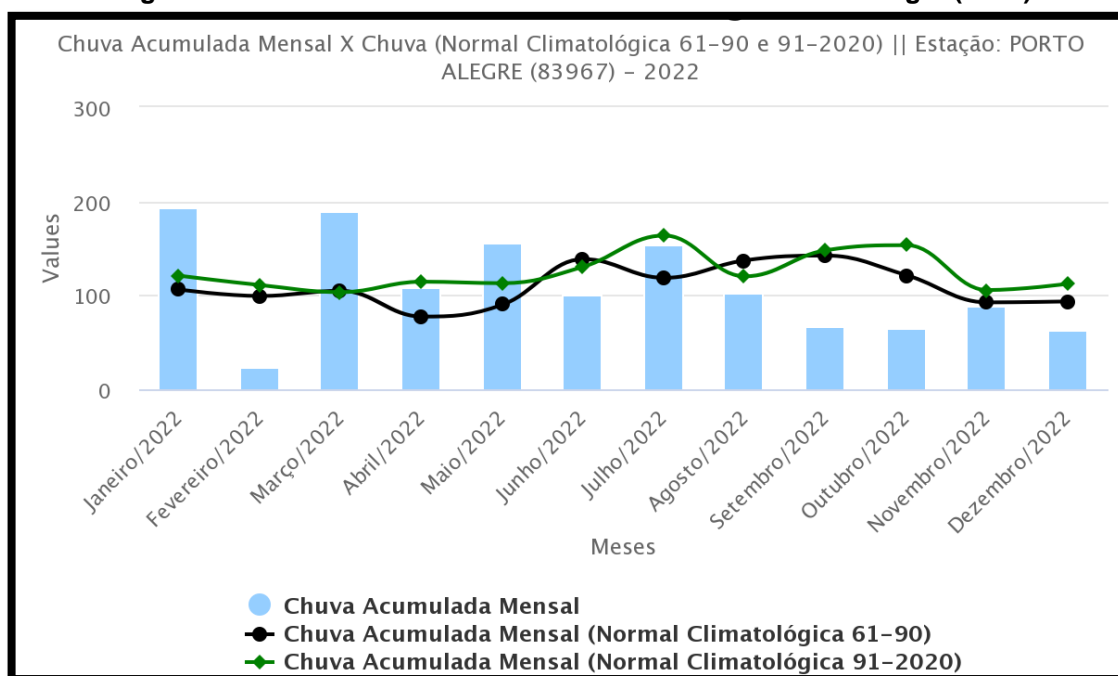
**Figura 57 - Gráfico de Chuva Acumulada Mensal em Porto Alegre (2021).**



**FONTE: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2023).**

Observa-se que setembro e julho possuem acumulados de chuva acima da normal climática. Em janeiro de 2022 a chuva acumulada também ficou acima da normal climática.

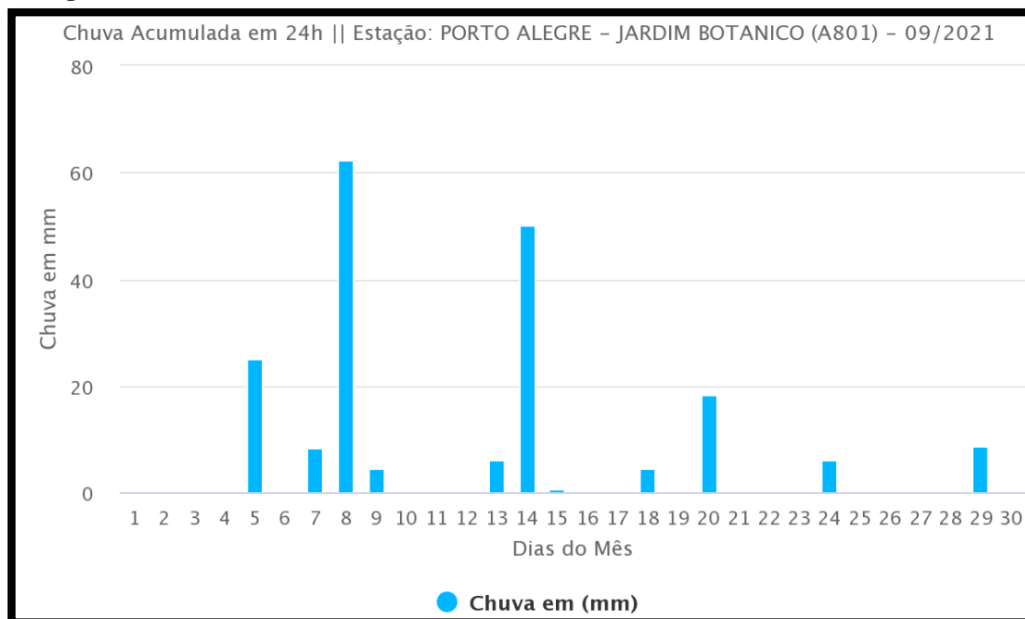
**Figura 58 – Gráfico de Chuva Acumulada Mensal em Porto Alegre (2022).**



**FONTE: INMET (2023).**

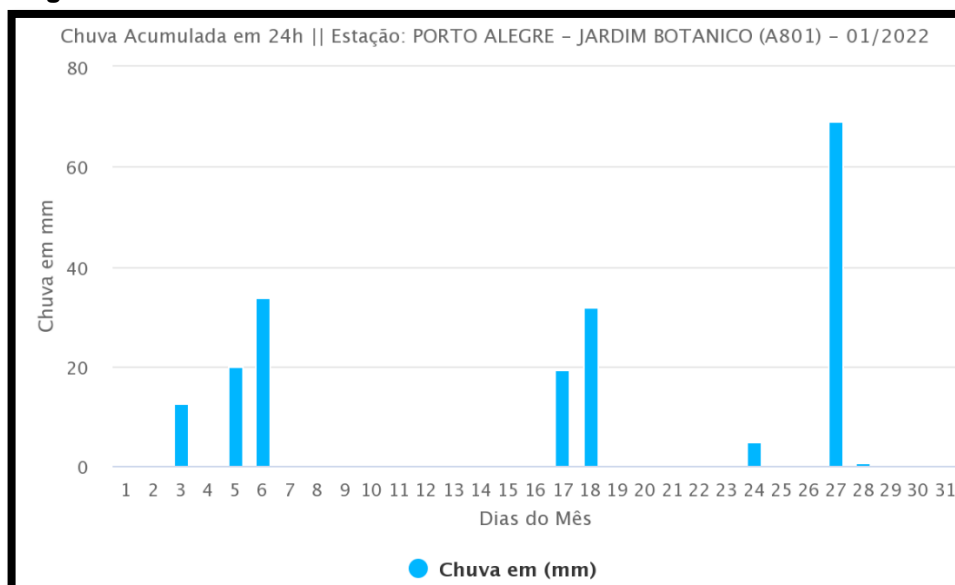
Além disso, na campanha de setembro de 2021, dois dias antes da coleta, houve um episódio de precipitação intensa e, assim, a vazão pode ter sido aumentada e com isso ter influenciado na melhora da qualidade das águas. Analisando a Figura 59 que apresenta um gráfico da chuva acumulada diária em setembro, observa-se o pico de mais de 60 mm no dia 8 de setembro e aproximadamente 50 mm no dia 14, durante a semana que antecedeu a coleta das amostras naquela ocasião. Já para janeiro, apesar da média mensal estar acima da normal climática, nas duas primeiras semanas tiveram três dias de chuva, com precipitação considerável, porém não tão elevadas, ficando entre 15 mm e 38mm aproximadamente, como é possível observar no gráfico da Figura 60.

**Figura 59 - Gráfico da Chuva Acumulada Diária no Mês de Setembro de 2021.**



**FONTE: INMET (2023).**

**Figura 60 - Gráfico da Chuva Acumulada Diária no Mês de Janeiro de 2022.**



**FONTE: INMET (2023).**

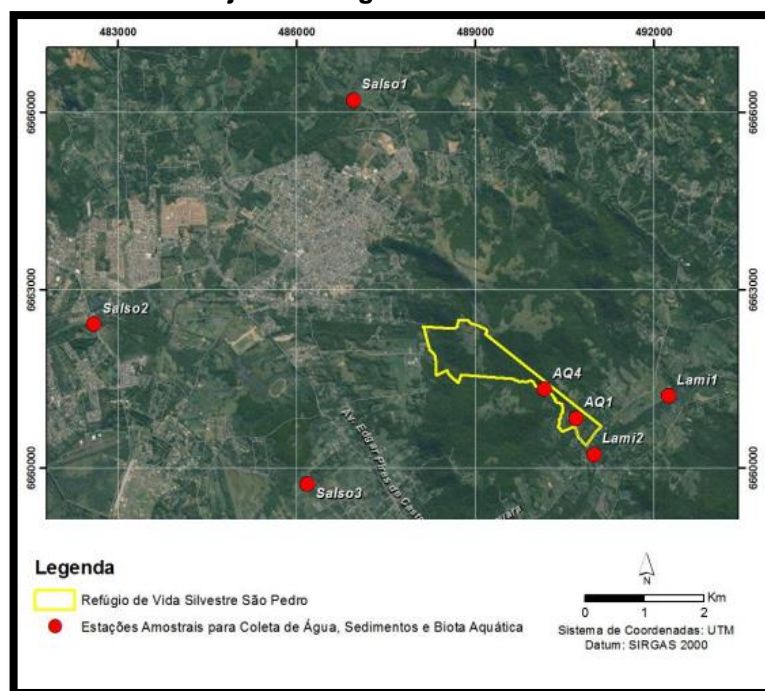
Este panorama das chuvas pode ter ocasionado uma melhoria dos resultados do IQA. Além disso, o IQA em P1 e P3 ficou muito próximo do limite inferior da classe boa (valores de 51 a 79), ou seja, esses pontos tiveram valores situados no limiar entre a classe boa e regular, considerando a faixa de classificação da CETESB.

Também, os dados brutos de cada parâmetro na campanha de 2021/2022 mostram que os resultados foram melhores quando comparados ao período 2001/2002.

Quanto à péssima qualidade das águas em P4, acredita-se que a expansão urbana em toda área da BHAS, mas de forma acentuada nas áreas mais planas do curso inferior do arroio do Salso, possam estar aumentando o despejo de matéria orgânica, sedimentos e nutrientes como fósforo e nitrogênio, o que tem aumentado a degradação da qualidade das águas.

Outro estudo importante sobre a BHAS é o diagnóstico ambiental realizado para elaboração do Plano de Manejo da Unidade de Conservação (UC) - Refúgio de Vida Silvestre São Pedro (REVIS). Nele, realizaram-se campanhas de coleta e análise das águas em três pontos localizados no Arroio do Salso (Salso1, Salso2 e Salso 3) no entorno da UC. As campanhas seguiram a mesma lógica sazonal apresentada nesta pesquisa (de abarcar um período mais chuvoso e outro mais seco), com diferença semestral entre as campanhas, porém em meses diferentes, a primeira campanha foi realizada em outubro de 2015, e a segunda campanha em abril de 2016. A Figura 61 apresenta a localização de tais pontos

**Figura 61 - Mapa de localização dos Pontos Amostrais do Plano de Manejo do Refúgio de Vida Silvestre São Pedro.**



**FONTE: Porto Alegre, Plano de Manejo do REVIS (2017).**



Relacionando os resultados de IQA dos pontos amostrados pelo Diagnóstico do Meio Físico do Plano de Manejo do REVIS (2017) com os obtidos para pontos amostrados nesta pesquisa, observa-se que o ponto denominado Salso1 localiza-se a montante do bairro Restinga e de P3 desta pesquisa. Já o ponto Salso2 localiza-se no bairro Hípica, no curso inferior do Arroio do Salso, coincidindo aproximadamente com a localização de P4 de Soares (2002). E o ponto Salso3 localiza-se em um afluente que tem suas nascentes no bairro Lageado, o qual possui diversas áreas de cultivo no seu entorno. Também foi aplicado o IQA-CETESB para as duas campanhas nos pontos mencionados. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos naquele trabalho.

**Tabela 7 - Resultados do IQA das campanhas amostrais do Diagnóstico do Meio Físico do Plano de Manejo do Refúgio de Vida Silvestre São Pedro.**

<b>Pontos</b>	<b>Campanha 1</b>	<b>Campanha 2</b>
-	<b>IQA</b>	<b>IQA</b>
Salso 1	63,88	51,24
Salso 2	56,91	30,41
Salso 3	56,08	27

**FONTE: Porto Alegre, Plano de Manejo do REVIS (2017).**

A partir dos dados da Tabela 7, se observa que estes confirmam os resultados obtidos na aplicação do IQA por esta pesquisa (2021/2022). Houve qualidade melhor da água no ponto Salso1, localizado a montante de P3 (desta pesquisa) e do bairro Restinga. Já o ponto Salso2, na campanha 1, apresentou valores similares aos encontrados em P3 desta pesquisa, porém na campanha 2 ocorreu uma piora do valor de IQA, conferindo a qualidade ruim às águas. Este panorama corrobora para explicar a grande diferença do valor de IQA observada em P4 (2021/2022) em relação ao P3, indicando a contribuição de cargas poluentes dos afluentes e da drenagem superficial a jusante de P3, as quais conferem qualidade péssima das águas em P4 (2021/2022).

Por sua vez, Strada (2021) avaliou a qualidade da água para o P4 (exutório da BHAS, monitoramento do DMAE) utilizando os dados disponibilizados pelo órgão. Em sua avaliação aplicou o IQA-CCME, o qual permite maior flexibilidade e inserção de mais parâmetros na fórmula do cálculo do IQA, incluindo no cálculo alguns metais pesados. A separação por grupos se dá conforme relação dos parâmetros de qualidade da água com o uso e cobertura da terra. Além disso, a avaliação também

está relacionada aos limites estabelecidos para o enquadramento nas classes da resolução CONAMA 357/2005. A Figura 62 apresenta um quadro com os parâmetros por grupos analisados por Strada (2021).

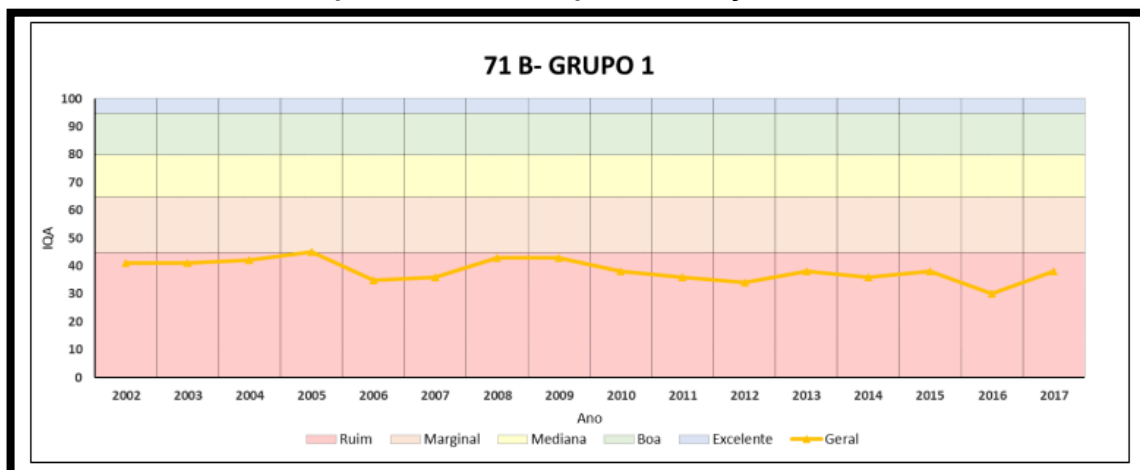
**Figura 62 - Quadro com os parâmetros por grupos para aplicação do IQA-CCME de Strada (2021).**

PARÂMETROS	UNIDADES	SALSO (GRUPO 1)				SALSO (GRUPO 2)			LAMI	LIMITES CLASSE 2		LIMITES CLASSE 3		
		Agro	Drenagem	Esgoto	Geral	Esgoto	Geoquímica	Geral		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Alumínio	mg/L		X		X		X	X			0,1		0,2	
Cádmio	mg/L		X		X						0,001		0,01	
Chumbo	mg/L		X	X	X		X	X			0,01		0,033	
Cobre	mg/L		X	X	X		X	X			0,009		0,013	
Cromo Total	mg/L						X	X			0,05		0,05	
DBO	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		5		10	
Escherichia Coli	NMP/100mL	X	X	X	X	X		X	X		600		600	
Ferro Total	mg/L						X	X			0,3		5	
Fósforo Total	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		0,03		0,05	
Manganês Total	mg/L						X	X			0,1		0,5	
Níquel	mg/L						X	X			0,025		0,025	
Nitrato	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		10		10	
Nitrito	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		1		1	
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		3,7		13,3	
OD	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		5		4	
pH		X	X	X	X	X		X	X		6	9	6	9
SDT	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		500		500	
Turbidez	mg/L	X	X	X	X	X		X	X		100		100	
Zinco	mg/L		X	X	X		X	X			0,18		5	
<b>TOTAL PARÂMETROS</b>		<b>10</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>18</b>	<b>10</b>					

**FONTE: Strada (2021).**

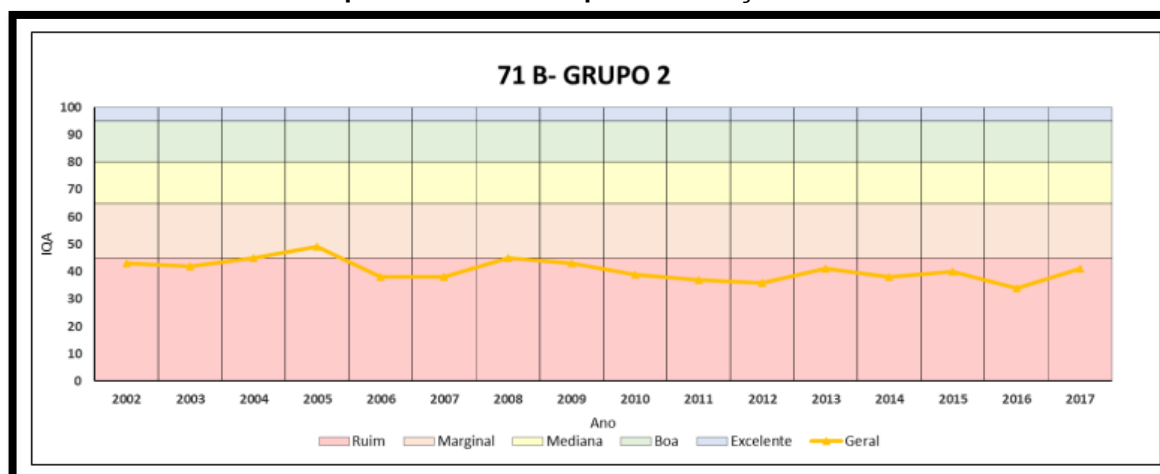
Apesar das diferenças metodológicas do IQA-CCME, os resultados da aplicação do IQA-CCME por Strada (2021) ratificam as análises realizadas nesta pesquisa que apontam para a má qualidade da água no ponto de monitoramento do DMAE (Figuras 63 e 64).

**Figura 63 - Gráfico da evolução temporal anual do IQA - CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 1 na estação 71B.**



**FONTE: Strada (2021).**

**Figura 64 - Gráfico da evolução temporal anual do IQA - CCME para o conjunto total de parâmetros do Grupo 2 na estação 71B.**



**FONTE: Strada (2021).**

Com o passar dos anos, houve um distanciamento da classificação marginal verificando-se valores de IQA decrescentes. Os parâmetros que mais se apresentaram não conformes com os limites da Resolução CONAMA 357/2005 foram: DBO, Escherichia Coli, Fósforo Total, OD, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Alumínio e Manganês Total, com destaque para Escherichia Coli e Fósforo Total (STRADA, 2021).

A análise realizada e os resultados obtidos pelos estudos citados reforçam a conclusão de que a principal fonte de degradação da qualidade do Arroio do Salso e seus afluentes é decorrente da introdução de esgoto urbano não tratado em suas

águas (SOARES, 2002; BASSO; SILVA, 2013; STRADA, 2021). Esses trabalhos apresentaram avaliações da qualidade das águas na BHAS, constatando a contaminação elevada em função de despejo de esgoto urbano.

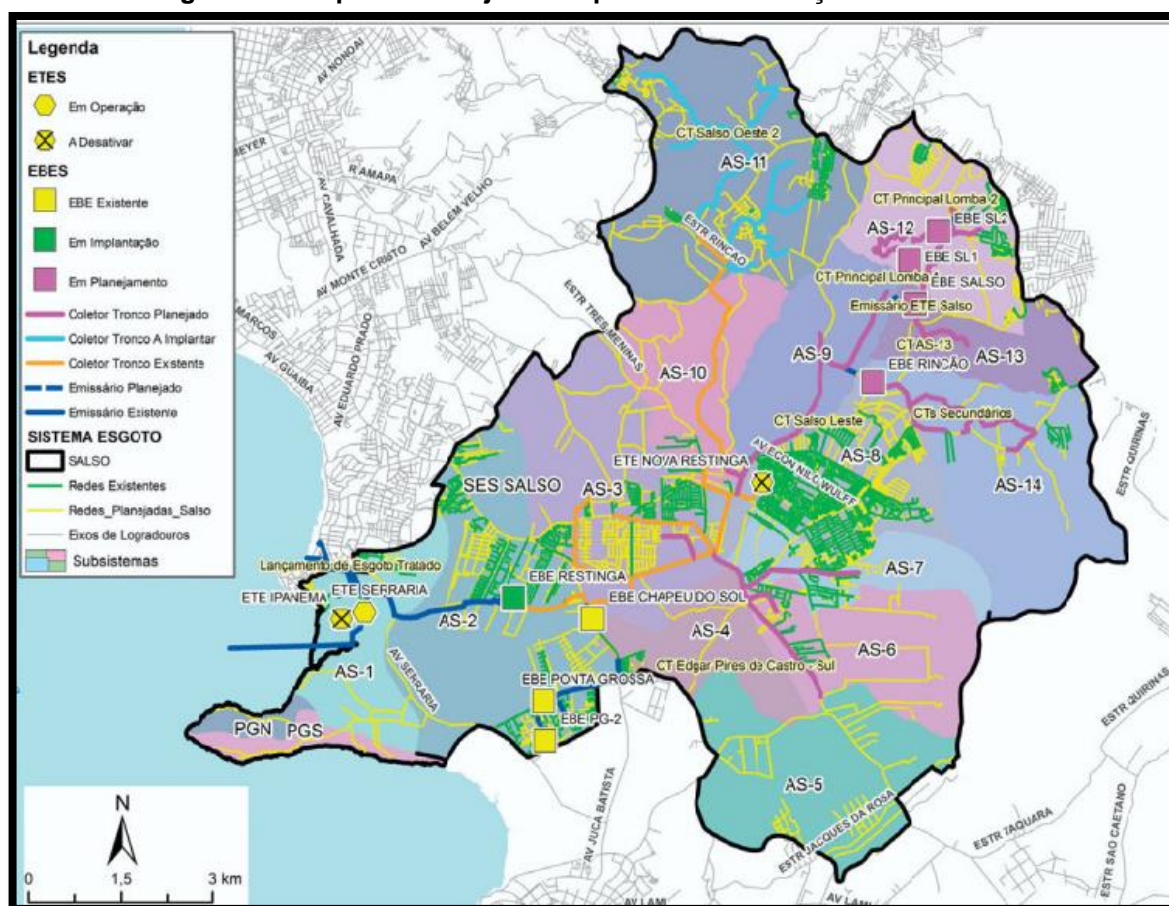
Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (2017), estimou-se que no ano de 2015 houve uma descarga de 96,8 L/s de efluentes domésticos pela BHAS ao Guaíba, além de classificar o Arroio do Salso como classe 4 conforme a Resolução CONAMA 357/2005, considerando como base o parâmetro coliformes fecais.

Já o PMSB de Porto Alegre (2015) aponta que a BHAS tinha apenas 39,5 % de atendimento de coleta de esgoto produzido, ou seja, longe da situação almejada de universalização do tratamento de esgoto prevista para até 2035. Ainda, no SES do Salso, o tratamento das contribuições de esgoto sanitário de todos os subsistemas que o formam se dará de forma integrada pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Serraria. Algumas diretrizes de planejamento, tendo em vista a universalização do tratamento de esgoto são indicadas:

No horizonte de planejamento, os locais com ocupação informal, independente da fração de área dentro do SES, deverão receber especial atenção, multidisciplinar, com vistas à obtenção da regularização fundiária e do adequado parcelamento do solo, a intuir que na origem disso, em algum momento do passado, a atuação do Poder Público não se fez presente. (Porto Alegre, 2015, p. 106).

A Figura 65 apresenta a posição planejada para a universalização do SES Salso com esgotamento sanitário.

Figura 65 - Mapa de Planejamento para Universalização do SES Salso.

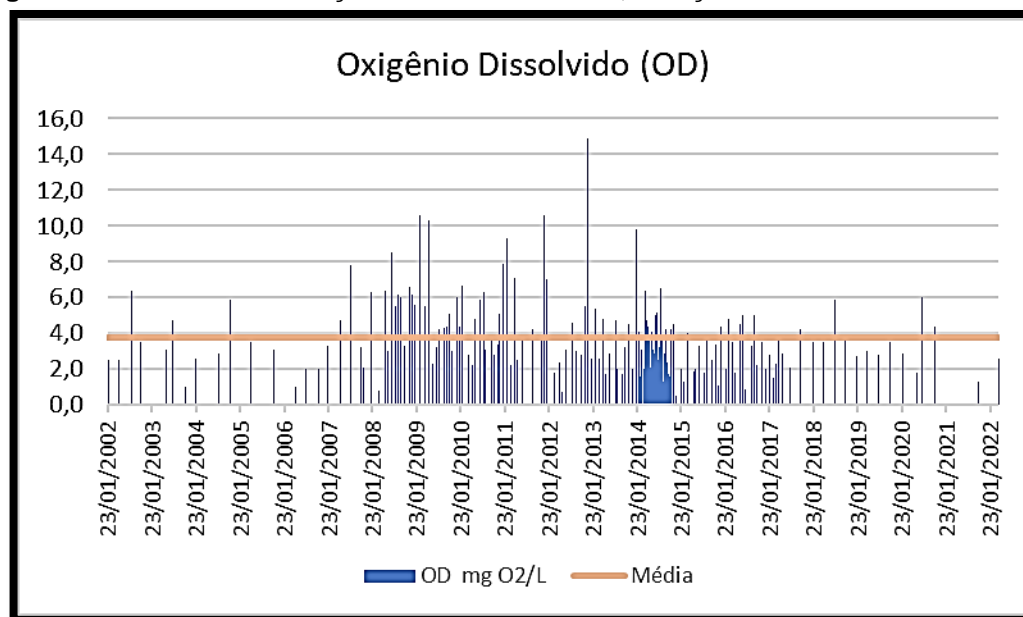


FONTE: Porto Alegre, Plano de Saneamento Básico de Porto Alegre (2015).

Complementando a análise da qualidade da água da BHAS, e com o intuito de verificar a sua evolução ao longo das últimas duas décadas, foram selecionados quatro parâmetros (Oxigênio Dissolvido, DBO, Coliformes Fecais e Condutividade Elétrica) entre os dados disponibilizados pelo DMAE para a Estação 71B, localizada na foz do arroio. Foram elaborados um conjunto de gráficos que refletem a série histórica desses parâmetros para o período de 2002 a 2022.

A Figura 66 expressa o comportamento do oxigênio dissolvido (OD) para série histórica 2002-2022.

**Figura 66 - Gráfico da evolução dos valores de OD, Estação 71B do DMAE - 2002-2022.**

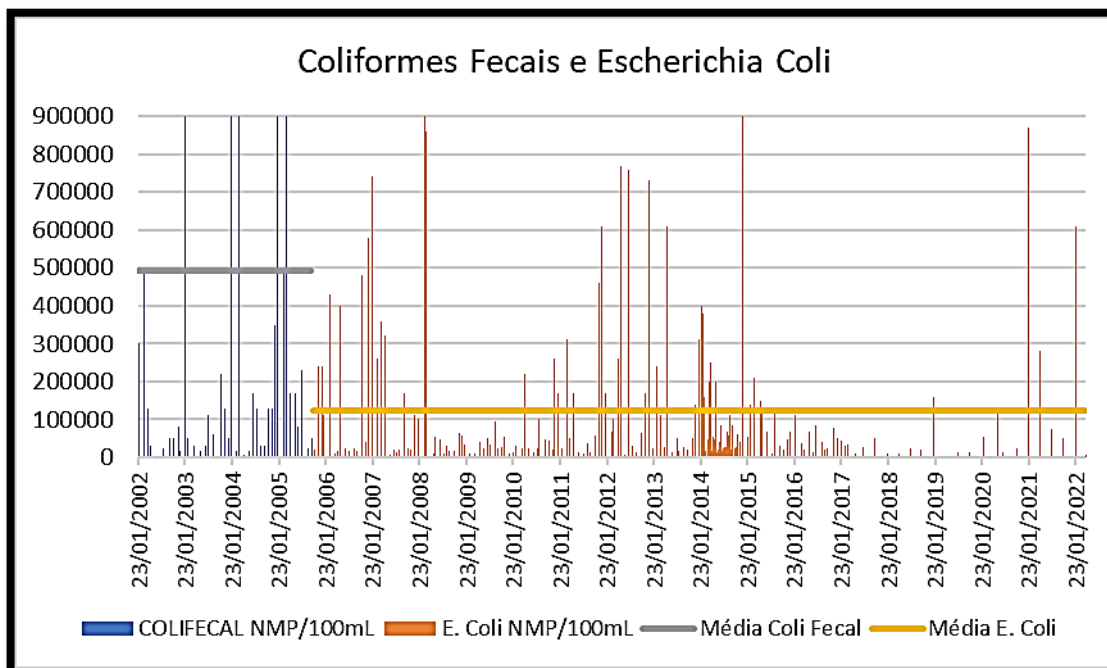


**FONTE: DMAE (2022), elaboração do autor.**

Analisando o gráfico, pode-se observar que a média aritmética fica em torno de 3,8 mg O<sub>2</sub>/L, o que é um valor baixo que afeta negativamente a vida aquática, como os peixes. Esse valor médio enquadra as águas desse ponto na classe 4 da Resolução CONAMA 357/2005. Até 2007 os valores de oxigênio eram bem baixos, inclusive havia valores abaixo da média, porém entre 2007 e 2015 nota-se uma certa melhoria, com algumas amostras com concentrações acima de 6 mg O<sub>2</sub>/L, que é o limite de concentração para classe 1 da Resolução CONAMA 357/2005. Porém, a partir de 2016 os valores voltam a declinar, inclusive com algumas amostras, entre 2021 e 2022, registrando valores menores do que 1 mg O<sub>2</sub>/L ("rio morto"). O OD é um dos parâmetros mais importantes para a qualidade da água, pois é "sinônimo" de vida aquática. Constata-se um problema crônico ao longo de duas décadas de poluição hídrica no Arroio do Salso.

Já a Figura 67 apresenta o gráfico com as quantidades de coliformes fecais e E. coli. O DMAE monitorou até o ano de 2005 o parâmetro coliformes fecais, e a partir do ano de 2006 passou apenas a medir o parâmetro E. Coli, por isso o gráfico apresenta os valores dos dois parâmetros.

**Figura 67 - Gráfico da evolução dos valores de Coliformes Fecais e E. Coli, Estação 71B do DMAE - 2002-2022.**

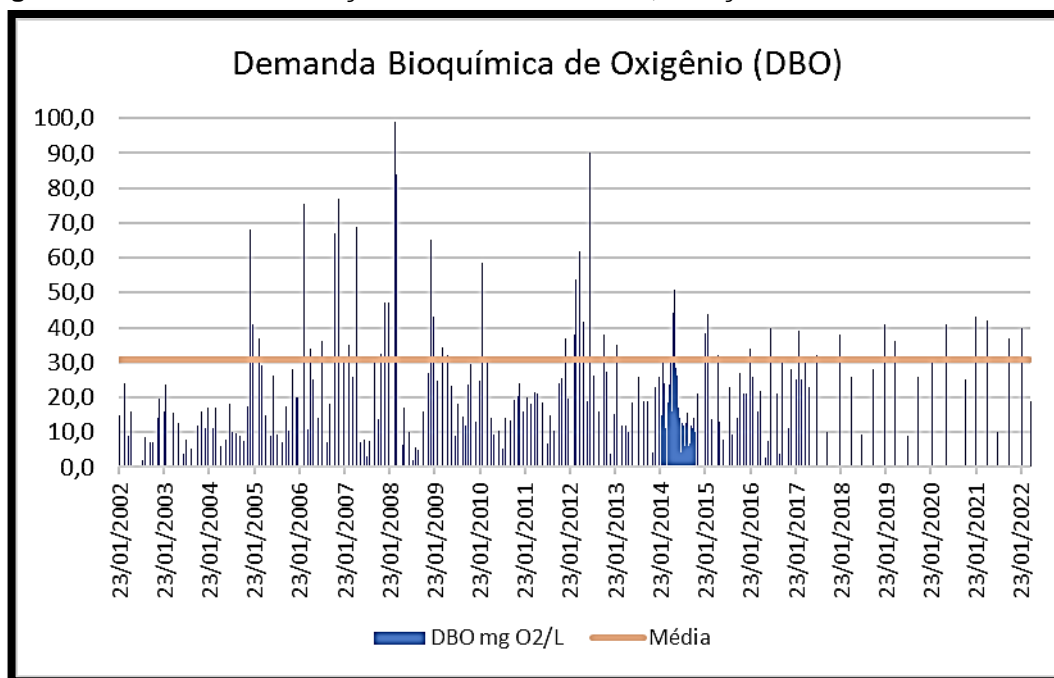


**FONTE: DMAE (2022), elaboração do autor.**

O gráfico demonstra quantidades “absurdas” de Coliformes Fecais e E. Coli. Não houve nenhuma amostra com valor abaixo de 1000 NMP/100mL, limite para classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005 e valor que indica a possibilidade de balneabilidade. A maior parte das amostras ultrapassou 10000 NMP/100mL, inclusive com quantidades bem superiores ao limite para o enquadramento da classe 3 pela Resolução. Os valores das médias aritméticas de Coliformes Fecais e E. Coli, foram 492775 NMP/100mL e 122766 NMP/100mL, respectivamente. São números altos e evidenciam os despejos de esgotos não tratados nas águas dos arroios da BHAS.

A evolução do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) pode ser visualizada na Figura 68.

Figura 68 – Gráfico da evolução dos valores de DBO, Estação 71B do DMAE -2002-2022.



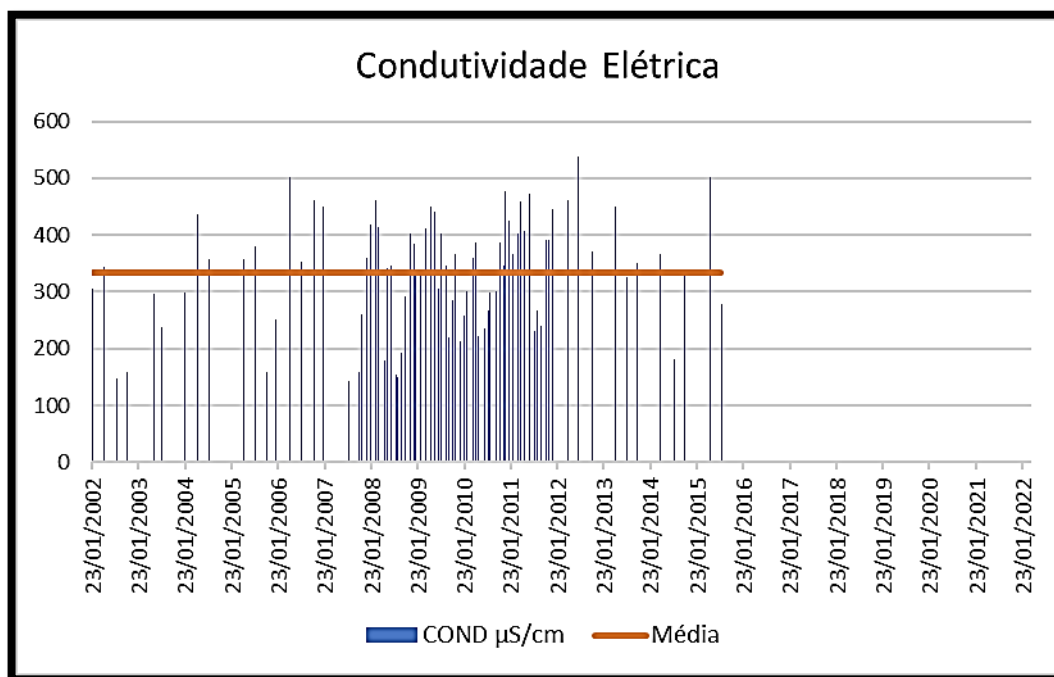
FONTE: DMAE (2022), elaboração do autor.

Assim como os demais parâmetros, a DBO teve concentrações elevadas em muitas amostras. Sua média aritmética foi em torno de 30 mg O<sub>2</sub>/L, sendo que grande parte das amostras esteve acima do valor limite de 10 mg O<sub>2</sub>/L para a classe 3 da Resolução CONAMA 357/2005. Isto comprova que as águas sofrem de maneira constante com a poluição decorrente da entrada excessiva de matéria orgânica proveniente dos despejos de esgotos majoritariamente domésticos na rede hidrográfica da BHAS. Os resultados da DBO também auxiliam a explicar o valor tão baixo de OD e do IQA para o P4 (2021/2022), classificando as águas como péssima.

Apesar da condutividade elétrica (CE) ser um parâmetro que não entra na fórmula do IQA, optou-se por apresentar o seu desempenho ao longo dessas duas décadas, pois ela sinaliza a presença de poluentes dissolvidos na água, inclusive de metais pesados. Os dados disponibilizados pelo DMAE têm muitas lacunas nas medidas para este parâmetro. Foi apenas analisado até o ano de 2015, como se observa no gráfico da Figura 69.



Figura 69 - Gráfico da evolução dos valores de Condutividade Elétrica, Estação 71B do DMAE - 2002 - 2022.



FONTE: DMAE (2022), elaboração do autor.

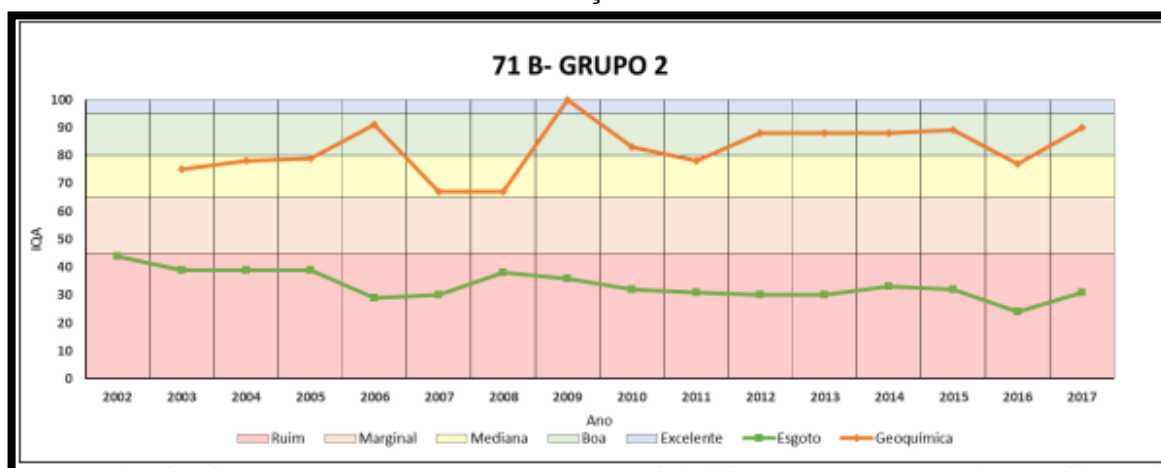
Outra variável que não deixa dúvidas a respeito da degradação da qualidade da água no ponto final da BHAS. Através do gráfico observa-se valores elevados da CE na maioria das amostras, apresentando uma média aritmética de 334,67  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valor elevado que caracteriza alteração das condições naturais de águas: “Enquanto as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ” (BRASIL, 2006, p. 47).

Basso e Silva (2013) compararam as medidas da CE entre dois pontos no Arroio do Salso: um localizado próximo às nascentes, a montante do bairro Restinga, em direção ao bairro Lomba do Pinheiro e outro localizado próximo à foz no Guaíba, mais especificamente na ponte da Estrada da Serraria. No ponto próximo das nascentes, detectaram valores de CE de 198  $\mu\text{S cm}^{-1}$  a 288  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , resultado dos despejos de esgotos domésticos não tratados do bairro Lomba do Pinheiro (*ibidem*). Enquanto no ponto próximo à foz foram encontrados valores de CE de 237  $\mu\text{S cm}^{-1}$  a 497  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (*ibidem*). Ao se comparar tais resultados com o gráfico da Figura 68, é possível notar que os maiores valores encontrados nas amostras do DMAE são para o ano de 2012.

Strada (2021) e Soares (2002) analisaram a concentração de metais pesados nas águas do Salso e geoquímica dos sedimentos de fundo. Os resultados indicaram a presença de elementos maiores e elementos traços. Porém, apenas alguns elementos (alumínio, ferro, manganês e zinco) tiveram concentrações elevadas e em desconformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para uma boa qualidade das águas (classes 1 e 2). Soares (2002) afirma que os valores elevados de Al, Fe, Mn estão associados à mineralogia do material em suspensão, composto principalmente por sedimentos como caulinita e muscovita/ilita, oriundos do intemperismo sobre a geologia local. Quanto às concentrações elevadas de Zn, a autora indica que podem estar relacionadas às cargas antrópicas e naturais de forma associada.

A Figura 70 apresenta os valores obtidos do IQA-CCME para a categoria “Geoquímica” (na qual constam os elementos maiores e traços).

**Figura 70 - Gráfico da evolução temporal anual do IQA - CCME para as categorias do Grupo 2 na estação 71B.**



**FONTE: Strada (2021).**

De modo geral, observa-se que os resultados do IQA-CCME para categoria geoquímica obtiveram resultados enquadrados nas classes, mediana a excelente, havendo predominância da classe boa para a série histórica analisada. Através da figura é possível verificar que os maiores problemas de poluição hídrica são oriundos de esgoto urbano, não havendo sérios problemas relacionados a metais pesados. Todavia, Strada (2021) adverte sobre a importância do monitoramento contínuo e

regular de parâmetros como os metais pesados, tendo em vista sua potencialidade de degradação das águas e consequências para a vida aquática e humana. Além disso, a expansão urbana que tem ocorrido na BHAS torna ainda mais relevante o monitoramento contínuo desses parâmetros.

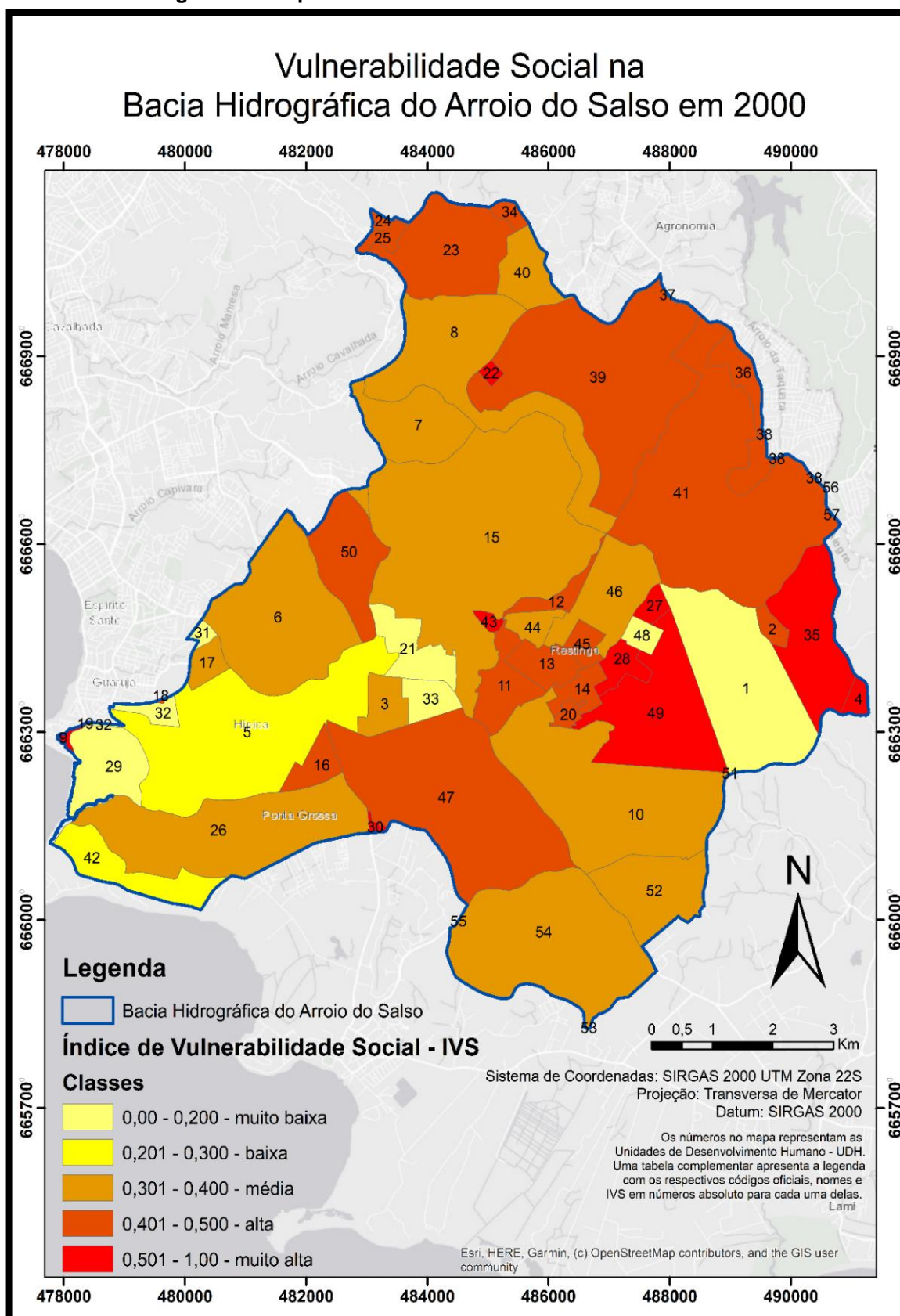
Por fim, diante de todos os dados expostos, é possível constatar que não houve melhoria da qualidade das águas entre 2002 e 2022, e, sim uma piora nos últimos anos, principalmente nos valores de OD. Além disso, os valores médios das amostras dos parâmetros (OD, Coliformes Fecais e E. Coli, DBO) para o ponto do DMAE, estão acima da faixa limite para classe 3, sendo assim, vislumbra-se distante a meta de enquadramento para o Arroio do Salso na classe 3, apresentada pelo Plano de Bacia do Lago Guaíba (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA, 2017 2017).

#### 5.4 DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA VULNERABILIDADE SOCIAL NA BHAS

Neste capítulo é abordada a vulnerabilidade social na BHAS, através dos mapas elaborados é possível verificar a distribuição, classificação e evolução da vulnerabilidade social na BHAS obtida a partir do IVS de cada UDH para os anos 2000 e 2010. Além da análise e discussão dos resultados do IVS, serão apresentadas e discutidas outras variáveis como acessibilidade a equipamentos públicos voltados para educação, lazer e saúde, a partir da pesquisa realizada por Strohaecker; Verran; Barth, (2015).

A Figura 71 apresenta a situação da vulnerabilidade social na BHAS para os anos 2000.

Figura 71 - Mapa de Vulnerabilidade Social na BHAS em 2000.



FONTE: IPEA (2018), elaboração do autor.

O Quadro 20 é o complemento da legenda do mapa, apresentando o código de cada UDH, nomenclatura, valor do IVS e a população em números absolutos.

**Quadro 20 - Legenda do mapa com dados das UDHs.**

Legenda	UDH	Nome da UDH	Ano	IVS	População
1	1.431.490.200.001	Restinga : Morro Sul	2000	0,01	351
2	1.431.490.200.002	Restinga : Pitinga	2000	0,494	1229
3	1.431.490.200.003	Hípica : Moradas da Hípica	2000	0,395	1133
4	1.431.490.200.004	Lomba do Pinheiro : Parque dos Eucaliptos / Vila Pitinga	2000	0,515	447
5	1.431.490.200.005	Hípica : Edgar Pires de Castro / Juca Batista / Dorival Castilho Machado	2000	0,286	6128
6	1.431.490.200.006	Ipanema : Rossatos / Biazetto	2000	0,395	4314
7	1.431.490.200.010	Belém Velho : Hospital Parque Belém	2000	0,354	1837
8	1.431.490.200.011	Belém Velho : Boqueirão / Watanabe	2000	0,359	5085
9	1.431.490.200.013	Serraria : Vila dos Sargentos	2000	0,531	4309
10	1.431.490.200.014	Restinga : Chácara do Banco	2000	0,381	5369
11	1.431.490.200.016	Restinga : Governador Walter Perachi ( 4ª Unidade )	2000	0,484	1198
12	1.431.490.200.017	Restinga : Vila Bita	2000	0,479	2260
13	1.431.490.200.018	Restinga : Restinga Nova ( 3ª Unidade ) / Nilo Wulf	2000	0,454	8777
14	1.431.490.200.019	Restinga : Restinga Velha	2000	0,458	6505
15	1.431.490.200.020	Restinga : Restinga Nova / Área Fleck / Strighini / Vale do Salso / Rincão	2000	0,38	2236
16	1.431.490.200.022	Hípica : Vila Guabiroba / Juca Batista 6005	2000	0,491	496
17	1.431.490.200.023	Hípica : Beco do Adelar	2000	0,38	3434
18	1.431.490.200.024	Guarujá : Vila Oliveira / Beco do Picapau / Beco Guará	2000	0,494	1016
19	1.431.490.200.025	Guarujá : Vila Guarujá / Santana	2000	0,179	555
20	1.431.490.200.027	Restinga : Vila Baltimore / Costa Gama / Barro Vermelho	2000	0,457	2184
21	1.431.490.200.028	Restinga : Pires de Castro	2000	0,003	303
22	1.431.490.200.061	Belém Velho : Condomínio Mariante	2000	0,511	1852
23	1.431.490.200.062	Cascata : São Lourenço	2000	0,468	1546
24	1.431.490.200.135	Cel Aparício Borges : Chácara do Primeiro / Pantanal / Saibreira	2000	0,482	7531
25	1.431.490.200.173	Cascata : Canudos / Batillanas	2000	0,413	9925

<b>Legenda</b>	<b>UDH</b>	<b>Nome da UDH</b>	<b>Ano</b>	<b>IVS</b>	<b>População</b>
26	1.431.490.200.182	Ponta Grossa : Vila Túnel Verde / Estrada Ponta Grossa / Jardim Santa Mônica	2000	0,377	2299
27	1.431.490.200.204	Restinga : Quinta Unidade	2000	0,575	1253
28	1.431.490.200.205	Restinga : Vila Castelo	2000	0,58	5681
29	1.431.490.200.229	Serraria ( bairro )	2000	0,009	373
30	1.431.490.200.233	Chapéu do Sol ( bairro )	2000	0,573	1174
31	1.431.490.200.248	Espírito Santo : Joaquim Felizardo	2000	0,122	692
32	1.431.490.200.249	Guarujá ( bairro )	2000	0,159	3464
33	1.431.490.200.250	Hípica : Edgar Pires de Castro / Sérgio Stimamilo	2000	0,002	254
34	1.431.490.200.257	Agronomia : Vila Biriba	2000	0,448	493
35	1.431.490.200.258	Lomba do Pinheiro : Rarefeita	2000	0,515	447
36	1.431.490.200.259	Lomba do Pinheiro : Vila Recreio da Divisa / Nova Serra Verde / Vila Rocha	2000	0,493	6018
37	1.431.490.200.260	Agronomia : Lomba	2000	0,358	1135
38	1.431.490.200.261	Lomba do Pinheiro : Taquara / Marau / Cacimbas	2000	0,461	13593
39	1.431.490.200.262	Lomba do Pinheiro : Loteamento Quinta do Portal / Cooperativa Habitacional	2000	0,48	5065
40	1.431.490.200.263	Lomba do Pinheiro : Vila Mapa II / Elo Perdido	2000	0,377	7984
41	1.431.490.200.264	Lomba do Pinheiro ( bairro )	2000	0,401	8258
42	1.431.490.200.269	Ponta Grossa : Retiro da Ponta Grossa	2000	0,298	991
43	1.431.490.200.294	Restinga : Vale do Salso	2000	0,58	886
44	1.431.490.200.295	Restinga : Restinga Nova / Igenes Fagundes	2000	0,304	3498
45	1.431.490.200.296	Restinga : Restinga Nova ( 1ª Unidade )	2000	0,42	3800
46	1.431.490.200.297	Restinga : Restinga Nova ( 3ª Unidade ) / Distrito Industrial	2000	0,391	3909
47	1.431.490.200.298	Chapéu do Sol : Becos Pradinho / Nestlé / Sabino	2000	0,495	1446
48	1.431.490.200.299	Restinga : Restinga Velha / Castelo Pedroso	2000	0,003	208
49	1.431.490.200.301	Restinga : Restinga Velha / Elo Perdido	2000	0,519	5045
50	1.431.490.200.314	Campo Novo ( bairro )	2000	0,419	4893
51	1.431.490.200.326	Lageado : São Caetano / Jardim Europa (Extrema) / Canta Galo / Varejão / Quirinas	2000	0,414	2477
52	1.431.490.200.327	Lageado : Costa do Cerro / Beco do Parafuso	2000	0,36	1254
53	1.431.490.200.328	Lageado : Beco da Vitória	2000	0,382	1290
54	1.431.490.200.329	Lageado ( bairro)	2000	0,383	1455

Legenda	UDH	Nome da UDH	Ano	IVS	População
55	1.431.490.200.334	Belém Novo : Leblon / Copacabana / Veludo / Chavante / Amizade	2000	0,422	5750
56	1.432.300.200.007	Viamópolis	2000	0,371	6259
57	1.432.300.200.009	Florescente / São Tomé	2000	0,52	24120

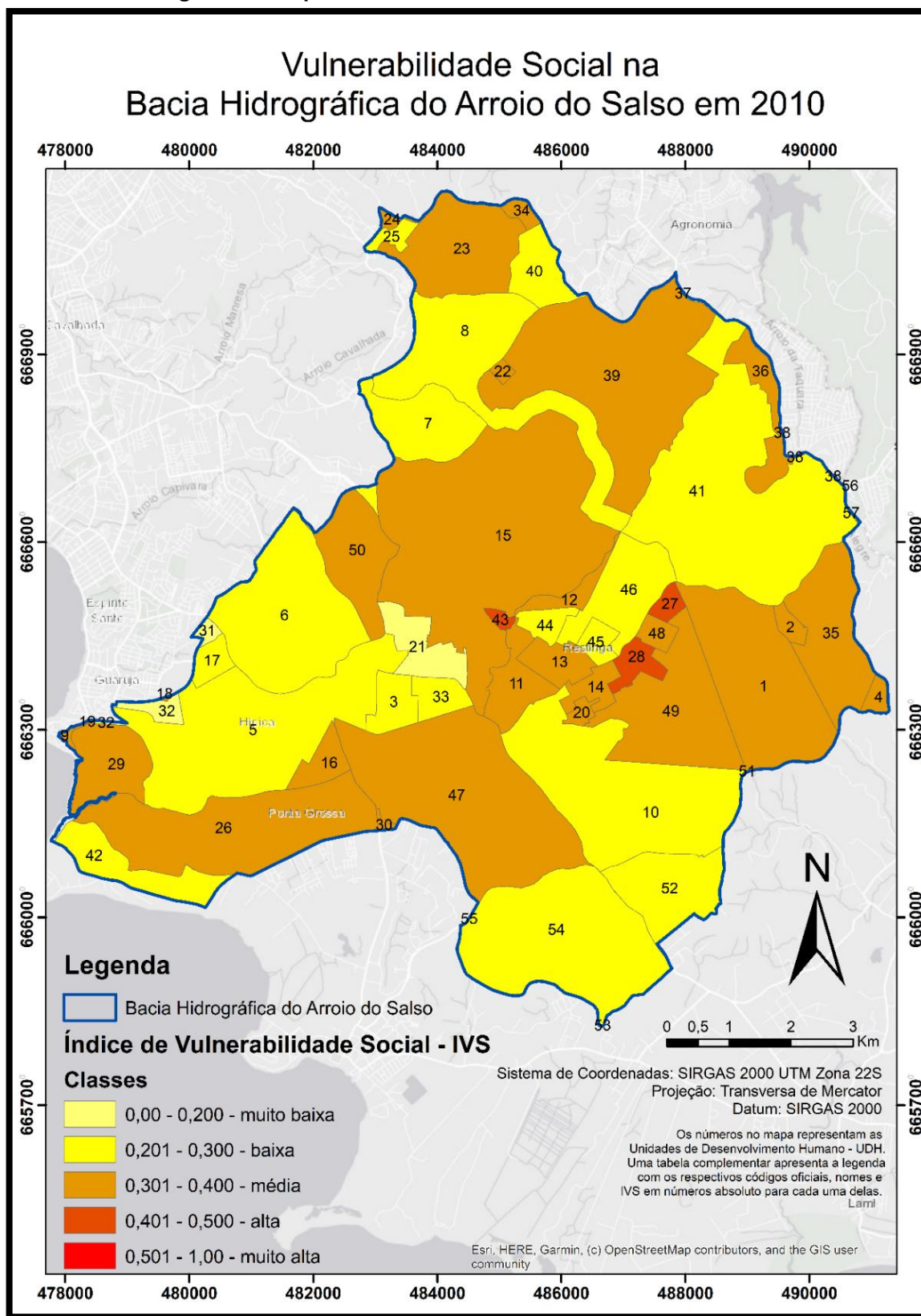
**FONTE: IPEA (2018), elaboração do autor.**

Através do mapa (Figura 71) é possível verificar que há predominância de áreas enquadradas nas classes de vulnerabilidade social média e alta. Também há uma porção territorial enquadrada na classe vulnerabilidade social muito alta. Por fim, em menor número, algumas UDHs enquadradas nas classes baixa e muito baixa. O Quadro 20 demonstra que os piores valores do IVS são da UDH – Restinga/Vale do Salso, com valor de 0,58, em segundo lugar a UDH - Restinga/Quinta Unidade, com o valor de 0,575; seguido da UDH - Chapéu do Sol/Bairro com o valor de 0,573. Já as UDH com os melhores valores de IVS são UDH - Hípica: Edgar Pires de Castro/Sérgio Stimamilo, com o valor de 0,002; em segundo lugar empatadas UDH – Restinga/Restinga Velha /Castelo Pedroso e UDH – Restinga/Pires de Castro, ambas apresentando o IVS com valor de 0,003.

Há uma concentração de UDHs com valor elevados de IVS no eixo Restinga/Lomba do Pinheiro, incluindo o bairro atual Pitinga que fica entre os dois bairros. A porção norte/nordeste também apresenta elevados valores de IVS. Já a porção mais sudoeste, em direção a foz do Arroio do Salso concentra as UDHs com valores mais baixos do IVS. Bairros como Restinga e Lomba do Pinheiro apresentam maior vulnerabilidade social do que os bairros Hípica, Guarujá e Serraria, isso também é corroborado através do que foi observado em campo entre esses bairros, a diferença do padrão residencial e de infraestrutura urbana.

A Figura 72 mostra a situação da vulnerabilidade social em 2010, que também representa a atual condição na BHAS para o cálculo do IDA.

Figura 72 - Mapa de Vulnerabilidade Social na BHAS em 2010.



FONTE: IPEA (2018), elaboração do autor.



O quadro 21 é o complemento da legenda do mapa, apresentando o código de cada UDH, nomenclatura, valor do IVS e a população em números absolutos.

**Quadro 21 - Legenda do mapa com dados das UDHs.**

Legenda	UDH	Nome da UDH	Ano	IVS	População
1	1.431.490.200.001	Restinga : Morro Sul	2010	0,302	714
2	1.431.490.200.002	Restinga : Pitinga	2010	0,37	1434
3	1.431.490.200.003	Hípica : Moradas da Hípica	2010	0,296	5365
4	1.431.490.200.004	Lomba do Pinheiro : Parque dos Eucaliptos / Vila Pitinga	2010	0,381	601
5	1.431.490.200.005	Hípica : Edgar Pires de Castro / Juca Batista / Dorival Castilho Machado	2010	0,207	9970
6	1.431.490.200.006	Ipanema : Rossatos / Biazetto	2010	0,284	5082
7	1.431.490.200.010	Belém Velho : Hospital Parque Belém	2010	0,285	1867
8	1.431.490.200.011	Belém Velho : Boqueirão / Watanabe	2010	0,23	6216
9	1.431.490.200.013	Serraria : Vila dos Sargentos	2010	0,384	3675
10	1.431.490.200.014	Restinga : Chácara do Banco	2010	0,237	6942
11	1.431.490.200.016	Restinga : Governador Walter Perachi ( 4ª Unidade )	2010	0,343	1694
12	1.431.490.200.017	Restinga : Vila Bita	2010	0,369	2636
13	1.431.490.200.018	Restinga : Restinga Nova ( 3ª Unidade ) / Nilo Wulf	2010	0,306	7792
14	1.431.490.200.019	Restinga : Restinga Velha	2010	0,317	5325
15	1.431.490.200.020	Restinga : Restinga Nova / Área Fleck / Strighini / Vale do Salso / Rincão	2010	0,308	4121
16	1.431.490.200.022	Hípica : Vila Guabiroba / Juca Batista 6005	2010	0,371	1039
17	1.431.490.200.023	Hípica : Beco do Adelar	2010	0,241	2958
18	1.431.490.200.024	Guarujá : Vila Oliveira / Beco do Picapau / Beco Guará	2010	0,373	1048
19	1.431.490.200.025	Guarujá : Vila Guarujá / Santina	2010	0,094	670
20	1.431.490.200.027	Restinga : Vila Baltimore / Costa Gama / Barro Vermelho	2010	0,318	1949
21	1.431.490.200.028	Restinga : Pires de Castro	2010	0,124	2663
22	1.431.490.200.061	Belém Velho : Condomínio Mariante	2010	0,378	2752
23	1.431.490.200.062	Cascata : São Lourenço	2010	0,378	1585
24	1.431.490.200.135	Cel Aparício Borges : Chácara do Primeiro / Pantanal / Saibreira	2010	0,37	8251
25	1.431.490.200.173	Cascata : Canudos / Batillanas	2010	0,298	8961

Legenda	UDH	Nome da UDH	Ano	IVS	População
26	1.431.490.200.182	Ponta Grossa : Vila Túnel Verde / Estrada Ponta Grossa / Jardim Santa Mônica	2010	0,306	3210
27	1.431.490.200.204	Restinga : Quinta Unidade	2010	0,405	3301
28	1.431.490.200.205	Restinga : Vila Castelo	2010	0,407	6058
29	1.431.490.200.229	Serraria ( bairro )	2010	0,383	825
30	1.431.490.200.233	Chapéu do Sol ( bairro )	2010	0,357	1007
31	1.431.490.200.248	Espírito Santo : Joaquim Felizardo	2010	0,097	629
32	1.431.490.200.249	Guarujá ( bairro )	2010	0,075	4253
33	1.431.490.200.250	Hípica : Edgar Pires de Castro / Sérgio Stimamilo	2010	0,21	905
34	1.431.490.200.257	Agronomia : Vila Biriba	2010	0,321	619
35	1.431.490.200.258	Lomba do Pinheiro : Rarefeita	2010	0,381	1049
36	1.431.490.200.259	Lomba do Pinheiro : Vila Recreio da Divisa / Nova Serra Verde / Vila Rocha	2010	0,37	6411
37	1.431.490.200.260	Agronomia : Lomba	2010	0,284	1277
38	1.431.490.200.261	Lomba do Pinheiro : Taquara / Marau / Cacimbas	2010	0,378	13507
39	1.431.490.200.262	Lomba do Pinheiro : Loteamento Quinta do Portal / Cooperativa Habitacional	2010	0,356	9005
40	1.431.490.200.263	Lomba do Pinheiro : Vila Mapa II / Elo Perdido	2010	0,237	7989
41	1.431.490.200.264	Lomba do Pinheiro ( bairro )	2010	0,281	9936
42	1.431.490.200.269	Ponta Grossa : Retiro da Ponta Grossa	2010	0,211	1003
43	1.431.490.200.294	Restinga : Vale do Salso	2010	0,407	494
44	1.431.490.200.295	Restinga : Restinga Nova / Igenes Fagundes	2010	0,235	3155
45	1.431.490.200.296	Restinga : Restinga Nova ( 1ª Unidade )	2010	0,296	3260
46	1.431.490.200.297	Restinga : Restinga Nova ( 3ª Unidade ) / Distrito Industrial	2010	0,239	3711
47	1.431.490.200.298	Chapéu do Sol : Becos Pradinho / Nestlé / Sabino	2010	0,371	1293
48	1.431.490.200.299	Restinga : Restinga Velha / Castelo Pedroso	2010	0,368	571
49	1.431.490.200.301	Restinga : Restinga Velha / Elo Perdido	2010	0,38	4909
50	1.431.490.200.314	Campo Novo ( bairro )	2010	0,307	6328
51	1.431.490.200.326	Lageado : São Caetano / Jardim Europa (Extrema) / Canta Galo / Varejão / Quirinas	2010	0,301	2388
52	1.431.490.200.327	Lageado : Costa do Cerro / Beco do Parafuso	2010	0,286	1472
53	1.431.490.200.328	Lageado : Beco da Vitória	2010	0,233	1345
54	1.431.490.200.329	Lageado ( bairro )	2010	0,299	2680

Legenda	UDH	Nome da UDH	Ano	IVS	População
55	1.431.490.200.334	Belém Novo : Leblon / Copacabana / Veludo / Chavante / Amizade	2010	0,309	6613
56	1.432.300.200.007	Viamópolis	2010	0,315	5752
57	1.432.300.200.009	Florescente / São Tomé	2010	0,362	25478

**FONTE: IPEA (2018), elaboração do autor.**

Em 2010, a BHAS não registrou nenhuma UDH com o valor de IVS enquadrado na classe de vulnerabilidade social “muito alta”, e apenas três UDHs com valores enquadrados na classe “alta”, são elas: Restinga/Vale do Salso e Restinga/Vila Castelo, ambas com valor de IVS 0,407 e Restinga/Quinta Unidade, com o valor de IVS 0,405. Também, apenas três UDHs foram classificadas em muito baixa vulnerabilidade social, sendo elas: Guarujá/bairro, com valor de IVS em 0,075; seguido da UDH - Espírito Santo/Joaquim Felizardo, com valor de IVS 0,097; e por fim, a UDH – Restinga/Pires de Castro, com valor de IVS em 0,124. Há uma predominância da classe de “média vulnerabilidade” abarcando cerca de metade da área da BHAS, em segundo lugar abrangendo praticamente a outra metade da área da BHAS, está a classe de “baixa” vulnerabilidade social.

De maneira geral, comparando 2000 com 2010, verifica-se que a vulnerabilidade social diminuiu. Em 2010, nenhuma UDH se encontrava na classe “muito alta”, também, muitas UDHs que estavam na classe “alta” em 2000, passaram para a classe “média” em 2010, assim como outras que estavam na classe “média” passaram para a classe “baixa”.

Assim, os valores de IVS por UDH apontam para diminuição da vulnerabilidade social na maioria das UDHS, constata-se que houve melhora nas condições de infraestrutura urbana, renda, escolaridade, dentre outros parâmetros que são avaliados pelos sub-índices (IVS Infraestrutura Urbana, IVS Capital Humano e IVS Renda e Trabalho), o que resultaram em melhores valores do IVS.

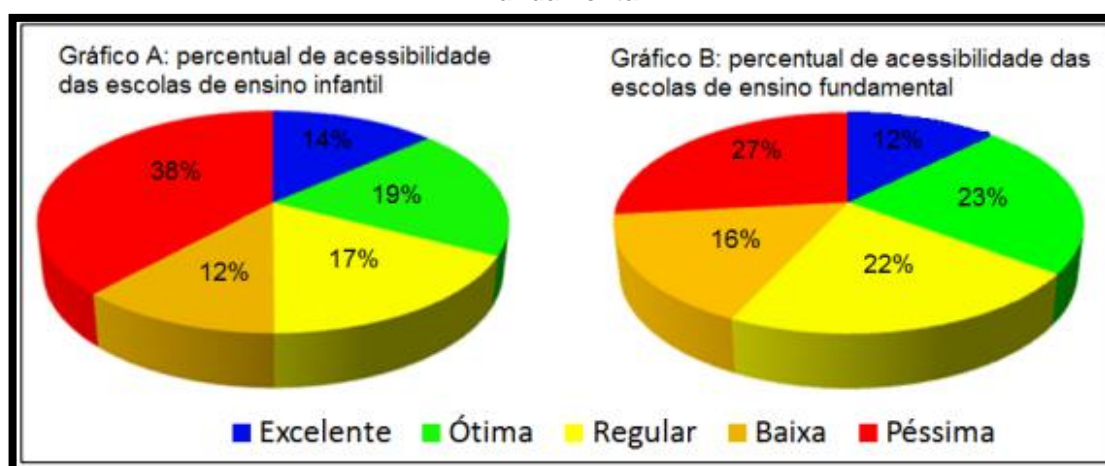
Poucas UDHs elevaram para uma classe mais vulnerável na comparação entre 2000 e 2010, merecendo destaque as: UDH – Restinga/Morro Sul; UDH - Serraria/bairro e a UDH - Restinga/Restinga Velha/Castelo Pedroso, que elevaram da classe “muito baixa” para a classe “média”. Algumas UDHs se mantiveram com valores de IVS altos (ficando na classe “alta”). Estas merecem mais atenção pelo

poder público, que deve adotar medidas que busquem a melhoria das condições de vida da população.

De maneira complementar à análise da vulnerabilidade social na BHAS, apresenta-se dados e considerações levantados por Strohaecker; Verran; Barth (2015) sobre a acessibilidade a equipamentos públicos comunitários de saúde, lazer e educação, como hospitais, praças e escolas presentes na BHAS.

Para os equipamentos públicos comunitários de educação foram analisados os estabelecimentos voltados desde a educação infantil ao ensino médio. Os gráficos da Figura 73 apresentam em percentual a classificação quanto à acessibilidade aos equipamentos públicos de ensino infantil e fundamental.

**Figura 73 - Gráficos com o percentual de acessibilidade das escolas de ensino infantil e fundamental.**

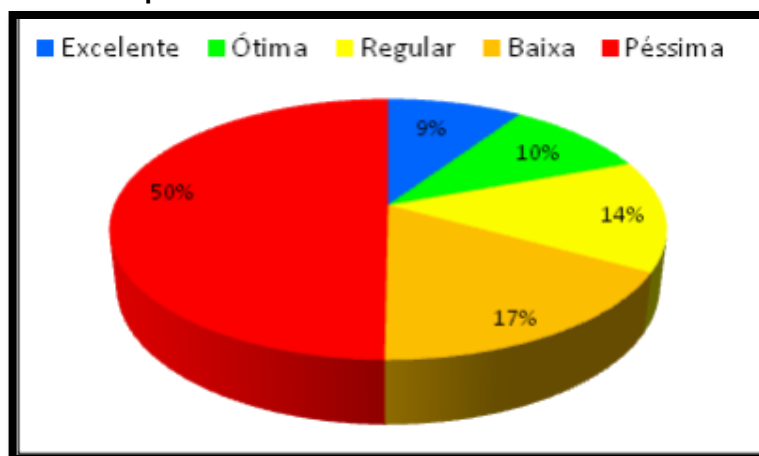


**FONTE: Strohaecker; Verran; Barth (2015).**

As autoras constataram que no ensino infantil foram registrados 30 equipamentos, dos quais 17 foram registrados na Restinga, sendo que este bairro apresenta a maior concentração espacial entre os três níveis de ensino (infantil, fundamental e médio). Assim, constata-se uma carência de equipamentos de educação do ensino infantil na divisa de Belém Velho com a Lomba do Pinheiro, na localidade de Aberta dos Morros e em diversas áreas urbanizadas de baixa concentração populacional, como nas periferias da área da bacia. Quanto ao ensino fundamental foram registrados 31 equipamentos, sendo nove deles localizados na Restinga, o que demonstra uma melhor distribuição espacial em relação ao ensino infantil. (STROHAECKER; VERRAN; BARTH, 2015).

Já o ensino médio possui quatro equipamentos com influência na área da bacia, estando três localizados no bairro Restinga. Assim, o percentual de acessibilidade péssima apresentou um valor elevado (50%) para a maioria dos bairros inseridos na bacia do Salso (*ibidem*), como é apresentado no gráfico da Figura 74.

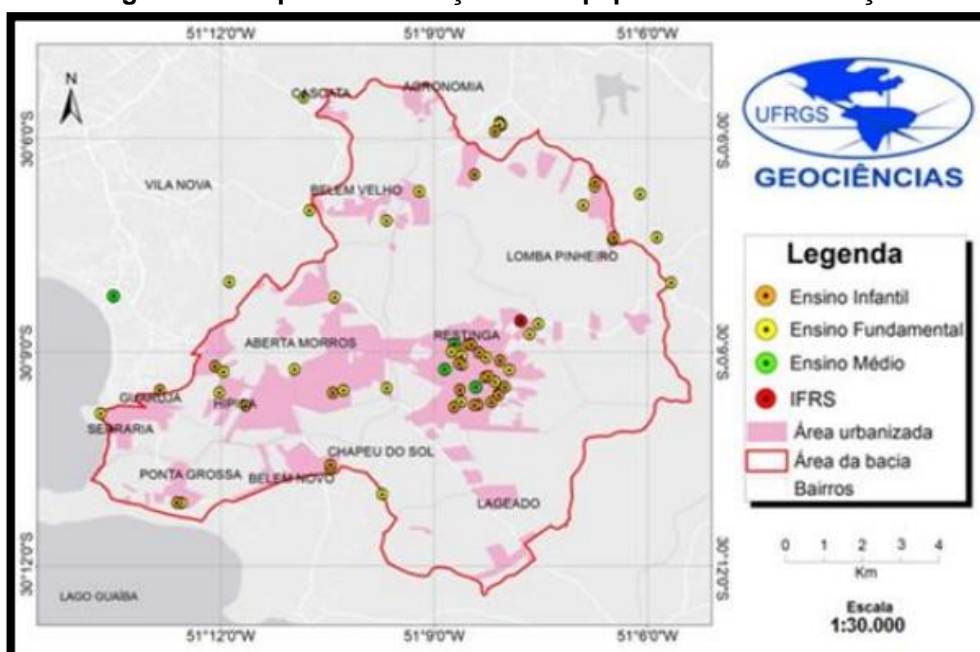
Figura 74 - Gráfico percentual de acessibilidade das escolas de ensino médio.



FONTE: Strohaecker; Verran; Barth (2015).

O mapa da Figura 75 apresenta a distribuição dos equipamentos de ensino na BHAS.

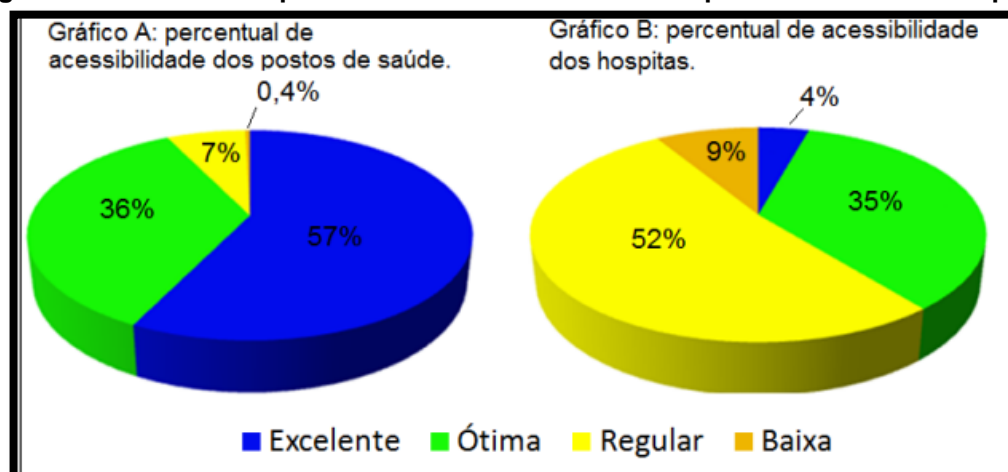
Figura 75 - Mapa de localização dos equipamentos de educação.



FONTE: Strohaecker; Verran; Barth (2015), adaptado do Censo Escolar INEP (2013).

Quanto à acessibilidade aos equipamentos de saúde, os gráficos da Figura 76 apresentam o percentual de cada classe de acessibilidade.

**Figura 76 - Gráfico com percentual de acessibilidade dos postos de saúde e hospitais.**

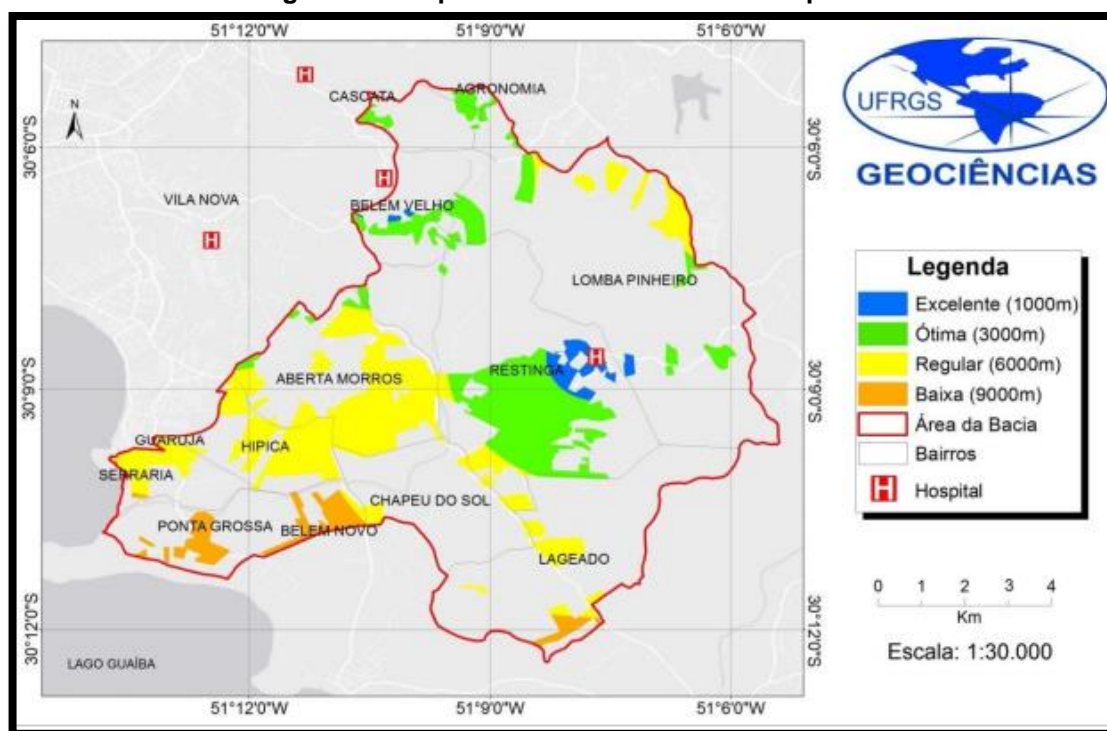


**FONTE: Strohaecker; Verran; Barth (2015).**

Observa-se que a acessibilidade aos equipamentos públicos de saúde tem bons percentuais, constatando que em grande parte a população da BHAS possui acesso a estes equipamentos próximos a suas moradias.

Quanto ao acesso a hospital, o raio de abrangência tem uma maior amplitude de distância, por isso a acessibilidade ficou relativamente classificada como regular a boa. Porém, os autores salientam que o único hospital presente na BHAS se encontra no bairro Restinga, todavia nos bairros Belém Velho, Vila Nova e Cascata, também há hospitais, que devido o raio de abrangência, proporcionam acessibilidade a população da porção destes bairros que se encontram na BHAS. Já os bairros com baixa acessibilidade são: Ponta Grossa, Serraria, Chapéu do Sol e Lageado. A Figura 77 apresenta o mapa de acessibilidade a hospitais.

Figura 77 - Mapa de acessibilidade dos hospitais.



FONTE: Strohaecker; Verran; Barth (2015), adaptado da SMS.

A análise dos autores apresentou a seguinte hipótese: “podemos considerar o raio de abrangência do Hospital da Restinga como uma provável área de expansão urbana nas próximas décadas” (STROHAECKER; VERRAN; BARTH, 2015, p.105). De fato, observou-se nos últimos anos o aumento da área urbana na área de raio de abrangência do hospital da Restinga e do eixo que liga Restinga a Lomba do Pinheiro.

Quanto ao acesso a equipamentos de lazer, a Figura 78 apresenta a distribuição espacial na BHAS, demonstrando a sua concentração na porção oeste da bacia, principalmente no bairro Restinga, percebe-se que as praças apresentam a melhor distribuição espacial, porém, este tipo de equipamento ainda é bastante escasso na área geral da BHAS, e apresenta uma elevada concentração espacial, visto que apresenta um percentual de acessibilidade péssima de 40% (*ibidem*).





Observa-se que tanto para as praças quanto os campos de esporte, a classe péssima atinge 40% e 49%, respectivamente, demonstrando a necessidade de investimentos de melhor distribuição e tais equipamentos na BHAS (*ibidem*).

Por fim, pode-se constatar que há melhora quanto ao grau de vulnerabilidade social na BHAS ao longo das últimas duas décadas. Destacam-se medidas importantes como a construção do hospital da Restinga, o aumento de praças no bairro Hípica e Aberta dos Morros, atrelado à expansão urbana de condomínios horizontais. Porém, muitas áreas que tinham carência de equipamentos públicos continuaram na mesma situação ao longo das duas décadas, como o bairro Ponta Grossa e Lomba do Pinheiro.

## 5.5 AVALIAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL URBANA NA BHAS

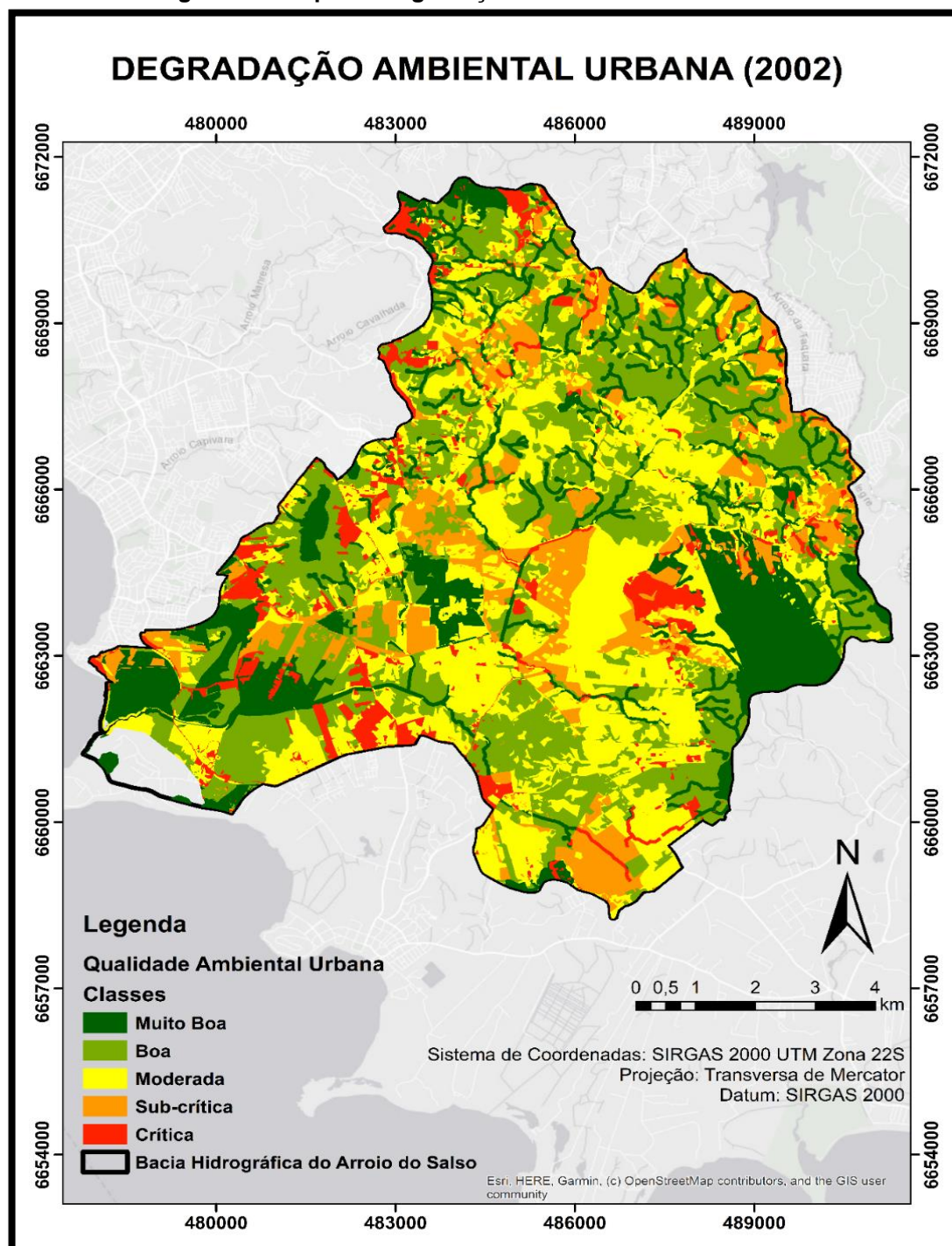
Através de álgebra de mapas foi realizado o cruzamento das variáveis que compõem o IDAU, na qual o resultado proporcionou uma síntese integrada que discrimina as áreas internas da BHAS em classes de qualidade ambiental urbana, e assim permite também analisar a distribuição espaço temporal da degradação ambiental urbana na BHAS. Além disso, de forma complementar à cartografia final, foi incluído o mapeamento avaliativo da qualidade ambiental das APPs.

Para a situação representativa do ano de 2002, os resultados brutos da aplicação do IDAU variaram entre 0,23 e 0,78. Enquanto que para a situação representativa do ano de 2022, os resultados brutos da aplicação do IDAU variaram entre 0,18 e 0,73. Conforme já mencionado no capítulo 4.2.5, a normalização (min-max) ampliou o espectro dos valores dos resultados do IDAU, na qual a melhor situação passou a ser representada pelo valor 0 e a pior pelo valor 1. As áreas que obtiveram resultados acima de 0,5 apresentam alerta para processos de degradação ambiental, sendo que as que atingiram valores acima de 0,75 representam situações mais críticas.

### 5.5.1 Situação da Degradação Ambiental Urbana em 2002.

A Figura 80 apresenta o mapa que representa a degradação ambiental urbana na BHAS em 2002.

Figura 80 - Mapa da Degradação Ambiental Urbana em 2002.



FONTE: Elaboração do autor.

A Tabela 8 apresenta a área ocupada em hectares e percentual em relação à BHAS para cada classe de qualidade ambiental em 2002.

**Tabela 8 - Classes do IDAU em relação a BHAS (2002).**

<b>Classes</b>	<b>Área em Hectares (ha)</b>	<b>Área em Percentual (%)</b>
Muito Boa	1746,64	18,65
Boa	2815,20	30,07
Moderada	2870,48	30,66
Subcrítica	1143,67	12,21
Crítica	635,61	6,79

**FONTE: Elaboração do autor.**

Analisando o mapa da Figura 80 e a Tabela 8, observa-se que houve predominância da classe “Moderada”, representando aproximadamente 30% da área total da BHAS. Em segundo lugar, um pouco abaixo, mas também com aproximadamente 30%, está a classe “Boa”. Em terceiro lugar ficou a classe “Muito Boa”, com cerca de 18%. Em quarto lugar ficou a classe “Subcrítica”, representando aproximadamente 12% da área da BHAS. E por último a classe Crítica, com cerca de 6%. A seguir analisa-se a integração das variáveis resultando nestes percentuais de cada classe.

Cabe destacar que os valores de IQA para todos os pontos amostrais referentes as campanhas de 2001/2002 ficaram na classe “ruim”, assim, a variável qualidade da água no IDAU contribuiu de certa forma constante em toda BHAS, e de forma negativa na classificação da qualidade ambiental. Isto faz com que a interação das outras variáveis do IDAU condicione de forma mais distinta os diferentes resultados encontrados na aplicação do IDAU para 2002.

Analisando a distribuição espacial das classes no mapa, pode-se observar que as manchas em vermelho representam a qualidade ambiental “crítica”, na qual, representam áreas com maior degradação ambiental urbana. Nestas áreas, as três variáveis possuem valores individuais que caracterizam degradação ambiental, como alta vulnerabilidade social, ocupação de áreas com alta suscetibilidade à inundação

ou processos erosivos e movimentos de massa e a má qualidade das águas.

Cabe destacar uma porção do bairro Restinga a noroeste do morro São Pedro que apresenta valores de vulnerabilidade social muito alta e está localizada em áreas de alta suscetibilidade aos processos erosivos de movimentos de massa, em geral, são áreas com ocupações irregulares, assim apresentam valores críticos quanto aos resultados do IDAU.

Outras manchas que merecem destaque por estarem enquadradas na classe “crítica”, são áreas de elevada altitude junto aos divisores de águas ao norte da BHAS, destaca-se uma área de mineração e núcleos urbanos dos bairros Aparício Borges, Belém Velho e Cascata.

Também, há ainda, núcleos de área urbana dos bairros Campo Novo, Vila Nova e Aberta dos Morros enquadrados na classe “crítica”, todas estas áreas mencionadas possuem “média” a “alta” vulnerabilidade social e estão em áreas de alta suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa.

Já na porção mais ao sul, havia os núcleos de ocupação urbana dos bairros Lajeado, Hípica, Ponta Grossa e Serraria, que estão enquadrados na classe “crítica”. Isto ocorre pois, além de apresentarem “média” a “alta” vulnerabilidade social, estão em áreas classificadas com “muito alta” suscetibilidade à inundação

As áreas classificadas com qualidade ambiental “subcrítica” (representadas pela cor laranja) decorrem de que uma das variáveis (UCTNS ou IVS), apresenta valor que caracteriza qualidade ambiental crítica, enquanto que a outra variável compensa com valores médios no IDAU. Assim a interação das três variáveis (UCTNS; IQA; IVS) acaba proporcionando o resultado da qualidade ambiental subcrítica. Como exemplo, pode-se citar porções de área urbana dos bairros Hípica, que apesar de apresentarem baixa vulnerabilidade social, estão em áreas de “alta” suscetibilidade à inundação. Outro exemplo, são áreas de cultivo no bairro Lajeado, que apesar de a UDH da área apresentar uma “alta” vulnerabilidade social, essas estão em áreas de “baixa” a “média” suscetibilidade à inundação.

Já as áreas classificadas com qualidade ambiental “moderada” (representadas pela cor amarelo) decorrem de dois possíveis cenários, primeiro: os valores das variáveis (UCTNS e IVS) apresentaram valores médios quanto à qualidade ambiental; segundo: alguma das variáveis apresentou valores bons, enquanto a outra apresentou

valores ruins ou médios. Assim, a interação das variáveis resultou na classe “moderada”. Como exemplo, pode-se citar áreas com vegetação exótica e secundária dentro de UDHs com “média” a “alta” vulnerabilidade social, essas são partes dos bairros Restinga, Chapéu do Sol, Belém Velho e Lomba do Pinheiro.

Já as áreas classificadas com “boa” qualidade ambiental (representadas pela cor verde claro), de maneira geral, referem-se a cobertura vegetal em UDHs classificadas de “muito baixa” à “média” vulnerabilidade social. Cabe ressaltar, que algumas áreas desta classe apresentam valores de “alta” à “muito alta” vulnerabilidade social, porém são áreas com vegetação nativa, assim, a interação do cruzamento das variáveis no IDAU acabou resultando na classificação “Boa”. Como exemplo, pode-se citar uma área com vegetação nativa no morro Quirinas no ao sul do bairro Pitinga, dentro da UDH 35 e 4, assim como numa área de vegetação nativa no morro Tapera dentro da UDH 6.

As áreas classificadas com qualidade ambiental “muito boa” (representada pela cor verde escuro), de maneira geral, referem-se à vegetação nativa em UDHs com “muita baixa” a “baixa” vulnerabilidade social, e incluem também as áreas de APP com vegetação nativa preservada. É possível observar no mapa da Figura 80, que essas áreas se concentram numa porção do morro São Pedro com vegetação preservada, dentro da UDH 1 (vide figura 71); e ainda, como porções de vegetação nativa ao sudoeste, inseridas nas UDHs 5; 21; 29; 32; e 33 (vide figura 71).

Como as APPs tiveram sua classificação da qualidade ambiental exclusivamente relacionada ao uso e cobertura da terra, todo tipo de cobertura que não fosse vegetação, ficou enquadrada na classe de qualidade ambiental “Crítica”. Já as APPs com vegetação nativa se enquadraram na classe “muito boa”. Enquanto que as APPs com vegetação exótica e secundária foram enquadradas na classe “moderada”, visto que foram desmatadas em algum momento e que estão em processo de regeneração da vegetação ou com cobertura de Exóticas.

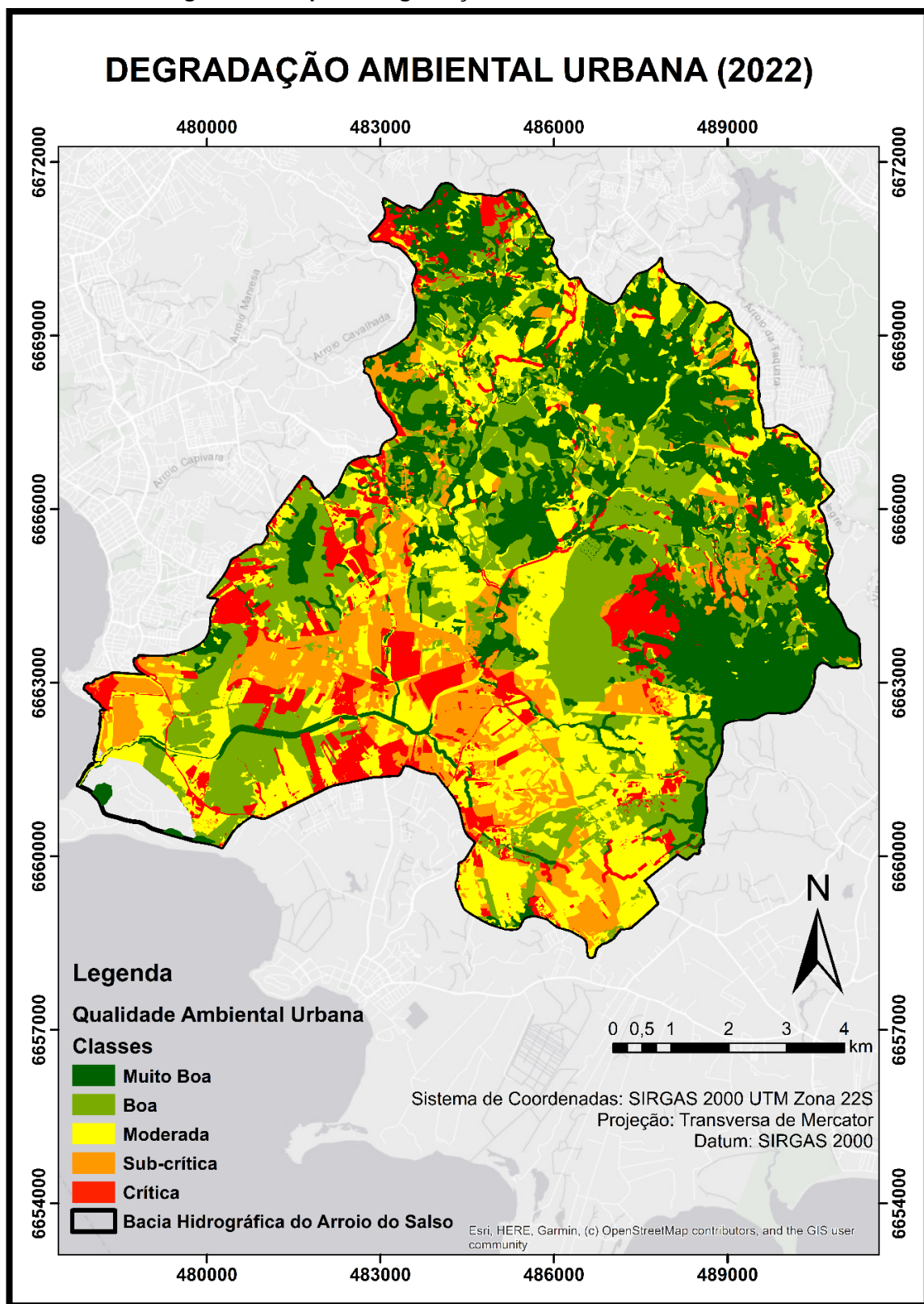
Desta forma, é possível observar no mapa da Figura 80, diversas áreas das APPs com qualidade ambiental crítica, com destaque para nascentes ocupadas que estão localizadas nos bairros Pitinga, Lomba do Pinheiro e Restinga. Ainda há algumas áreas de cultivo e ocupação urbana em nascentes de arroios afluentes, localizadas no bairro Lageado. Além disso, há outros núcleos urbanos dentro de APPs

dos cursos d'água, como no bairro Restinga, Belém Velho, Hípica, Aberta dos Morros, Lageado e Ponta Grossa. Cabe destacar ainda, uma porção da área de mineração localizada ao norte da BHAS está dentro de uma APP de topo de morro, assim como os núcleos urbanos do bairro Cascata.

#### **5.5.2 Situação da Degradação Ambiental Urbana em 2022**

A Figura 81 apresenta o mapa final que representa a degradação ambiental urbana na BHAS em 2022.

Figura 81 - Mapa da Degradação Ambiental Urbana em 2022.



FONTE: Elaboração do autor.

Já a Tabela 9, apresenta a área ocupada em hectares e percentual em relação à BHAS para cada classe de qualidade ambiental em 2022.

**Tabela 9 - Classes do IDAU em relação a BHAS (2022).**

<b>Classes</b>	<b>Área em Hectares (ha)</b>	<b>Área em Percentual (%)</b>
Muito Boa	2574,66	27,50
Boa	2259,59	24,13
Moderada	2366,57	25,28
Subcrítica	1075,04	11,48
Crítica	941,38	10,05

**FONTE: Elaboração do autor.**

Analisando o mapa da Figura 81 e a Tabela 9, observa-se que em 2022 houve predominância da classe de qualidade ambiental “muito boa”, representando aproximadamente 27% da área da BHAS. Em segundo lugar, com aproximadamente 25%, está a classe “moderada”. Em terceiro lugar ficou a classe “boa”, com cerca de 24%. Em quarto lugar está a classe “subcrítica”, representando aproximadamente 11%. E por último, a classe “crítica”, com aproximadamente 10% da área total da BHAS.

A seguir, analisa-se a integração das variáveis resultando nestes percentuais de cada classe.

As mudanças nos percentuais de cada classe observadas em 2022 em relação a 2002, decorrem das mudanças ocorridas em cada variável individual e da interação entre elas na aplicação do IDAU.

Analisando as mudanças nos valores de cada variável entre 2002 e 2022, pode-se destacar a influência no IDAU das mudanças dos valores de IQA para os pontos amostrais. Em segundo lugar, destacam-se também as mudanças nos valores de IVS das UDHs. E por último, as mudanças no uso e cobertura da terra, principalmente decorrentes da expansão urbana.

Quanto à qualidade das águas, cabe destacar alguns pontos relevantes que influenciaram nos resultados do IDAU para 2022. Primeiramente, salienta-se que para



caracterizar a qualidade das águas em 2021/2022 foram utilizados quatro pontos, portanto, dois a menos em relação a 2001/2002. O fato de não haver amostras em dois pontos amostrados (P4 e P5) por Soares (2002), fez com que P4 (2021/2022, Estação 71B do DMAE) representasse toda área de drenagem à jusante de P3. Como P4 (2021/2022) obteve uma classificação do IQA péssima, contribuiu de forma negativa no IDAU para toda área de drenagem que o mesmo representa.

Em contrapartida, com o deslocamento de P2 (2021/2022) um pouco a montante de P2 (2001/2002), resultou num valor de IQA melhor para as campanhas 2021/2022 em relação a 2001/2002. Assim, contribuiu positivamente no IDAU para a área de drenagem que o mesmo representa.

Já para P1 e P3 (2021/2022), as amostras foram nos mesmos locais de Soares (2002), porém, os resultados do IQA foram melhores nas campanhas 2021/2022, ficando na classe “boa” do IQA. Assim, também influenciaram de forma positiva na aplicação do IDAU para área de drenagem destas sub-bacias.

Este panorama exposto é importante para explicar a distribuição espacial de forma concentrada das classes de qualidade ambiental “muito boa” e “boa” a montante de P3. Enquanto a jusante de P3, há o predomínio de áreas com qualidade ambiental “moderada” e “crítica”.

Cabe destacar que a expansão urbana, ocorrida principalmente nas áreas de classificação “muito alta” a “alta” suscetibilidade à inundação, contribuiu para o aumento da classe “Crítica”.

De maneira geral, as melhorias na vulnerabilidade social das UDHS contribuíram para que alguns núcleos urbanos passassem da classe de qualidade ambiental “moderada” para “boa”, como no caso de uma porção do bairro Restinga. Ou ainda, passassem da classe “subcrítica” para “moderada”, como em outras áreas do bairro Restinga e porções dos bairros Belém Velho, Lomba do Pinheiro e Hípica.

Nota-se que a melhoria da vulnerabilidade social nas UDHS, situadas a montante de P3, associada à melhoria da qualidade das águas de P1, P2 e P3, proporcionou que praticamente todas as áreas de vegetação nativa nesta porção da BHAS, se enquadrassem na classe de qualidade ambiental “muito boa”. Enquanto as áreas de vegetação exótica e secundária desta porção da BHAS, ficaram na classe “boa”.

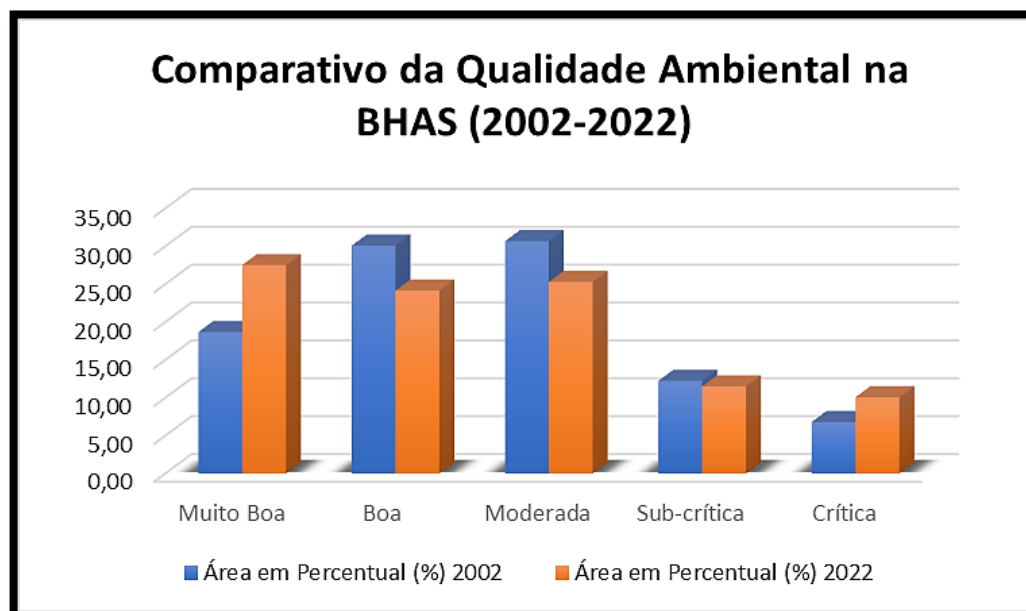
Discorrendo um pouco mais sobre as áreas classificadas como “críticas” em 2022, permanecem nesta classe alguns núcleos urbanos que estavam assim caracterizados na situação de 2002: uma porção do bairro Restinga a noroeste do morro São Pedro; uma área de mineração e núcleos urbanos dos bairros Cel. Aparício Borges, Belém Velho e Cascata; núcleos de área urbana dos bairros Campo Novo, Vila Nova e Aberta dos Morros; núcleos de ocupação urbana dos bairros Lageado, Hípica, Ponta Grossa e Serraria.

Quanto às APPs, houve pouca alteração comprando 2002 com 2022, porém houve avanços de áreas urbanas, como é possível observar em APPs nas divisas dos bairros Belém Velho e Lomba do Pinheiro e no bairro Restinga. Além disso, também foram constatadas novas áreas de cultivo no bairro Lageado, isto proporcionou o aumento de áreas de qualidade ambiental “crítica” em APPs.

Além do quadro negativo dessas expansões urbanas e de cultivo em APP, é importante salientar que as áreas ocupadas em APP, observadas em 2002, continuam a existir em 2022.

A Figura 82 apresenta um gráfico com uma síntese comparativa entre 2002 e 2022 dos percentuais de cada classe de qualidade ambiental em relação a área total da BHAS.

**Figura 82 - Gráfico Comparativo (2002 – 2022) dos Percentuais de Cada Classe Ambiental na BHAS.**



**FONTE: Elaboração do autor.**

Através do gráfico da Figura 82, é possível observar que as classes “muito boa” e “crítica” obtiveram aumentos no seu percentual representativo em relação à área total da BHAS. Constata-se que o aumento da classe “muito boa” está associado a melhoria da qualidade das águas em P1, P2 e P3 (2021/2022) e ao fato de as áreas de drenagem destas sub-bacias encontrarem-se com predomínio de cobertura vegetal nativa. Em contrapartida, o aumento do percentual da classe “crítica” está associado à péssima qualidade da água constada em P4 (2021/2022) e à expansão urbana observada em áreas de maior suscetibilidade à inundação e aos processos erosivos e movimentos de massa.

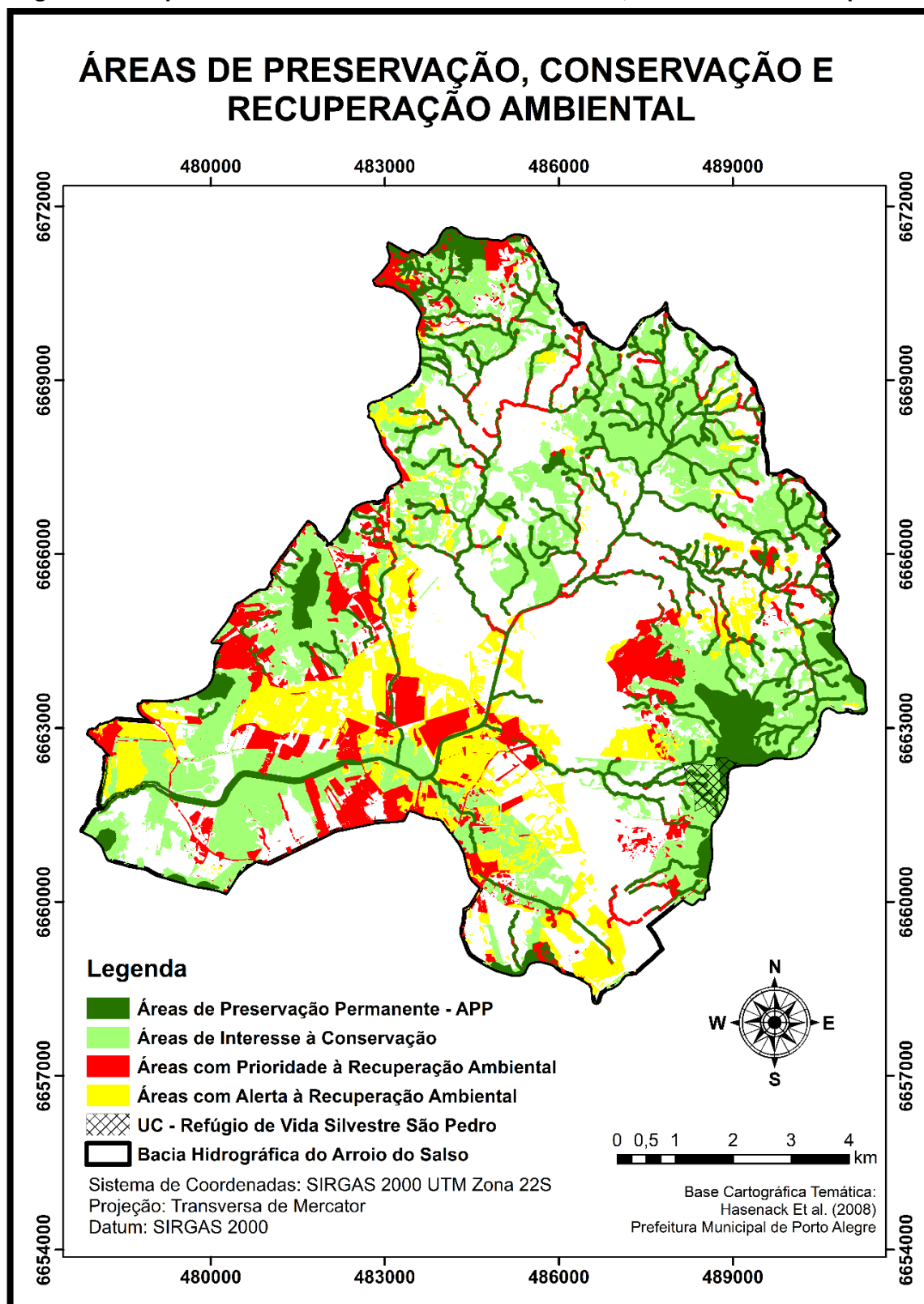
Assim, de maneira sintética, considera-se que a BHAS apresenta os seguintes cenários diante do quadro comparativo entre 2002 e 2022:

- A redução da degradação ambiental urbana em áreas a montante de P3, com a redução da vulnerabilidade social nas UDHS e melhoria da qualidade da água, assim como, a preservação e conservação de áreas de vegetação nativa.
- O agravamento da degradação ambiental urbana a jusante de P3, decorrente da expansão urbana em áreas inadequadas e pela constatação da piora da qualidade da água em P4, próximo a foz do Arroio do Salso.
- Quanto às APPs, constatou-se que, de maneira geral, houve piora no quadro de degradação ambiental urbana.

## 5.6 ÁREAS A SEREM PRESERVADAS, CONSERVADAS E RECUPERADAS

Com base no mapa de degradação ambiental urbana para 2022, realizou-se uma cartografia sintetizando as áreas que devem ser preservadas, de interesse à conservação, e as áreas que necessitam medidas de recuperação ambiental. A Figura 83 apresenta o mapa das áreas a serem preservadas, conservadas e recuperadas.

Figura 83 – Mapa das Áreas da BHAS a Serem Preservadas, Conservadas e Recuperadas.



FONTE: Elaboração do autor.

### 5.6.1 Área a serem preservadas

As APPs como já discutido anteriormente, são áreas de preservação, que não devem ter nenhuma interferência antrópica direta, elas devem possuir a vegetação preservada. Neste sentido, a situação ideal é ter vegetação nativa preservada em toda APP. Porém na realidade isso dificilmente ocorre, devido as intervenções antrópicas que muitas vezes se estabeleceram até mesmo antes de haver as diretrizes legais que estabelecem as APPs.

Todavia diante da época em que vivemos, com todo conhecimento científico e reconhecimento da importância da proteção ambiental em APP, inclusive com aparato legal existente, é imprescindível que a vegetação existente nelas seja preservada ao máximo<sup>10</sup>. Não só a vegetação nativa deve ser preservada, mas também a vegetação secundária em regeneração. Além disso, deve-se buscar ao máximo o processo de restauração ou ao menos de recuperação da vegetação nelas. Como é possível ver no mapa da Figura 83, há o predomínio de cobertura vegetal nas APPs da BHAS, sendo principalmente composta de vegetação nativa.

### 5.6.2 Áreas a serem conservadas

Toda área de vegetação nativa merece atenção quanto à conservação, inclusive há restrições legais referentes à remoção de certas espécies. Porém, as áreas de Interesse à conservação ambiental observadas no mapa, são basicamente áreas de vegetação nativa em bom estado de conservação ou até mesmos preservadas. Não abrangem toda a vegetação nativa da BHAS, e sim áreas que concentram núcleos importantes, dos quais possuem aspectos que proporcionam

---

<sup>10</sup> Apesar da nova Lei 14.285 de 2021 (que dispõe sobre as APPs no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas) trazer certa flexibilização quanto a determinação da faixa a ser preservada, a presente pesquisa reforça a importância da preservação da vegetação no entorno dos cursos d'água, seguindo as premissas embasadas na discussão apresentada no capítulo 3. Além disso, o presente trabalho faz a ressalva da dificuldade de reverter áreas urbanas já consolidadas em APP (foco da nova lei), todavia, reforça a importância de impedir novas ocupações em APP que se encontram preservadas ou sem ocupação por edificações ou atividades agrícolas. Mesmo diante do contexto do novo marco legal, julga-se que medidas para desocupação de APPs, principalmente em áreas de risco e nascentes, são fundamentais para recuperação da qualidade ambiental urbana.

manutenção da qualidade ambiental e equilíbrio ecossistêmico. Pode-se discriminar tais aspectos como a vegetação no entorno das APPs de cursos d'água ou APPs de topo de morro; núcleos de vegetação nativa mais densos em torno de nascentes do Arroio do Salso e seus afluentes; assim como núcleos de vegetação nativa em áreas do curso inferior do Arroio do Salso, na planície fluvial, em locais com alta suscetibilidade à inundação, nestas áreas, estes núcleos de vegetação nativa ajudam a conter os processos envolvidos em eventos de inundação. E por fim, pode-se observar que a delimitação das áreas de interesse à conservação ambiental, procuraram manter corredores ecológicos de vegetação nativa na BHAS.

Cabe destacar a existência da Unidade de Conservação (UC) de proteção integral “Refúgio da Vida Silvestre São Pedro, criado por meio do Decreto Municipal 18.818, de 16 de outubro de 2014. Sendo um local habitat de espécies de animais raras e ameaçadas de extinção, como o mão-pelada, o graxaim e o bugio-ruivo, e estando inserido na UC o maior fragmento de Mata Atlântica de Porto Alegre, com vegetação florestal e campestre, a UC têm como objetivos:

assegurar a conservação da biodiversidade local, garantindo condições para a existência da fauna de mamíferos, especialmente do bugio-ruivo (*Alouatta guariba clamitan*), espécie ameaçada de extinção no Estado do Rio Grande do Sul, segundo o Decreto Estadual nº 41.672, de 11 junho de 2002; proteger integralmente e regenerar os ecossistemas naturais da mata atlântica e dos campos nativos por abrigarem espécies raras e endêmicas; manter e recuperar nascentes de cursos d'água; incentivar o fortalecimento da cultura indígena e conseqüentemente possibilitar à sociedade em geral aprender o espírito indígena de relacionar-se com a natureza e com o meio ambiente; desenvolver atividades de educação e interpretação ambiental, recreação em contato com a natureza e turismo ecológico; e promover o fortalecimento de ações que oportunizem uma relação sustentável entre a cultura indígena, meio ambiente e sociedade. (Porto Alegre, 2022).

O parágrafo citado acima apresenta um apanhado de considerações que sintetizam e fundamentam as considerações desta pesquisa quanto a importância das áreas a serem preservadas, conservadas e recuperadas.

### 5.6.3 Áreas de Recuperação Ambiental

Para determinar as áreas que necessitam recuperação ambiental, separou-se em duas classes: as com prioridade à recuperação ambiental (que condizem com as

áreas classificadas com qualidade ambiental “crítica”) e as com alerta à recuperação ambiental (que condizem as áreas classificadas com qualidade ambiental “subcrítica”). A seguir descreve-se as situações e medidas diferenciadas conforme os problemas de degradação observados.

Prioritariamente deve-se visar a desocupação de APP dos cursos d’água e topo de morro, principalmente em áreas que ocorrem nascentes. Deve se haver a prioridade máxima de recuperação ambiental nestas APPs, devendo ocorrer a remoção de ocupações urbanas ou cultivos e a regeneração da cobertura vegetal. Cabe também destacar a área de mineração ao norte da BHAS, que está em APP de topo de morro, deve haver medidas de recuperação ambiental desta área, promovendo a regeneração da vegetação.

Também é prioritária a recuperação ambiental em áreas com “média” a “alta” vulnerabilidade social e que sejam ocupações irregulares, localizadas em áreas de suscetibilidade à inundação ou aos processos erosivos e movimento de massa. Visto sua maior vulnerabilidade social, estão mais propensas a serem impactadas com os riscos associados a tais suscetibilidades. Além disso são áreas em que as comunidades dos moradores costumam sofrer com a carência de infraestrutura urbana, saneamento básico, educação e acesso a boas condições de vida (como trabalho e renda). Este tipo de situação muitas vezes acaba por proporcionar ou intensificar os processos de degradação como a poluição hídrica erosão e assoreamento. Como exemplo, cita-se uma porção do bairro Restinga a noroeste do morro São Pedro, que apresentam os maiores valores de IVS e de forma geral são moradias com condições precárias e que carecem de saneamento básico. Outros núcleos urbanos em tais condições são porções do bairro Cascata, Hípica, Ponta Grossa e Serraria.

No bairro Ponta Grossa e Serraria há muitas áreas de ocupação urbana que sofrem recorrentemente com eventos de inundação. Diante de tal panorama, é necessário que haja políticas públicas para melhoria da infraestrutura urbana para conter ou amenizar eventos de inundação nos locais de urbanização consolidada (bairros Ponta Grossa, Serraria, Guarujá). Também proporcionar saneamento básico universal em tais locais, assim como políticas públicas voltadas a melhoria da condição social e promoção da conscientização ambiental da população.

Com menor prioridade, mas apresentando qualidade ambiental “subcrítica”, estão as áreas com alerta à recuperação ambiental (vide Figura 83). Apesar de não serem as prioritárias à recuperação ambiental, cabe investigar as condições da infraestrutura urbana, principalmente quanto à drenagem das águas pluviais e o destino adequado dos esgotos oriundos da ocupação urbana.

Mesmo que todas estas considerações feitas estarem condizentes com o que é apresentado como estratégia de qualificação ambiental pelo PDDUA (2010), na prática pouco se observou de medidas e cumprimento de tais diretrizes do plano, principalmente em relação as APPs. Porém cabe destacar que uma medida positiva foi a criação da UC – Refúgio da Vida Silvestre São Pedro.

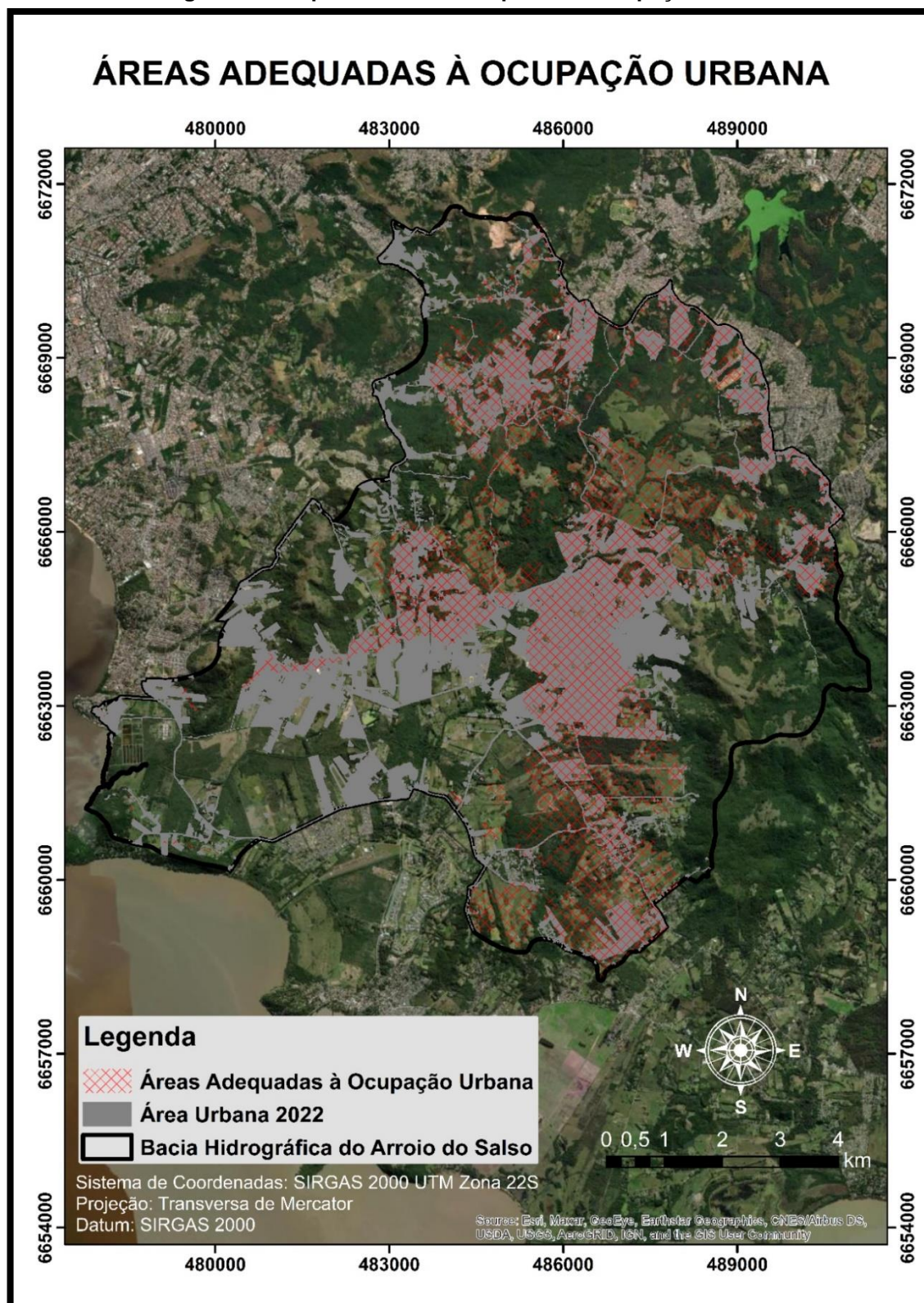
## 5.7 ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA EXPANSÃO URBANA

Para determinar as áreas mais adequadas à ocupação urbana, considerou-se apenas as áreas enquadradas com baixa à média suscetibilidade à inundação e aos processos erosivos e movimentos de massa. Além disso, subtraiu-se as APPs e as áreas de interesse à conservação, assim resultando na área adequada à ocupação urbana e conseqüentemente à expansão urbana.

A Figura 84 apresenta o mapa com a área mais adequada à ocupação urbana, assim como a área atual urbanizada.



Figura 84 - Mapa das Áreas Adequadas à Ocupação Urbana.



FONTE: Elaboração do autor.

No mapa é possível observar que grande parte da área considerada adequada à ocupação urbana encontra-se já urbanizada, porém ainda há grandes espaços ainda não urbanizados. Portanto, são estes espaços que devem ser priorizados para expansão urbana. Visto que o processo de expansão urbana é uma tendência que vem se concretizando na BHAS, torna-se de suma importância planejar o espaço urbano, direcionando e permitindo a expansão urbana de forma ordenada em locais adequados, recuperando o ambiente onde é necessário, assim como manter a preservação e conservação das áreas apontadas para tal fim. E assim, proporcionar uma boa qualidade ambiental urbana, reduzindo processos de degradação e visando o equilíbrio ecossistêmico e a sustentabilidade ao ambiente urbano.

Discorrendo um pouco sobre a expansão urbana observada nas últimas duas décadas e a conformidade com as diretrizes do PDDUA (2010), constata-se que as novas áreas urbanizadas se situam em sua maior parte na MZ 7, caracterizada por uma AOI, ou seja, são áreas prioritárias para a expansão urbana. Observa-se, também, que houve uma considerável expansão urbana nas demais macrozonas (MZ 8, MZ 10 e MZ 5), áreas consideradas como AOR, com menor densidade urbana.

A MZ 6 é classificada pelo PDDUA como uma área com potencialidade de expansão urbana, podendo vir a tornar-se uma AOI:

Macrozona 6<sup>11</sup>– Eixo Lomba do Pinheiro –Restinga: estrutura-se ao longo das Estradas João de Oliveira Remião e João Antônio da Silveira, com potencial para ocupação residencial miscigenada, em especial para projetos de habitação de caráter social, apresentando áreas com potencial de ocupação intensiva, situadas na Área de Ocupação Rarefeita; (PDDUA, 2010).

Por tanto a expansão urbana, que de fato ocorreu nesta macrozona condiz com as estratégias de produção da cidade para MZ10, e está em uma área que esta pesquisa considera adequada à expansão urbana. Cabe salientar que houve aumento de ocupações irregulares com moradias improvisadas e inadequadas, sem saneamento básico adequado e que muitas vezes acabam por ser instaladas em áreas inadequadas, como no sopé do morro São Pedro.

---

<sup>11</sup> Conforme o Guia do PDDUA (2019), a Macrozna 6 atualmente passou a ser chamada de Macrozona 10.

Já a MZ 5, nomeada Cidade Jardim, tem sua configuração de baixa densidade populacional, com predomínio residencial. A sua expansão urbana se deu principalmente por condomínios horizontais, cabe ressaltar que houve expansão urbana acentuada no bairro Hípica e em áreas da MZ5, em muitos locais não são as áreas mais adequadas devido à suscetibilidade à inundação e as características de má drenagem dos solos.

Este panorama formou uma espécie de conurbação entre a MZ5 e MZ7. Com isso atualmente pode-se dizer que esta macrozona tende a se tornar uma AOI ao invés de AOR, ao menos para uma porção que se situa no entorno do eixo viário que liga MZ5 a MZ7.

A MZ8 representa a maior parte do território da BHAS, houve um aumento da área urbanizada nela, porém de forma dispersa, não concentrada, o que é um fator condizente com as diretrizes e estratégias de ocupação desta Macrozona. Uma situação é conflitante com as estratégias de qualificação ambiental para MZ8, deve-se ao fato de que ocorreu expansão urbana nesta macrozona em APP, agravando a solução dos conflitos de degradação ambiental, em especial dos cursos d'água da BHAS. Essa situação está totalmente em desconformidade com as diretrizes estratégicas da MZ8, de proteção ambiental.

Como últimas considerações, cabe ressaltar que uma vez consolidado um núcleo urbano, com comércio, vias e um número considerável de residências de forma mais concentrada, fica muito mais difícil de o poder público intervir e realocar a população, caso a ocupação seja em áreas inapropriadas. Assim, o ordenamento territorial deve prever, fiscalizar e agir rapidamente frente a ocupações de áreas indevidas, como os topos de morros e APP dos cursos d'água, ou em áreas que apresentam altas suscetibilidades à inundação, erosão e movimentos de massa.

Também é necessário que o poder público seja exigente quanto a aprovação de projetos de condomínios, tanto para evitar áreas inadequadas, como também exigir práticas adequadas de construção civil e a mobilização conjunta do setor privado e público para garantir saneamento básico adequado aos novos condomínios. Desta forma, irá se garantir uma expansão urbana adequada e uma boa qualidade ambiental urbana.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desta pesquisa foi possível avaliar a evolução da qualidade e da degradação ambiental urbana da bacia hidrográfica do Arroio do Salso entre 2002 e 2022.

Verificou-se que as principais mudanças no uso e cobertura da terra ocorreram devido o processo de expansão urbana ocorrido na bacia hidrográfica do Arroio do Salso (BHAS). Houve um aumento de aproximadamente 9% da área urbana em relação à área total da BHAS, na comparação entre 2003 e 2022, em detrimento da supressão da cobertura vegetal. Mesmo assim, a bacia possui 67% da sua área ainda com cobertura vegetal, sendo que 44% corresponde à vegetação nativa.

Grande parcela do incremento da área urbana ocorreu em áreas classificadas com “alta” e “muita alta” suscetibilidade à inundação, com destaque para o crescimento urbano ocorrido no bairro Hípica. Também houve aumento da mancha urbana em áreas classificadas com “alta” suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa, com destaque para novas áreas urbanas situadas no bairro Pitinga. Ainda, observou-se aumento de áreas urbanas em APP, principalmente na divisa dos bairros Belém Velho e Lomba do Pinheiro. Diante deste contexto, se conclui que grande parte da expansão urbana ocorrida entre 2003 e 2022 aconteceu em áreas inapropriadas à ocupação urbana.

Em relação à qualidade da água, os resultados do IQA e das medidas analíticas dos parâmetros mostraram que em 2001/2002 a qualidade das águas foi classificada como “ruim” para todos os pontos monitorados, já em 2021/2022 P1, P2 e P3 obtiveram classificação “boa”, e P4 (2021/2022), ficou com classificação “péssima

P2 (2021/2022) obteve os melhores resultados de IQA em comparação com todos os pontos amostrados, devido sua área de drenagem não abarcar nenhum núcleo urbano e ser basicamente coberta por vegetação nativa.

Observou-se que P1 e P3 obtiveram resultados de IQA melhores nas campanhas de 2021/2022 em relação à 2001/2002, mas ficaram no limiar da classe boa e regular do IQA. Os valores das concentrações de cada parâmetro individual, nestes pontos, apresentaram melhora, principalmente em relação aos valores de Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Fósforo Total.

Quanto a P4 (Estação 71B do DMAE) observou-se uma piora dos valores de IQA na comparação entre 2021/2022 e 2001/2002, e também na análise das concentrações medidas dos parâmetros individuais. Constatou-se que a piora da qualidade da água se deve a baixíssima concentração de OD, e aos elevados valores de Coliformes Fecais/E. Coli; DBO; Fósforo Total e Nitrogênio Total. Os resultados analisados quanto a série histórica destes parâmetros evidenciam a poluição decorrente de esgoto urbano. Acredita-se que isto decorre devido à expansão urbana ocorrida no período da pesquisa, com a ampliação das áreas urbanas onde os efluentes majoritariamente domésticos são lançados sem nenhum tipo de tratamento na rede hidrográfica.

Quanto a vulnerabilidade social, de maneira geral, constatou-se que houve uma melhora nos valores de IVS para a maioria das UDHS, no período 2000-2010. Enquanto em 2000 havia um predomínio de UDHS classificadas em vulnerabilidade social “média” e “alta”, em 2010 há predominância de UDHS enquadradas na classe “média” e “baixa”. Porém, é importante salientar que algumas UDHS merecem maior atenção do poder público para que adote medidas e políticas adequadas para melhorar as condições socioeconômicas da população.

A aplicação do IDAU e a avaliação da qualidade ambiental das APPs permitiu a elaboração de cartografias comparativas do quadro de qualidade e degradação ambiental urbana da BHAS entre os anos de 2002 e 2022. Sinteticamente, evidenciou o aumento de áreas classificadas com qualidade ambiental “muito boa” e “crítica”. Ou seja, nota-se que houve melhorias da qualidade ambiental em algumas porções da BHAS, porém, constata-se piora da degradação ambiental urbana em outras porções. O aumento das áreas com classificação “muito boa” deve-se principalmente aos melhores valores de IQA em P1, P2 e P3 para a situação em 2022. Também decorre da melhoria dos valores de IVS das UDHS localizadas a montante de P3, além disso, de maneira geral, são áreas de vegetação nativa.

Já o aumento das áreas com classificação “crítica” deve-se principalmente à expansão urbana em áreas de “alta” ou “muito alta” suscetibilidade à inundação, e devido a péssima qualidade da água em P4. Cabe salientar que houve aumento de ocupação urbana e cultivo em APPs. Alguns núcleos urbanos, que em 2002 estavam enquadrados na classe “crítica”, permaneceram nesta classe em 2022. O mesmo

ocorre com praticamente todas as áreas de APPs que estavam nesta classe em 2002 e permaneceram nela em 2022.

De modo geral, para a situação de 2022, observa-se uma melhor qualidade ambiental nas áreas do curso superior do Arroio do Salso, com grandes porções de vegetação nativa preservada e melhor qualidade das águas. Em contrapartida, constata-se que as áreas do curso médio e inferior apresentam pior qualidade ambiental, devido a piora da qualidade das águas em direção a jusante e devido a ocupação urbana em áreas com maior suscetibilidade à inundação.

É importante estimular a recuperação ambiental de núcleos urbanos com vulnerabilidade social elevada e os que estão em áreas que apresentam riscos à inundação e movimento de massa. Propõe-se a conservação de núcleos de vegetação nativa mais densos e contínuos, principalmente APPs, de forma que configurem corredores ecológicos. Quanto à expansão urbana, ela deve ocorrer em áreas adequadas, em áreas classificadas com “baixa” e “média” suscetibilidade à inundação e “média” suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa.

Diante do quadro comparativo dos resultados pode-se corroborar ou refutar as hipóteses levantadas: primeiramente confirmou-se que a principal causa da poluição hídrica é oriunda do despejo de esgoto doméstico. Constatou-se que há núcleos de ocupação urbana que sofrem recorrentemente com eventos de inundação. Além disso, existem outros núcleos urbanos em locais que apresentam riscos devido a suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa. Sendo assim, a ocupação desses locais é inapropriada, pois os mesmos apresentam potencialidade de degradação ambiental urbana. Também foi constatado a ocorrência de assoreamentos em trechos do Arroio do Salso, que conforme já discutido anteriormente, repercute no quadro de degradação ambiental e hídrica. Quanto a última hipótese, os resultados são corroborados em parte, apesar da supressão da cobertura vegetal e da condição de saneamento agravar o quadro de degradação entre 2002 e 2022 para algumas áreas. Foi constatado que outras áreas obtiveram melhorias da qualidade ambiental, inclusive com regeneração da vegetação e também melhorias da qualidade das águas em cursos d’água no setor superior da BHAS.

Em relação ao IDAU aplicado na BHAS, pode ser considerado como um método diferenciado e inovador para análise das condições ambientais urbanas.

Como se trata de uma proposta metodológica nova, a sua aplicação revelou a existência de certas complexidades, algumas limitações e possibilidades de aprimoramentos. As principais limitações encontradas na aplicação do índice foram: diferença de escala temporal dos dados das variáveis que compõem o IDAU; lacunas de dados dos parâmetros de qualidade da água, assim como ausência de uma rede de monitoramento com mais pontos amostrais e maior quantidade de amostras; e ausência de dados demográficos e socioeconômicos (IVS) atualizados. O ideal seria possuir todos os dados na mesma data de levantamento, porém em muitos casos devido a origem secundária deles e/ou o custo e trabalho elevado para a sua produção, torna-se difícil muitas vezes produzi-los todos na mesma data. Mesmo assim, realizaram-se procedimentos operacionais e adaptações metodológicas que permitiram viabilizar a aplicação do IDAU.

Como um método a ser testado e aprimorado, recomenda-se a sua aplicação em outras bacias hidrográficas do meio urbano, com características similares. Há outras variáveis que podem ser incorporadas posteriormente, como: poluição do ar, situação da produção, coleta e destinação dos resíduos sólidos, acessibilidade à equipamentos de educação, saúde e lazer, segurança pública, qualidade das águas subterrâneas e risco hidrogeológico, contaminação dos solos.

Por fim, apontam-se sugestões de estudos que possam proporcionar aprimoramento do IDAU e avaliar as condições ambientais na BHAS:

- Monitoramento contínuo da qualidade da água em pontos estratégicos, abrangendo curso superior, médio e inferior do Arroio do Salso.
- Correlação estatística entre os tipos de uso e cobertura da terra com parâmetros avaliativos de qualidade das águas.
- Aplicação de Cokrigagem entre uso e cobertura da terra e dados de qualidade da água em rede de pontos amostrais.
- Aplicação do IDAU com utilização de IQA-CCME, abrangendo mais parâmetros avaliativos da qualidade das águas.

- Estudos sobre o impacto da impermeabilização do solo decorrente de áreas urbanizadas sobre os picos de vazão, cheias e eventos de inundação.
- Estudos sobre as mudanças climáticas e impactos decorrentes de eventos extremos de precipitação e sua relação com desastres naturais em Porto Alegre.
- Estudos avançados sobre a vulnerabilidade social, abrangendo segurança pública e acessibilidade aos equipamentos públicos e de mobilidade urbana.
- Aplicação de método Delphi para determinar pesos de valoração quanto a degradação ambiental de cada variável.
- Aplicação do método AHP para o IDAU, proporcionando pesos diferenciados para as variáveis.

Diante do contexto de expansão urbana observado na BHAS, e das condições ambientais urbanas constatadas, e ainda da previsão de revisão do Plano Diretor do município, salienta-se a importância desta pesquisa para a sociedade porto alegre. É fundamental que o poder público consulte e considere os estudos acadêmicos e científicos produzidos em relação as condições ambientais urbanas da cidade, visando um planejamento e gestão urbano-ambiental de fato sustentável, e concretizando no futuro, a realidade almejada.



## REFERÊNCIAS

ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de Filosofia**. 5. Ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

ACSELRAD, Henri. **Sentidos da sustentabilidade urbana**. In: ACSELRAD, Henri (Org.). A duração das cidades: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas. 2 ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2009, p. 43-70.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Portal da Qualidade das Águas. **Enquadramento - bases conceituais** [recurso online]. Brasília: ANA. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/default.aspx>. Acesso em: 03 set. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Brandão, C. J. [et al.]. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. Disponível em: [GuiaNacionalDeColeta.pdf](#). Acesso em: 20 set. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Portal da Qualidade das Águas. **Indicadores de qualidade – índice de qualidade das águas** [recurso online]. Disponível em: [Portal da Qualidade das Águas \(ana.gov.br\)](#). Acesso em: 03 set. 2021.

ALMEIDA, M.P. de; STROHAECKER, T.M. Análise das tendências de ordenamento territorial da Bacia do Salso, Porto Alegre, RS. In: Salão de Iniciação Científica da UFRGS. 23, 2011. Porto Alegre, Anais. Porto Alegre: Propeq/UFRGS, 2011. Disponível em: [AMPLIAÇÃO DO PROGRAMA DE SANEAMENTO BÁSICO, NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, QUANTO AO ESGOTO \(ufrgs.br\)](#). Acessado em: 03 abr. 2023.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. cap. 3, p. 39-52. Disponível em: [13427 capa.indd \(infraestruturameioambiente.sp.gov.br\)](#). Acesso em 17 jul. 2023.

ANBUMOZHI, V.; RADHAKRISHNAN, J.; YAMAJI, E. Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. **Elsevier Ecological Engineering**, v.24, p.517- 523, 2005. Disponível em: [Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations - ScienceDirect](#). Acesso em: 03 abr. 2023.

BACKES, M. T. S.; BACKES D. S.; MEIRELLES, B. H. S.; ERDMANN A. L. Noções de natureza e derivações para a saúde: uma incursão na literatura – **Physis: Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, 20 [ 3 ]: 729-751. 2010. Disponível em [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103\\_73312010000300003](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103_73312010000300003). Acesso em: 03 set. 2021.

BASSO, L. A.; SILVA, M. W. A qualidade da água na bacia hidrográfica do Arroio do Salso e sua relação com a pluviometria – **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 40, n. 2, 2013. Disponível em [A qualidade da água na bacia hidrográfica do arroio do Salso e sua relação com a pluviometria | Boletim Gaúcho de Geografia \(ufrgs.br\)](#). Acesso em: 25 jan. 2021.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis (SC): UFSC, 1994.

BERNARDI, R. Mais de uma semana após temporal, bairro Guarujá segue com alagamentos: Enchente cobriu avenida às margens do Guaíba e invadiu residências na região. **GZH Porto Alegre/Agência RBS**. Porto Alegre/RS, 23 out. 2015. Disponível em: [Mais de uma semana após temporal, bairro Guarujá segue com alagamentos | GZH \(clicrbs.com.br\)](#). Acessado em 26 jul. 2023.

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na RMSP**. 1997. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 1997. Disponível em [Tese.PDF \(usp.br\)](#). Acesso em: 03 abr. 2023.

BONOTTO, J. Foto da Pedreira, Área de Mineração (Figura 32). Disponível em: <https://tritrilhas.com/tag/trilha-da-pedreira-porto-alegre/>. Acesso em: 03 abr. 2023.

BRAGA, B.; TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; CIMINELLI, V. S. T. (org.). **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**: 4. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2015.

BRANDÃO, M. H. M. **Índice de degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio do Peixe-PB**. 2005. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6460>. Acesso em: 20/ set. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde).

BRASIL, 1986, Resolução 001/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>. Acesso em: 20 set. 2021.

BRASIL, 1981, Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 que institui a Política Nacional de Meio Ambiente – **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6938-31-agosto-1981-366135-publicacaoriginal-1-pl.html>. Acessado em: 20 set. 2021.

BRASIL, 1997, Lei Federal n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos - **Presidência da República - Casa Civil**. Disponível em: [L9433](#)

[planalto.gov.br](http://planalto.gov.br)). Acesso em: 20 set. 2021.

BRASIL, 2001, Lei Federal n. 10.257/2001, de 10 de julho de 2001 – Política Nacional Urbana – **Presidência da República - Casa Civil**. Disponível em [L10257 planalto.gov.br](http://planalto.gov.br)). Acesso em: 20 set. 2021.

BRASIL, 2005, Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em 20 set. 2021.

BRASIL, 2000. Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. **Presidência da República - Casa Civil**. Disponível em: [L9985 planalto.gov.br](http://planalto.gov.br)). Acesso em: 03 set. 2021.

CAMARGO, C. E. S.; AMORIM, M. C. C. T. Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano na Cidade de Presidente Prudente/SP – **Revista Eletrônica de Geografia Y Ciências Sociais**, Barcelona, v. 9, n. 194, ago (2005) Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-194-46.htm>. Acesso em: 20 set. 2021.

CARDIA, Vinícius Catto de. **Climatologia das Ondas de Calor em Porto Alegre – RS: 1961 a 2010**. 2010. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2010. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28502/000769965.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 set. 2021.

CARGNIN, Antônio Paulo. A dimensão territorial no planejamento governamental brasileiro: avanços e limitações na elaboração dos Planos Plurianuais. *In: I Seminário Reforma do Estado e Território: Integração Sul-Americana e Gestão do Território – UFRGS/POSGEA, 2007. Porto alegre – Rio Grande do Sul, Brasil.* Disponível em [PDF\) A dimensão territorial no planejamento governamental brasileiro: avanços e limitações na elaboração dos Planos Plurianuais \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/312511111). Acesso em: 20 set. 2021.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**: 2. ed. São Paulo: Edgard Blüsher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blüsher, 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Apêndice E - Índices de Qualidade das Águas. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. Disponível em: [Apendice-E-Indice-de-Qualidade-das-Aguas.pdf cetesb.sp.gov.br](http://cetesb.sp.gov.br)). Acesso em: 20 set. 2021.

CLAVAL, Paul. A revolução pós-funcionalista e as concepções atuais da geografia. *In: MENDONÇA, Francisco de Assis; KOZEL, Salete (Org). Elementos de epistemologia da geografia contemporânea*. Curitiba: UFPR, 2002.

COIMBRA, José de Ávila Aguiar. **O outro lado do meio ambiente**. São Paulo: CETESB, 1985.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA. **Estudos Preliminares para Subsídios ao Plano de Bacia do Lago Guaíba Relatório Temático de fase A, fase B e síntese**, ECOPLAN (Apoio Técnico), 2017. Disponível em: [Plano da Bacia Guaíba - \(comitedolagogaiba.com.br\)](http://comitedolagogaiba.com.br). Acesso em: 20 set. 2021.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LAGO GUAÍBA – **Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba - Revista do Plano**, ECOPLAN (Apoio Técnico), 2017. Disponível em: [Plano da Bacia Guaíba - \(comitedolagogaiba.com.br\)](http://comitedolagogaiba.com.br). Acesso em: 20 set. 2021.

CORADI, P.C.; RAMIREZ, O. P.; FIA, R.; MATOS, A. T. Qualidade da Água Superficial da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.3, n.1, p. 53 a 64, 2009. Disponível em: [QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA MIRIM. | Coradi | Revista de Ciências Ambientais \(unilasalle.edu.br\)](http://unilasalle.edu.br). Acesso em: 20 set. 2021.

COSTA, J. S.; OLIVEIRA, A. L. N.; SANTOS, N. T. Preservação e Conservação Ambiental: significando a proteção do meio ambiente. **RELACult - Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade**, v. 04, edição especial, nov., 2018, artigo nº 963. Disponível em: [Preservação e Conservação Ambiental: significando a proteção do meio ambiente | RELACult - Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade \(claec.org\)](http://claec.org). Acesso em: 20 set. 2021.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Degradação Ambiental**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

CUNHA, S. B da. **Geomorfologia Fluvial**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (orgs). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

DIAS, N. S.; FERREIRA, N. M.; COSME, C. R.; GHEYI, H. R. Qualidade da água na agricultura. In: DIAS, N. S.; SILVA, M. R. F.; GHEYI, H. R. **Recursos Hídricos: usos e manejos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de Massa: Uma abordagem Geológico-Geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

FERREIRA, G. S.; MENEZES, D. B. **Relatório de análise socioeconômica da cidade de Porto Alegre**. Porto Alegre: FEE, 2017. Disponível em Relatório Análise socioeconômica da cidade de Porto Alegre - FEE ([arquivofee.rs.gov.br](http://arquivofee.rs.gov.br)). Acesso em: 20 set. 2021.

FUJIMOTO, N. S. V. M.; CAMARGO C. A. C. Mapa Ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso - Porto Alegre, RS. In: *Salão de Iniciação Científica (22.)*: 2010 out. 18-22 : Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2010. Disponível

em: [Mapa Ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso - Porto Alegre, RS \(ufrgs.br\)](#). Acesso em: 03 abr. 2023.

FERRAZ, C. M. L. Inundações e alagamentos em meio urbano: uma perspectiva teórico-conceitual, em abordagem geomorfológica. **Revista Vozes dos Vales**, UFVJM – MG/Brasil. nº 20, ano X, 2021. Disponível em: [Artigo \(ufvjm.edu.br\)](#). Acessado em 26 jul. 2023.

FERRI, B. M. **Avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) do Ribeirão do Espírito Santo – Juiz de Fora (MG)**. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e sanitária) Faculdade Doctum – Juiz de Fora – MG. Disponível em: [DSpace Doctum:: Repositorio Institucional: AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA \(IQA\) DO RIBEIRÃO DO ESPÍRITO SANTO – JUIZ DE FORA \(MG\)](#). Acesso em: 03 abr. 2023.

FUJIMOTO, N. S. V. M.; DIAS, T. S. Estudo sobre a suscetibilidade à inundação do Setor Sul do Município de Porto Alegre-RS: Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso. *In*: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2010, Recife – Pernambuco, Brasil. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/8/10/34.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2023.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. **Revista de Geociências do Nordeste**, REGNE. UFRN, v. 4, n. especial, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/download/13273/9468/0#:~:text=Al.%2C%202013%2C%20p.,interfer%C3%Aancia%20que%20acelera%20ou%20retarda>. Acesso em: 03 abr. 2023.

GLÓRIA, L. P.; HORN, B. C.; HILGEMANN, M. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água – IQA. **Revista Caderno Pedagógico**. UNIVATES, Lajeado, v. 14, n. 1, 2017. Disponível em [AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS ATRAVÉS DA FERRAMENTA DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA | Gloria | Revista Caderno Pedagógico \(univates.br\)](#). Acesso em 25 jun. 2021.

GOMES, P. C. C. **Geografia e Modernidade**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand, 1996.

GOMES, M. A. S.; SOARES, B. R. Reflexões sobre a Qualidade Ambiental Urbana – **Revista Estudos Geográficos**, Rio Claro, São Paulo, v. 2, n.2, p. 21-30, jul/dez, 2004. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/252>. Acesso em: 20 set. 2021.

GONÇALVES, D. R. P.; ROCHA, C. H. Indicadores de qualidade da água e padrões de uso da terra em bacias hidrográficas no Estado do Paraná. **Jornal Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 51 n. 9, p. 1172 – 1183. , Setembro, 2016. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/pab/v51n9/0100-204X-pab-51-09-1172.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

GONÇALVES, C. S.; RHEINHEIMER, D. S.; PELLEGRINI, J. B.R.; KIST, S. L. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região

produtora de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.391-399, 2005. Disponível em [SciELO - Brasil - Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo](#) [Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo](#). Acessado 03/09/2021.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

GUERRA, A. J. T. **Processos Erosivos nas Encostas**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

GUIMARÃES, R. F. *et al.* **Movimentos de Massa**. In: FLORENZANO; T. G. (org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GRISON, F.; KOBAYAMA, M. Teoria e Aplicação da Geometria Hidráulica: Revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.12, n.2, p.25-38, 2011. Disponível em: [TEORIA E APLICAÇÃO DA GEOMETRIA HIDRÁULICA: REVISÃO | Revista Brasileira de Geomorfologia \(rbgeomorfologia.org.br\)](#). Acessado em: 26 jul. 2023.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para Entender a Terra**. 6. Ed. Tradução: ABREU, I. D.; Revisão Técnica: MENEGAT, R. Porto Alegre: Bookman, 2013.

HASENACK, H. *et al.* **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação e Ocupação**: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008. Disponível em [http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Livros\\_ou\\_capitulos/2008/Hasenack\\_et\\_al\\_2008\\_Diagnostico\\_ambiental\\_de\\_Porto\\_Alegre.pdf](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Livros_ou_capitulos/2008/Hasenack_et_al_2008_Diagnostico_ambiental_de_Porto_Alegre.pdf). Acesso em: 20 set. 2021.

HINATA, S. S. **Qualidade da Água Associada ao Cultivo de Banana na Sub – Bacia Hidrográfica do Arroio Paraíso – RS**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2014. Disponível em: [Qualidade da água associada ao cultivo de banana na sub-bacia hidrográfica do Rio das Pacas - RS \(ufrgs.br\)](#). Acesso em 03/09/2021.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Portal-Info-hidro. Índice de Qualidade das Águas – IQA. 2018. Disponível em: [Índice de Qualidade Das Águas - IQA - IGAM](#). Acesso em: 03 abr. 2023.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Portal de Consulta a Dados Climáticos e Meteorológicos. Disponível em: [INMET :: Tempo](#). Acesso em: 03 abr. 2023.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Texto para Discussão: Vulnerabilidade Social no Brasil: Conceitos, Métodos e Primeiros Resultados**

**para Municípios e Regiões Metropolitanas Brasileiras.** Rio de Janeiro, IPEA, 2018.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Plataforma web do Atlas da Vulnerabilidade Social. Disponível em: [Home \(ipea.gov.br\)](http://Home.ipea.gov.br). Acessado em 25 set 2022.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico – Econômico.** São José dos Campos: INPE, 2001.

IRGA – INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. Dados Climatológicos. Disponível em: [Médias Climatológicas - IRGA](#). Acesso em: 03 abr. 2023.

KOBIYAMA, M. et al. Prevenção de Desastres Naturais – Conceitos Básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. Disponível em: [https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/07/Livro\\_Prevencao\\_de\\_Desastres\\_Naturais.pdf](https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/07/Livro_Prevencao_de_Desastres_Naturais.pdf). Acesso em: 03 abr. 2023.

KRUMMENAUER, A. **Avaliação da Integridade Ambiental do Córrego José Joaquim, Sapucaia do Sul-RS.** 2020. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2020. Disponível em: [Qualidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do Córrego José Joaquim, Sapucaia do Sul \(RS\) \(ufrgs.br\)](#). Acesso em: 20 set. 2021.

LACERDA, N.; MARINHO, G.; BAHIA, C.; QUEIROZ, P.; PECCHIO, R. Planos Diretores Municipais: Aspectos Legais e Conceituais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais.** v.7, v.1. p. 55-72, maio, 2005. Disponível em: [Vista do Planos diretores municipais: aspectos legais e conceituais \(anpur.org.br\)](#). Acesso em: 20 set. 2021.

LIMA, L. M. M. **Mapeamento da Suscetibilidade à Inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/25554>. Acesso em 07 jan. 2020.

MAZZETO, F. A. P. Qualidade de vida, qualidade ambiental e meio ambiente urbano: breve comparação de conceitos. **Sociedade e Natureza - Revista do Instituto de Geografia da UFU**. Uberlândia, São Paulo, v. 12, n. 24, jul/dez 2000. Disponível em: [Vista do Qualidade de vida, qualidade ambiental e meio ambiente urbano: breve comparação de conceitos | Sociedade & Natureza \(ufu.br\)](#). Acesso em 07 jan. 2021.

MEIRELLES, E. O.; DOURADO, F.; COSTA V. C. Análise Multicritério para Mapeamento Da Suscetibilidade a Movimentos de Massa na Bacia do Rio Paquequer-RJ. **Revista Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 33, e26037, 2018. Disponível em [ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO RIO PAQUEQUER- RJ / MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING IN PAQUEQUER RIVER BASIN, RJ | Meirelles | Geo UERJ](#). Acesso em: 03 set. 2021.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por diferença normalizada (NDVI) para Análise da Degradação Ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Revista RA'E GA** - Departamento de Geografia – UFPR. Curitiba, n. 23, p. 520-533, 2011. Disponível em [APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA \(NDVI\) PARA ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DOS CAVALOS, CRATEÚS-CE | MELO | Raega - O Espaço Geográfico em Análise \(ufpr.br\)](#). Acesso em: 03 set. 2021.

MENEGAT, R. et al. **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1998.

MENEZES, J. P. C. et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana - **Revista Online Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v.21, n. 3, p. 519-534. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522016000300519](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000300519). Acesso em: 03 set. 2021.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: Evolução dos Conceitos Teóricos e os Problemas da Mensuração Prática. **Revista Economia e Desenvolvimento** - UFSM, Santa Maria/RS, n. 16. P. 22 – 41, 2004. Disponível em: [Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática | Mikhailova | Economia e Desenvolvimento \(ufsm.br\)](#). Acesso em: 03 set. 2021.

MONTE-MÓR, R. L. M. **A relação urbano-rural no Brasil contemporâneo**. In: RANDOLPH, R.; SOUTHERN, B. (org.). Expansão metropolitana e transformação das interfaces entre cidade, campo e região na América Latina. São Paulo: Max Limonad, 2011, p.221-239.

MOURA, A. C. M. Reflexões Metodológicas como Subsídio para Estudos Ambientais Baseados em Análise de Multicritérios. *In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2899-2906. Disponível em <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.14.41/doc/2899-2906.pdf>. Acesso em: 03 set. 2021.

MOURA, N. S. V.; BASSO, L. A.; SANCHES, N. D. Áreas Suscetíveis à Inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio Do Salso, Porto Alegre - Rs: Características das Chuvas e sua Influência na Qualidade das Águas Superficiais. **Revista Geographia** - UFF. Rio de Janeiro, v. 15, n. 30, p. 81-113, fevereiro, 2012. Disponível em: [Áreas Suscetíveis à Inundação na Bacia Hidrográfica do Arrojo do Salso, Porto Alegre-RS: Características das Chuvas e sua Influência na Qualidade das Águas Superficiais | GEOgraphia \(uff.br\)](#). Acesso em: 03 abr. 2023.

MOURA, V. S. N.; BASSO, L. A.; STROHAECKER, T. M. Indicadores Ambientais da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Município de Porto Alegre-RS. **Boletim Gaúcho de Geografia**, Porto Alegre – RS, v. 40, n. 2, p. 236-253, maio, 2013. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/bgg/article/view/40021>. Acesso em: 03 set. 2021.



MOURA, V. S. N., Moran, F. E., Dias, S. T., Paris G., Borges F. F. Expansão urbana sobre compartimentos de relevo suscetíveis à inundação: Zona Sul do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisas em Geociências - UFRGS**, Porto Alegre, v. 43, n. 3, 2016. Disponível em: [Expansão urbana sobre compartimentos de relevo suscetíveis à inundação: Zona Sul do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul | MOURA | Pesquisas em Geociências \(ufrgs.br\)](#). Acesso em: 03 set. 2021.

Moura, N.S.V.; Dias, T.S. Elaboração do mapa geomorfológico do município de Porto Alegre – RS. **Ciência e Natura**, Edição especial, p. 219-233. 2012. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/downloads/dados-geoespaciais/mapa-geomorfologico-do-municipio-de-porto-alegre-rs/>. Acesso em: 03 abr. 2023.

MÜLLER NETO, J. A. **Estimativa de Impacto das Cheias de 1941, 1967 e 2015 em Porto Alegre na Hipótese de Inexistência do Sistema de Proteção Contra Cheias do Lago Guaíba**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2018. Disponível em: [Estimativa de impacto das cheias de 1941, 1967 e 2015 em Porto Alegre na hipótese de inexistência do sistema de proteção contra cheias do Lago Guaíba \(ufrgs.br\)](#). Acessado em 26 jul. 2023.

NEUMAN, M. The Compact City Fallacy. In: **Journal of Planning Education and Research**, 25:11-26, 2005.

OLIVEIRA, E. D. Geometria Hidráulica: Algumas Considerações Teóricas e Práticas. **Revista Sociedade e Território**. v. 24, nº 1, p. 166 - 184, 2012. Disponível em: [Geometria Hidráulica: Algumas Considerações Teóricas e Práticas | Sociedade e Território \(ufrn.br\)](#). Acesso em 26 jul. 2023.

OLIVEIRA, I. C. G.; FERREIRA, A. J. Gestão e Planejamento Ambiental: Desenvolvimento Sustentável, Conservação e Preservação. 2019. **Revista FaSeM**, v. 6, n. 2, 2017. Disponível em: [Gestão e Planejamento Ambiental: Desenvolvimento Sustentável, Conservação e Preservação | Revista Eletrônica de Ciências Humanas, Saúde e Tecnologia \(fasem.edu.br\)](#). Acesso em: 03 set. 2021.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA, J. P. N. **Grandes projetos urbanos: panorama da experiência brasileira**. In: CUENYA, Beatriz; NOVAIS, P.; VAINER, C. *Grandes projetos urbanos: olhares críticos sobre a experiência argentina e brasileira*. Co-edição Porto Alegre: Masquatro Editora Ltda. e Buenos Aires: Editorial Café de las Ciudades Ltda., 2013, p. 167-190.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, BRASIL –. A ONU e o Meio Ambiente. 2021. Disponível em [A ONU e o meio ambiente | As Nações Unidas no Brasil](#). Acesso em: 03 set. 2021.

PADUA, Suzana M. Afinal, qual a diferença entre conservação e preservação? - 2006. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/colunas/suzana-padua/18246-oeco-15564/>. Acesso em: 03 set. 2021.

PERES, B. R.; CHIQUITO, E. A. Ordenamento Territorial, Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional – Novas Questões, Possíveis Articulações. **Revista**

**Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais.** São Carlos/SP, v. 14, nº 2, 2012, p. 71 – 86. Disponível em [Ordenamento territorial, meio ambiente e desenvolvimento regional: novas questões, possíveis articulações | Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais \(anpur.org.br\)](#)

PERES, B. R.; SILVA, S. R. A relação entre Planos de Bacia Hidrográfica e Planos Diretores Municipais: Análise de Conflitos e Interlocações visando Políticas Públicas Integradas. *In: V Encontro Nacional da Anppas, 2010, Florianópolis – Santa Catarina, Brasil.* Disponível em: [A relação entre Planos de Bacia Hidrográfica e ... - ANPPAS www.anppas.org.br > encontro5 > artigos.](#) Acesso em 01 dez. 2020

PERES, R. B.; SILVA, R. S. Análise das Relações entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara, Bauru e São Carlos – **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 349-362, mai/ago (2013). Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/275692346\\_Analise\\_das\\_relacoes\\_entre\\_o\\_Plano\\_de\\_Bacia\\_Hidrografica\\_Tiete-Jacare\\_e\\_os\\_Planos\\_Diretores\\_Municipais\\_de\\_Araraquara\\_Bauru\\_e\\_Sao\\_Carlos\\_SP\\_avancos\\_e\\_desafios\\_visando\\_a\\_integracao\\_de\\_instrumentos\\_de\\_ge.](https://www.researchgate.net/publication/275692346_Analise_das_relacoes_entre_o_Plano_de_Bacia_Hidrografica_Tiete-Jacare_e_os_Planos_Diretores_Municipais_de_Araraquara_Bauru_e_Sao_Carlos_SP_avancos_e_desafios_visando_a_integracao_de_instrumentos_de_ge) Acesso em: 03 set. 2021.

PIZELLA, Gallo Denise. A Integração entre Planos Diretores Municipais e Planos de Bacias Hidrográfica: Estudo de caso do Plano Diretor de Santa Fé do Sul e Do Plano de Bacia do São José dos Dourados, SP. *In: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2017, Campo Grande -Mato Grosso do Sul, Brasil.* Disponível em VIII-020.pdf (ibeas.org.br). Acesso em: 20 set. 2021.

PORTAS, N. **Opções de estratégia e forma urbanas.** *In: PORTAS, Nuno; DOMINGUES, Álvaro; CABRAL, João (orgs.). Políticas urbanas: tendências, estratégias e oportunidades.* 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007. p. 94-108.

PORTO ALEGRE, 2010, Lei Municipal LC nº 434, de 1º de dezembro de 1999, atualizada e compilada até a Lei Complementar nº 667, de 3 de janeiro de 2011, incluindo a Lei Complementar 646, de 22 de julho de 2010. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental, **Prefeitura de Porto Alegre.** Disponível em [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p\\_secao=205](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_secao=205). Acesso em: 20 set. 2021.

PORTO ALEGRE, 2015, Lei Municipal, L.C. n. 775/2015 – O restabelecimento das Áreas Rurais em Porto Alegre – **Prefeitura Municipal de Porto Alegre – Câmara Municipal.** Disponível em [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p\\_secao=205](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_secao=205). Acessado em 16/12/2019.

PORTO ALEGRE, 2015, Plano de Saneamento Básico de Porto Alegre – **Prefeitura Municipal de Porto Alegre** – DMAE; DEP; DMLU; SMURB; SMS, SMGL, SMAM. Disponível em [DMAE \(portoalegre.rs.gov.br\)](#). Acesso em: 20 set. 2021.

PORTO ALEGRE, Lei Nº 12.112 (2016), Cria, extingue, denomina e delimita os bairros

que integram o território do Município de Porto Alegre. Disponível em [http://dopaonlineupload.procempa.com.br/dopaonlineupload/1857\\_ce\\_172548\\_1.pdf](http://dopaonlineupload.procempa.com.br/dopaonlineupload/1857_ce_172548_1.pdf). Acesso em: 03 abr. 2023.

PORTO ALEGRE. Plano de Manejo: Refúgio de Vida Silvestre São Pedro. Anexo 2 – Sustentabilidade (SMAMS), 2017. Disponível em: [https://drive.google.com/open?id=10aUzVQWrAt7E55C1I8yfPvPxYT9ia\\_I3](https://drive.google.com/open?id=10aUzVQWrAt7E55C1I8yfPvPxYT9ia_I3). Acesso em 03 abr. 2023.

PORTO ALEGRE, Mapas Digitais – Secretaria do Meio Ambiente e Sustentabilidade – Base Cartográfica vetorial. Disponível em [https://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p\\_secao=310](https://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_secao=310). Acesso em: 20 set. 2021.

PORTO ALEGRE, Imagem Aérea do Bairro Restinga em 2012, (Figura 30). Disponível em: [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p\\_noticia=153041&MUNICIPIO+REGULARIZA+123+LOTES+NO+BAIRRO+RESTINGA](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_noticia=153041&MUNICIPIO+REGULARIZA+123+LOTES+NO+BAIRRO+RESTINGA). Acesso em: 03 abr. 2023.

POSSELT, E. L., COSTA, A. B. Software IQADData 2010. Registro no INPI nº 10670-2, Programa de Mestrado em Sistemas e Processos Industriais PPGSPI, UNISC, 2010. Disponível em: [IQADData - Universidade de Santa Cruz do Sul \(unisc.br\)](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_noticia=153041&MUNICIPIO+REGULARIZA+123+LOTES+NO+BAIRRO+RESTINGA). Acesso em: 03 abr. 2023.

RAFFESTIN, Claude. **Por Uma Geografia do Poder**. São Paulo: Editora Ática S. A. 1993.

ROCHA, S. P.; CRUZ, C. B. M. Aplicação do ITA na análise espaço-temporal do entorno da BR-101 nos municípios de Angra dos Reis e Parati. *In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1505-1512. Disponível em: [Microsoft Word - Uso Stella - ok.doc \(inpe.br\)](#). Acesso em 03 abr. 2023.

RODRIGUES, E. L. S. da. **Análise Hidromorfológica da Sub-bacia do Arroio do Salso: Estudo de Caso para Auxiliar na Instalação de uma Estação de Monitoramento**. 2014. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2014. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/141289>. Acesso em: 03 abr. 2023.

ROGALSKI, S. R. **Índice de Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Olarias, em Ponta Grossa – PR, Entre 1980 e 2005**. 2011. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós - Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Ponta Grossa, 2011. Disponível em: [TEDE: ÍNDICE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO OLARIAS, EM PONTA GROSSA – PR, ENTRE 1980 E 2005 \(uepg.br\)](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_noticia=153041&MUNICIPIO+REGULARIZA+123+LOTES+NO+BAIRRO+RESTINGA). Acesso em: 04/09/2021.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. São Paulo, n. 16 p. 81- 90, 2005. Disponível em

<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288/51024>. Acesso em: 04 set. 2021.

ROSS, S. L. J. 1994. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia – USP** - São Paulo -SP, v. 8. Disponível em: v. 8 (1994) | Revista do Departamento de Geografia (usp.br) Acesso em: 25 jan. 2021.

RUSSO, C. C. Aspectos de Recuperação de Áreas Degradadas. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz** – Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz. São Paulo/SP, ano 2, n. 5, 2014. Disponível em [Revista Acadêmica - Faculdades Oswaldo Cruz - Artigos](#). Acesso em: 25 jan. 2021.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica, Razão e Emoção**: 3. ed. São Paulo: Edusp (Editora da USP), 2003.

SCHENEIDER, M. O. **Análise das Fragilidades Ambientais da bacia hidrográfica do Arroio Lami, municípios de Porto Alegre e Viamão- RS**. 2010. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28472/000770361.pdf?sequence=1>. Acesso em: 25 jan. 2021.

SIMIONI, J. P. D.; GUASSELLI, L. G. Banhados: abordagem conceitual. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, n. 30, p. 33-47, set. 2017. Disponível em: [BANHADOS: ABORDAGEM CONCEITUAL | Simioni | Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul \(planejamento.rs.gov.br\)](#). Acessado em: 26 jul. 2023.

SOARES, M. C. C. **Avaliação Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso – Porto Alegre, RS**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós – Graduação em Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2002.

SOLER, A.; SANTOS, F. A. Multiescalaridade Urbana: Questões de escala nos estudos e políticas urbanas. *In*: XVII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional – ENANPUR, 2019, Natal, - Rio Grande do Norte, Brasil. Disponível em: <http://anpur.org.br/xviienanpur/anaisadmin/capapdf.php?reqid=952>. Acesso em: 25 jan. 2021.

SOUZA, M. J. L. **O Território: Sobre Espaço e Poder, Autonomia e Desenvolvimento**. *In*: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORREA, R. L. (orgs). Geografia: conceitos e temas. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000, p. 78-116.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. Coleção geografia; v. 3/ MENDONÇA, F. A (org).

STRADA, D. C. **Aplicação do IQA-CCME em Série Histórica de Qualidade da**

**Água: Estudo de Caso das Sub-Bacias do Arroio Do Salso e do Arroio Lami, RS.** 2021. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2021. Disponível em: [Aplicação do IQA-CCME em série histórica de qualidade da água: estudo de caso das sub-bacias do arroio do Salso e do arroio Lami, RS \(ufrgs.br\)](#). Acesso em: 20 set. 2021.

STROHAECKER, T. M.; VERRAN, P. G.; BARTH, F. K. B. Análise Espacial da Acessibilidade a Equipamentos Públicos Comunitários na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso – Porto Alegre/RS. **Interespaço – Revista de Geografia e Interdisciplinariedade**. Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 90-108, jul/dez. (2015). Disponível em <http://www.periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaço/article/view/4033/2118>. Acesso em: 25 jan. 2021.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Notas Sobre a Epistemologia da Geografia. Cadernos Geográficos n. 12** - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Departamento de Geociências. (UFSC). Florianópolis: Imprensa Universitária, 2005.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. IBGE/SUPREN: Rio de Janeiro, 1977.

TUCCI, C. E. M. **Inundações e Drenagem Urbana**. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (orgs). Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. In: TUCCI, C. E. M. (org). Hidrologia: ciência e aplicação – 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.

UNDRR-ISC - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION; INTERNATIONAL SCIENCE COUNCIL. **Hazard Information Profiles: Supplement to UNDRR-ISC Hazard Definition & Classification Review: Technical Report**: Geneva, Switzerland, United Nations Office for Disaster Risk Reduction; Paris, France, International Science Council, 2021. Disponível em: [download \(undrr.org\)](#). Acesso em: 19 jul. 2023.

VILLAÇA, F. Dilemas do plano diretor. **Revista Perspectiva**, v. 9, n. 2, abr./jun. 1995. Disponível em [Dilemas\\_PD\\_Villaça1.pdf \(ufjf.br\)](#). Acesso em: 25 ago. 2021.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WENTZ, A. E. P. **Diagnóstico da Pressão Antrópica na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso – RS**. 2019. Monografia (Graduação em Geografia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre.

WIKIR. **Normalização min-max**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2021. Disponível em: [Normalização min-max no R \(ufrgs.br\)](#). Acesso em 12 ago. 2023.

ZANELLA, M. E.; OLÍMPIO, J. L.; COSTA, M. C. L.; DANTAS, E. W. C. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza - CE. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia, v. 25 n. 2, p. 317-332, mai. 2013. Disponível em: [Vulnerabilidade Socioambiental do Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE / Vulnerability Socioenvironmental of Down Progress of Cocó River's Watershed, Fortaleza-CE \(Brazil\) | Sociedade & Natureza \(ufu.br\)](#). Acesso em: 03 abr. 2023.