

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

DANIELA MENEGAT

**AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO ESTADO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL
DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS DE CAXIAS DO SUL/RS COMO
SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO URBANO**

CAXIAS DO SUL

2023

DANIELA MENEGAT

**AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO ESTADO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL
DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS DE CAXIAS DO SUL/RS COMO
SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO URBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais – PPGECAM da Universidade de Caxias do Sul, como requisito para a obtenção de grau de mestre em Engenharia e Ciências Ambientais.

Orientação: Prof. Me. Tiago Panizzon

Coorientação: Prof. Dr^a. Vania Elisabete Schneider

CAXIAS DO SUL

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

M541a Menegat, Daniela

Avaliação da evolução do estado de degradação ambiental das bacias hidrográficas urbanas de Caxias do Sul/RS como subsídio ao planejamento urbano [recurso eletrônico] / Daniela Menegat. – 2023.

Dados eletrônicos.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2023.

Orientação: Tiago Panizzon.

Coorientação: Vania Elisabete Schneider.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Água - Qualidade. 2. Água - Qualidade - Medição. 3. Bacias hidrográficas urbanas. 4. Planejamento urbano. I. Panizzon, Tiago, orient. II. Schneider, Vania Elisabete, coorient. III. Título.

CDU 2. ed.: 628.16

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Márcia Servi Gonçalves - CRB 10/1500

DANIELA MENEGAT

**AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DO ESTADO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL
DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS DE CAXIAS DO SUL/RS COMO
SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO URBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais – PPGECAM da Universidade de Caxias do Sul, como requisito para a obtenção de grau de mestre em Engenharia e Ciências Ambientais.

Orientação: Prof. Me. Tiago Panizzon
Coorientação: Prof. Dr.^a. Vania Elisabete Schneider

Banca Examinadora

Prof.^a Dr.^a Gisele Cemin
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Ludmilson Abritta Mendes
Universidade Federal de Sergipe
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dr.^a Giovana Ulian
Engenheira Civil e Doutora em Urbanismo

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desse trabalho contou com a ajuda de diversas pessoas e entidades pelo qual agradeço imensamente.

À CAPES, pelo apoio financeiro ao projeto realizado e a empresa Biossplena, aqui em especial a Giovana Ulian, por ter acreditado e apoiado a execução desse projeto.

Gostaria de agradecer a minha família, que sempre me incentivou nos estudos e apoiou as minhas decisões. Ao meu pai, que nunca mediu esforços para garantir durante toda minha vida, que eu conseguisse alcançar meus sonhos. A minha mãe que sempre esteve presente, reforçando minha fé, quando já muito cansada. E as minhas irmãs que sempre apoiaram, escutaram e me ajudaram com correções de trabalhos e conselhos.

Agradecer a Deus pelas oportunidades que a vida me forneceu, e pelo caminho que sei que me ajudou a trilhar.

Ao meu companheiro de vida Oscar, pela paciência durante esse período, pelos conselhos e pelas horas ao meu lado escutando a leitura dos artigos elaborados. A minha afilhada Isabella pelos momentos que não pude estar presente da forma que gostaria.

Aos meus amigos, pela compreensão nos momentos que estive ausente, que sei que foram muitos, e pelos desabafos com cada um de vocês.

Gostaria de agradecer a equipe do ISAM, em especial ao William Luan Deconto, pela ajuda e esforço em campo e aos bolsistas que sempre estiveram junto auxiliando nas coletas, não teríamos sido tão ágeis se não fosse o auxílio de vocês. À Denise Peresin pelo apoio com a análise estatística.

Um agradecimento muito especial também ao professor Taison Anderson Bortolin, que me orientou durante o período de estudo do mestrado, compartilhando todo seu conhecimento, ajudando, ensinando, cobrando, com certeza não teria concluído esse trabalho se não fosse a orientação que tive nesse momento. A professora Vania Elisabete Schneider, pelo apoio e incentivo na jornada do saber. E ao meu orientador Tiago Panizzon, que me auxiliou ao final do trabalho, me orientando, me tranquilizando em diversas ocasiões e ajudando a tornar a minha dissertação melhor.

RESUMO

As atividades humanas têm causado degradação dos corpos hídricos ao longo do tempo. A compreensão da evolução da qualidade da água no tempo e espaço, é uma ferramenta que permite evidenciar o impacto das ações antrópicas sobre o meio e subsidiar tomada de decisões quanto a preservação e a conservação ambiental considerando-se a dependência humana de água em boa qualidade e quantidade e seus usos múltiplos. Nesse contexto, o objetivo geral desse trabalho foi avaliar o estado de degradação ambiental das bacias hidrográficas urbanas do município de Caxias do Sul como subsídio ao planejamento urbano com base principalmente na evolução da qualidade da água e do uso do solo urbano. Foram analisados os dados de campanhas bimestrais no ano de 2022, num total de 23 parâmetros abrangendo 6 sub-bacias urbanas do município. Os resultados de qualidade da água do ano de 2022 foram comparados aos resultados de qualidade da água do estudo realizado nos anos de 2012 a 2014 a fim de se compreender a evolução no tempo e a relação com a configuração urbana nas sub-bacias de estudo. Os resultados obtidos foram utilizados para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA), Índice de Estado Trófico (IET), Índice de Toxicidade (IT) e o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE). Os resultados foram tratados estatisticamente com o uso da estatística multivariada através da Análise de Agrupamentos (AA) e Análise de Componentes Principais (ACP) e a análise da estatística descritiva dos resultados das variáveis. Os resultados de IQA e IET demonstram que as sub-bacias estudadas possuem a contaminação por efluentes domésticos nos seus corpos hídricos. A sub-bacia do Tega, além da contaminação doméstica, apresenta a contaminação por efluente industrial, resultado esse observado pelo IT. Ressalta-se que o Tega é a sub-bacia com o maior número de empresas com autorização para lançamento de efluentes e a que possui o maior número de habitantes com base no Censo de 2010. A análise estatística da ACP, resultou em três componentes principais, sendo que esses componentes acabaram auxiliando nos índices de qualidade da água, onde a CP1 refletiu o IQA, a CP2 o IET e a CP3 refletiu parcialmente o IT, pois não apresentou o nitrogênio amoniacal. Sendo assim sugere-se que os próximos estudos relacionados ao IT possam desconsiderar o nitrogênio amoniacal da análise, facilitando o entendimento da contaminação industrial dos corpos hídricos. O nitrogênio amoniacal está associado a contaminação doméstica, e outros índices como o IQA, auxiliam no entendimento desse tipo de contaminação. A ACP acabou demonstrando que não se utilizaram índices redundantes no estudo, sendo que o ICE refletiu a média dos resultados da análise estatística citada e ainda auxiliou no entendimento da AA. Os dados da análise urbana demonstraram que em 2010 Caxias do Sul possuía uma taxa de urbanização de 94% e aproximadamente 40% da população residia na sub-bacia do Tega. Tais resultados demonstram a importância de estudos desse caráter a fim de que possam auxiliar o poder público na gestão das águas do seu território, compreendendo as fontes de contaminação, bem como as ações prioritárias a serem definidas.

Palavras-chave: qualidade da água, índices de qualidade da água, indicadores urbanos.

ABSTRACT

Human activities have caused degradation of water bodies over time. Understanding the evolution of water quality in time and space is a tool that makes it possible to highlight the impact of human actions on the environment and support decision-making regarding environmental preservation and conservation, considering human dependence on good quality water, and quantity and its multiple uses. In this context, the general objective of this work was to evaluate the state of environmental degradation of the urban river basins in the municipality of Caxias do Sul as a subsidy for urban planning based mainly on the evolution of water quality and urban land use. Data from bimonthly campaigns in 2022 were analyzed, with a total of 23 parameters covering 6 urban sub-basins of the municipality. The water quality results from the year 2022 were compared to the water quality results from the study carried out in the years 2012 to 2014 in order to understand the evolution over time and the relationship with the urban configuration in the study sub-basins. The results obtained were used to calculate the Water Quality Index (WQI), Trophic State Index (IET), Toxicity Index (TI) and the Framework Compliance Index (ICE). The results were treated statistically using multivariate statistics through Cluster Analysis (AA) and Principal Component Analysis (PCA) and the analysis of descriptive statistics of the results of the variables. The IQA and IET results demonstrate that the sub-basins studied have contamination by domestic effluents in their water bodies. The Tega sub-basin, in addition to domestic contamination, presents contamination from industrial effluents, a result observed by IT. It should be noted that Tega is the sub-basin with the largest number of companies authorized to release effluents and the one with the largest number of inhabitants based on the 2010 Census. ACP's statistical analysis resulted in three main components, and these components ended up helping with water quality indices, where CP1 reflected the IQA, CP2 the IET and CP3 partially reflected the IT, as it did not present ammonia nitrogen. Therefore, it is suggested that future studies related to IT may disregard ammonia nitrogen from the analysis, facilitating the understanding of industrial contamination of water bodies. Ammonia nitrogen is associated with domestic contamination, and other indices such as the AQI help to understand this type of contamination. The ACP ended up demonstrating that redundant indices were not used in the study, with the ICE reflecting the average results of the aforementioned statistical analysis and also helping to understand the AA. Data from the urban analysis demonstrated that in 2010 Caxias do Sul had an urbanization rate of 94% and approximately 40% of the population lived in the Tega sub-basin. These results demonstrate the importance of studies of this nature so that they can assist public authorities in managing water in their territory, understanding the sources of contamination, as well as the priority actions to be defined.

Keywords: water quality, water quality indices, urban indicators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curvas Médias de Variação da Qualidade das Águas	25
Figura 2 - Mapa de localização do município de Caxias do Sul	42
Figura 3 - Localização das estações de tratamento de esgoto (ETE) de Caxias do Sul	45
Figura 4 - Etapas metodológicas para elaboração do estudo.....	47
Figura 5 - Pontos de coleta d'água analisados por Schneider (2014).....	51
Figura 6 - Localização dos pontos de monitoramento de coleta da água no município de Caxias do Sul.....	52
Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo em 2012.....	68
Figura 8 - Mapa de uso e ocupação do solo em 2022.....	69
Figura 9 - Mapa de densidade de habitantes do município de Caxias do Sul em 2010	72
Figura 10 - Mapa de densidade de moradias do município de Caxias do Sul em 2010.....	72
Figura 11 - Mapa da renda média familiar das sub-bacias de estudo com base no Censo de 2010	74
Figura 12 - Resíduos identificados no leito do rio no ponto Tega 9 (T9) em maio de 2022....	79
Figura 13 - Resíduos identificados no leito do rio no ponto Belo 1 (B1) em fevereiro de 2022	79
Figura 14 - Mapa de calor das empresas com lançamento de efluentes licenciadas pelo município de Caxias do Sul.....	81
Figura 15 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Faxinal, segundo Consema 372.....	82
Figura 16 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Maestra, segundo Consema 372.....	83
Figura 17 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Tega, segundo Consema 372.....	83
Figura 18 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Belo, segundo Consema 372	84
Figura 19 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Piaí, segundo Consema 372	84
Figura 20 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Pinhal, segundo Consema 372	85
Figura 21 - Vazão para o ponto Faxinal 3, inserido na sub-bacia Faxinal	91
Figura 22 - Vazão para o ponto Maestra 2, inserido na sub-bacia Maestra.....	91

Figura 23 - Vazão para o ponto Tega 3, inserido na sub-bacia Tega	91
Figura 24 - Vazão para o ponto Tega 4, inserido na sub-bacia Tega	92
Figura 25 - Vazão para o ponto Tega 5, inserido na sub-bacia Tega	92
Figura 26 - Vazão para o ponto Tega 6, inserido na sub-bacia Tega	92
Figura 27 - Vazão para o ponto Tega 9, inserido na sub-bacia Tega	93
Figura 28 - Vazão para o ponto Belo 1, inserido na sub-bacia do Belo	93
Figura 29 - Vazão para o ponto Piaí 4, inserido na sub-bacia do Piaí.....	94
Figura 30 - Vazão para o ponto Pinhal 0, inserido na sub-bacia Pinhal.....	94
Figura 31 - Vazão para o ponto Pinhal 1, inserido na sub-bacia Pinhal.....	94
Figura 32 - Vazão para o ponto Pinhal 2, inserido na sub-bacia Pinhal.....	95
Figura 33 - Percentual de amostras para cada classe de IQA no período 2 (2022)	96
Figura 34 – Percentual de amostras para cada classe de IQA Período 1 (2012 a 2014)	98
Figura 35 - Percentual de amostras para cada classe de IET no Período 2 (2022).....	101
Figura 36 - Percentual de amostras para cada classe de IET no Período 1 (2012 a 2014).....	102
Figura 37 – Percentual de amostras para cada classe de IT no Período 2 (2022)	104
Figura 38 – Percentual de amostras para cada classe de IT no Período 1 (2012 a 2014).....	106
Figura 39 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência ao enquadramento para os parâmetros analisados da Sub-Bacia Faxinal e Maestra	110
Figura 40 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência ao enquadramento para os parâmetros analisados da Sub-Bacia Tega.....	111
Figura 41 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência ao enquadramento para os parâmetros analisados da sub-bacia Belo.....	113
Figura 42 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência ao enquadramento para os parâmetros analisados da sub-bacia Piaí.....	114
Figura 43 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência ao enquadramento para os parâmetros da sub-bacia Pinhal	115
Figura 44 - Dendrograma de agrupamento dos pontos de análise de qualidade da água do Período 1 (2012 a 2014)	121
Figura 45 - Dendrograma de agrupamento dos pontos de análise de qualidade da água do Período 2 (2022)	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros e pesos relativos do IQA	24
Tabela 2 - Classificação do IQA	26
Tabela 3 - Enquadramento proposto para as sub-bacias do município de Caxias do Sul	43
Tabela 4 - Relação das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) de Caxias do Sul.....	44
Tabela 5 - Métodos utilizados para análise laboratorial dos parâmetros do estudo	57
Tabela 6 - Parâmetros determinados em campo.....	58
Tabela 7 - Classificação do IQA	59
Tabela 8 - Classificação do Estado Trófico para rios segundo Índice de Carlson modificado por Lamparelli.....	61
Tabela 9 - Classificação do Índice de Toxicidade.....	61
Tabela 10 - Faixas de classificação do ICE.....	63
Tabela 11 - Área das sub-bacias no perímetro urbano do município de Caxias do Sul	66
Tabela 12 - Quantificação do uso do solo no perímetro urbano de Caxias do Sul nos anos de 2012 e 2022	67
Tabela 13 - Quantificação do uso do solo em percentual (%), nas sub-bacias urbanas de Caxias do Sul em 2012.....	67
Tabela 14 - Quantificação do uso do solo em percentual (%), nas sub-bacias urbanas de Caxias do Sul em 2022.....	69
Tabela 15 - Avaliação em percentual (%), das áreas de uso do solo nas sub-bacias urbanas de Caxias do Sul no ano de 2012 e 2022.....	70
Tabela 16 - Quantidade de moradias, habitantes e respectiva densidade por sub-bacia	73
Tabela 17 – Renda média familiar nas sub-bacias, segundo dados do Censo de 2010.....	74
Tabela 18 - Fonte de abastecimento de água, segundo o Censo de 2010.....	76
Tabela 19 - Forma de lançamento do efluente doméstico, segundo o Censo de 2010.....	76
Tabela 20 - Percentual da vazão média anual de 2023 medida na entrada em relação e a vazão licenciada para operação nas ETEs	77
Tabela 21 - Destinação dos resíduos sólidos segundo o Censo de 2010.....	78
Tabela 22 - Empresas licenciadas pelo órgão municipal e estadual distribuídos nas sub-bacias hidrográficas	80
Tabela 23 - Sistematização dos principais resultados da caracterização da zona urbana.....	86
Tabela 24 - Vazões de referência calculadas para os pontos de coletas das sub-bacias hidrográficas no Período 1 (2012 a 2014)	88

Tabela 25 – Vazões de referência calculadas para os pontos de coletas das sub-bacias hidrográficas no Período 2 (2022).....	89
Tabela 26 - Vazões (m ³ /s) do Período 1 e 2 nos pontos das sub-bacias hidrográficas analisadas.....	89
Tabela 27 – Média mensal de precipitação no Período 1 e 2	90
Tabela 28 - Resultado do índice de qualidade da água (IQA) no Período 2 (2022).....	95
Tabela 29 – Média de IQA para cada sub-bacia nos períodos de estudo	99
Tabela 30 - Concentração de fósforo total (ug/l) de cada ponto das 6 campanhas do Período 2 (2022)	101
Tabela 31 - Média de IET para cada sub-bacia nos períodos de estudo.....	103
Tabela 32 – Resultados do Índice de Toxicidade (IT) para o Período 2 (2022).....	104
Tabela 33 - Média de IT para cada sub-bacia nos períodos de estudo	107
Tabela 34 - Resultados do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) para as Sub-Bacias do Taquari-Antas	109
Tabela 35 - Resultados do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) para as sub-bacias do Caí.....	112
Tabela 36 - Matriz de peso fatorial das variáveis de qualidade da água analisadas.....	117
Tabela 37 - Estatística descritiva das análises realizadas no Período 1 (2012 a 2014).....	120
Tabela 38 - Estatística descritiva das análises realizadas no Período 2 (2022).....	122
Tabela 39 – Sistematização dos índices de qualidade da água do Período 1 e 2 e principais resultados da caracterização urbana para cada sub-bacia de estudo.....	125
Tabela 40 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Faxinal	125
Tabela 41 - Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Faxinal.....	126
Tabela 42 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Maestra	128
Tabela 43 -Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Maestra.....	128
Tabela 44 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Tega	130
Tabela 45 - Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Tega.....	130

Tabela 46 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Belo.....	132
Tabela 47 -Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Belo	133
Tabela 48 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Piaí.....	134
Tabela 49 - Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Piaí	135
Tabela 50 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Pinhal.....	136
Tabela 51 - Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Pinhal	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo das principais leis pertinentes a gestão dos recursos hídricos.....	23
Quadro 2 - Classe de estado trófico e suas características principais.....	31
Quadro 3 - Simplificação das classes de uso e ocupação do solo	48
Quadro 4 - Características dos pontos de monitoramento	53
Quadro 5 - Resumo de artigos publicados em congressos	138
Quadro 6 - Resumo dos artigos submetidos para publicação em revistas.....	138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Análise de Agrupamento
ABEP	Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACP	Análise de Componentes Principais
AF	Análise Fatorial
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BH	Bacia Hidrográfica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CODECA	Companhia de Desenvolvimento de Caxias do Sul
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CP	Componentes Principais
CT	Contaminação por Tóxicos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICE	Índice de Conformidade ao Enquadramento
IET	Índice de Estado Trófico
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IT	Índice de Toxicidade
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
NFS	National Sanitation Foundation
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ZA	Zona de Águas
UTP	Unidade Territorial de Planejamento

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
ha	Hectares
hab	Habitantes
hab/km ²	Habitantes por quilômetro quadrado
km ²	Quilômetro quadrado
L	Litro
L/s	Litro por segundo
m ²	Metro quadrado
m ³ /s	Metro cúbico por segundo
mL	Mililitros
mg/l	Miligramas por litro
ug/l	Microgramas por litro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	21
3.2 INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA	24
3.2.1 Índice de Qualidade das Águas – IQA.....	24
3.2.1.1 Oxigênio Dissolvido.....	26
3.2.1.2 Coliformes Fecais e Termotolerantes	27
3.2.1.3 pH	27
3.2.1.4 DBO.....	28
3.2.1.5 Fósforo Total	28
3.2.1.6 Temperatura.....	29
3.2.1.7 Nitrogênio Total	29
3.2.1.8 Turbidez.....	30
3.2.1.9 Sólidos Totais	30
3.2.2 Índice de Estado Trófico - IET.....	30
3.2.3 Índice de Toxicidade - IT	32
3.2.4 Índice de Conformidade ao Enquadramento - ICE	33
3.3 ESTATÍSTICA MULTIVARIADA APLICADA À QUALIDADE DA ÁGUA.....	34
3.4 QUALIDADE DA ÁGUA E OCUPAÇÃO URBANA	36
3.4.1 Cidades Inteligentes e Indicadores Urbanos e Sociais	38
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
4.1 HISTÓRICO DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DE CAXIAS DO SUL.....	45
5 METODOLOGIA.....	47
5.1 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	47

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA URBANA COM BASE EM INDICADORES URBANOS, SOCIAIS E AMBIENTAIS	48
5.2.1 Taxa de Urbanização.....	49
5.2.2 Densidade de Habitantes.....	49
5.2.3 Densidade de Moradias	49
5.2.4 Renda Média Familiar	49
5.2.5 Taxa de Água e Esgoto	50
5.2.6 Percentual de resíduo destinado corretamente.....	50
5.2.7 Empresas com potencial poluidor de recursos hídricos.....	50
5.3 DEFINIÇÃO DA REDE DE AMOSTRAGEM.....	50
5.4 PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM.....	56
5.4.1 Coleta e Amostragem da Água	56
5.4.2 Análises da Água.....	57
5.5 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA	58
5.5.1 Índice de Qualidade da Água (IQA)	59
5.5.2 Índice de Estado Trófico (IET)	60
5.5.3 Índice de Toxicidade (IT).....	61
5.5.4 Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE).....	62
5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	63
5.7 SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS POR SUB-BACIA	65
6 RESULTADOS	66
6.1 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	66
6.2 ANÁLISE DE INDICADORES URBANOS	71
6.2.1 Indicadores Urbanos e Sociais.....	71
6.2.2 Indicadores de Saneamento Ambiental	75
6.2.3 Localização de empreendimentos com lançamento de efluentes.....	80
6.2.4 Sistematização da Caracterização da Zona Urbana de Caxias do Sul	85
6.3 ANÁLISE DOS ÍNDICES ACERCA DA QUALIDADE DA ÁGUA	88
6.3.1 Série Histórica da Vazão	88
6.3.2 Índice de Qualidade da Água (IQA)	95
6.3.3 Índice de Estado Trófico	100
6.3.4 Índice de Toxicidade.....	103
6.3.5 Índice de Conformidade ao Enquadramento.....	108

6.3.6 Análise Estatística dos Dados	116
6.3.6.1 Análise de Componentes Principais (ACP).....	116
6.3.6.2 Análise de Agrupamentos (AA)	119
6.4 SISTEMATIZAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS POR SUB-BACIAS.....	124
6.4.1 Sub-Bacia do Faxinal	125
6.4.2 Sub-Bacia do Maestra	127
6.4.3 Sub-Bacia do Tega.....	129
6.4.4 Sub-Bacia do Belo.....	132
6.4.5 Sub-Bacia do Piaí.....	134
6.4.6 Sub-Bacia do Pinhal	136
6.5 RESULTADOS PUBLICADOS E SUBMETIDOS PARA PUBLICAÇÃO.....	138
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	139
8. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	142
REFERÊNCIAS	143
APÊNDICE A – RESUMO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DA ÁGUA DO PERÍODO 2 (2022).....	159
APÊNDICE B – ARTIGO 1: ANÁLISE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TEGA, CAXIAS DO SUL/RS.....	171
APÊNDICE C – ARTIGO 2: ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL-RS UTILIZANDO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	180
APÊNDICE D – ARTIGO 3: ANÁLISE DO CUMPRIMENTO DAS METAS E EFICÁCIA DO ENQUADRAMENTO DE CORPOS D’AGUA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE CAXIAS DO SUL/RS.....	197

1 INTRODUÇÃO

O sistema urbano é complexo e cada vez mais torna-se palco de debates quanto ao planejamento das cidades para que estas possam fornecer condições sustentáveis aos seus habitantes. Com isso, vem o desafio de planejá-las tornando-as competitivas economicamente e, ao mesmo tempo, garantindo condições de vida sustentável aos seus cidadãos (Costa; Matos, 2018).

Segundo a Organização das Nações Unidas (2019), atualmente 55% da população mundial reside em áreas urbanas e a estimativa é que esse valor passe para 70% até 2050. Devido a busca pela “cidade”, espera-se que a área urbana ocupada triplique entre os anos de 2000 a 2030, passando de 400 mil km² para 1,2 milhão de km². Conforme Costa e Matos (2018), esse adensamento nas áreas urbanas vem acompanhado da demanda por serviços básicos como fornecimento de energia, água, transporte, habitação e assim, como consequência, o aumento da utilização por recursos naturais. Devido a isso, as cidades precisam estar preparadas para atender esse adensamento urbano crescente de uma forma sustentável.

Conforme Feil e Schreiber (2017, p. 8), “a sustentabilidade é um termo que expressa a preocupação com a qualidade de um sistema que diz respeito à integração indissociável (ambiental e humano), e avalia suas propriedades e características, abrangendo os aspectos ambientais, sociais e econômicos”. Uma cidade sustentável é criada com base em ambientes urbanos economicamente viáveis, socialmente justos e ambientalmente corretos. A cidade sustentável deve promover a participação não apenas da sociedade civil, mas a colaboração de variados setores para que se tenha avanços reais e políticas públicas efetivas (Lemos; Steibel; Vicente, 2018).

Tendo em vista a necessidade da água para a sobrevivência das espécies, os recursos hídricos tiveram papel importante na delimitação da localização e no desenvolvimento de povos, comunidades e posteriormente de cidades. Segundo Tundisi e Tundisi (2011), a história da água no Planeta Terra é complexa e possui relação direta com o crescimento da população, o grau de urbanização e assim seus diversos usos, o que implica na quantidade e qualidade da água disponível.

Devido aos diversos usos diretos e indiretos da água, a demanda por preservação e a recuperação de recursos hídricos vem a cada dia se tornando mais evidente (Teodoro *et al.*, 2013). Conforme Sodré (2012), além do atendimento às necessidades biológicas do ser humano, a água exerce ainda um papel fundamental para o desenvolvimento de práticas industriais, agrícolas e socioculturais. A maioria dessas práticas requer uma água de qualidade para suas

atividades, bem como para o consumo humano. Cornelli *et al.* (2016), cita que “a forma como o ser humano usa e ocupa o solo está conectada diretamente com a qualidade dos cursos hídricos ali presentes”. Isto é, as ações humanas e as práticas industriais e agrícolas influenciam na qualidade da água tendo em vista a forma pela qual fazem o uso do solo e a forma que destinam seus resíduos, tanto sólidos quanto líquidos nos corpos d’água receptores. Corroborando, Okumura *et al.* (2020) enfatizam que as atividades humanas têm causado significativa alteração na qualidade da água e na biodiversidade, gerado pelos efluentes da população urbana, que são o esgoto doméstico e industrial e o esgoto pluvial.

Conforme Morais, Fadul e Cerqueira (2018), a partir da promulgação da “Lei das Águas” em 1997, seguindo um conceito mundial de considerar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, o Brasil passou também a adotar o modelo de bacia hidrográfica, e a gestão da água passa a ter essas bacias como âmbito territorial e não as fronteiras administrativas e políticas dos entes federados. O estudo acerca das bacias hidrográficas possui a finalidade de planejar os recursos hídricos existentes. Elas são delimitadas por divisores de água e são drenadas por rios, afluentes e outros, o que permite compreender diversas porções diferentes do território.

O município de Caxias do Sul, localizado no Rio Grande do Sul, estende-se por duas bacias, a Bacia Hidrográfica do Caí e a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, divididas em 5 sub-bacias que drenam a área urbana do município. Dentro deste contexto é importante avaliar as condições dos corpos hídricos, visto que a água expressa a saúde do que está em seu entorno, sendo assim ferramenta importante para a gestão e planejamento de cidades mais sustentáveis, possibilitando a identificação das áreas urbanas vulneráveis. Nesse sentido, o uso de uma base de dados histórica sobre a qualidade da água torna possível a compreensão do quanto a cidade melhorou sua gestão ambiental, tratando o esgoto doméstico, licenciando e fiscalizando as indústrias no que tange ao lançamento de efluentes e regularizando áreas de maior vulnerabilidade social e ambiental. Isso é fundamental para o planejamento futuro de uma cidade que visa ser sustentável, inteligente e saudável, proporcionando assim um ambiente seguro aos seus habitantes.

O entendimento da evolução da qualidade da água e a forma de como o solo urbano é ocupado se torna ferramenta importante, tendo em vista que pode auxiliar na proposição de diretrizes para o planejamento urbano contribuindo para a geração de cidades inteligentes, saudáveis e sustentáveis.

Este trabalho traz a análise e a avaliação da qualidade da água, a fim de auxiliar no planejamento urbano do município de Caxias do Sul. A avaliação da qualidade da água foi

realizada com base em índices de qualidade e a comparação com resultados de campanhas anteriores a fim de se compreender o estado de degradação ambiental das sub-bacias hidrográficas urbanas. A caracterização do perímetro urbano, por meio de indicadores e dados secundários, como densidade de habitantes e moradias, renda média familiar, distribuição de empresas com licença para lançamento de efluentes nos corpos hídricos, permitiu compreender a forma como o espaço é ocupado e as relações que ocorrem nesse, fornecendo assim subsídios para um planejamento urbano mais assertivo.

Tendo em vista a problemática ambiental instalada no mundo, a ONU estabeleceu 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) a fim de que o mundo todo pudesse atingir metas igualitárias para se chegar ao mundo mais justo e sustentável para todos (IBGE, 2024). Dentre os ODS existentes, destaca-se que o presente trabalho está inserido no ODS 6, que trata sobre Água Potável e o Saneamento, com o objetivo “garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos” e o ODS 12, que trata sobre o Consumo e Produção Responsáveis e tem como objetivo “assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis”.

Esta dissertação está organizada em 8 capítulos sendo que nos capítulos 2 e 3 são apresentados os objetivos de estudo e a revisão teórica acerca da qualidade da água no ambiente urbano. Os capítulos 4 e 5 abordam a caracterização da área de estudo e a metodologia para o presente trabalho, enquanto os resultados são apresentados no capítulo 6. Os capítulos 7 e 8 por sua vez apresentam as considerações finais e as recomendações para trabalhos futuros.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a evolução do estado de degradação ambiental das bacias urbanas de Caxias do Sul/RS ao longo do tempo e sua relação com o uso do solo, como ferramenta para subsidiar o planejamento da cidade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar o uso e ocupação do solo dos anos de 2012 e 2022, a fim de comparar as mudanças ocorridas nesse período de tempo;
- b) Caracterizar a ocupação urbana das bacias hidrográficas, com o uso de indicadores secundários urbanos, sociais e ambientais;
- c) Analisar a qualidade atual da água nas sub-bacias hidrográficas do perímetro urbano do município de Caxias do Sul, através de índices de qualidade e estatística descritiva;
- d) Analisar comparativamente a qualidade atual da água nas sub-bacias hidrográficas da zona urbana do município de Caxias do Sul aos resultados obtidos em campanhas anteriores;
- e) Analisar a evolução da qualidade da água ao longo do tempo, buscando identificar as possíveis causas de degradação e sua relação com o uso do solo nas sub-bacias.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Conforme Mesquita (2017), historicamente, a gestão dos recursos hídricos brasileira era voltada mais para o desenvolvimento de atividades produtivas do que para conservação. Conforme Silva, Herreros e Borges (2017), “antes de ser aplicada no Brasil, ou mesmo estruturada pela ONU, a necessidade de gerenciamento dos recursos hídricos já era evidente e existente em alguns países desenvolvidos, apesar de não haver unanimidade quanto ao modelo de gestão”.

Segundo Tucci (2008), o desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação gerado pelos efluentes da população urbana, que são o esgoto doméstico/industrial e o esgoto pluvial. Devido à preocupação com os recursos hídricos, em 1934 foi aprovado o Código das Águas através do Decreto 24.643 de 10 de julho (Brasil, 1934). Apesar do código se voltar aos usos de recurso hídrico para fins de energia, usos agrícolas e urbanos, foi um grande marco na gestão ambiental da água no Brasil.

Em 1992 a ONU publicou a Declaração Universal dos Direitos da Água, a qual cita que a “água faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão é plenamente responsável aos olhos de todos” (ONU, 1992). Além disso, cita a água como essencial a vida, sendo ela vegetal, animal ou humana.

A nível nacional, em 8 de janeiro de 1997 foi criada a Lei nº 9.433 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (Brasil, 1997). Conforme Brasil (1997), em seu Artigo 1º “A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”.

Conforme descrito no artigo 1º da Política Nacional de Recursos Hídricos de 1997, a bacia hidrográfica é considerada uma unidade territorial de planejamento para se propor estratégias e gerir a manutenção dos cursos hídricos presentes no país (Brasil, 1997).

Em meados dos anos 2000 a Lei nº 9.984 (Brasil, 2000) criou a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A ANA é a agência reguladora dedicada a fazer cumprir os objetivos e diretrizes da Lei das Águas do Brasil, Lei nº 9.433 (Brasil, 1997). Cinco anos depois, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005), regulou a temática sobre a classificação dos corpos de água e deu diretrizes para seu enquadramento. Além disso, a Resolução estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes a fim de regularizar o descarte de efluentes em corpos hídricos garantindo um ecossistema mais saudável.

Além da preocupação com a qualidade da água bruta e tratada, a Lei Federal nº 11.445 (Brasil, 2007), estabelece diretrizes nacionais para assegurar o saneamento básico no país. No ano de 2020, a Lei 14.026 (Brasil, 2020), foi publicada a fim de atualizar a Lei 11.445 e assim estabeleceu a meta de atendimento a 99% da população com água potável e 90% da população com coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033.

Essas metas relacionadas ao saneamento básico têm implicações diretas na gestão das bacias hidrográficas (BH). Segundo Barrella (2001), bacia hidrográfica (BH) é definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo, limitada pela topografia, onde a água proveniente da chuva infiltra no solo formando nascentes e o lençol freático ou escoam pela superfície formando rios. Corroborando, Schiavetti e Camargo (2002) citam a mesma definição para o conceito de BH e acrescentam que ela representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água.

O termo sub bacia conforme Teodoro *et al.* (2007) corresponde à área de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Santana (2003) cita que as bacias podem ser desmembradas em diversas sub bacias dependendo do ponto de saída, considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor.

O Estado do Rio Grande do Sul, instituiu através da Lei nº 10.530 de 30 de julho de 1994 o Sistema Estadual de Recursos Hídricos (Rio Grande do Sul, 1994). Através dessa Lei foi proposta a criação de Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica. Ficou instituído que em cada bacia hidrográfica fosse constituído um Comitê, ao qual receberia a função de coordenar as atividades dos agentes públicos e privados relacionados aos recursos hídricos e assim realizando as metas do Plano Estadual de Recursos Hídricos que estava previsto na

presente lei (Rio Grande do Sul, 1994). O Plano Estadual de Recursos Hídricos foi instituído apenas no ano de 2014 através da Resolução CRH nº 141 (Rio Grande do Sul, 2014).

A nível municipal, Caxias do Sul - RS, publicou a Lei Complementar nº 246 de 6 de dezembro de 2005 (Caxias do Sul, 2005), onde em seu Artigo 2º cita que a lei tem “por objetivo assegurar a disponibilidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos aos atuais usuários e às futuras gerações em padrões de quantidade e qualidade adequados ao consumo”. O Quadro 1 traz o resumo das legislações acerca da temática dos recursos hídricos e saneamento básico nas instâncias federal, estadual e municipal.

Quadro 1 - Resumo das principais leis pertinentes a gestão dos recursos hídricos

Âmbito	Normativa	Resumo
Federal	Decreto Federal nº 24.643 de 10 de julho 1934	Institui o Código de Águas
	Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997	Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
	Lei nº 9.984 de 17 de julho de 2000	Criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA
	Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005	Classifica os corpos da água e dá diretrizes para seu enquadramento bem como estabelece padrões para lançamento de efluentes
	Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007	Estabelece diretrizes para o saneamento básico
	Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020	Atualiza o marco legal do saneamento básico e estabelece metas para atendimento de água potável e coleta e tratamento de esgoto a população
Estadual	Lei nº 10.530 de 30 de julho de 1994	Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos
	Resolução CRH nº 141 de 21 de março de 2014	Institui o Plano Estadual de Recursos Hídricos
Municipal	Lei Complementar nº 246 de 6 de dezembro de 2005	Estabelece conceitos e funções da zona das águas (ZA) - bacias de captação e acumulação de água para o abastecimento do município de Caxias do Sul, disciplina o uso e parcelamento do solo para estes espaços

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2 INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA

“O termo qualidade da água não se restringe a determinação de certo grau de pureza da água, mas de suas características desejáveis para os diferentes usos” (Ramos; Oliveira; Araújo, 2019). Contaminação nada mais é do que uma alteração na qualidade da água provocada na maioria das vezes pelo ser humano e que a torna inapta ou danosa ao consumo por parte do homem, dos animais, da agricultura, indústria e até mesmo para atividades de lazer (Derisio, 2012). Diversos parâmetros e índices podem ser utilizados a fim de monitorar e identificar a situação da qualidade da água de um recurso hídrico os quais estão descritos a seguir.

3.2.1 Índice de Qualidade das Águas – IQA

O Índice de Qualidade das Águas, conhecido como IQA, foi criado em 1970 por Brown *et al.* (1970), nos Estados Unidos, para *National Sanitation Foundation (NSF)* utilizando a técnica Delphi, contando 142 pesquisadores em três questionários (Finotti *et al.*, 2009). Conforme Finotti *et al.* (2009), uma das limitações do IQA é de o índice tratar apenas da poluição por carga orgânica ou por efluentes domésticos. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, a CETESB (2021) adaptou o IQA utilizando nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas. Essas variáveis apresentam pesos (w) diferentes, determinados em função da sua importância para a conformação global do índice, conforme Tabela 1 (ANA, 2005).

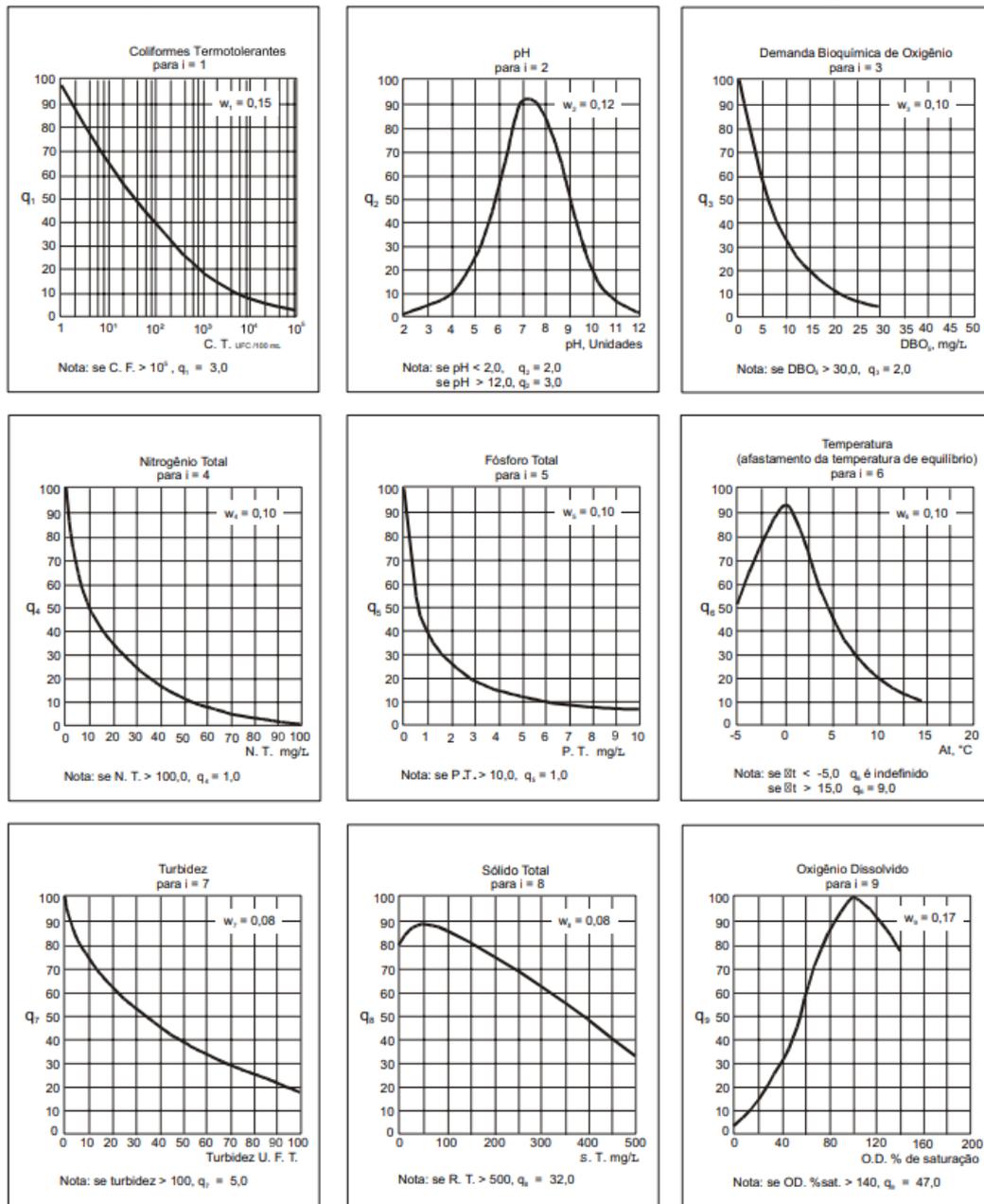
Tabela 1 - Parâmetros e pesos relativos do IQA

Parâmetros	Pesos (w)
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Fecais	0,15
pH	0,12
DBO	0,10
Fósforo Total	0,10
Temperatura	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: ANA (2005).

Além do peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida (Figura 1).

Figura 1 - Curvas Médias de Variação da Qualidade das Águas



Fonte: CETESB (2021).

As amostras de água após serem analisadas e os seus pesos e valores encontrados conforme as curvas de variação, é calculado o IQA de acordo com a Equação 1.

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

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;

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;

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

As faixas de classificação para o resultado de IQA possuem classes diferentes para a CETESB (2021) e a Fundação Estadual de Proteção Ambiental, FEPAM (2023) conforme podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação do IQA

Categoria	Ponderação CETESB	Ponderação FEPAM
ÓTIMA	$80 < \text{IQA} \leq 100$	$91 < \text{IQA} \leq 100$
BOA	$52 < \text{IQA} \leq 79$	$71 < \text{IQA} \leq 90$
REGULAR	$37 < \text{IQA} \leq 51$	$51 < \text{IQA} \leq 70$
RUIM	$20 < \text{IQA} \leq 36$	$26 < \text{IQA} \leq 50$
PÉSSIMA	$\text{IQA} \leq 19$	$\text{IQA} \leq 25$

Fonte: Adaptado de CETESB (2021) e FEPAM (2023).

Os estudos realizados no estado do Rio Grande do Sul, segundo ANA (2005), utilizam para compreensão do IQA a classificação estabelecida pela FEPAM.

Os parâmetros utilizados na composição do cálculo do IQA e sua importância ambiental estão descritos nos subcapítulos apresentados a seguir.

3.2.1.1 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio (O₂), dentre todos os gases dissolvidos na água, é um dos mais importantes na dinâmica de ecossistemas aquáticos (Esteves, 1998). Avaliar os níveis de oxigênio dissolvido é importante pois também indica a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática (CETESB, 2020). Tem como fonte principal a atmosfera e a fotossíntese (Esteves, 1998).

Esse parâmetro químico é dependente da salinidade, da pressão atmosférica, da temperatura, turbulência e da atividade fotossintética (Finotti *et al.*, 2009). O oxigênio é um gás de grande importância biológica e sua presença na água faz com que participe de inúmeras reações químicas. Sua dissolução na água é rápida e dependente de interações de temperatura da água e da pressão atmosférica (Tundisi; Tundisi, 2008).

Os sistemas lóticos, conhecidos pelos rios, podem propiciar um sistema efetivo de aeração da água e assim recomposição do oxigênio dissolvido, com consequente autopurificação (Tundisi; Tundisi, 2008). O oxigênio dissolvido possui papel relevante no meio aquático entretanto é notória suas perdas pelo consumo na decomposição de matéria orgânica (oxidação), a respiração de plantas e animais aquáticos, e ainda pela oxidação de íons metálicos, como ferro e manganês (Tundisi; Tundisi, 2008; Esteves, 1998). Conforme Finotti *et al.* (2009), as principais consequências da redução do oxigênio dissolvido no meio aquáticos são a mortandade de organismos aeróbios, aumento da toxicidade, geração de odores e a solubilização de compostos químicos.

3.2.1.2 Coliformes Fecais e Termotolerantes

O grupo de bactérias conhecidas por coliformes tem importância sanitária, uma vez que se desenvolve no tubo digestivo de animais, e altas concentrações dessas bactérias indicam contaminação (Tundisi; Tundisi, 2008). A análise de coliformes fecais presentes em água se dá através da *Escherichia coli*. No entanto em laboratório pode se optar por realizar o ensaio para coliformes termotolerantes que não são, indicadores de contaminação fecal tão apropriados quanto a *E. coli*, mas sua análise é aceitável para avaliar a qualidade da água (CETESB, 2021).

Na análise de coliformes termotolerantes há a presença da *E. coli* e bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. Somente a *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente, em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros. Os demais gêneros de bactérias podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição (CETESB, 2021).

3.2.1.3 pH

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), o pH (potencial de hidrogênio iônico) é utilizado universalmente para expressar uma condição ácida ou alcalina de uma solução. O pH

varia entre 0 (muito ácido) e 14 (muito básico) e é classificado como neutro quando apresenta pH 7. Em águas naturais os valores de pH variam entre 4 e 9. Conforme CETESB (2021) o pH influencia os ecossistemas aquáticos naturais devido a seus efeitos diretos sobre a fisiologia das espécies presentes. Peixes em geral não suportam pH fora da faixa de 5 a 9 (Finotti *et al.*, 2009). Ainda, podem ocorrer efeitos indiretos em determinadas concentrações de pH, como a precipitação de elementos químicos tóxicos como os metais pesados.

3.2.1.4 DBO

Conforme Von Sperling (2007), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), é um parâmetro fundamental para caracterizar o grau de poluição de um corpo hídrico. De forma indireta, a DBO retrata o teor de matéria orgânica no corpo d'água, sendo assim uma indicação do potencial do consumo de OD (Von Sperling, 2007). Portanto, a DBO pode ser compreendida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por meio de bactérias (Derisio, 2012). Aumento de valores de DBO no corpo hídrico é indicativo de despejos de origem orgânica (CETESB, 2021).

3.2.1.5 Fósforo Total

O fósforo é importante para os sistemas biológicos. Segundo Esteves (1998), a importância desse elemento se dá pela sua participação em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos como, estruturação da membrana celular, através dos fosfolipídios e no armazenamento de energia, formando parte da molécula ATP. Na água, o fósforo pode se apresentar sob três formas distintas. A forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas como um detergente é conhecida por fosfato orgânico (CETESB, 2021). Os ortofosfatos são representados pelos radicais que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas e por último tem-se os polifosfatos que são polímeros de ortofosfatos (CETESB, 2021). O fósforo se apresenta no meio aquático através de fontes naturais e artificiais. A fonte de origem natural se encontra através da dissolução de solos e ou a decomposição da matéria orgânica enquanto a fonte artificial de carga de fósforo no meio aquático se dá por despejos domésticos, despejos industriais, detergentes, fertilizantes e excrementos de animais (Von Sperling, 2007).

A presença do fósforo, como já citado, é indispensável ao curso hídrico, entretanto quando em concentrações elevadas pode contribuir para um crescimento exagerado de algas causando a conhecida eutrofização (Von Sperling, 2007).

3.2.1.6 Temperatura

A temperatura é uma medida da intensidade de calor presente na água. Conforme Derisio (2012), despejos de origem industrial e descargas de usina termoeletricas provocam o aumento da temperatura em corpos d'água superficiais. Além disso, segundo Von Sperling (2007), há o aumento da temperatura de origem natural como a transferência por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo).

Os efeitos causados pelo aumento da temperatura no corpo hídrico são indiretos na fauna e flora aquática, onde o aumento da temperatura causa a diminuição da viscosidade, o que acaba estimulando a atividade biológica, uma maior agitação nos seres aquáticos que consequentemente aumenta o consumo por oxigênio dissolvido e assim diminuição da retenção do gás oxigênio através do líquido (Finotti *et al.*, 2009; Derisio, 2012). Dessa forma a temperatura deve sempre ser analisada em conjunto com outros parâmetros, como o oxigênio dissolvido (Von Sperling, 2007).

3.2.1.7 Nitrogênio Total

Conforme Finotti *et al.* (2009), o nitrogênio total é a soma do nitrato, nitrito e do nitrogênio Kjeldahl (NTK), sendo esse constituído por amônia e nitrogênio orgânico. O nitrogênio é um dos elementos mais importantes em ecossistemas aquáticos e sua importância deve-se a sua participação na formação de proteínas (Esteves, 1998). A origem natural do nitrogênio é como constituinte de proteínas e compostos biológicos e na composição celular de microrganismos, enquanto sua origem antropogênica é oriunda de despejos domésticos, industriais, excrementos animais e fertilizantes (Von Sperling, 2007).

Segundo Von Sperling (2007), a forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição onde, uma poluição recente está mais associada ao nitrogênio na forma orgânica ou amônia, enquanto uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato. Conforme CETESB (2021), se as análises de água demonstrarem predominância das formas reduzidas de nitrogênio (orgânico e amoniacal) significa que o foco de poluição se encontra próximo, porém se prevalecerem o nitrito e o nitrato, denota que as descargas de esgotos se encontram distantes.

A presença de fósforo e nitrogênio em quantidades elevadas no meio aquático pode ocasionar a eutrofização do corpo hídrico, culminando com o consumo de oxigênio dissolvido (Finotti *et al.*, 2009).

3.2.1.8 Turbidez

A turbidez é o grau de atenuação da intensidade em que um feixe de luz sofre ao atravessar determinada quantidade de água, devido a presença de sólidos em suspensão (CETESB, 2021). Conforme Finotti *et al.* (2009), ela é determinada pelo método nefelométrico e é expressa em unidade de turbidez nefelométrica (NTU). A turbidez da água é causada devido a matérias em suspensão como por exemplo, argila, silte, substâncias orgânicas finas, partículas e organismos microscópicos (Derisio, 2012). Elevados valores de turbidez reduzem a entrada de luz no meio aquático, o que diminui a fotossíntese e assim acaba por suprimir a produtividade de peixes (CETESB, 2021). O lançamento de efluentes domésticos e/ou industriais também contribuem com a alteração da turbidez na água (Finotti *et al.*, 2009).

3.2.1.9 Sólidos Totais

Conforme a CETESB (2021), sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixo. A entrada dos sólidos na água pode ocorrer de forma antropogênica através do lançamento de esgoto e resíduos ou de forma natural por processos erosivos e detritos orgânicos (Finotti *et al.*, 2009). Nos recursos hídricos os sólidos presentes podem causar diversos danos à vida aquática. Os sólidos podem danificar o leito de desova de peixes e destruir organismos devido a sedimentação (CETESB, 2021). Além disso, podem reter bactérias e resíduos orgânicos, o que favorece a decomposição anaeróbia (CETESB, 2021).

3.2.2 Índice de Estado Trófico - IET

O Índice do Estado Trófico, conhecido como IET, conforme a CETESB (2021) tem por finalidade avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias. O IET foi desenvolvido por Carlson (1977), com o objetivo de tornar mais objetivo os estudos envolvendo a eutrofização e a classificação de corpos d'água. Lamparelli (2004) em sua tese modificou o índice criado por Carlson (1977) e essa ferramenta é atualmente utilizada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para avaliar a qualidade da água de rios e dos reservatórios (CETESB, 2021).

O IET considera para seu cálculo duas variáveis, a clorofila-a e o fósforo total. A clorofila, carotenoides e as ficobilinas são responsáveis pelo processo fotossintético. A

clorofila-a é encontrada em todos os grupos de cianobactérias e algas e é utilizada como um indicador do crescimento desses devido ao enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, fenômeno este denominado eutrofização, portanto a clorofila-a é considerada a principal indicadora do estado trófico no meio aquático (CETESB, 2014).

Os resultados provenientes do cálculo do IET são entendidos como:

- **Fósforo - IET(P):** uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo;
- **Clorofila-a - IET(CL):** deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas que tem lugar em suas águas (CETESB, 2021). Assim, a união das duas variáveis traz consigo a causa e o efeito do processo.

Os resultados são enquadrados dentro de uma das seis classes do IET. Cada classe apresenta características diferentes, como observado no Quadro 2.

Quadro 2 - Classe de estado trófico e suas características principais

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características
= 47	Ultraoligotrófico	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam prejuízos aos usos da água.
47 < IET = 52	Oligotrófico	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
52 < IET = 59	Mesotrófico	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
59 < IET = 63	Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
63 < IET = 67	Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos
> 67	Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: Adaptado de Lamparelli (2004).

3.2.3 Índice de Toxicidade - IT

O Índice de Toxicidade é utilizado para representar o potencial de toxicidade de um corpo d'água, podendo ser denominado também como Contaminação por tóxicos – CT (IGAM, 2022).

Os parâmetros que compõem o IT são: arsênio total, bário total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre e cianeto total, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e zinco total (IGAM, 2022). As concentrações são comparadas com as definidas pela Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005).

Para se determinar se o corpo hídrico está contaminado são utilizadas três classificações: baixa contaminação, média contaminação e alta contaminação. A contaminação possui a classificação de baixa se as concentrações obtidas forem iguais ou inferiores a 1,2 vezes o limite estabelecido para a classe em que o corpo hídrico está enquadrado no local da amostragem. Contaminação média se dá se as concentrações estiverem entre 1,2 e 2 vezes o limite da classe e a contaminação Alta refere-se às concentrações que superam o dobro do limite estabelecido para a classe de enquadramento do corpo hídrico (Von Sperling, 2007).

Certos processos biológicos de tecidos vivos e microrganismos requerem alguns tipos de metais para acontecerem. Cobre, manganês e zinco, quando em baixas concentrações são fundamentais em processos fisiológicos de regulação (Tundisi; Tundisi, 2008). Entretanto se esses metais estiverem em concentrações elevadas em um meio aquático podem ser tóxicos aos organismos e ao ser humano, sendo um dos piores problemas o processo de bioacumulação na rede alimentar (Tundisi; Tundisi, 2008).

O cianeto pode ser introduzido no meio ambiente através de atividade humana como, operação de postos de gasolina, limpeza de metais, galvanoplastia, metalurgia, fotografia e outros. Os compostos de cianeto encontrados no ambiente são o cianeto de hidrogênio (HCN) e dois de seus sais, cianeto de sódio e cianeto de potássio. Esse composto é tóxico à vida aquática, terrestre e aérea pois tende a bloquear o transporte de oxigênio no organismo (CETESB, 2017).

O metal cobre pode ser encontrado na água devido a minas de cobre ou de outros metais, corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, algicidas aquáticos, efluentes de estação de tratamento de esgoto e outros. O cobre é um nutriente essencial em plantas e animais quando em baixa dosagem (CETESB, 2021). Segundo a CETESB (2021), estudos indicam que uma concentração de 20 mg/L de cobre ou um teor total de 100 mg/L por dia na água é capaz de produzir intoxicações no homem.

O cromo é amplamente utilizado na produção de ligas metálicas, tintas, fertilizantes, curtumes, preservativos para madeira, entre outros usos (CETESB, 2021). Conforme CETESB (2021), a maioria das águas superficiais contém entre 1 e 10 µg/L de cromo.

O níquel é utilizado na galvanoplastia, fabricação de moedas, aço inoxidável entre outros. Concentrações de níquel em águas superficiais naturais podem chegar a 0,1 mg/L sendo que doses mais elevadas podem causar dermatites em indivíduos mais sensíveis se contato com a água, segundo a CETESB (2021).

Dentre as diferentes formas, o nitrato, juntamente com o íon amônio, assumem grande importância nos ecossistemas aquáticos, uma vez que representam as principais fontes de nitrogênio para os produtores primário (Esteves, 1998). Os nitritos e nitratos são utilizados na indústria alimentícia como corantes e preservativos. Além disso, os nitratos participam como contaminantes da água potável. Eles são extremamente tóxicos, podendo causar uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (CETESB, 2021).

O zinco é utilizado na galvanização de aço, fabricação de ligas e latão, fabricação de xampus, desodorantes entre outros. Conforme CETESB (2021), a presença de zinco é comum nas águas superficiais naturais, em concentrações geralmente abaixo de 10 µg/L. O zinco é essencial ao corpo humano em pequenas quantidades se tornando prejudicial à saúde quando ingerido em concentrações muito elevadas. A água com elevada concentração de zinco tem aparência leitosa e produz um sabor metálico ou adstringente quando aquecida (CETESB, 2021).

3.2.4 Índice de Conformidade ao Enquadramento - ICE

O Índice de Conformidade ao Enquadramento, conhecido também por ICE, foi desenvolvido no Canadá em 1997 pela *Canadian Council of Ministers of the Environment: Water Quality Guidelines* (CCME, 2001) com o objetivo de fornecer uma ferramenta para avaliação de dados de qualidade das águas, fazendo uso de parâmetros convenientes e de fácil entendimento. O ICE foi proposto por Amaro (2009) na avaliação da qualidade das águas das bacias dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ), localizada no estado de São Paulo. O índice é utilizado para indicar a condição de conformidade da qualidade da água do corpo hídrico ao enquadramento estabelecido pela legislação.

O enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade possui o objetivo de assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas, e ainda auxiliar na diminuição dos custos de combate à poluição hídrica, mediante ações

preventivas permanentes (Pinto *et al.*, 2016; ANA, 2021). Além disso, o enquadramento deve ser referência, tanto para a condição atual da qualidade da água, quanto para a desejada, ou seja, a meta pela qual se almeja encontrar o recurso hídrico com o objetivo de atender aos usos definidos pela sociedade. Sendo assim, a utilização de índice que permita compreender se as metas propostas para qualidade da água estão sendo atendidas é de extrema importância.

Na resolução CONAMA nº 357/2005, estão definidas as diretrizes para a classificação das classes de enquadramento dos corpos de água que deve ser realizada pelos comitês de bacias hidrográfica dentro do processo de planejamento dos recursos hídricos.

Diversos estudos vêm fazendo o uso do ICE como ferramenta de suporte e gestão de recursos hídricos. Bortolin *et al.* (2013) fizeram o uso do ICE com a finalidade de avaliar a qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio São Marcos/RS. No estudo constataram a presença do afastamento da qualidade do rio com a classe proposta, destacando, sobretudo, a significativa influência das atividades antrópicas nas proximidades. Pessoa, Azevedo e Ribeiro (2018) concluíram analisando o ICE e o uso do solo, que o enquadramento proposto na legislação não é utilizado de forma adequada nas bacias dos rios Preto e Paraibuna/MG. Carneiro *et al.* (2020) utilizaram o ICE para identificar a condição atual do Rio Ipiranga em Minas Gerais e assim propor um novo enquadramento visando as classes de uso da bacia hidrográfica.

3.3 ESTATÍSTICA MULTIVARIADA APLICADA À QUALIDADE DA ÁGUA

São diversos os parâmetros analisados para a compreensão da qualidade da água de um determinado local. Devido a essa quantidade de informação se faz necessária a utilização de métodos e ferramentas que auxiliem na interpretação dos dados de forma mais fácil e que traga novas percepções aos estudos.

Segundo Finkler *et al.* (2015) medir variados parâmetros de poluentes em pontos distintos, com frequências periódicas é o método mais usual de avaliação da qualidade da água. Entretanto, como resultado obtém-se uma matriz complexa, composta de diferentes parâmetros com grandezas distintas, o que torna difícil a leitura e a interpretação.

Nesse sentido, a análise estatística multivariada se torna uma ferramenta indispensável, pois permite analisar e manipular dados que contenham muitas variáveis. Conforme Guedes *et al.* (2012) a técnica de estatística de componentes principais (ACP), reorganiza um conjunto de variáveis originais em um novo conjunto, que se denomina componentes principais. segundo o autor, o primeiro componente calculado é o que define o máximo de variabilidade dos dados, o

segundo componente explica o restante dos dados, sem ter correlação com o primeiro componente calculado e assim sucessivamente.

Conforme Hongyu, Sandanielo e Junior (2016), a ACP é uma técnica conhecida e está relacionada a ideia de trabalhar com redução de dados com a menor perda de informação possível. Segundo Favero e Belfiore (2017) a análise fatorial por componentes principais apresenta quatro objetivos: (1) identificação de correlações entre variáveis originais para a criação de fatores que representam a combinação linear daquelas variáveis; (2) verificação da validade de constructos previamente estabelecidos, tendo em vista a alocação das variáveis originais em cada fator; (3) elaboração de rankings por meio da criação de indicadores de desempenho a partir dos fatores; e/ (4) extração de fatores ortogonais para posterior uso em técnicas multivariadas confirmatórias que necessitam de ausência de multicolinearidade.

Menezes *et al.* (2016) e Okumura *et al.* (2020), utilizaram o método da análise de componentes principais (ACP) para compreender as inter-relações entre os parâmetros da qualidade da água e as variáveis que afetam o sistema hídrico. Finkler *et al.* (2015) fizeram o emprego da ACP nos dados de qualidade da água de Caxias do Sul, nos anos de 2012 a 2014, com a finalidade de compreender a variação espacial e temporal da qualidade água. Encontraram em seu estudo 71,3% de variância total dos dados e que os parâmetros mais significativos de alteração da qualidade da água estão associados as atividades de caráter antrópico.

Segundo Fraga *et al.* (2021) a realização da ACP foi fundamental no diagnóstico da variabilidade da qualidade da água do rio Ipiranga em Minas Gerais, identificando que além da bacia ser susceptível a erosão e a contaminação por efluentes domésticos, há também a presença de metais pesados. Quinelato *et al.* (2021) demonstraram com a utilização da ACP e análise dos parâmetros de qualidade da água, a importância da tomada de ações por parte do poder público e comunidade a fim de sanar os impactos causados pela inexistência de um sistema de esgotamento sanitário na Vila Caraíva em Porto Seguro, o que causa a degradação da água no local.

Outra técnica de estatística multivariada é a análise de agrupamentos (AA). Conforme Centeno *et al.* (2016), a AA vem sendo amplamente utilizada nos estudos de qualidade da água com o intuito de auxiliar na identificação das fontes de poluição. A análise de agrupamentos (AA) possui o objetivo de verificar a relação entre os pontos de estudo, separando-os em grupos com base nas variáveis que esses possuem (Rodrigues Junior *et al.*, 2022).

Centeno *et al.* (2016) concluíram com base na análise de agrupamentos realizadas nos dados de qualidade da água no arroio São Lourenço, em São Lourenço do Sul (RS) que a

ferramenta estatística auxilia na interpretação das fontes de poluição da água. Souza, Cecconello e Centeno (2021), observaram padrões semelhantes e fontes de poluição diferentes entre pontos ao analisarem a qualidade da água do rio Comandaí no Rio Grande do Sul, com o auxílio da análise de agrupamentos.

3.4 QUALIDADE DA ÁGUA E OCUPAÇÃO URBANA

Em todo os locais do mundo, a disponibilidade e qualidade da água estão diretamente relacionadas com o uso e a ocupação do solo, os processos de urbanização e consequente geração de efluentes domésticos e industriais e processos da agricultura e pecuária (Santos *et al.*, 2017; Silva, 2015). Santos *et al.* (2017) também citam que em bacias urbanas os maiores problemas ambientais são ocasionados pelas atividades antrópicas. Conforme a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2017) na gestão de recursos hídricos deve ser levada em consideração a influência do uso do solo na qualidade da água.

O crescimento das cidades e o processo de urbanização é algo que acontece a todo momento. A atividade transformadora ou criadora do ser humano ou até mesmo de outras espécies são válidas, entretanto devem respeitar a capacidade do planeta e não limitarem o direito da vida a outro ser vivo ou até mesmo da sua mesma espécie (Hermida *et al.*, 2015).

Segundo Hermida *et al.* (2015), reabilitar os rios, as águas urbanas, é uma ação urgente e necessária ao mundo todo e para que isso possa acontecer é importante ter ferramentas que avaliam a situação real dos rios urbanos e o quanto está sendo afetado pelos espaços públicos e a cidade que está em sua margem (Hermida *et al.*, 2015). Em estudo realizado na Bahia, Okumura *et al.* (2020) constataram que áreas urbanizadas foram as que mais contribuíram para a poluição da Bacia do Rio dos Frades. Vanzela, Hernandez e Franco (2010) em estudo em um córrego de Marianópolis em São Paulo concluíram que áreas habitadas, com agricultura presente ou matas degradadas, geralmente apresentam redução na qualidade da água. Em Santa Catarina, devido ao mal uso do solo com despejo de efluentes domésticos e industriais no curso hídrico, as águas do rio Itajaí-Açu se encontram potencialmente contaminadas por coliformes totais e coliformes termotolerantes, conforme estudo desenvolvido por Vieira e Ribeiro (2021). Na cidade de Caxias do Sul, Cornelli *et al.* (2016) constataram após analisar o IQA, IT e outros índices de qualidade da água de duas sub bacias do município, que eles são influenciados pelo uso e ocupação do solo.

Devido à falta de informação ambiental dos rios do México, um estudo realizado por Saenz, Hiriart e Leñero (2018) no rio Magdalena, elaborou indicadores para compreender o

processo de recuperação do rio. O trabalho definiu 11 indicadores a serem aplicados para assim se identificar o progresso na recuperação do corpo hídrico. Constataram ao final da criação da lista de indicadores que, se os órgãos públicos fizerem uso dessa ferramenta, seria possível refletir sobre o passado do rio e delinear novas propostas de projetos de melhoras para o futuro.

Medeiros, Pinto e Alves (2021) estudaram a Bacia Hidrográfica do Córrego Bonito – BHCB, para compreender o uso e ocupação do solo no período entre 1984 e 2017 e identificando seus impactos sobre os parâmetros físicos e químicos das águas. O estudo apontou um aumento do uso antrópico nessa bacia nos últimos 33 anos. A qualidade da água também sofreu impactos devido aos usos antrópicos. Os autores trazem a problemática quanto a degradação de mananciais devido a problemas como mudança do uso das terras, que aumenta a retirada da vegetação nativa e prolifera culturas ao longo de suas terras, bem como pelo constante despejo de resíduos sólidos e descargas de esgotos tratados que alteram todo o equilíbrio natural dos córregos.

Pinto, Roma e Balieiro (2012) em estudo sobre a relação do uso do solo e qualidade da água no município de Inconfidentes, MG identificaram nas nascentes estudadas que todas apresentavam qualidade ótima e boa no IQA. A nascente próxima ao cultivo de café apresentou alteração nos níveis de oxigênio dissolvido e no fósforo total. A nascente na área de pastagem apresentou a maior degradação com mudança na cor e turbidez. A nascente no entorno de casas apresentou como maior preocupação o aumento do nitrato, devido à ausência das fossas sépticas nas residências à montante dessa nascente. O estudo envolveu a análise da qualidade da água e o mapeamento *in loco* das nascentes e seus entornos.

Veiga, Guandique e Nardocci (2019) correlacionaram o uso do solo e qualidade da água em bacias hidrográficas do Estado de São Paulo com base na classificação supervisionada de imagens de satélite e aplicado o modelo SWAT para simulação hidrológica. Os autores identificaram alterações no ciclo hidrológico quando associados ao uso e cobertura do solo. Também afirmam que o uso do sensoriamento remoto traz benefícios a este tipo de estudo tendo em vista que são ferramentas de baixo custo e de rápida aplicação que ainda podem ser combinadas com ferramenta de modelagem de ecossistemas como o SWAT. Robledo, Chacón e Álvarez (2014) com base em medições mensais da água de julho de 2012 a junho de 2013 e o uso do solo da sub bacia do Rio Túnico na Guatemala, apontaram que a qualidade da água drenada pelo rio é indesejável, independente da forma de como o solo está sendo utilizado. Também foi possível constatar o uso do solo afeta a qualidade da água em termos de concentração total de fósforo, mas não afeta para amônio e nitrito.

3.4.1 Cidades Inteligentes e Indicadores Urbanos e Sociais

As cidades crescem de forma acelerada e isso gera um desafio quanto a entender e planejar o crescimento de forma sustentável. A principal dificuldade é de criar instrumentos capazes de medir e avaliar o grau de sustentabilidade da sociedade, além de auxiliar na definição de melhorias e monitorar a forma como que se desenvolve (Polaz; Teixeira, 2009).

A cidade que se denomina sustentável deve operar segundo um modelo de desenvolvimento urbano que procure balancear, de forma eficiente, os recursos necessários ao seu funcionamento, seja nos insumos de entrada (água, energia), seja nas fontes de saída (resíduo, esgoto). É fundamental que se tenha um desenvolvimento urbano que promova boa relação com as águas e áreas verdes (Leite, 2012). Além de sustentável, as cidades também começaram um processo de criação das chamadas cidades inteligentes. Termo esse não restrito a uma aplicação de desenvolvimento tecnológico nas cidades, mas a busca pelo equilíbrio entre diversas variáveis como, qualidade de vida, mobilidade urbana, meio ambiente, economia e outros (Costa; Matos, 2018). Uma cidade que se intitula inteligente deve ter ações como: planejamento urbano eficiente; economia de energia; cuidados com meio ambiente; planejamento urbano considerando indicadores de alterações oriundas dos avanços tecnológicos, entre outros (Neto, 2018). Conforme a ONU (2015), algumas definições citam que as cidades inteligentes são as que possuem infraestrutura social, institucional, física e econômica, “inteligentes”, proporcionando a centralidade dos habitantes em um ambiente sustentável.

Ainda é possível citar o termo “cidades saudáveis”. De acordo com a OPAS (1996), uma cidade saudável é aquela em que a sociedade em geral, isto é, habitantes, órgãos públicos e privados, dedicam esforços para melhorar a condição e a vida da população, estabelecendo assim uma relação de harmonia com o ambiente físico e natural. Um ambiente urbano inteligente, sustentável e saudável preza pela qualidade de vida dos seus habitantes e fornece subsídios para a manutenção e preservação do meio ambiente no seu entorno.

Conforme Braulio-Gonzalo, Bovea e Ruá (2015) as cidades são sistemas complexos e rígidos, com interação entre as funções biológicas e físicas. Condições já existentes em cidades como, planejamento urbano e zoneamentos não são fáceis de alterar (Braulio-Gonzago; Bovea; Rua, 2015). Segundo Almeida e Gonçalves (2018) é relevante que as cidades aprimorem sua organização e seu gerenciamento para que assim haja um uso mais eficiente dos recursos disponíveis. Nesse contexto o uso de indicadores auxilia na leitura, descrição e avaliação de diferentes situações do contexto urbano (Aquino et al., 2014). Segundo Gheno (2009) os

indicadores traduzem conceitos abstratos em informação mensurável, gerando dados que descrevem fenômenos e características urbanas. Conforme Ulian (2015, pág. 298) “os indicadores podem desempenhar várias funções tais como: conhecer condições e tendências, comparar lugares, situações ou alternativas, advertir sobre alguns efeitos ou impactos de uma ação (ou falta dela)”. Isto é, os indicadores podem ser aliados em diagnosticar a situação de uma cidade.

Existem diversos indicadores e índices urbanos no Brasil. Com essa preocupação ambiental, não apenas associada a água, mas com a sustentabilidade do planeta em geral, a ONU publicou uma resolução denominada *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*, aprovada em assembleia geral em 25 de setembro de 2015. A agenda possui 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e 169 metas de ação global com intuito de estimular a ação em áreas importantes para o desenvolvimento sustentável da humanidade para os próximos 15 anos. Isto é, atingir as metas até o ano de 2030. Para mensurar se estão sendo atingidas as metas existe uma seleção de 159 indicadores dentro dos 17 ODS propostos (ONU, 2015).

A ABNT traz normas com indicadores que medem a qualidade das cidades. A NBR ISO 37120:2021 trata sobre cidades e comunidades sustentáveis, unindo indicadores de serviços urbanos e qualidade de vida. A NBR ISO 37122:2020 traz indicadores para cidades inteligentes e a NBR ISO 37123:2021 possui indicadores para cidades resilientes, estabelecendo definições e metodologias para um conjunto de indicadores de resiliência em cidades. Para a denominação de “cidade saudável”, Souza e Soares (2017), utilizaram três indicadores. O indicador de limpeza urbana, levando em consideração a coleta de resíduos; e o saneamento básico dividido em abastecimento de água e o esgotamento sanitário. Martins e Rosolen (2015) também buscaram qualificar uma região de Uberlândia como cidade saudável. Nesse sentido também fizeram uso de dados de coleta de resíduos, abastecimento de água, esgotamento sanitário e além desses utilizaram dados de domicílios improvisados, a fim de compreender sobre a desigualdade social. Nesse trabalho, Martins e Rosolen (2015) citam que a qualidade ambiental está relacionada com a segregação espacial, desigualdades de infraestrutura urbana e a problemática quanto a participação da população no planejamento das cidades.

Outros países também vêm aplicando o conhecimento acerca do uso de indicadores para compreender e planejar suas cidades, como é o caso do Equador. A Universidade de Cuenca no Equador, criou um grupo de pesquisa chamado LactaLAB. O grupo entende a cidade como um complexo sistema de interações entre as pessoas e o ambiente em que essas habitam, com padrões emergentes e propriedades influenciadas pela forma, estrutura e distribuição

espacial. O LlactaLAB criou o SISURBANO que consiste em uma ferramenta com uma bateria de indicadores com o objetivo de conhecer a forma urbana e sua relação com a sustentabilidade e assim propor mudanças no sistema urbano de Cuenca (Universidad de Cuenca, 2022). Na Espanha, na cidade de Vitoria Gasteiz também foi produzido um trabalho com o intuito de utilizar indicadores para se compreender a ocupação e dinâmica da cidade (Rueda, 2010). Outros estudos buscaram criar e ou fazer uso de indicadores para assim ter resultados do território de forma mensurável.

Conforme Sanchez (2014) a explicação para problemas ambientais, econômicos e sociais, como no caso de estudo do trabalho em Chimalhuacán no México, não pode ser explicado através de uma única perspectiva, e nesse sentido os indicadores vêm para auxiliar nesse diagnóstico. Sanchez (2014) objetivou a criação de uma série de indicadores relevantes para tomada de decisão no ambiente urbano. A busca por indicadores se baseou em alguns argumentos como: indicadores ambientais auxiliando no entendimento da disponibilidade de recursos naturais, na mudança no uso do solo, na quantidade de água, as áreas protegidas; indicadores econômicos a fim de se compreender o crescimento econômico, as atividades econômicas e recursos naturais; indicadores sociais como densidade urbana, escolaridade, relação entre pobreza e degradação ambiental (Sanchez, 2014).

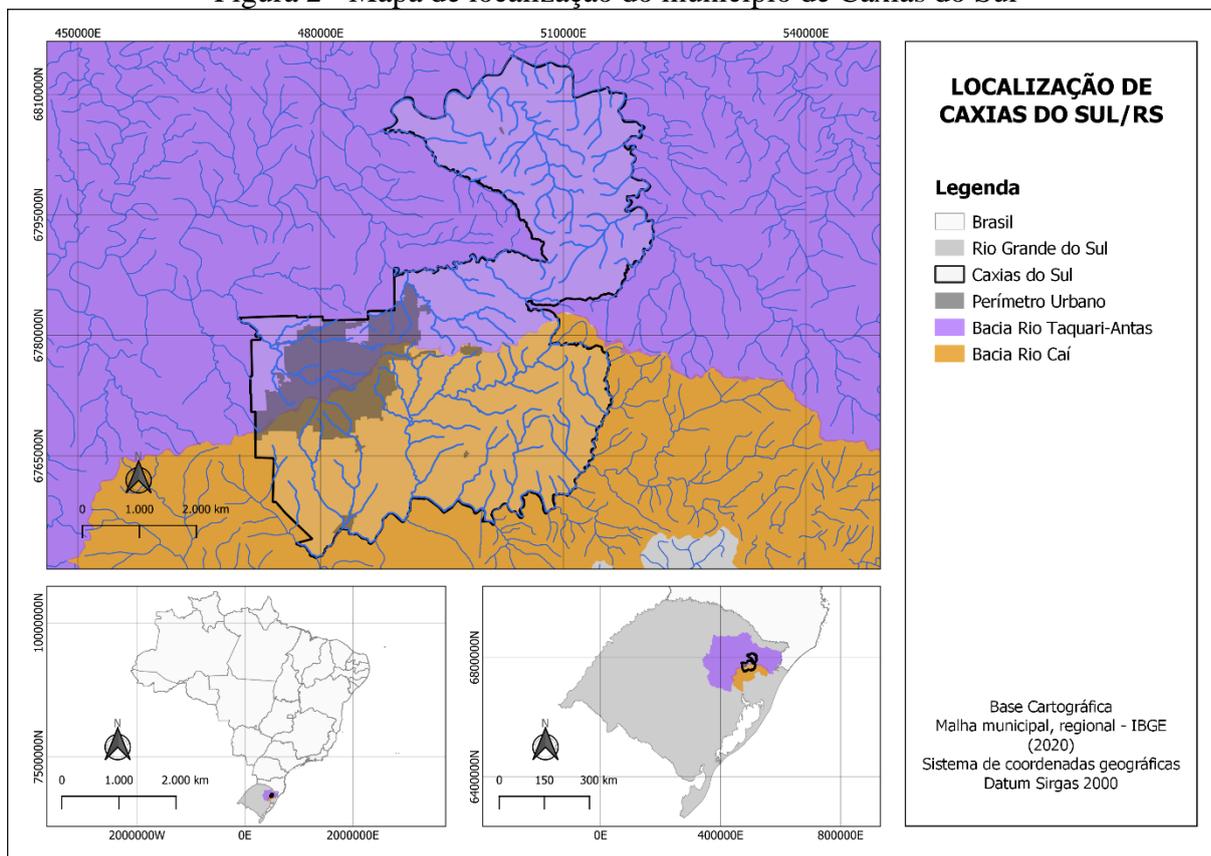
Santos (2017) fez uso de indicadores para analisar a sustentabilidade de bairros de Bragança em Portugal. Alguns indicadores utilizados para análise de uso e ocupação do solo foram, complexidade, compacidade corrigida, espaços verdes, proximidade a equipamentos públicos. No estudo os resultados obtidos possibilitaram a proposição de estratégias de intervenção favorecendo assim um desenvolvimento urbano sustentável e uma melhora na qualidade de vida dos habitantes. Na mesma linha de estudo, Vitor (2019), identificou a influência dos indicadores urbanos no desenvolvimento sustentável da região metropolitana de Huancayo, região de Junín – Peru, juntamente com questões de configuração da cidade, da gestão dos recursos naturais, da coesão social e no desenvolvimento econômico e urbano do local. Karis, Mujica e Ferraro (2020), também fizeram uso de indicadores, neste caso ambientais, para compreender a distribuição da infraestrutura ecológica na cidade de Mar del Plata e seus subúrbios, Argentina. Os indicadores demonstraram a escassez de espaços verdes públicos na maior parte da área urbana do município. Também se constatou que áreas com maior cobertura vegetal coincidem com bairros de baixa densidade populacional e alto percentual de área que não foi impermeabilizada, e que possuem pouca área verde pública. No oposto, o centro da cidade apresenta baixo índice de cobertura vegetal sendo essa proveniente de espaços públicos (Karis; Mujica; Ferraro, 2020).

O trabalho de Bastos *et al.* (2018), visava compreender a qualidade da água com base nas características socioeconômicas dos municípios de Minas Gerais. Para tal, fez-se o uso de indicadores como expectativa de vida, taxa de analfabetismo, indivíduos vulneráveis a pobreza, taxa de urbanização, percentual de domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequado. Municípios mineiros com maior expectativa de vida, desenvolvimento humano e maior taxa de urbanização apresentam maiores problemas quanto aos recursos hídricos (Bastos *et al.*, 2018).

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho foi desenvolvido no município de Caxias do Sul o qual está localizado na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Mapa de localização do município de Caxias do Sul



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Caxias do Sul, segundo dados do Censo do IBGE de 2022 (IBGE, 2023), possui uma população de 463.338 habitantes. O município possui área territorial de 1.652,308 km², resultando em uma proporção de 280 habitantes por km².

O município se encontra na Região Hidrográfica do Guaíba, presente nos comitês de bacia do Caí – G 030, e do comitê Taquari-Antas – G 040, devido a seus limites municipais estarem entre a divisão das duas bacias hidrográficas (Rio Grande do Sul, 2021). Os comitês de bacia através dos seus planos, realizam o enquadramento dos corpos hídricos com base na Conama 357 (Brasil, 2005).

A Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, situada na área urbana de Caxias, abrange as sub-bacias do Faxinal, Maestra e Tega. O comitê de bacia, através da resolução CRH nº 121 (Rio Grande do Sul, 2012), estabeleceu horizontes de 10 e 20 anos para o enquadramento dos rios da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, considerando para a sub-bacia do Faxinal a proposta de

enquadramento em Classe 3 no prazo de 10 anos e Classe 2 para o prazo de 20 anos. Nas sub-bacias do Maestra e Tega a proposta de enquadramento é para Classe 2 considerando o horizonte de 10 e 20 anos. Ressalta-se que a presente resolução não considerou o parâmetro fósforo para a determinação dos enquadramentos propostos, sugerindo apenas que fossem elaborados estudos para determinação da concentração basal do fósforo na bacia em questão, para assim determinar os padrões de qualidade da água. Também determinou como vazão de referência a Q_{95%} (Rio Grande do Sul, 2012).

A Bacia Hidrográfica do Caí engloba as sub-bacias do Belo, Piaí e Pinhal. As resoluções CRH nº 50 (Rio Grande do Sul, 2008) e CRH nº 53 (Rio Grande do Sul, 2009), estabeleceram as metas de enquadramento para a Bacia Hidrográfica do Caí determinando, num horizonte de 15 anos o prazo para atendimento da meta final, classificando assim os rios como Classe 2 para a sub-bacia do Belo e Classe 3 para Piaí e Pinhal, sendo o ano de 2023 o prazo final para atingir a meta. A Bacia Hidrográfica do Caí considerou para estabelecimento das Classes a vazão de referência Q_{90%}.

A Tabela 3 apresenta o enquadramento proposto nas metas intermediárias e finais para as sub-bacias das Bacias Hidrográficas Taquari-Antas e Caí.

Tabela 3 - Enquadramento proposto para as sub-bacias do município de Caxias do Sul

BACIA	SUB-BACIA	INTERMEDIÁRIA	FINAL	RESOLUÇÃO
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	Classe 3	Classe 2	CRH 121/2012
	Maestra	Classe 2	Classe 2	CRH 121/2012
	Tega	Classe 2	Classe 2	CRH 121/2012
Bacia do Caí	Belo	Classe 3	Classe 2	CRH 50/2008
	Piai	Classe 3	Classe 3	CRH 50/2008
	Pinhal	Classe 3	Classe 3	CRH 50/2008

Fonte: Adaptado de Rio Grande do Sul (2008), Rio Grande do Sul (2012).

Conforme dados do SNIS (BRASIL, 2022) o município de Caxias do Sul apresentava em 2021 um índice de 80% de coleta de esgoto e 48,87% de tratamento do esgoto coletado. No município, a autarquia SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto) é a responsável pelo gerenciamento do abastecimento de água e o esgotamento sanitário. Segundo SAMAE (2023), em 2010 Caxias do Sul contava com 5 estações de tratamento de esgoto (ETE) em funcionamento. Os primeiros sistemas de esgotamento sanitário (ETE e redes separadoras absolutas) tinham por objetivo tratar os esgotos sanitários antes que esses chegassem às barragens de abastecimento público de água. As ETES que estão localizadas em bacias de captação de água do município são, a ETE Serrano, a ETE Dal Bó, a ETE Ana Rech e a ETE

Samuara. Em 2022, o município contava com 10 ETEs (Tabela 4) em operação que juntas possuíam a capacidade de tratar 1.083,5 L/s de efluente, podendo beneficiar até 497 mil pessoas (SAMAE, 2023). Destaca-se que em janeiro de 2023 a ETE Dal Bó foi desativada (SAMAE, 2023).

Tabela 4 - Relação das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) de Caxias do Sul

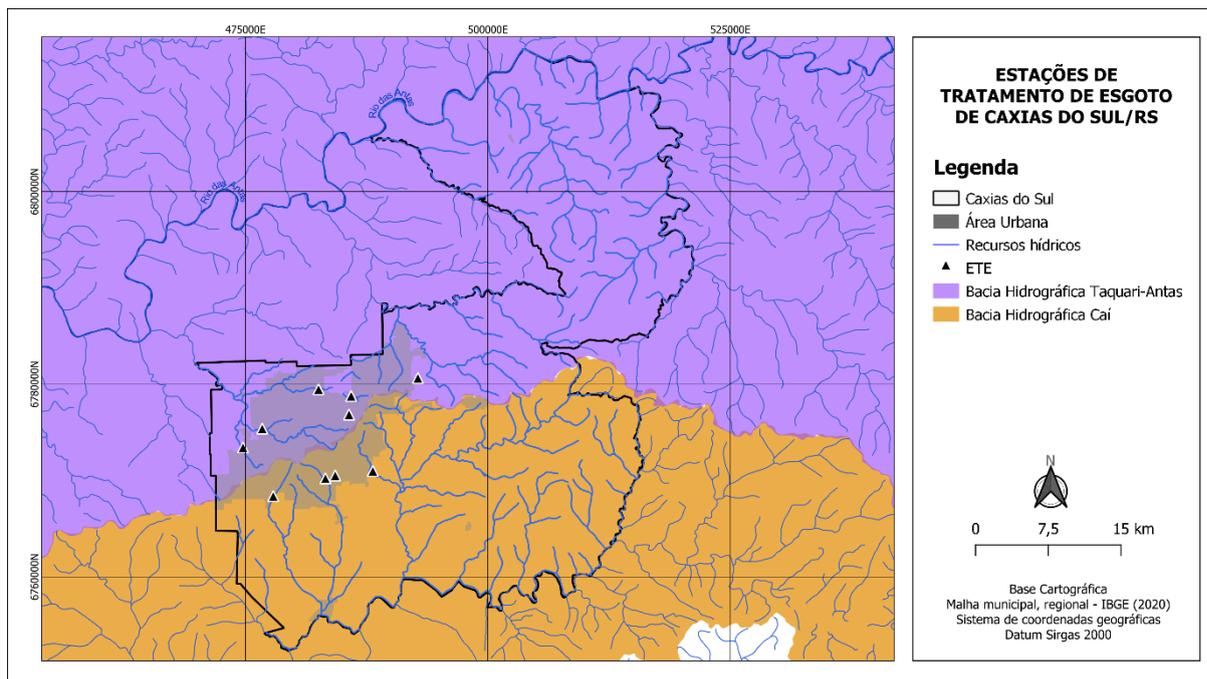
Estação de Tratamento de Esgoto	Início das Atividades	Capacidade de Tratamento do Efluente	Capacidade de Atendimento aos Habitantes
ETE Serrano	1992	25 L/s	25 mil
ETE Dal Bó*	2003	19 L/s	12 mil
ETE Vitória	2006	7,5 L/s	4,5 mil
ETE Canyon	2007	42 L/s	30 mil
ETE Ana Rech	2008	10 L/s	2,5 mil
ETE Belo	2012	120 L/s	38 mil
ETE Samuara	2012	60 L/s	15 mil
ETE Tega	2012	440 L/s	200 mil
ETE Pinhal	2014	240 L/s	130 mil
ETE Pena Branca	2014	120 L/s	40 mil

*desativada em janeiro de 2023.

Fonte: Adaptado de Samae (2023).

A Figura 3 traz a localização geográfica das ETEs de Caxias do Sul distribuídas dentro das Bacias Hidrográficas do município.

Figura 3 - Localização das estações de tratamento de esgoto (ETE) de Caxias do Sul



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.1 HISTÓRICO DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DE CAXIAS DO SUL

O município de Caxias do Sul, em parceria com a Universidade de Caxias do Sul realizou um trabalho de monitoramento bimestral das sub-bacias que perpassam o município com vistas a uma melhor gestão dos cursos hídricos (Schneider, 2014). O projeto foi executado em 3 fases, iniciando com a primeira no ano de 2009, com 12 pontos de monitoramento da qualidade da água. A fase 2 ocorreu entre os anos de 2011 a 2012, onde foram analisados 15 pontos. E por fim a fase 3, desenvolvida entre os anos de 2012 a 2014, abrangendo 30 pontos distintos para análise da qualidade da água. O rio Tega apresentou na maioria das campanhas da fase 3, IQA de qualidade ruim; o arroio Piaí apresentou IQA de qualidade boa a regular; o arroio Maestra obteve IQA bom, regular e ruim; o arroio Faxinal apresentou IQA bom e ruim e por fim o arroio Belo apresentou IQA bom, regular e ruim (Schneider, 2014).

Em estudo realizado entre 2012 e 2014 na bacia hidrográfica do Rio Caí por Schneider *et al.* (2016) constatou-se que as águas do Arroio Pinhal apresentaram qualidade ruim, resultante principalmente da concentração de nutrientes e de matéria orgânica oriunda de efluentes domésticos e industriais. Ainda constataram que dos parâmetros avaliados, os que mais contribuíram para tornar pior o IQA foram os sólidos totais, nitrogênio total e fósforo total. Cornelli *et al.* (2016) em campanhas de coleta realizadas entre 2012 a 2014 nas sub-bacias do

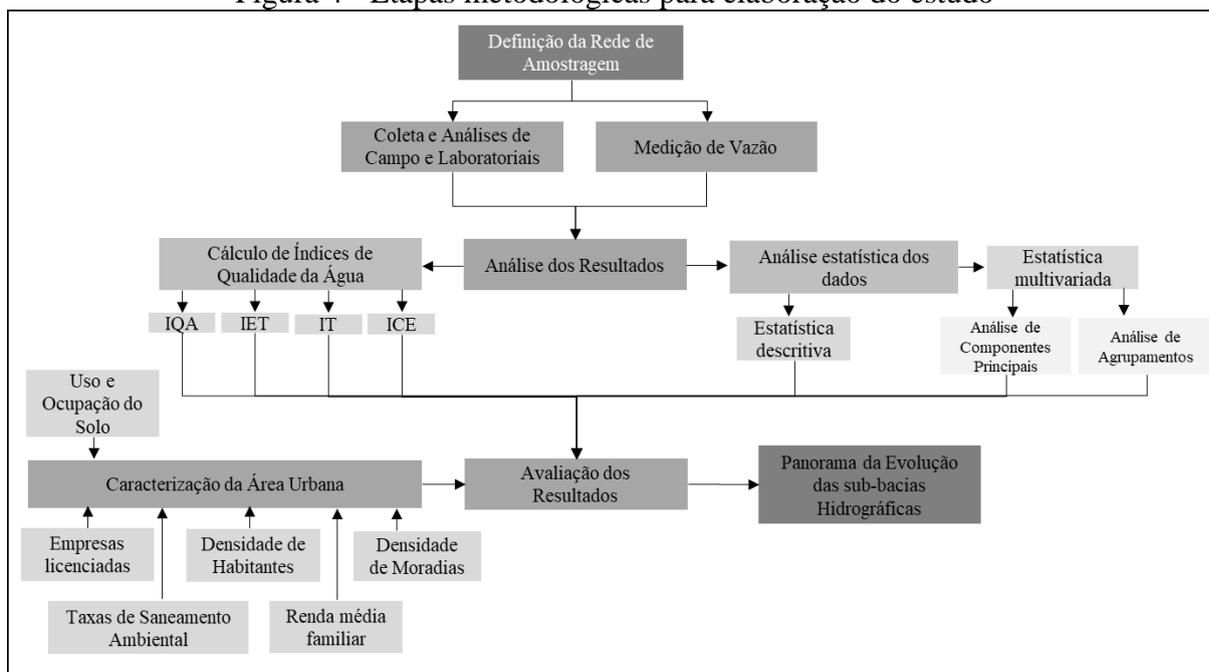
rio Piaí e do Tega, constataram que tanto IT quanto IQA são influenciados pelo uso e ocupação do solo. O Rio Piaí na média das campanhas, apresentou IQA bom e IT baixo. O rio Tega apresentou na média IQA ruim e IT alto. A diferença de resultados dos dois rios se dá pelo tipo de ocupação, onde, no Piaí em sua maioria, o rio está localizado em meio a zona rural, enquanto o Tega apresenta área totalmente urbanizada e área industrial (Cornelli *et al.*, 2016).

Outro estudo também avaliou o Índice de Qualidade das Águas nos anos de 2014 em Caxias do Sul (Sutil *et al.*, 2018). O autor analisou a qualidade do Rio Tega tributário da bacia Taquari-Antas. O estudo apontou que desde a nascente do Tega a água possui qualidade ruim. Observaram ainda que a nascente e a montante da ETE Tega, locais onde a qualidade está ruim, a degradação ambiental está presente, enquanto na foz do rio, a área está mais preservada e a qualidade se apresenta melhor. Mais recentemente, em um estudo de 2018 foi verificado, através do índice de qualidade da água, classificação de ruim a péssimo e classificação da Conama 357/2005 como classe IV para o rio Tega (Schneider *et al.*, 2020).

5 METODOLOGIA

Na Figura 4 estão descritas as etapas metodológicas realizadas no estudo. Cada uma dessas etapas é descrita detalhadamente no transcórre deste capítulo.

Figura 4 - Etapas metodológicas para elaboração do estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

5.1 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para realizar a análise da evolução do uso e ocupação do solo no município de Caxias do Sul, foram utilizados mapas de uso do solo de 2012 e 2022. Os mapas foram obtidos junto ao projeto MapBiomias, o qual consiste em uma iniciativa de uma rede colaborativa, formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia (MapBiomias, 2023). O projeto tem como objetivo desenvolver uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para produzir séries anuais de uso e ocupação do solo em todo o território brasileiro. O MapBiomias disponibiliza atualmente uma série de mapas de uso do solo dos anos 1985 a 2022 (MapBiomias, 2023).

Os mapas disponibilizados pelo MapBiomias foram elaborados a partir de imagens de satélite LandSat, com resolução de 30 metros (Souza *et al.*, 2020). Com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, este estudo agrupou as classes propostas pelo MapBiomias em 5 tipos de uso do solo, a fim de manter as classes utilizadas por Schneider (2014), conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Simplificação das classes de uso e ocupação do solo

Uso do Solo Mapbiomas	Uso do Solo Simplificado
Formação florestal	Mata Nativa
Formação Campestre	Estepe Gramíneo-Lenhosa
Pastagem; Agricultura e Pastagem	Agropastoril
Infraestrutura Urbana	Área urbana
Rio, lago e oceano	Lâmina d'Água

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As classes de uso do solo simplificadas possuem como características:

- Mata Nativa: áreas de formações arbóreas
- Estepe Gramíneo-Lenhosa: áreas com predomínio de estrato herbáceo de gramíneas com a presença de arbustos, arvoretas e árvores dispersas
- Agropastoril: áreas de pastagem, agricultura e similares
- Área Urbana: áreas urbanizadas
- Lâmina d'Água: rios, açudes e barragens

Os mapas de uso do solo de 2012 e 2022 gerados pelo MapBiomas foram avaliados e comparados entre si com o auxílio do *software* livre QGIS 3.16.11. A comparação entre os mapas de uso do solo teve foco na área total de cada tipo de classe de uso do solo, separados por sub-bacia, a fim de avaliar as taxas de aumento ou redução dos diferentes usos ao longo dos anos.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA URBANA COM BASE EM INDICADORES URBANOS, SOCIAIS E AMBIENTAIS

Com vistas a caracterizar a área de estudo, foram calculados indicadores urbanos, sociais e ambientais. O cálculo e análise desses indicadores ocorreu com base em Hermida *et al.* (2015) e Rueda (2010) os quais desenvolveram indicadores para medir a sustentabilidade urbana, atribuindo fórmulas e benchmarkings para validação. Para o cálculo dos indicadores foi utilizado o *software* livre QGIS 3.16.11 e planilhas de *Excel*. Foi feito o uso de dados abertos de órgãos públicos, com informações sobre as cidades e dados levantados em campo.

Tendo em vista que o Censo Populacional de 2022 não foi disponibilizado de forma completa até a conclusão deste estudo, foi aplicada a metodologia com os dados do Censo Populacional de 2010, último Censo disponível, utilizando os dados por setores censitários. Na sequência foi feito o cálculo de proporção da área dos setores censitários nas sub-bacia, uma

vez que os dados de delimitação de área das bacias e sub-bacias não condizem com a delimitação dos setores censitários. A seguir, são descritos os indicadores e dados levantados para as sub-bacias do município de Caxias do Sul.

5.2.1 Taxa de Urbanização

A taxa de urbanização visa compreender a proporção de indivíduos que residem na área urbana do município, utilizando os dados de população total e população urbana com base no Censo de 2010 (IBGE, 2010). A taxa é calculada conforme Equação 2:

$$\text{TAXA DE URBANIZAÇÃO} = \frac{\text{população urbana}}{\text{população total}} \times 100 \quad (2)$$

5.2.2 Densidade de Habitantes

O indicador tem o objetivo de medir a densidade de habitantes por hectares no território (Hermida *et. al.*, 2015). Foram utilizados dados de população do Censo de 2010 (IBGE, 2010) distribuída por setor censitário, conforme Equação 3:

$$\text{DENSIDADE DE HABITANTES} = \frac{\text{número de habitantes}}{\text{superfície de área da sub-bacia}} \quad (3)$$

5.2.3 Densidade de Moradias

O indicador tem o objetivo de medir a densidade de residências por hectares no território (Hermida *et. al.*, 2015). Para tal foram utilizados dados de quantidade de moradias do Censo de 2010 (IBGE, 2010), distribuídas por setores censitários conforme Equação 4:

$$\text{DENSIDADE DE RESIDÊNCIAS} = \frac{\text{número de residências}}{\text{superfície de área da sub-bacia}} \quad (4)$$

5.2.4 Renda Média Familiar

A fim de se compreender a renda média familiar dos habitantes das sub-bacias, foi realizada a intersecção dos dados de renda do Censo de 2010 (IBGE, 2010), distribuídas por setores censitários nas sub-bacias de estudo.

5.2.5 Taxa de Água e Esgoto

A taxa de água e esgoto tem por finalidade medir o percentual de domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados. Os dados para o cálculo foram retirados do Censo do IBGE (2010) distribuídos por setores censitários, a fim de geolocalizar os dados da forma em que é feito o esgotamento sanitário nos domicílios, nas sub-bacias de estudo. As classes consideradas pelo Censo (IBGE, 2010) são: rede geral de esgoto ou pluvial, fossa séptica, fossa rudimentar, vala, rio ou lago e outro; e para o tipo de abastecimento de água, sendo classificados como: rede geral de distribuição, poço ou nascente, água da chuva ou outra.

5.2.6 Percentual de resíduo destinado corretamente

Os dados para a taxa de resíduos destinada de forma correta também serão extraídos do Censo 2010 (IBGE, 2010) distribuídos por setores censitários, sendo classificado como: coletado por serviço de limpeza, queimado, enterrado, jogado em terreno baldio, jogado em rio ou lago e outro destino.

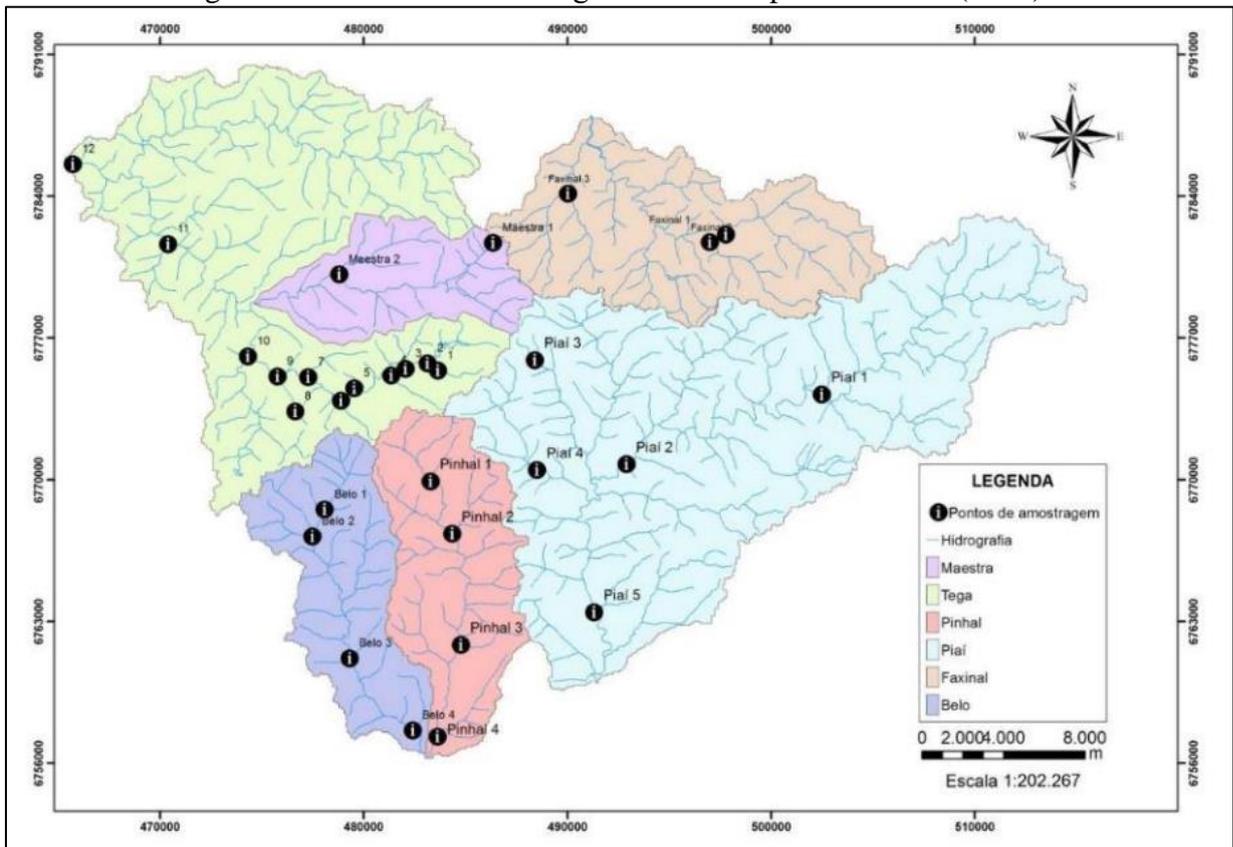
5.2.7 Empresas com potencial poluidor de recursos hídricos

Foi realizado o levantamento de empresas com permissão de lançamento de efluentes em corpos hídricos com base nos licenciamentos municipais e estaduais. O indicador realizou o mapeamento da localização e a concentração, através de mapa de calor das empresas com potencial poluidor de recursos hídricos no município de Caxias do Sul. Os dados das licenças com permissão para lançamento de efluentes foram fornecidos diretamente pelo órgão estadual FEPAM, órgão estadual responsável por fiscalizar, licenciar, desenvolver estudos e pesquisas e executar programas e projetos no Estado no Rio Grande do Sul (2023) e pela Secretaria de Meio Ambiente de Caxias do Sul - SEMMA (2023).

5.3 DEFINIÇÃO DA REDE DE AMOSTRAGEM

A rede de amostragem para as coletas e análise da qualidade da água foram definidas com base no Relatório Conjuntura de Schneider (2014), na malha urbana e nos pontos onde existem as estações de tratamento de esgoto (ETE). No trabalho de Schneider (2014) foram monitorados 30 pontos abrangendo a área urbana e rural do município, conforme Figura 5.

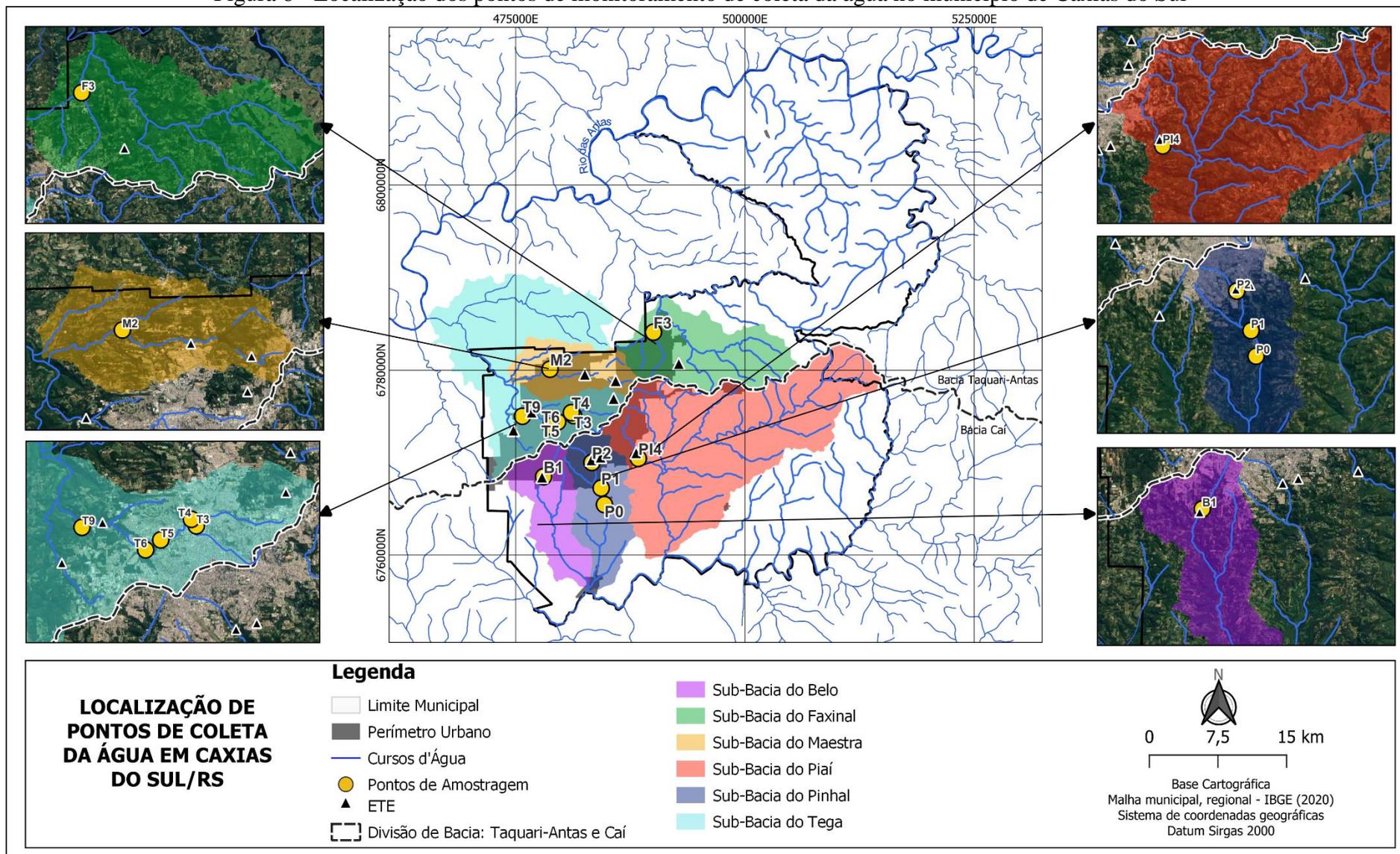
Figura 5 - Pontos de coleta d'água analisados por Schneider (2014)



Fonte: Schneider (2014).

Para o presente trabalho foram definidos 11 pontos que constavam na rede de monitoramento de Schneider (2014), sendo 5 pontos localizados na sub-bacia do Tega, 1 no Maestra e 1 no Faxinal, 1 no Belo, 1 no Piaí e 3 no Pinhal. Os pontos determinados drenam a maior parte da área urbana e estão localizados próximos às ETEs de Caxias do Sul. Além desses, foi estabelecido um novo ponto, demarcado no arroio Pinhal, denominado Pinhal 0, ao final da zona urbanizada do Bairro Galópolis, com a finalidade de analisar a contribuição do bairro ao curso hídrico. A nomenclatura dos pontos seguiu a de Schneider (2014) a fim de facilitar a comparação de informações posterior. Os pontos definidos para este estudo estão apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Localização dos pontos de monitoramento de coleta da água no município de Caxias do Sul



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No Quadro 4, apresenta-se o código do ponto no mapa (ID), as denominações dos pontos, a descrição, coordenada expressa em UTM fuso 22S, bem como o registro fotográfico do local.

Quadro 4 - Características dos pontos de monitoramento

ID	Ponto	Descrição	Coordenada UTM	Sub-Bacia	Registro Fotográfico
B1	Belo 1	O ponto se encontra ao final da área urbana da sub-bacia, drenando a água de toda aquela região.	478173,11 m E 6768460,67 m N	Sub-Bacia do Belo	
F3	Faxinal 3	O ponto está localizado junto a localidade de Parada Cristal, a jusante do reservatório de abastecimento público Faxinal.	490009,19 m E 6784092,94 m N	Sub-Bacia do Faxinal	
M2	Maestra 2	O ponto está localizado próximo à ponte da Comunidade Linha 40, a jusante do reservatório de abastecimento público Maestra.	478849,27 m E 6780145,46 m N	Sub-Bacia do Maestra	
PI4	Piai 4	O ponto localiza-se no arroio Pena Branca, a jusante da ETE Pena Branca.	488479,97 m E 6770417,97 m N	Sub-Bacia do Piaí	

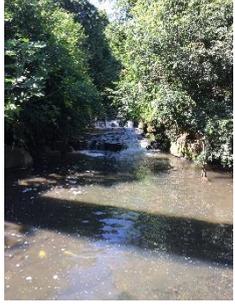
(continua)

(continuação)

ID	Ponto	Descrição	Coordenada UTM	Sub-Bacia	Registro Fotográfico
P0	Pinhal 0	Novo ponto de análise, situado atrás da empresa Cootegal em Galópolis. O ponto recebe efluentes domésticos e industriais de todo o distrito de Galópolis e de toda a sub-bacia Pinhal.	484931,49 m E 6765977,82 m N	Sub-Bacia do Pinhal	
P1	Pinhal 1	O ponto está localizado no início da área urbana do distrito de Galópolis, aproximadamente a 3km de distância do ponto 2. Recebe as contribuições de drenagem do ponto 2, além de outros bairros da zona sul.	484338,63 m E 6767235,75 m N	Sub-Bacia do Pinhal	
P2	Pinhal 2	O ponto está localizado a montante da ETE Pinhal. O ponto drena área urbanizada, incluindo bairros da área central e sudeste do município. Este é o primeiro ponto de análise da sub-bacia Pinhal.	483243,80 m E 6769840,09 m N	Sub-Bacia do Pinhal	
T3	Tega 3	O ponto localiza-se junto a Rua Dom Pedro II, na parte canalizada do rio Tega, recebendo o efluente de área densamente urbanizada, oriunda da parte central do município de Caxias do Sul.	481312,93 m E 6775082,65 m N	Sub-Bacia do Tega	

(continua)

(conclusão)

ID	Ponto	Descrição	Coordenada UTM	Sub-Bacia	Registro Fotográfico
T4	Tega 4	O ponto localiza-se sob a ponte do arroio Herval, em área densamente urbanizada e com forte presença de indústrias em seu entorno.	481091,90 m E 6775401,63 m N	Sub-Bacia do Tega	
T5	Tega 5	O ponto localiza-se junto ao Moinho da Cascata, no arroio Tega. O ponto recebe as águas oriundos dos pontos Tega 3 e Tega 4.	479520,63 m E 6774451,44 m N	Sub-Bacia do Tega	
T6	Tega 6	O ponto localiza-se em local com elevada densidade de ocupação. Destaca-se no local a existência de tubulações de residências que contribuem diretamente no arroio.	478774,31 m E 6773901,90 m N	Sub-Bacia do Tega	
T9	Tega 9	O ponto está localizado na comunidade de São Giácomo, a jusante da ETE Tega. O ponto recebe a contribuição dos demais pontos monitorados na bacia do Tega.	475742,77 m E 6774994,18 m N	Sub-Bacia do Tega	

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

5.4 PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM

5.4.1 Coleta e Amostragem da Água

As coletas de água ocorreram de forma bimestral nas bacias hidrográficas do perímetro urbano de Caxias do Sul, nos meses de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro de 2022, mantendo-se assim a periodicidade de Schneider (2014) permitindo posterior comparação dos parâmetros analisados. No trabalho de Schneider (2014) as coletas ocorreram no período de setembro de 2012 a maio de 2014.

As coletas de água foram realizadas com base na NBR 9898/1987 (Brasil, 1987), no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011), e os ensaios realizados pelo laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais, LAPAM, conforme *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ed. 23 (APHA, 2017).

As amostras foram acondicionadas em recipientes apropriados, com o uso de preservante, mantidas sob a refrigeração $<6\text{ }^{\circ}\text{C}$ e encaminhadas ao laboratório responsável pela execução dos ensaios.

Em campo, com o auxílio do molinete *Global Water* modelo FP111 foi realizada a medição da vazão. Conforme Santos *et al.* (2001), a medição de vazão de rios consiste em determinar a área da seção e a velocidade média do fluxo que passa nessa mesma seção. A área é determinada através da medida da largura do rio e da profundidade (Santos *et al.*, 2001). Posicionando uma trena ao longo da largura do rio, se registra a medida inicial e final da trena e as respectivas profundidades nesses pontos. As medidas foram realizadas a 60% da profundidade total com medidas de velocidade a cada 0,30 m para rios com até 3 m de largura, e 0,30 e 0,50 m para rios até 6 m de largura (Santos *et al.*, 2001). Para a medição da vazão, escolheu-se regiões de vazão estável, sem curvas, estreitamentos, ressaltos e remansos para não apresentar um resultado de vazão não representativo do rio.

A fim de se identificar a situação das vazões medidas durante os períodos de monitoramento da qualidade da água, realizou-se o cálculo da Q90 e Q95 para cada ponto das sub-bacias, tomando como base a Q90 e Q95 dos planos de bacia do Taquari-Antas e Caí. A regionalização hidrológica foi feita pela relação linear entre vazão e área de drenagem da sub-bacia do ponto em questão (Collischonn; Dornelles, 2015).

5.4.2 Análises da Água

Com vistas a permitir comparações, os parâmetros para análise da qualidade da água foram definidos com base em Schneider (2014), porém, foram analisados somente os parâmetros necessários para a determinação o Índice de Qualidade da Água, o Índice de Estado Trófico, Índice de Toxicidade e o Índice de Conformidade ao Enquadramento. Assim, dos 28 parâmetros analisados por Schneider (2014), 5 não foram avaliados, sendo eles alumínio, chumbo, *Escherichia coli*, sólidos suspensos totais e surfactantes.

Na Tabela 5 são apresentados os parâmetros determinados pelos ensaios laboratoriais, bem como os métodos utilizados para análise da água coletada.

Tabela 5 - Métodos utilizados para análise laboratorial dos parâmetros do estudo

Parâmetros	L.Q	Unidade Medida	Métodos
Cianeto total ²	0,010	mg CN/L	SMWW-Método 4500-CN- E [LAPAM PE 043]
Clorofila a	-	-	SMWW-Método 10200-H [LAPAM PE 027]
Coliformes termotolerantes ²	1,8	NMP/100 mL	SMWW-Método 9221-E [LAPAM PE 042]
Demanda bioquímica de oxigênio ²	1	mg O ₂ /L	SMWW-Método 5210-B [LAPAM PE 023]
Demanda química de oxigênio ²	5	mg O ₂ /L	SMWW-Método 5220-B [LAPAM PE 002]
Fenol ²	0,007	mg/L	ABNT NBR 10740:1989 [LAPAM PE 017]
Fósforo total ²	0,016	mg P/L	SMWW-Método 4500-P B e E [LAPAM PE 019]
Nitrato ²	0,04	mg NO ₃ -N/L	ABNT NBR 12620-1992 [LAPAM PE 021]
Nitrogênio amoniacal ²	3,07	mg NH ₃ -N/L	SMWW-Método 4500-NH ₃ B-C [LAPAM PE 006]
Nitrogênio total kjeldahl ²	2,8	mg NNH ₃ -N/L	SMWW-Método 4500-Norg-B [LAPAM PE 013]
Sólidos totais ²	12	mg/L	SMWW-Método 2540-B [LAPAM PE 025]
Sólidos Dissolvidos Totais ²	12	mg/L	SMWW-Método 2540-C [LAPAM PE 025]
Cobre total ¹	0,0073	mg Cu/L	SMWW-Método 3120-B [LAPAM PE 061]
Cromo total ¹	0,0044	mg Cr/L	SMWW-Método 3120-B [LAPAM PE 061]
Níquel total ¹	0,0076	mg Ni/L	SMWW-Método 3120-B [LAPAM PE 061]
Zinco total ¹	0,0025	mg Zn/ L	SMWW-Método 3120-B [LAPAM PE 061]

Legendas: L.Q.: limite de quantificação. (1) são acreditados pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre), de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, certificado número CRL 0440. (2) são reconhecidos pela RM/ RS, de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 - Certificado de Reconhecimento N° 3415A/3415B e 3415C.

Fonte: ISAM (2021).

Para os parâmetros avaliados em campo, conforme apresentado na Tabela 6, foi utilizada Sonda multiparâmetros U-50 series Horiba e Oxímetro Óptico 3100 INSITE IG.

As análises em campo dos parâmetros pH, turbidez, condutividade elétrica, ORP, oxigênio dissolvido e temperatura da amostra e do ar foram realizadas imediatamente ou em até 15 minutos após a amostragem, com vistas ao atendimento dos requisitos do Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras da Agência Nacional de Águas (CETESB, 2011). Ressalta-se que a análise de oxigênio dissolvido (OD) de Schneider (2014) foi realizada com equipamento distinto da análise do ano de 2022, e durante conversa com técnicos responsáveis pelas análises desse período, constatou-se que esse equipamento não estava devidamente calibrado.

Tabela 6 - Parâmetros determinados em campo

Parâmetros	L.Q	Unidade Medida	Métodos
Condutividade Elétrica	0,001 a 0,999	mS/cm	Sonda_Multiparâmetro_MULT_001
pH	0,01 a 14,00	pH	Sonda_Multiparâmetro_MULT_001
Temperatura da amostra	0,0 a 50,0	°C	Oxímetro_Optico_OXI_001
Oxigênio dissolvido	0,00 a 25,0	mg/L	Oxímetro_Optico_OXI_001
Turbidez	0,1 a 800,0	NTU	Sonda_Multiparâmetro_MULT_001
ORP	-2000 a +2000	mV	Sonda_Multiparâmetro_MULT_001
Sólidos Dissolvidos Totais	0 a 100	g/L	Sonda_Multiparâmetro_MULT_001

Legenda: L.Q.: limite de quantificação.

Fonte: ISAM (2021).

5.5 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Com a finalidade de compreender a situação da qualidade da água dos corpos hídricos do município, foram calculados o Índice de Estado Trófico (IET), Índice de Qualidade de Água (IQA), Índice de Toxicidade (IT) e o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), os quais classificam os corpos hídricos a partir da integração de grupos de indicadores específicos. Os indicadores foram calculados para as campanhas de coleta da água de 2022 e comparados com as campanhas realizadas por Schneider (2014) com análises de qualidade da água realizadas no período de 2012 a 2014. Os dados de Schneider (2014) foram obtidos do banco de dados do Sistema de Informação Ambiental – SIA (SIA, 2023). O SIA consiste em um banco de dados criado para armazenar dados gerados em monitoramento de qualidade da água, climatologia e fauna gerenciado pelo ISAM/UCS (SIA, 2023).

A fim de facilitar o entendimento da qualidade da água, os dados foram nomeados em períodos, sendo o Período 1 referente às campanhas de coletas que competem aos anos de 2012 a 2014, e o Período 2 as campanhas do ano de 2022.

5.5.1 Índice de Qualidade da Água (IQA)

Para se determinar o Índice de Qualidade da Água foi feito o uso da metodologia de Brown *et al.* (1970) desenvolvida para a *National Sanitation Foundation* (NSF) e utilizada atualmente pela ANA (2022), contando com nove parâmetros, sendo eles: oxigênio dissolvido, coliformes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, temperatura, nitrogênio total, turbidez, sólidos totais, e seus respectivos pesos, conforme Equação 5.

$$IQA = \prod_{i=1}^n qi^{wi} \quad (5)$$

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;

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;

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

Para compreensão dos valores obtidos do índice foi seguida a Tabela 7, onde está estabelecida a classificação para o Estado do Rio Grande do Sul para a qualidade da água, segundo ANA (2022).

Tabela 7 - Classificação do IQA

Categoria	Ponderação para o Estado RS
ÓTIMA	$91 < IQA \leq 100$
BOA	$71 < IQA \leq 90$
REGULAR	$51 < IQA \leq 70$
RUIM	$26 < IQA \leq 50$
PÉSSIMA	$IQA \leq 25$

Fonte: Adaptado de ANA (2022).

5.5.2 Índice de Estado Trófico (IET)

O Índice do Estado Trófico tem por finalidade avaliar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias (Lamparelli, 2004; CETESB, 2020). Para avaliação do grau de trofia foi utilizado o método de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004) para ambientes lóticos (rios), utilizando a concentração de fósforo total (Equação 6) e de clorofila-a (Equação 7).

$$\text{IET}(\text{CL}) = 10 \times (6 - ((-0,7 - 0,6 \times (\ln \text{CL})) \ln 2)) - 20 \quad (6)$$

$$\text{IET}(\text{PT}) = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln \text{PT})) \ln 2)) - 20 \quad (7)$$

onde:

PT = concentração de fósforo total medida à superfície da água ($\mu\text{g.L}$),

Cla = concentração de clorofila a medida à superfície da água ($\mu\text{g.L}$) e

ln = logaritmo natural (neperiano)

Devido os resultados não apresentarem valores acima do limite de quantificação do método para a clorofila-a, foram utilizados apenas os valores do fósforo total para o cálculo do IET, sendo assim a Equação 6 não foi considerada para o cálculo do índice. Os valores de fósforo total são entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, tendo em vista que esse componente é o agente causador desse evento (CETESB, 2020).

Para a classificação do IET, foram considerados os níveis de baixa para elevado grau de trofia, sendo eles: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, conforme a classificação de Lamparelli (2004) apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação do Estado Trófico para rios segundo Índice de Carlson modificado por Lamparelli

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Fósforo Total (mg.m-3)	Clorofila a (mg.m-3)
ULTRAOLIGOTRÓFICO	$IET \leq 47$	$P \leq 13$	$CL \leq 0,74$
OLIGOTRÓFICO	$47 < IET \leq 52$	$13 < P \leq 35$	$0,74 < CL \leq 1,31$
MESOTRÓFICO	$52 < IET \leq 59$	$35 < P \leq 137$	$1,31 < CL \leq 2,96$
EUTRÓFICO	$59 < IET \leq 63$	$137 < P \leq 296$	$2,96 < CL \leq 4,70$
SUPEREUTRÓFICO	$63 < IET \leq 67$	$296 < P \leq 640$	$4,70 < CL \leq 7,46$
HIPEREUTRÓFICO	$IET > 67$	$640 < P$	$7,46 < CL$

Fonte: Adaptado de Lamparelli (2004).

5.5.3 Índice de Toxicidade (IT)

O Índice de Toxicidade é utilizado para representar o potencial de toxicidade de um corpo d'água. O IT foi calculado com base no método do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2022), levando em consideração os parâmetros: cianeto, cobre, cromo, chumbo, níquel, nitrato, nitrogênio amoniacal e zinco. As concentrações obtidas nas análises foram comparadas com as classes de água definidas pela Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005) pela qual o corpo hídrico está enquadrado segundo o plano de bacia.

Segundo Von Sperling (2007), a contaminação é considerada baixa se as concentrações obtidas forem iguais ou inferiores a 1,2 vezes o limite estabelecido para a classe em que o corpo hídrico está enquadrado no local da amostragem. A contaminação é considerada média se as concentrações obtidas estiverem entre 1,2 e 2 vezes o limite da classe. Conforme a contaminação alta refere-se às concentrações que superam o dobro do limite estabelecido para a classe de enquadramento do corpo hídrico, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Classificação do Índice de Toxicidade

Contaminação	Relação da concentração com o valor limite da classe
BAIXA	Concentração $\leq 1,2.P$
MÉDIA	$1,2.P < \text{Concentração} \leq 2.P$
ALTA	Concentração $> 2.P$

P = valor padrão (limite de classe), segundo a Resolução CONAMA 357/05

Fonte: Adaptado de IGAM (2022).

5.5.4 Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)

O Índice de Conformidade ao Enquadramento, ICE, é utilizado para indicar a condição de conformidade da qualidade da água do corpo hídrico ao enquadramento estabelecido pela legislação. O ICE é composto pelos seguintes fatores (Amaro, 2009):

Fator 1 - Abrangência/Espaço: representa a abrangência das desconformidades, isto é, o número de variáveis que violaram os limites desejáveis pelo menos uma vez no período de observação (Equação 8).

$$F1 = \frac{\text{número de variáveis que ultrapassam o limite legal}}{\text{número total de variáveis}} \times 100 \quad (8)$$

Fator 2 - Frequência: representa a porcentagem de vezes que a variável esteve em desconformidade em relação ao número de observações (Equação 9).

$$F2 = \frac{\text{número de medições que ultrapassam o limite legal}}{\text{número total de medições}} \times 100 \quad (9)$$

Fator 3 - Amplitude: representa a extensão da não conformidade legal, isto é, a diferença entre o valor medido e o limite legal, sendo calculado em três etapas:

- I) O número de vezes no qual a concentração individual é maior que o limite da classe (ou menor que, quando o objetivo é um mínimo);
- II) O número total de medições individuais que está em desacordo com o limite legal é calculado somando as variações individuais em relação aos limites legais e dividindo pelo número total de medições;
- III) O valor de F3 é calculado pela soma normalizada das variações em relação aos limites legais, sendo que estas foram reduzidas a uma variável entre 0 e 100. A fórmula de cálculo do ICE é apresentada na Equação 10.

$$ICE = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (10)$$

O fator de 1,732 normaliza os valores resultantes para a faixa entre 0 e 100, onde 0 representa a pior qualidade e 100 a melhor qualidade das águas. São estabelecidas faixas de valores para este índice, as quais caracterizam a qualidade das águas, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Faixas de classificação do ICE

Categorias	Faixa de Valores	Descrição
CONFORME	$80 \leq \text{ICE} \leq 100$	A maioria ou todas as medições estão dentro dos padrões de qualidade da água
AFASTADO	$45 \leq \text{ICE} < 80$	As medições estão frequentemente em desacordo com os padrões de qualidade da água
NÃO CONFORME	$\text{ICE} < 45$	A maioria ou a totalidade das medições está violando os limites da classe de enquadramento

Fonte: Adaptado de Amaro (2009).

Os parâmetros analisados para o cálculo do índice foram: cianeto, clorofila- α , coliformes termotolerantes, cromo, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, níquel, nitrato, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, turbidez e zinco. Tais parâmetros foram selecionados por possuírem limites estabelecidos na resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005), tendo em vista que a verificação de desconformidade é medida com base na meta estabelecida para cada classe de enquadramento do corpo hídrico. Apesar do Comitê de Bacia Hidrográfica Taquari-Antas não considerar o parâmetro fósforo para a determinação dos enquadramentos propostos na resolução CRH nº 121 (Rio Grande do Sul 2012), o presente trabalho optou por manter as análises, tendo em vista que o parâmetro supracitado pode ser indicador de despejos domésticos e industriais (Von Sperling, 2007).

5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Em função do grande número de dados, foram empregadas as técnicas de estatística multivariada de Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise de Agrupamentos (AA). A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma das técnicas da estatística multivariada que possui o objetivo de resumir a maior parte da informação original a um número mínimo de fatores (Hair *et al.*, 2009).

A aplicação da ACP depende de dois testes que devem ser realizados previamente, sendo eles, o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e ao teste de esfericidade de Bartlett. O teste de KMO possui o objetivo de verificar a medida de correlação entre as variáveis independentes,

sendo que o valor do teste varia de 0 a 1, considerando que valores abaixo de 0,5 indicam inapropriada a aplicação da ACP (Fraga *et al.*, 2021). O teste de esfericidade de Bartlett testa se a matriz de correlação é uma matriz identidade, o que indicaria que não há correlação entre os dados e que o modelo de análise é inapropriado (Finkler *et al.*, 2015).

Realizou-se a ACP para as variáveis de qualidade da água monitoradas nas campanhas do ano de 2022, totalizando 21 variáveis distribuídas em 6 campanhas. Uma mesma variável pode apresentar alta carga fatorial em mais de um dos componentes, devido a isso foi realizado o procedimento de rotação ortogonal da matriz através do método *varimax*, da mesma forma que utilizado nos estudos de Finkler *et al.* (2015), Corrêa *et al.* (2019) e Fraga *et al.* (2021). Os valores dos parâmetros foram padronizados para a aplicação do teste estatístico.

Liu *et al.* (2000) classificam os valores das cargas fatoriais como relevantes ($>0,75$), médios ($> 0,50$ e $<0,75$) e irrelevantes ($<0,50$). Nesse estudo, igualmente a Finkler *et al.* (2015), Rocha e Pereira (2016) e Quinelato *et al.* (2021), definiu-se para a compreensão da ACP, as cargas fatoriais superiores a 0,5 devido aos dados de qualidade da água sofrerem grande variabilidade.

A fim de se compreender a similaridade dos pontos de coleta, foi realizada a análise de Agrupamentos (AA). Para a AA foram utilizados os dados de Schneider (2014), das campanhas de coleta de água que compete aos anos de 2012 a 2014 (Período 1), e os dados das coletas da campanha realizada no ano de 2022 (Período 2), com exceção ao ponto Pinhal 0, por não existir dados desse ponto na campanha anterior. Optou-se por analisar os Períodos 1 e 2 de forma isolada com o objetivo de se identificar os pontos e sub-bacias que mais contribuem com a degradação da qualidade da água com o passar do tempo.

O processamento dos dados para a AA foi dividido em padronização dos parâmetros e escolha da estratégia de agrupamento. Utilizou-se o método *Ward* como critério hierárquico de agrupamento com medida de similaridade dada pela distância euclidiana, conhecida como distância em linha reta. A escolha do critério se fundamentou com base em outras pesquisas envolvendo a qualidade da água (Gomes; Cavalcante, 2017; Gomes; Mendonça, 2017; Pastro *et al.*; 2020; Souza; Cecconello; Centeno, 2021). A padronização dos dados foi realizada por meio da transformação logarítmica.

Após a execução das etapas descritas, foi realizada a montagem do dendograma utilizando o agrupamento das amostras semelhantes. O ponto de corte do dendograma foi estabelecido em relação as maiores distâncias em que os grupos foram formados, sem que ocorresse heterogeneidade dentro desses grupos (Vicini; Souza, 2005, Centeno *et al.*, 2016).

Além da estatística multivariada, foi utilizado o método da estatística descritiva a fim de facilitar a interpretação e visualização dos dados dos períodos estudados.

Para realização das análises estatísticas citadas foi utilizado o software JASP, programa livre e de código aberto criado para auxiliar em análises estatísticas, apoiado pela Universidade de Amsterdã (JASP, 2023).

5.7 SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS POR SUB-BACIA

Com a finalidade de compreender a situação da qualidade da água dos corpos hídricos e o contexto de inserção do entorno, foi realizada a sistematização dos principais resultados por sub-bacia. Os dados da média dos índices de qualidade da água para os Períodos 1 e 2 de análise foram tabelados a fim de facilitar a visualização da evolução da qualidade juntamente com os principais aspectos do uso do solo e dos indicadores urbanos, sociais e ambientais.

6 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com o presente trabalho, estando organizados em 4 subitens. No subitem 6.1 são apresentados os dados da evolução do uso e ocupação do solo no perímetro urbana e no 6.2 a caracterização do município por meio de indicadores urbanos, sociais e ambientais. O subitem 6.3 apresenta os resultados de vazão e das análises acerca dos índices de qualidade da água. O subitem 6.4 traz a sistematização dos resultados obtidos, por sub-bacia de estudo. Por fim, o subitem 6.5 traz os resultados já publicados em revistas e eventos.

6.1 ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

As sub-bacias de Caxias do Sul foram intersectadas com a delimitação do perímetro da área urbana do município para que se tivesse a área de inserção das sub-bacias de estudo dentro do perímetro urbano, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Área das sub-bacias no perímetro urbano do município de Caxias do Sul

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacia	Área Urbana		
		hectares (ha)	km ²	%
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	2.803	28,03	13,0
	Maestra	4.077	40,77	18,8
	Tega	6.443	64,43	29,8
Bacia do Caí	Belo	2.212	22,12	10,2
	Piaí	3.174	31,74	14,7
	Pinhal	2.932	29,32	13,5

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A sub-bacia do Tega é a maior das sub-bacias urbanas, representando 29,8% da delimitação do perímetro urbano de Caxias do Sul. Na sequência, a sub-bacia do Maestra com 18,8% de abrangência da área urbana, Piaí com 14,7%, Pinhal com 13,5%, Faxinal com 13,0% e Belo com 10,2%.

Na Tabela 12 são mostrados os dados quantitativos referentes ao uso e ocupação do solo da área urbana do município de Caxias do Sul nos de 2012 e 2022.

Tabela 12 - Quantificação do uso do solo no perímetro urbano de Caxias do Sul nos anos de 2012 e 2022

Classes	2012		2022	
	km ²	%	km ²	%
Agropastoril	55,98	25,5	46,15	21,0
Área urbanizada	77,49	35,3	88,01	41,1
Estepe gramíneo-lenhosa	1,27	0,6	2,38	1,1
Lâmina d'água	0,89	0,4	0,82	0,4
Mata Nativa	83,84	38,2	82,13	38,3
Total	219,48	100,0	219,47	100,0

Fonte: A autora (2023).

Analisando os dados de 2012 verifica-se que a maior parte da paisagem do perímetro urbano está coberta por vegetação nativa (38,2%) e área urbanizada (35,3%), onde juntos somam 73,5% da área total. No ano de 2022 o retrato da área urbana permanece sendo que a soma da área urbana e vegetação nativa passa a 79,4% devido ao aumento da área urbana.

A fim de se compreender a evolução do uso do solo nas sub-bacias de estudo, foram intersectados os dados do uso do solo de 2012 e 2022 com as áreas das sub-bacias urbanas. A Figura 7 apresenta o mapeamento do uso do solo no ano de 2012 e a Tabela 13 os dados da área de forma de ocupação de cada sub-bacia nesse mesmo ano.

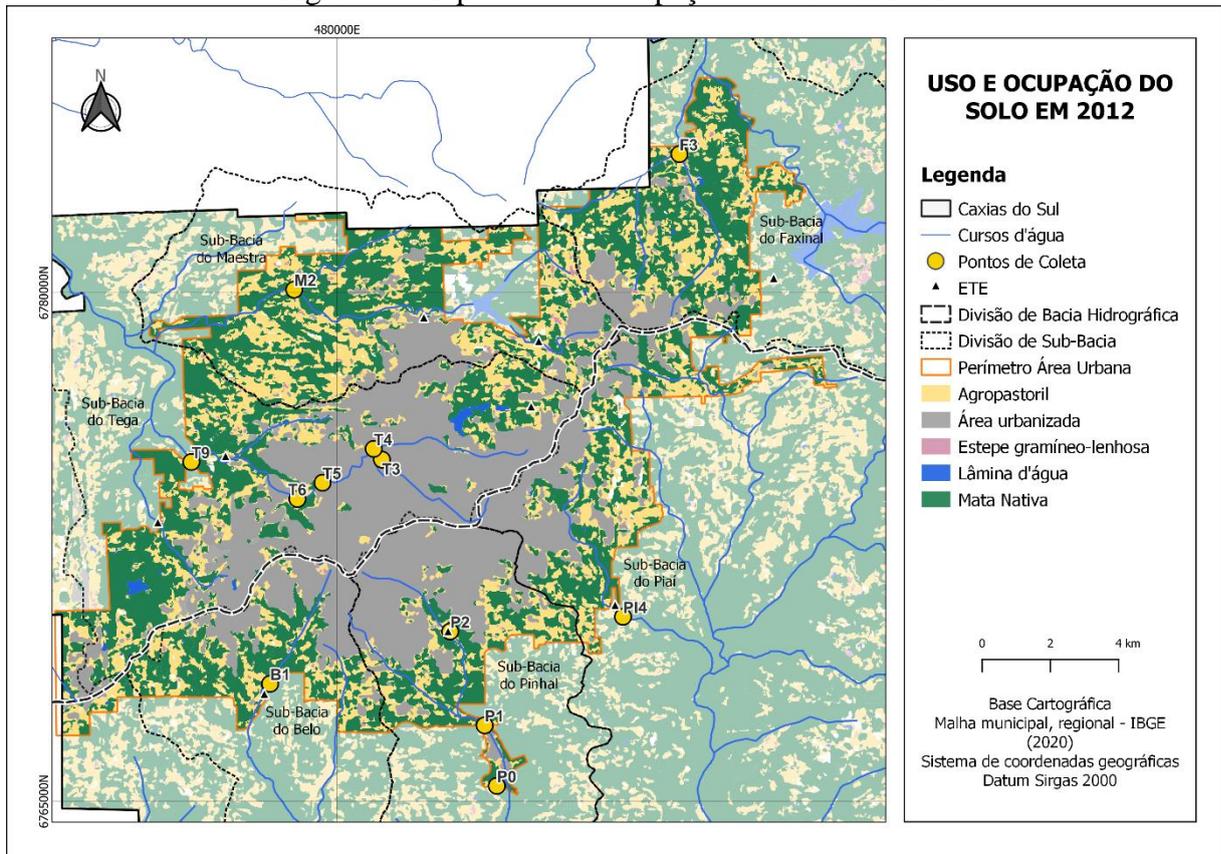
Tabela 13 - Quantificação do uso do solo em percentual (%), nas sub-bacias urbanas de Caxias do Sul em 2012

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacias	Área (km ²)	Classes (%)				
			Agro-Pastoril	Área Urbanizada	Estepe ¹	Lâmina D'água	Mata Nativa
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	28,03	32,6	14,4	0,4	0,3	52,4
	Maestra	40,77	36,1	16,4	0,9	0,1	46,5
	Tega	64,43	16,6	51,5	0,2	1,1	30,6
Bacia do Caí	Belo	22,12	25,1	32,0	0,2	0,1	42,6
	Piaí	31,74	28,1	34,6	1,7	0,1	35,5
	Pinhal	29,32	18,4	51,8	0,1	0,0	29,7

Legenda: ¹ Estepe gramíneo-lenhosa

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo em 2012



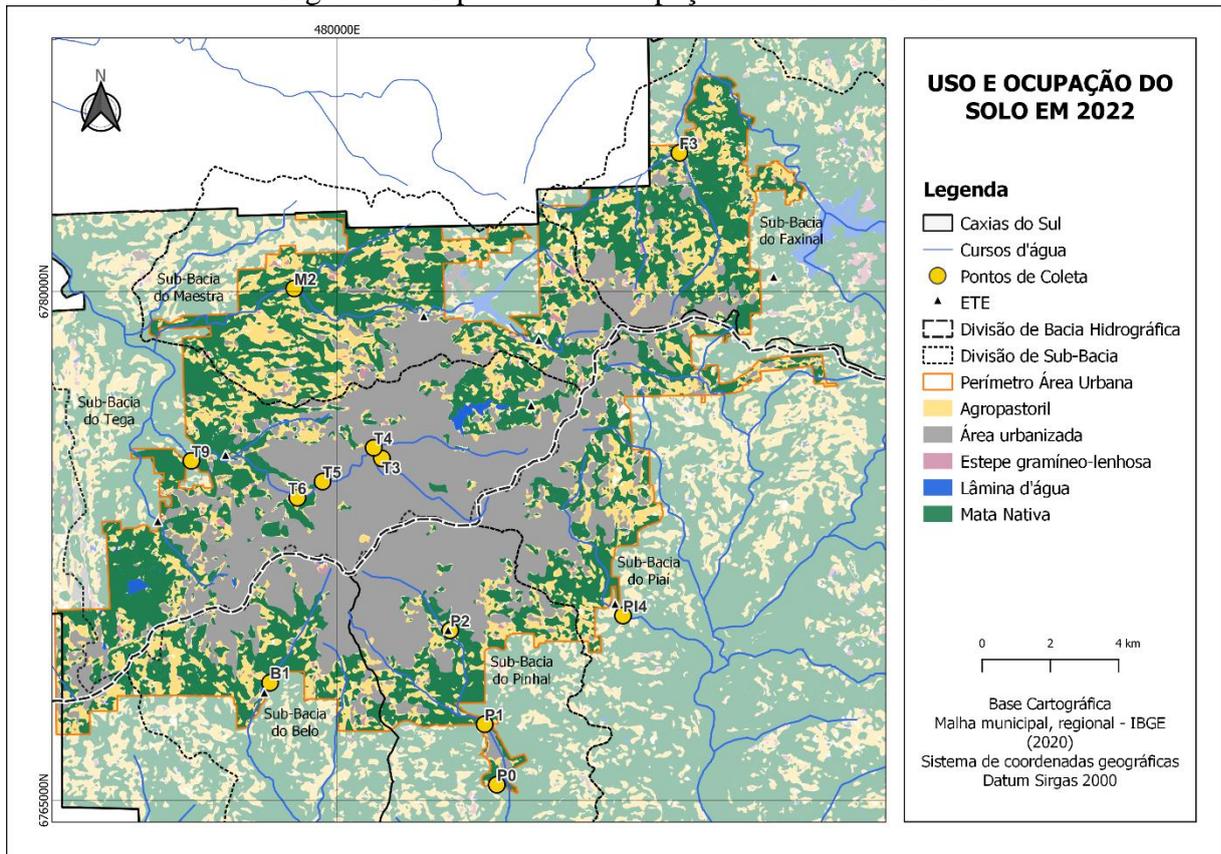
Fonte: Adaptado de MapBiomias (2023).

Analisando os dados de 2012, na sub-bacia do Faxinal, verifica-se que o maior percentual de uso do solo pertence à classe de mata nativa (52,4%) seguido da atividade agropastoril (32,6%). Nessa sub-bacia a área urbanizada possui apenas 14,4% do uso do solo. A sub-bacia do Maestra igualmente a sub-bacia anterior, possui os maiores percentuais de ocupação associados a mata nativa (46,5%) e a atividade agropastoril (36,1%). A área urbanizada ocupa apenas 16,4% do total da sub-bacia. A sub-bacia do Tega possui o maior percentual de ocupação associado à ocupação urbana (51,5%) seguido de área de mata nativa (30,6%).

Na Bacia Hidrográfica do Caí, a sub-bacia do Belo possui o maior percentual de ocupação de mata nativa (42,6%) seguido da ocupação urbana (34,6%). A sub-bacia do Piaí também possui maior ocupação de mata nativa (35,5%) seguida da ocupação urbana (34,6%). Na sub-bacia do Pinhal predomina a ocupação urbana (51,8%) e em seguida a mata nativa (29,7%).

A Figura 8 apresenta o mapeamento do uso do solo no ano de 2022 e a Tabela 14 os percentuais de área da forma de ocupação de cada sub-bacia nesse mesmo ano.

Figura 8 - Mapa de uso e ocupação do solo em 2022



Fonte: Adaptado de MapBiomias (2023).

Tabela 14 - Quantificação do uso do solo em percentual (%), nas sub-bacias urbanas de Caxias do Sul em 2022

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacias	Área (km ²)	Classes (%)				
			Agro-Pastoril	Área Urbanizada	Estepe ¹	Lâmina D'água	Mata Nativa
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	28,03	27,4	19,4	0,9	0,2	52,1
	Maestra	40,77	32,3	20,3	1,5	0,0	45,8
	Tega	64,43	11,9	56,6	0,6	1,1	29,8
Bacia do Caí	Belo	22,12	22,2	36,4	0,8	0,1	40,6
	Piaí	31,74	21,3	41,2	2,2	0,1	35,3
	Pinhal	29,32	14,0	57,3	0,2	0,0	28,5

Legenda: ¹ Estepe gramíneo-lenhosa

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Analisando os dados de 2022, na sub-bacia do Faxinal, verifica-se que o maior percentual de uso do solo pertence à classe de mata nativa (52,1%) seguido de atividade de agropastoril (27,4%). Nessa sub-bacia a área urbanizada possui apenas 19,4% do uso do solo. A sub-bacia do Maestra possui os maiores percentuais de ocupação associados a mata nativa (45,8%) e a atividade agropastoril (32,3%). A área urbana ocupa 20,3% do total da sub-bacia

urbana. A sub-bacia do Tega possui o maior percentual de ocupação associado a ocupação urbanizada (56,6%) seguido de área de mata nativa (29,8%).

Na Bacia Hidrográfica do Caí, a sub-bacia do Belo possui o maior percentual de ocupação de mata nativa (40,6%) seguido da área urbanizada (36,4%). A sub-bacia do Piaí possui maior ocupação urbana (41,2%) seguida da ocupação por mata nativa (35,3%). Na sub-bacia do Pinhal predomina a ocupação urbana (57,3%) e em seguida a mata nativa (28,5%).

A Tabela 15 apresenta a comparação do percentual de uso do solo no ano de 2012 e 2022 de cada sub-bacia urbana de Caxias do Sul.

Tabela 15 - Avaliação em percentual (%), das áreas de uso do solo nas sub-bacias urbanas de Caxias do Sul no ano de 2012 e 2022

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacias	Avaliação do Percentual de Classes				
		Agro-Pastoril	Área Urbanizada	Estepe ¹	Lâmina D'água	Mata Nativa
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	-15,7%	+35,2%	+133,9%	-50,6%	-0,6%
	Maestra	-10,6%	+23,9%	+75,1%	-42,4%	-1,6%
	Tega	-28,5%	+10,0%	+168,0%	+2,0%	-2,7%
Bacia do Caí	Belo	-11,5%	+13,7%	+228,0%	-33,3%	-4,7%
	Piaí	-24,4%	+19,1%	+31,2%	-21,1%	-0,6%
	Pinhal	-23,9%	+10,6%	+145,0%	-40,0%	-4,0%

Legenda: ¹ Estepe gramíneo-lenhosa

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Todas as sub-bacias apresentaram aumento da área urbanizada, e redução das áreas de agropastoril e mata nativa. Na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, a sub-bacia do Faxinal apresentou o maior percentual de aumento da área urbanizada com 35,2% de área a mais em comparação ao ano de 2012. O Maestra apresentou 23,9% de aumento de área urbanizada e a sub-bacia do Tega aumentou 10%. Em relação ao uso agropastoril, a sub-bacia do Tega apresentou a maior redução das áreas, com 28,5%. A sub-bacia do Faxinal reduziu a área em 15,7% e a sub-bacia Maestra em 10,6%. As áreas de mata nativa também reduziram de 2012 a 2022. A sub-bacia do Tega apresentou redução de 2,7%, a sub-bacia do Maestra de 1,6% e Faxinal de 0,6%. Em relação as áreas de lâmina da água, observa-se uma redução significativa, chegando a 50,6% no Faxinal. Essa redução pode estar associada, conforme se observa no item 6.3.1, a uma redução na vazão de 2022 em comparação a 2012.

Na Bacia Hidrográfica do Caí, a classe da área urbanizada aumentou em 19,1% na sub-bacia do Piaí, em 13,7% no Belo e 10,6% no Pinhal. O uso agropastoril reduziu em 24,4% sua área na sub-bacia do Piaí. Na sub-bacia do Pinhal a classe de ocupação agropastoril reduziu a

área em 23,9% e na sub-bacia do Belo 11,5%. A área de mata nativa também apresentou redução de área em 4,7% na sub-bacia do Belo, 0,6% no Piaí e 4,0% no Pinhal.

6.2 ANÁLISE DE INDICADORES URBANOS

No presente capítulo está apresentada as características da área urbana do município de Caxias do Sul, a fim de compreender como se configura o território urbano em cada sub-bacia de estudo.

Devido os dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) serem apenas no âmbito municipal, sem a possibilidade de georreferenciar a informação nas sub-bacias, utilizou-se os dados do Censo Populacional de 2010, último Censo disponível. Assim, entende-se que no futuro é necessário a atualização desse estudo com base nos resultados do Censo de 2022, tendo em vista que esse ainda não havia sido disponibilizado.

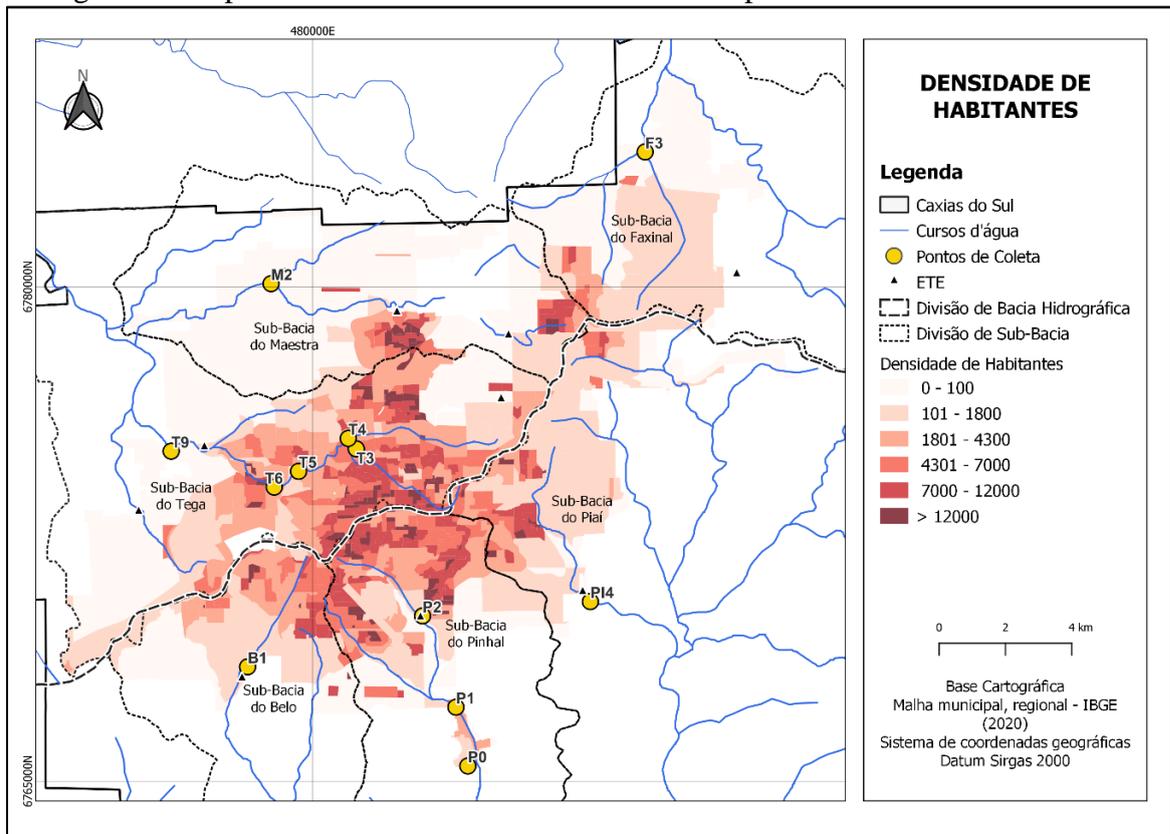
Com base nos dados do Censo do IBGE do ano de 2010, foram realizados os cálculos dos indicadores urbanos, para se compreender a distribuição e a urbanização do município de Caxias do Sul. O Censo de 2010 apontou que Caxias do Sul possuía 435.564 habitantes. Porém, ressalta-se que o novo Censo realizado no ano de 2022 levantou que o município atualmente conta com 463.338 habitantes, um crescimento de 6,4% em 12 anos, sendo o município que mais cresceu em números absolutos no estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2023).

O indicador de urbanização tem como objetivo medir o percentual de população que reside na área urbana dos municípios. Considerando as informações da população do Censo de 2010, último Censo disponível, e a área do perímetro urbano de Caxias do Sul, constata-se que o município possuía uma taxa de 94% de população urbana em seu território no ano de 2010.

6.2.1 Indicadores Urbanos e Sociais

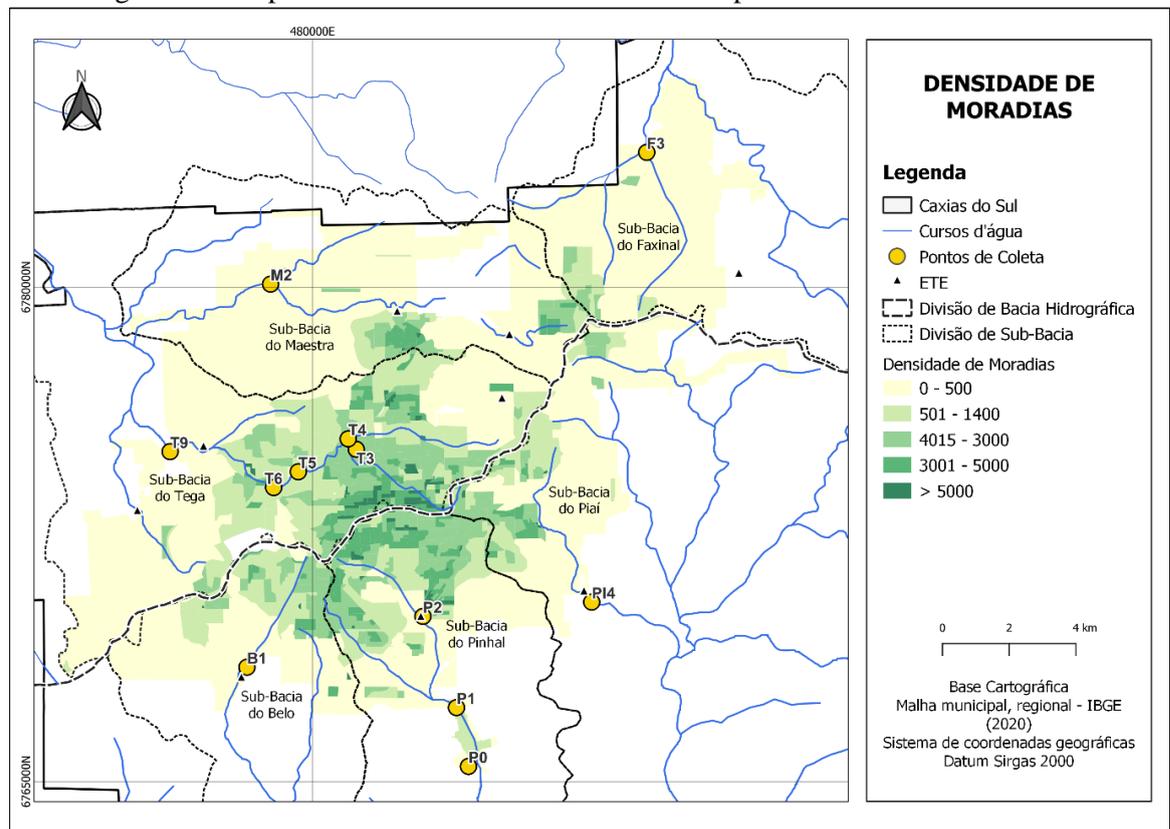
Os dados referentes a habitantes e moradias dos setores censitários foram intersectados com o percentual de bacia que está presente dentro da área urbana do município, conforme Tabela 11 do subcapítulo 6.1. Desta forma é possível compreender a distribuição dos habitantes dentro de cada sub-bacia de estudo, conforme apresentado nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Mapa de densidade de habitantes do município de Caxias do Sul em 2010



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 10 - Mapa de densidade de moradias do município de Caxias do Sul em 2010



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Nas Figuras 9 e 10 é possível observar que próximo aos pontos Tega 3 e Tega 4 (T3, T4) há uma maior concentração de habitantes e moradias, sendo essa região a área central do município de Caxias do Sul. À medida que ocorre o distanciamento da área central, a densidade de habitantes e moradias tende a reduzir. Ressalta-se que próximo ao ponto Tega 6 (T6) e Pinhal 2 (P2), locais afastados da área central, observa-se uma concentração de densidade significativa.

Conforme a Tabela 16, a sub-bacia do Tega possui a maior população com aproximadamente 164.010 habitantes, o que corresponde à 40% dos habitantes totais do município. A sub-bacia do Tega possui também a maior quantidade de residências. Apesar dessa sub-bacia ser a mais populosa, a sub-bacia do Pinhal é a que apresenta a maior densidade de habitantes e de residências no território, com 1.180 moradias e 3.390 habitantes por quilômetro quadrado.

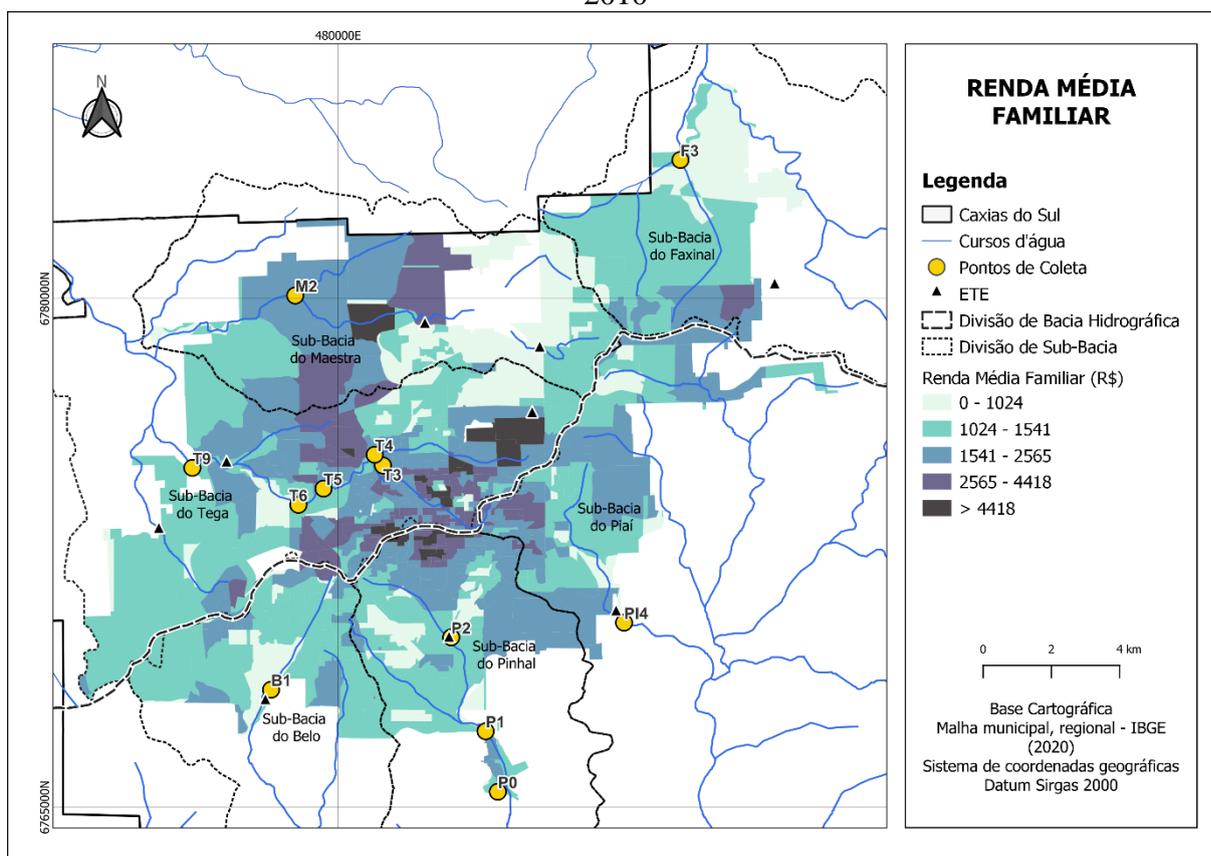
Tabela 16 - Quantidade de moradias, habitantes e respectiva densidade por sub-bacia

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacia	Moradias	Habitantes	Densidade de Moradias (moradias/km²)	Densidade de Habitantes (habitantes/km²)
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	4.888	15.010	170	540
	Maestra	12.170	39.072	300	960
	Tega	56.674	164.010	880	2.550
Bacia do Caí	Belo	14.158	43.418	640	1.960
	Piaí	16.751	49.233	530	1.550
	Pinhal	34.454	99.381	1.180	3.390

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

A fim de identificar a renda média familiar, foram intersectados os dados de rendas das famílias do Censo de 2010 com as sub-bacias de estudo. Desta forma, é possível compreender a distribuição de famílias com maior ou menor renda nas sub-bacias, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Mapa da renda média familiar das sub-bacias de estudo com base no Censo de 2010



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Tabela 17, apresenta os valores médios de renda familiar por sub-bacia de estudo extraídos do Censo de 2010 (IBGE, 2010) e a classificação de renda com base nos critérios estabelecidos pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP) do ano de 2010. De acordo com a ABEP (2012) o conceito de classes não está presente nas estatísticas do IBGE, sendo a ABEP estabeleceu um critério de classificação econômica no Brasil, que é atualizado de forma anual, a fim de auxiliar nas pesquisas de mercado.

Tabela 17 – Renda média familiar nas sub-bacias, segundo dados do Censo de 2010

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacia	Renda Média Familiar	Classe de Renda*
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	R\$ 1.234,98	C2
	Maestra	R\$ 1.799,38	C1
	Tega	R\$ 1.835,16	C1
Bacia do Caí	Belo	R\$ 1.277,75	C2
	Piaí	R\$ 1.556,76	C1
	Pinhal	R\$ 1.581,55	C1

* classe de renda baseada na pesquisa de 2010 da ABEP

Fonte: Adaptado de IBGE (2010); ABEP (2012).

Na Bacia Taquari-Antas, observa-se que a sub-bacia do Tega apresenta a renda média familiar mais elevada em comparação as demais sub-bacias. Nessa sub-bacia também é possível observar, através da Figura 11, uma disparidade de renda, onde na região central, próxima aos pontos Tega 3 (T3) e Tega 4 (T4), observa-se uma renda média familiar elevada, com a presença de setores censitários com renda acima de R\$ 4.418,00, sendo classificada através da ABEP (2012) como classe A1 e A2. Ao se distanciar da área central, em direção ao ponto Tega 9 (T9), observa-se que a renda tende a diminuir, ficando entre R\$ 1.024,00 a R\$ 1.541,00 (classe C1 e C2). Também se observa que o ponto Tega 6 (T6) apresenta uma renda baixa em seu entorno (até R\$ 1.024 e de 1.024 a 1.541) podendo ser classificado como classe C2 e D (ABEP, 2012), e conforme a Figura 9, nessa região constata-se ainda uma densidade mais elevada de habitantes.

A sub-bacia do Maestra apresenta renda média familiar com R\$ 1.799,38 seguida da sub-bacia do Faxinal com R\$ 1.234,98, sendo a sub-bacia com a menor renda média familiar.

Na Bacia do Caí, as maiores rendas médias familiares são da sub-bacia do Pinhal, com R\$ 1.581,55 e Piaí com R\$ 1.556,76. A sub-bacia do Belo possui a menor média de renda com R\$ 1.277,75.

Diversos estudos demonstram a existência da relação entre características socioeconômicas da população e a moradia dessas em áreas de risco, como a ausência de infraestrutura urbana, a disposição de resíduos ou outros (Pulido, 2000; Acselrad; Mello; Bezerra, 2009). O uso e a ocupação irregular do solo, devido ao crescimento populacional e o processo de urbanização tem repercutido modificações no ambiente aquático, como a poluição de córregos e rios (Vessoni, 2019).

6.2.2 Indicadores de Saneamento Ambiental

Os dados referentes ao abastecimento de água, extraídos do Censo de 2010, estão apresentados na Tabela 18. Os dados do Censo de 2010 referentes a abastecimento de água apontam que todas as sub-bacias de estudo possuem acima de 90% das famílias com abastecimento através da rede pública. Esses valores corroboram com os dados do SNIS que apontam que em 2021, 100% da população da área urbana do município estava sendo atendido pelo abastecimento público, possuindo um consumo per capita de 123,95 l/hab.dia (Brasil, 2022).

Tabela 18 - Fonte de abastecimento de água, segundo o Censo de 2010

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacia	Rede Geral	Poço ou Nascente	Água da Chuva	Outro	Total
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	93,1 %	1,9 %	0,0 %	5,0 %	100%
	Maestra	95,2 %	2,5 %	0,0 %	2,3 %	100%
	Tega	98,9 %	0,6 %	0,0 %	0,5 %	100%
Bacia do Caí	Belo	98,2 %	1,2 %	0,0 %	0,6 %	100%
	Piaí	97,5 %	1,4 %	0,0 %	1,1 %	100%
	Pinhal	98,6 %	0,8 %	0,0 %	0,6 %	100%

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

Visando compreender como é feito o lançamento do efluente doméstico das residências, o IBGE, através do Censo, questiona as famílias sobre a forma como fazem esse descarte. Para essa questão, o IBGE traz as opções de descarte através de rede de esgoto ou pluvial, em fossa séptica ou rudimentar, em vala, diretamente no rio, presença de escoadouro, ou outra forma não citada anteriormente. Cabe destacar que no estudo do Censo de 2010, a resposta fornecida para rede de esgoto e pluvial era unificada, sendo difícil compreender se a residência já possuía ligação a uma rede coletora de esgoto, ou apenas ligação na rede pluvial do município.

O dado referente ao descarte do efluente doméstico das residências do município de Caxias do Sul no ano de 2010, com base na resposta fornecida ao IBGE é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Forma de lançamento do efluente doméstico, segundo o Censo de 2010

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacia	Rede de Esgoto ou Pluvial	Fossa Séptica ou Rudimentar	Vala	Rio	Escoadouro	Outro
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	70,0 %	26,0 %	2,6 %	0,2 %	0,0 %	1,2 %
	Maestra	83,3 %	13,4 %	2,2 %	0,4 %	0,3 %	0,3 %
	Tega	83,7 %	14,2 %	0,7 %	0,9 %	0,1 %	0,4 %
Bacia do Caí	Belo	82,6 %	14,7 %	1,7 %	0,4 %	0,5 %	0,1 %
	Piaí	76,4 %	20,3 %	2,1 %	0,6 %	0,1 %	0,5 %
	Pinhal	79,2 %	15,8 %	3,0 %	1,1 %	0,6 %	0,3 %

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

Segundo o SAMAE (2023), as estações de tratamento de esgoto (ETE) de Caxias do Sul são compostas por diferentes etapas que podem variar de acordo com a época de construção dessa. O município conta com 10 ETE em operação gerenciadas pelo SAMAE (2023). Cinco ETE já estavam em funcionamento no momento da coleta dos dados do Censo de 2010, e as outras cinco foram inauguradas entre os anos de 2012 e 2014. Todas as existentes até o ano de 2010, estavam localizadas na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, sendo duas na sub-bacia do Maestra, uma no Faxinal e uma no Tega, com capacidade máxima de tratar até 103,5 L/s de

efluente e podendo beneficiar assim até 74 mil habitantes. Conforme o item 6.1.1, a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas possuía aproximadamente 218 mil habitantes, sendo que nesse período as ETEs existentes não teriam capacidade de atender a toda população.

O resultado do Censo demonstrou que um grande percentual de moradias sinalizou estarem lançando seus efluentes na rede pública de esgoto ou rede pluvial. Sabendo que até o ano de 2010 as grandes ETEs não existiam no município, entende-se que em sua maioria, esse percentual de moradias realizava o lançamento do efluente doméstico diretamente na rede pluvial. Os resultados do SNIS, apontam que Caxias do Sul possuía 80% de coleta do esgoto e 48,87% de tratamento desse no ano de 2021 (Brasil, 2022).

Vale ressaltar que se buscou junto a autarquia SAMAE, dados referentes ao percentual de efluente doméstico tratado em cada ETE em comparação a capacidade projetada dessa e informações quanto a ligação de residências na rede coletora municipal, entretanto obteve-se apenas a informação do percentual de utilização das ETEs Ana Rech, Canyon, Serrano, Tega, Samuara, Belo, Pena Branca e Pinhal, considerando a vazão média de entrada do ano de 2023 em relação a vazão projetada para operação, conforme Tabela 20.

Tabela 20 - Percentual da vazão média anual de 2023 medida na entrada em relação e a vazão licenciada para operação nas ETEs

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacia	ETE	Percentual Vazão média de entrada em comparação ao projetado
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	Ana Rech	11,5%
	Maestra	Canyon	8,6%
		Serrano	53,3%
	Tega	Tega	19,0%
Bacia do Caí	Belo	Samuara	10,2%
		Belo	8,6%
	Piaí	Pena Branca	16,3%
	Pinhal	Pinhal	14,8%

Fonte: Adaptado de SAMAE (2024).

Observa-se que dentre as ETEs listadas na Tabela 20, apenas a ETE Serrano possui percentual acima de 50%, isto é, recebe metade da vazão para qual foi projetada. As demais ETEs demonstraram não estarem recebendo efluente em quantidade compatível com o projetado e assim poderem realizar o devido tratamento do efluente.

Outro fator que pode causar degradação dos corpos hídricos é a destinação incorreta dos resíduos sólidos urbanos. Conforme Finotti *et al.* (2009), os resíduos sólidos podem provocar

graves problemas na drenagem urbana, comprometendo calhas e bueiros o que pode contribuir para alagamentos e, os resíduos ainda podem estar interferindo na qualidade da água. A autarquia municipal Companhia de Desenvolvimento de Caxias do Sul - CODECA, é a responsável pelo gerenciamento dos resíduos e limpeza urbana em Caxias do Sul. Na Tabela 21 estão apresentados os dados da destinação dos resíduos pelas famílias no ano de 2010.

Tabela 21 - Destinação dos resíduos sólidos segundo o Censo de 2010

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacia	Tipologia da destinação de resíduos sólidos (%)				
		Coletado	Queimado	Enterrado	Terreno Baldio	Outro
Bacia Taquari-Antas	Faxinal	98,5	0,2	0,1	0,0	1,2
	Maestra	99,3	0,3	0,1	0,0	0,3
	Tega	99,6	0,1	0,0	0,0	0,3
Bacia do Caí	Belo	99,5	0,1	0,2	0,0	0,1
	Piaí	99,2	0,1	0,1	0,1	0,5
	Pinhal	99,6	0,1	0,0	0,0	0,2

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

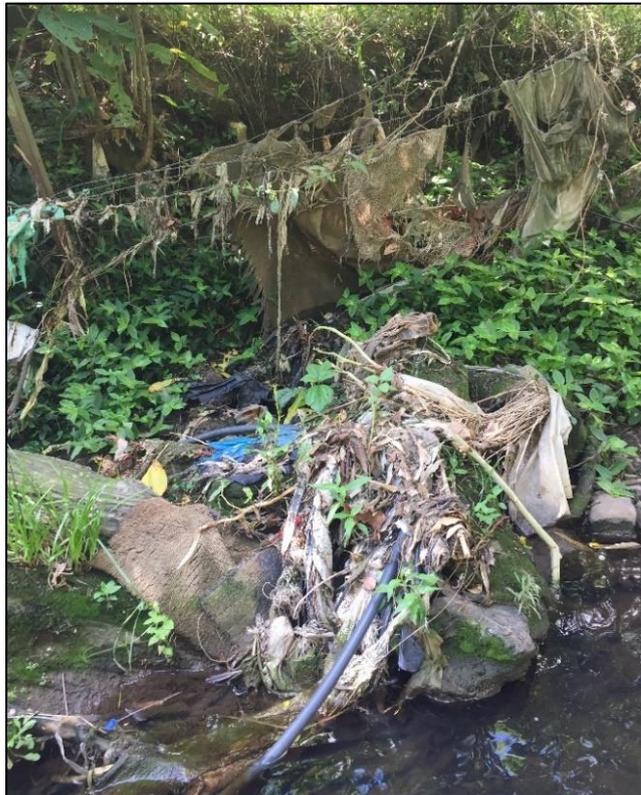
Aproximadamente 99% das residências, de todas as sub-bacias, alegaram estarem destinando seus resíduos de forma correta junto a coleta municipal. Um percentual baixo das famílias do município, alegou estar queimando, enterrando, dispendo em terrenos baldios ou outra forma de descarte inadequado. Ressalta-se, porém, que apesar do número satisfatório de resíduos destinado corretamente, nas campanhas realizadas no Período 2 (2022), foram identificados pontos de descarte irregular de resíduos sólidos, e a presença do resíduo junto aos corpos hídricos, conforme Figura 12 e 13.

Figura 12 - Resíduos identificados no leito do rio no ponto Tega 9 (T9) em maio de 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 13 - Resíduos identificados no leito do rio no ponto Belo 1 (B1) em fevereiro de 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

6.2.3 Localização de empreendimentos com lançamento de efluentes

Para identificação da localização dos empreendimentos que possuem licença para lançamento de efluentes no município de Caxias do Sul foram utilizadas informações referentes às licenças de operação emitidas pelo órgão municipal (SEMMA, 2023) e estadual (FEPAM, 2023). Foram utilizados os dados de licenças vigentes durante o ano de 2022.

No âmbito municipal, Caxias do Sul, possui aproximadamente 1.394 licenciamentos vigentes no município, sendo que apenas 170 empresas licenciadas, possuem autorização para lançamento de efluentes. Destas, 106 estão localizadas na Bacia Hidrográfica Taquari Antas e 64 empresas estão localizadas na Bacia Hidrográfica do Caí.

A nível estadual, existem 33 empresas licenciadas e com a devida autorização para o lançamento de efluentes emitidas pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM). Dentre as empresas licenciadas pela FEPAM, 32 estão presentes na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas e 1 na Bacia Hidrográfica do Caí. Na Tabela 22 estão apresentadas as quantidades de empresas com licença para lançamento de efluente emitidas pelos órgãos municipal e estadual nas sub-bacias de estudo.

Tabela 22 - Empresas licenciadas pelo órgão municipal e estadual distribuídos nas sub-bacias hidrográficas

Bacia Hidrográfica	Sub-bacia	Empresas Licenciados		
		Total	Percentual	Por km ² de sub-bacia
Taquari-Antas	Faxinal	17	12%	0,61
	Maestra	15	11%	0,37
	Tega	106	77%	1,65
Caí	Belo	13	20%	0,59
	Piaí	28	42%	0,88
	Pinhal	24	38%	0,82

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

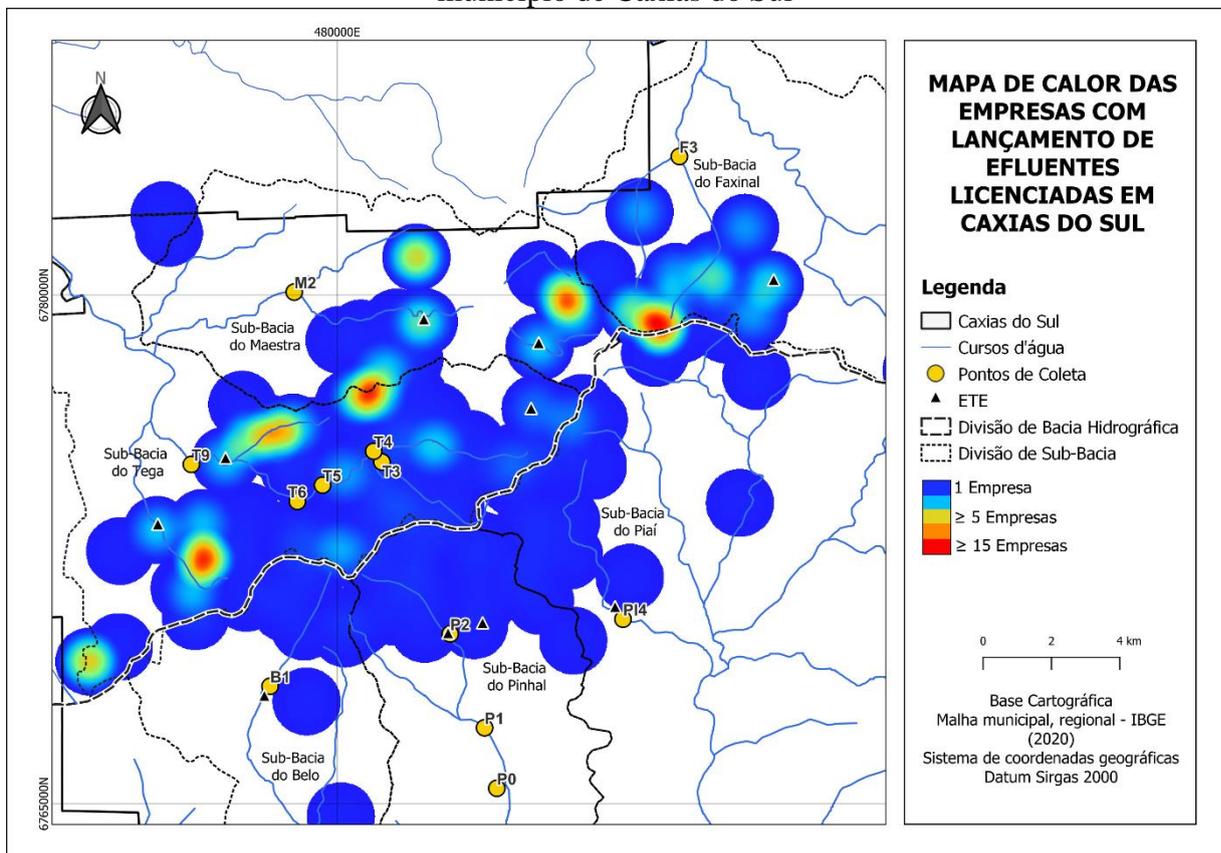
A Bacia Hidrográfica Taquari-Antas detém o maior número de empreendimentos licenciados com permissão para lançamento de efluentes de Caxias do Sul. A sub-bacia do Tega conta com 77% dos empreendimentos licenciados, e as sub-bacias do Faxinal e Maestra tem, respectivamente, 12% e 11% dos empreendimentos. Na Bacia Hidrográfica do Caí, 42% dos empreendimentos estão localizados nas sub-bacia Piaí, 38% na sub-bacia do Pinhal, e 20% na sub-bacia do Belo.

Entende-se que o ideal seria realizar o estudo da vazão de lançamento das empresas licenciadas nas respectivas sub-bacias, entretanto, devido à falta de dados de vazão de

lançamento das licenças, se torna inviável a realização desse estudo. Tendo em vista o exposto acima, foi realizada a análise do total de empresas e a análise da tipologia da atividade exercida. Ressalta-se, porém, que estes resultados devem ser olhados com parcimônia, visto que não se tem o dado do porte real de lançamento dessas empresas.

A concentração das empresas com licença para emissão de efluentes nos corpos d'água do município pode ser visualizada na Figura 14. O resultado apresenta manchas de cor que variam de vermelho para maior concentração e azul para menor concentração. Devido ao número de empresas e de forma a manter visível as áreas destacadas, o raio para determinação da proximidade entre ocorrências foi definido para 1.000 metros.

Figura 14 - Mapa de calor das empresas com lançamento de efluentes licenciadas pelo município de Caxias do Sul



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os clusters de concentração de empresas com lançamento de efluentes foram identificados nas sub-bacias do Tega, Maestra e Faxinal. Na sub-bacia do Tega observa-se pequenos clusters próximos aos pontos Tega 3 (T3), Tega 4 (T4) e Tega 5 (T5). Também é notório um cluster de concentração de empresas próximo ao ponto Tega 9 (T9), o que permite estar analisando os efluentes lançados no corpo hídrico. Observa-se um cluster na sub-bacia do

Tega, próximo a ETE Samuara que não possui ponto de monitoramento da qualidade da água do presente estudo.

Ainda, nas sub-bacias do Faxinal e Maestra também existem cluster de maior concentração que possuem pontos de monitoramento posterior a esses, permitindo a análise do efluente lançado.

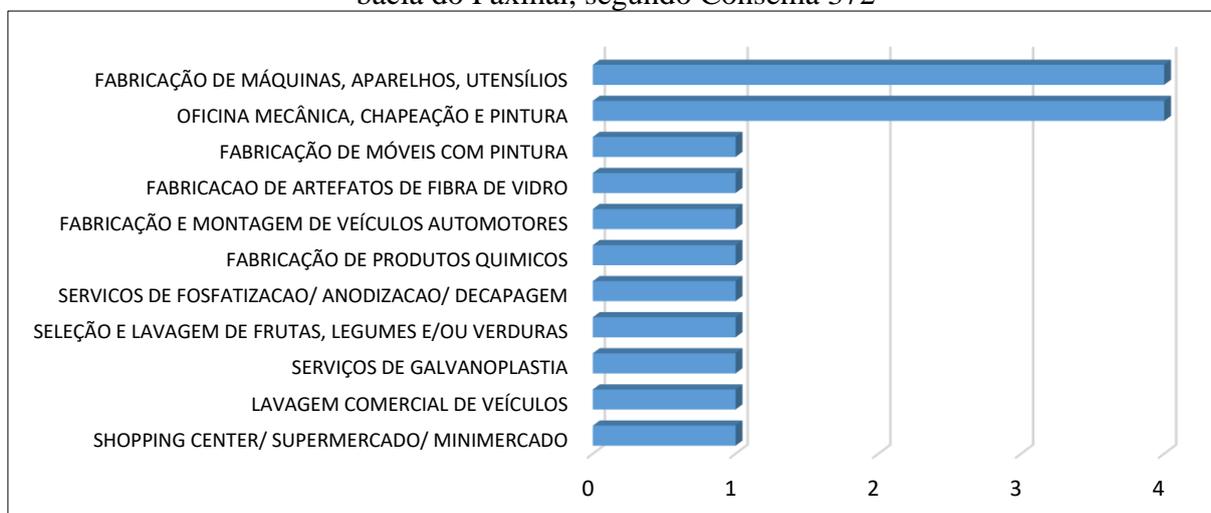
A Bacia Hidrográfica do Caí, apresenta pouca concentração de atividades, impossibilitando a visualização e identificação de clusters de empresas.

A resolução Consema 372 de 2018 (Rio Grande do Sul, 2018), define as atividades utilizadoras de recursos ambientais, efetiva ou parcialmente poluidoras ou capazes de causar degradação no meio ambiente, definindo seu porte e potencial poluidor. Com base na Consema 372 (Rio Grande do Sul, 2018), e nos dados das licenças com permissão para lançamento de efluentes em Caxias do Sul, foi possível identificar a classificação das atividades existentes no município por sub-bacia.

As Figuras 15, 16 e 17, apresentam a classificação, segundo a Consema 372 (Rio Grande do Sul, 2018), das empresas da sub-bacia do Faxinal, Maestra e Tega.

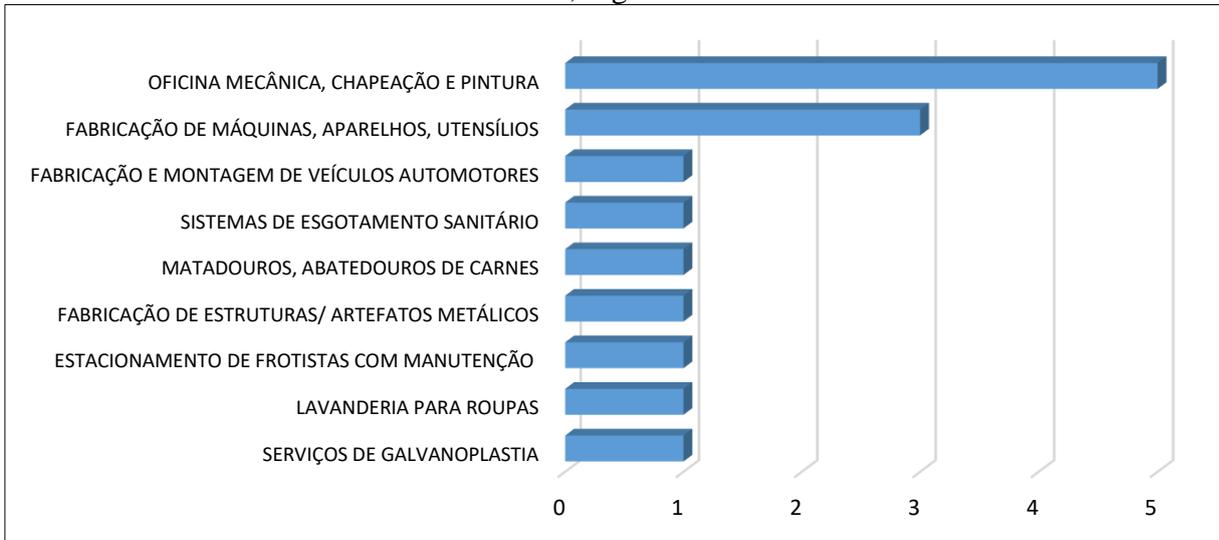
A sub-bacia do Faxinal e Maestra possuem uma concentração maior de empresas relacionada à fabricação de máquinas, aparelhos e utensílios e de serviços de mecânica, chapeação e pintura. Na sub-bacia do Tega, igualmente às sub-bacias anteriores, a atividade de oficina mecânica, chapeação e pintura, também é a atividade de maior predominância representando 40% das atividades, seguido da fabricação de máquinas, do serviço de lavagem de roupas e do serviço de galvanoplastia.

Figura 15 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Faxinal, segundo Consema 372



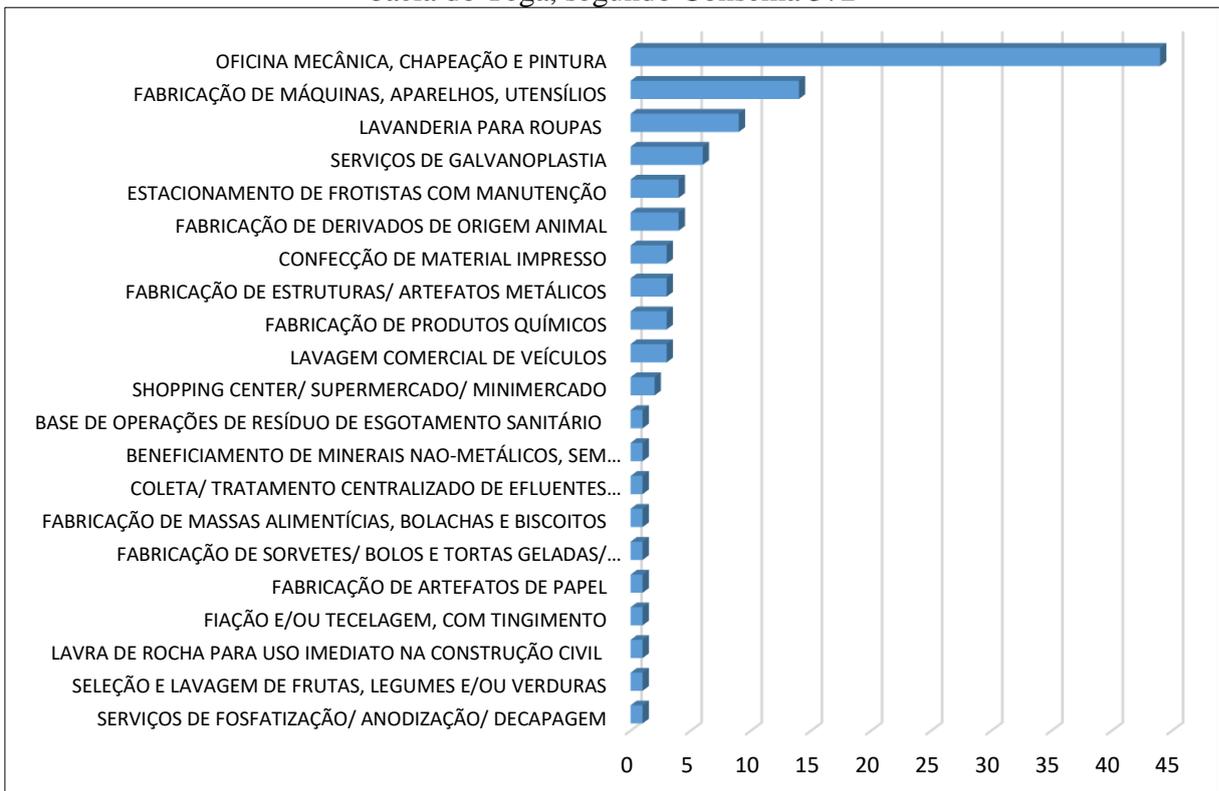
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 16 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Maestra, segundo Consema 372



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

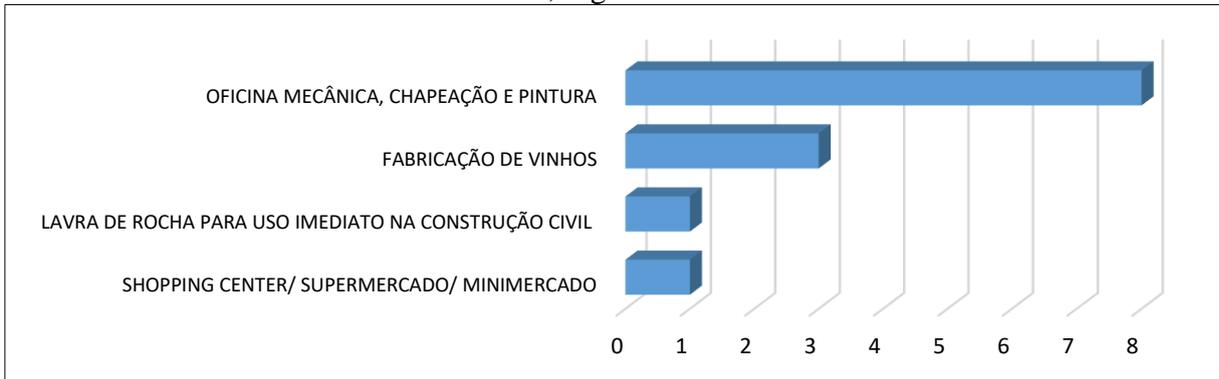
Figura 17 – Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Tega, segundo Consema 372



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As Figuras 18, 19 e 20, apresentam a classificação, segundo a Consema 372 (Rio Grande do Sul, 2018), das empresas da sub-bacia do Belo, Piaí e Pinhal.

Figura 18 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Belo, segundo Consema 372



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 19 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Piaí, segundo Consema 372



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 20 - Classificação das atividades das empresas com lançamento de efluentes na sub-bacia do Pinhal, segundo Consema 372



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Assim como observado para as sub-bacias do Taquari-Antas, a atividade predominante é a de serviço de oficina mecânica, chapeação e pintura. Na sub-bacia do Piaí, também é possível identificar em maior número, o serviço de galvanoplastia. No Belo, a atividade que se destaca juntamente ao serviço de oficina mecânica é a fabricação de vinhos e no Pinhal é a lavagem de veículos, seguida de fabricação de vinhos e derivados de origem animal.

6.2.4 Sistematização da Caracterização da Zona Urbana de Caxias do Sul

Na Tabela 23 estão sintetizados os principais resultados acerca dos dados do uso do solo e indicadores urbanos e sociais nas sub-bacias de estudo.

Tabela 23 - Sistematização dos principais resultados da caracterização da zona urbana

Análises	Bacia Taquari-Antas			Bacia do Caí		
	Faxinal	Maestra	Tega	Belo	Piaí	Pinhal
Área km ² (2022)	28,03	40,77	64,43	22,12	31,74	29,32
Uso do Solo* (2022)	Mata Nativa	Mata Nativa	Área Urbana	Mata Nativa	Área Urbana	Área Urbana
Habitantes da sub-bacia (2010)	15.010	39.072	164.010	43.418	49.233	99.381
Habitantes /km ² (2010)	535,50	958,35	2.545,55	1.962,84	1.551,13	3.389,53
Moradias /km ² (2010)	174,38	298,50	879,62	640,05	527,76	1.175,10
Renda Média Familiar (2010)	R\$ 1.234,98	R\$ 1.799,38	R\$ 1.835,16	R\$ 1.277,75	R\$ 1.556,76	R\$ 1.581,55
Empresas /km ² (2022)	0,61	0,37	1,65	0,59	0,88	0,82
Atividade* (2022)	Oficina mecânica, chapeação e pintura / fabricação de máquinas e aparelhos	Oficina mecânica, chapeação e pintura				
Quantidade de ETE (2022)	1	2	3	1	1	2
Potencial de tratamento de esgoto pelas ETE (2022)	10 L/s	67 L/s	519 L/s	120 L/s	120 L/s	247,5 L/s
Potencial máximo de habitantes atendidos (2022)	2,5 mil	55 mil	227 mil	38 mil	40 mil	134,5 mil

*Predominante

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A sub-bacia do Tega consiste na maior das 6 sub-bacias estudadas (64,43 km²), com a maior população (164.010) e a segunda maior densidade populacional (2.545,55 hab/km²). Possui a maior parte da área urbanizada e apresenta a maior renda média familiar mensal (R\$ 1.835,16). A renda média familiar do Tega, se distribui, conforme a Figura 10, com uma renda mais elevada junto a área central do município e próxima aos pontos de coleta Tega 3 (T3) e Tega 4 (T4) e uma redução da renda quando se afasta do centro, em direção aos pontos Tega 5,

6 e 9 (T5, T9 e T9). Atualmente possui 3 ETEs com capacidade de tratar o efluente de até 227 mil habitantes, ou seja, 38% a mais do que a população que existia em 2010.

A sub-bacia do Faxinal é a segunda sub-bacia com a menor área de estudo (28,03 km²), o menor número de habitantes (15.010), a menor densidade populacional (535,5 hab/km²) e a menor renda média familiar (R\$ 1.234,98). Possui maior área em seu perímetro urbano de mata nativa, seguido da atividade agropastoril. Atualmente possui 1 ETE com capacidade de tratar o efluente de até 2,5 mil habitantes, isto é, 83% a menos do que a população residente na sub-bacia em 2010.

A sub-bacia do Maestra possui a segunda maior área de estudo (40,77 km²), a segunda menor população residente (39.072) e a segunda menor densidade populacional (958,35 hab/km²). O Maestra possui a segunda maior renda média familiar com R\$ 1.799,38. Possui maior área em seu perímetro urbano de mata nativa, seguido da atividade agropastoril. Atualmente possui 2 ETEs, que juntas possuem capacidade de atender até 55 mil habitantes, isto é, 40% a mais do que os habitantes da sub-bacia de 2010.

Na sub-bacia do Belo encontra-se a menor área do perímetro urbano entre as sub-bacias estudadas (22,12 km²), uma população de 43.418 habitantes com densidade de 1.962,84 hab/km², sendo a terceira maior densidade observada. Possui a segunda menor renda média familiar, com R\$ 1.277,75. O uso do solo apresenta predominância de área de mata nativa seguido de área urbanizada. O Belo possui 1 ETE, com capacidade de tratar o efluente de até 38 mil habitantes, ou seja, 12% a menos do que os habitantes totais residentes na sub-bacia no ano de 2010.

A sub-bacia do Piaí apresenta a terceira maior área do perímetro urbano (31,74 km²), a terceira maior população (49.233) e densidade populacional de 1.551,13 hab/km². Possui uma renda média familiar de R\$ 1.556,76 e o uso do solo apresenta predominância de área urbanizada (41,2%). Conta atualmente com 1 ETE, com capacidade de atendimento de até 40 mil habitantes, isto é 19% a menos do que a população da sub-bacia de 2010.

A sub-bacia do Pinhal possui a quarta maior área do perímetro urbano do município (29,32 km²), apresenta a segunda maior população das sub-bacias (99.381) e a maior densidade populacional (3.389,53 hab/km²). Apresenta também a terceira maior renda média familiar com R\$ 1.581,55. O uso do solo apresenta predominância de área urbanizada (57,3%) e possui duas ETEs, com capacidade de tratamento de efluentes de até 134,5 mil pessoas, ou seja, 35% a mais do que a população residente de 2010.

6.3 ANÁLISE DOS ÍNDICES ACERCA DA QUALIDADE DA ÁGUA

A seguir são apresentados os resultados acerca da qualidade da água nas sub-bacias de estudo. No item 6.3.1 são apresentados os resultados de vazão e na sequência, os demais itens trazem os Índices de Qualidade da Água, Índice de Estado Trófico, Índice de Toxicidade e Índice de Conformidade ao Enquadramento. Com base nos resultados das campanhas de coleta de água realizadas no Período 2 (2022) e os dados das campanhas de amostragem de Schneider (2014), do Período 1 (2012 a 2014), foi possível realizar o cálculo dos índices de qualidade da água e análise estatística descritiva e multivariada conforme apresentado no item 6.3.6, para os pontos e sub-bacias de estudo. Os resultados completos das amostragens podem ser consultados no apêndice E, enquanto os resultados de estatística descritiva podem ser encontrados na Tabela 38.

6.3.1 Série Histórica da Vazão

Conforme a resolução Conama 357 (Brasil, 2005), o enquadramento das águas deve ser observado segundo uma vazão de referência, isto é, a vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, considerando os usos da água. As Tabelas 24 e 25 trazem as vazões de referências Q90 e Q95 calculadas para as sub-bacias, bem como a vazão média obtida nos Períodos 1 e 2 de estudo.

Tabela 24 - Vazões de referência calculadas para os pontos de coletas das sub-bacias hidrográficas no Período 1 (2012 a 2014)

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacias	Q90 (M³/S)	Q95 (M³/S)	Vazão Média Período 1	Avaliação entre Q90 e Q95
Taquari-Antas	Faxinal 3	0,37	0,24	0,32	Q90>Q>Q95
	Maestra 2	0,88	0,57	0,25	< Q95
	Tega 3	0,01	0,01	0,30	> Q90
	Tega 4	0,06	0,04	0,38	> Q90
	Tega 5	0,11	0,07	0,70	> Q90
	Tega 6	0,13	0,08	0,11	Q90>Q>Q95
	Tega 9	0,18	0,11	1,22	> Q90
Caí	Belo 1	0,01	0,01	0,18	> Q90
	Piaí 4	0,05	0,03	0,28	> Q90
	Pinhal 1	0,10	0,06	0,79	> Q90
	Pinhal 2	0,04	0,02	0,47	> Q90

Fonte: Elaborado pela autora (2023) com base em Schneider (2014).

Tabela 25 – Vazões de referência calculadas para os pontos de coletas das sub-bacias hidrográficas no Período 2 (2022)

Bacia Hidrográfica	Sub-Bacias	Q90 (M ³ /S)	Q95 (M ³ /S)	Vazão Média Período 2	Avaliação entre Q90 e Q95
Taquari-Antas	Faxinal 3	0,37	0,24	0,11	< Q95
	Maestra 2	0,88	0,57	0,21	< Q95
	Tega 3	0,01	0,01	0,12	> Q90
	Tega 4	0,06	0,04	0,45	> Q90
	Tega 5	0,11	0,07	0,36	> Q90
	Tega 6	0,13	0,08	0,07	< Q95
	Tega 9	0,18	0,11	0,88	> Q90
Caí	Belo 1	0,01	0,01	0,12	> Q90
	Piaí 4	0,05	0,03	0,16	> Q90
	Pinhal 0	0,12	0,07	0,42	> Q90
	Pinhal 1	0,10	0,06	0,35	> Q90
	Pinhal 2	0,04	0,02	0,24	> Q90

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Analisando as informações de vazão média dos Períodos estudados e comparando-as com a Q90 e Q95, constata-se que os pontos que apresentavam vazão média entre a Q90 e Q95 no Período 1 (Faxinal 3 e Tega 6), no Período 2 passaram a apresentar vazão média abaixo da Q95, demonstrando uma redução significativa na vazão do ponto. Os demais pontos continuaram apresentando a mesma avaliação entre os Períodos 1 e 2.

A Tabela 26 traz os valores mínimos, máximos e médios para as vazões do Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022) para os pontos de estudo. No ponto Tega 4 (T4), em setembro de 2022, foi registrada a vazão de 1,52 m³/s, entretanto esse valor não condiz com o histórico de vazão registrado no local, e devido a isso foi eliminado da análise.

Tabela 26 - Vazões (m³/s) do Período 1 e 2 nos pontos das sub-bacias hidrográficas analisadas

Bacia Hidrográfica	Pontos	Período 1 (2012 A 2014)			Período 2 (2022)			Percentual de diferença*
		Min.	Máx.	Média	Min.	Máx.	Média	
Taquari-Antas	Faxinal 3	0,11	0,71	0,32	0,01	0,20	0,11	-65,6%
	Maestra 2	0,10	0,55	0,25	0,03	0,36	0,21	-16,0%
	Tega 3	0,25	0,33	0,30	0,05	0,15	0,12	-60,0%
	Tega 4	0,20	0,57	0,38	0,19	0,36	0,23	-39,5%
	Tega 5	0,47	0,89	0,70	0,23	0,51	0,36	-48,6%
	Tega 6	0,07	0,14	0,11	0,05	0,15	0,07	-36,4%
	Tega 9	0,81	2,04	1,22	0,27	2,09	0,88	-27,9%
Caí	Belo 1	0,09	0,29	0,18	0,08	0,19	0,12	-33,3%
	Piaí 4	0,13	0,57	0,28	0,04	0,27	0,16	-42,9%
	Pinhal 0	-	-	-	0,12	0,64	0,42	-
	Pinhal 1	0,42	1,12	0,79	0,18	0,57	0,35	-55,7%
	Pinhal 2	0,08	0,79	0,47	0,16	0,35	0,24	-48,9%

*Percentual de diferença entre as médias das campanhas do Período 1 e 2.

Fonte: Elaborado pela autora (2023) com base em Schneider (2014).

Observa-se que as vazões médias do Período 2 (2022) apresentaram valores mais baixos, chegando a 65,6% de redução das vazões médias do Período 1 (2012 a 2014). O menor percentual de diferença foi observado no Tega 9 (T9) que apresentou média de 1,22 m³/s no primeiro período e 0,88 m³/s no segundo período, ou seja, uma redução de 27,9% entre os dois períodos.

Analisando a Tabela 27, observa-se que a média mensal de precipitação do Período 2 (2022), foi menor que a observada no Período 1 (2012 a 2014). Entretanto ao analisar as Tabelas 23 e 24, observa-se que apesar das vazões do segundo período terem apresentado redução em comparação ao primeiro, essas em sua grande maioria estão acima da Q90, não sendo caracterizadas como vazões de seca.

Tabela 27 – Média mensal de precipitação no Período 1 e 2

Ano	Média de Precipitação (mm)
2012*	186,8
2013	170,9
2014*	153,3
2022	150,7
Média Período 1¹	169,7
Média Período 2²	150,7

¹ Período 1: ano de 2012 a 2014

² Período 2: ano de 2022

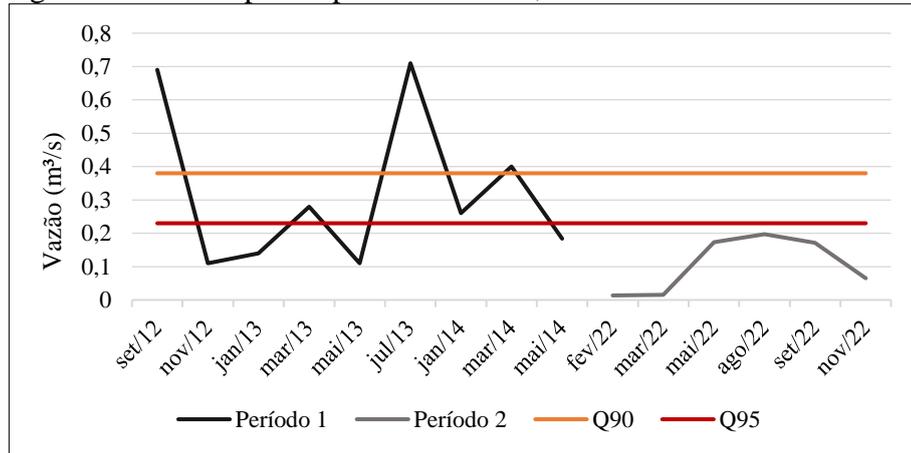
* 2012: início em setembro de 2012

* 2014: até maio de 2014

Fonte: Adaptado de BDMEP (2023).

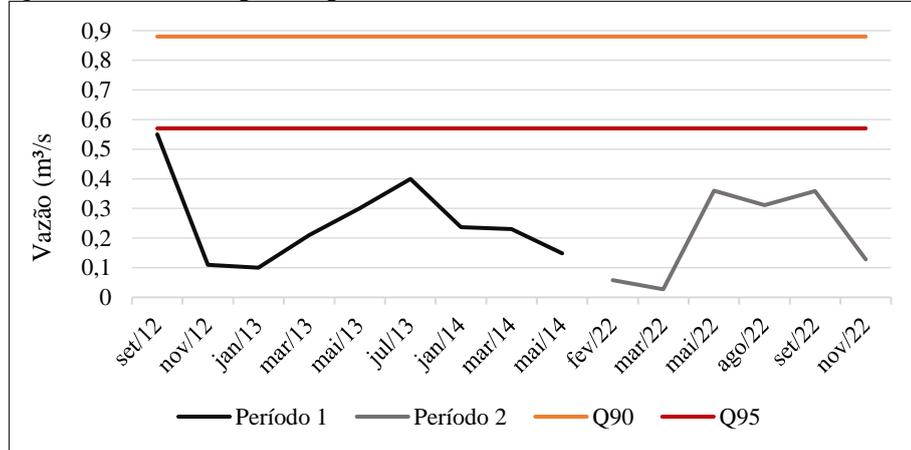
As Figuras 21 a 27 apresentam os valores de vazão obtidos em campo para as sub-bacias hidrográficas da Bacia Taquari-Antas, monitoradas no Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022).

Figura 21 - Vazão para o ponto Faxinal 3, inserido na sub-bacia Faxinal



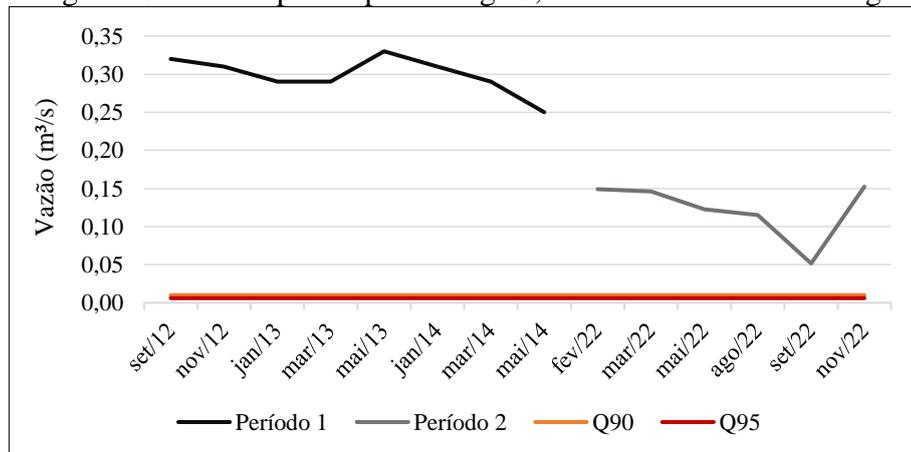
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 22 – Vazão para o ponto Maestra 2, inserido na sub-bacia Maestra



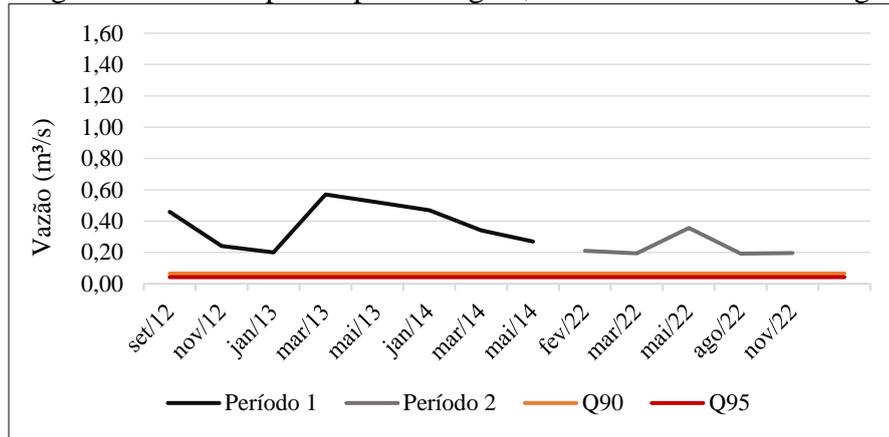
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 23 - Vazão para o ponto Tega 3, inserido na sub-bacia Tega



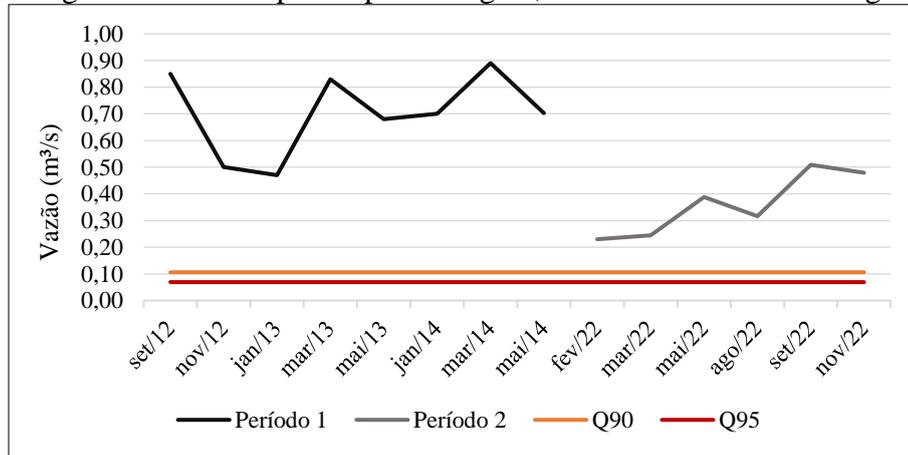
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 24 - Vazão para o ponto Tega 4, inserido na sub-bacia Tega



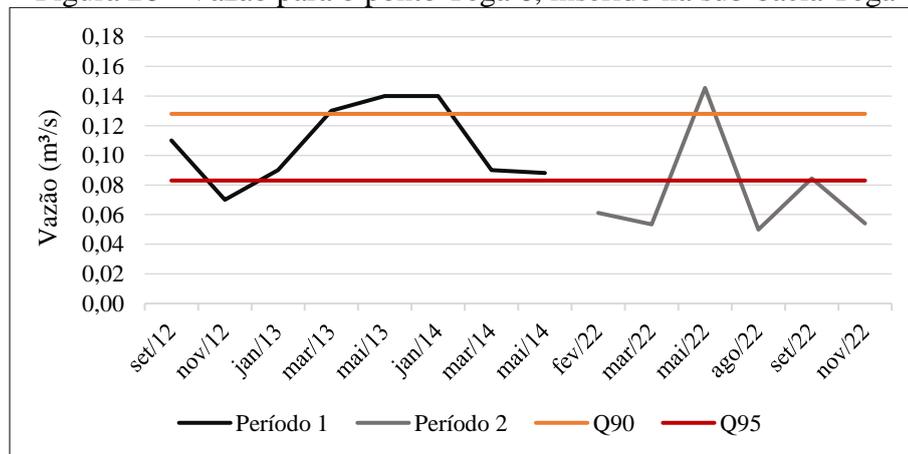
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 25 - Vazão para o ponto Tega 5, inserido na sub-bacia Tega



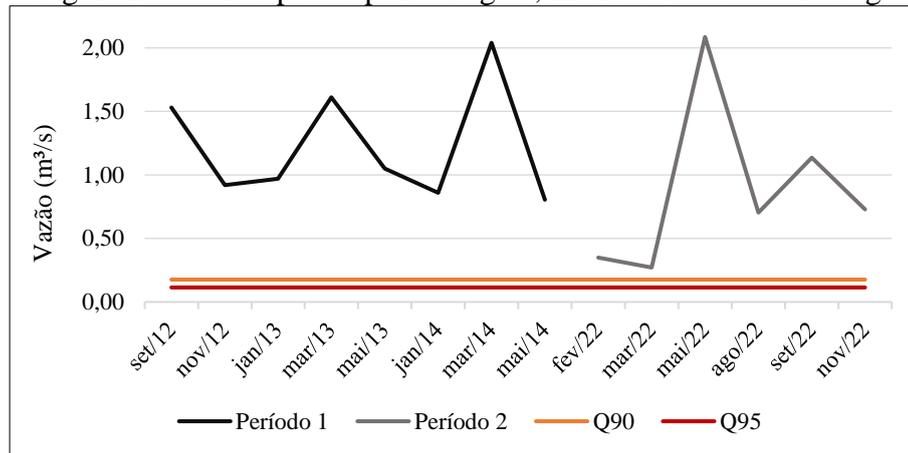
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 26 - Vazão para o ponto Tega 6, inserido na sub-bacia Tega



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 27 - Vazão para o ponto Tega 9, inserido na sub-bacia Tega

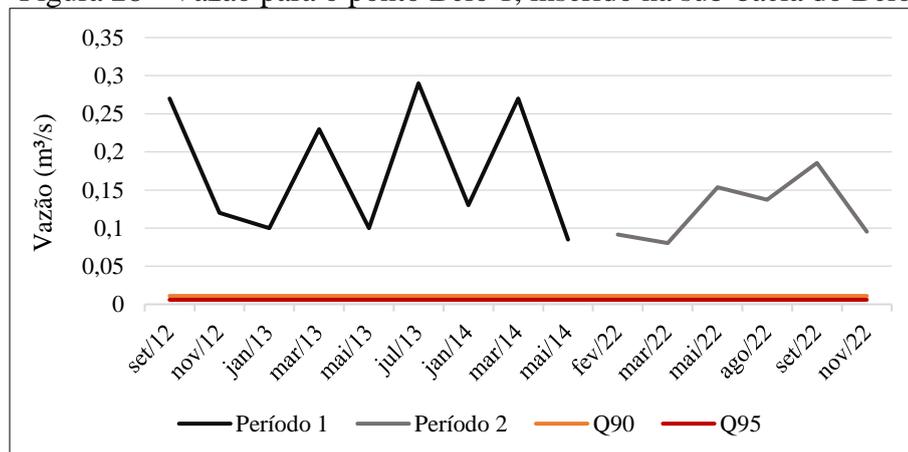


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Evidenciou-se que as vazões medidas em 2022, nos pontos Faxinal 3 (F3), Maestra 2 (M2) e Tega 6 (T6) encontraram-se em situação crítica, com valores próximos ou inferiores a Q90 e Q95 do curso d'água. Esses mesmos pontos, igualmente apresentaram situação crítica no período de análise de 2012 a 2014. Os demais pontos da Bacia Taquari-Antas apresentaram vazões acima da Q90 e Q95 para ambos os períodos de estudo.

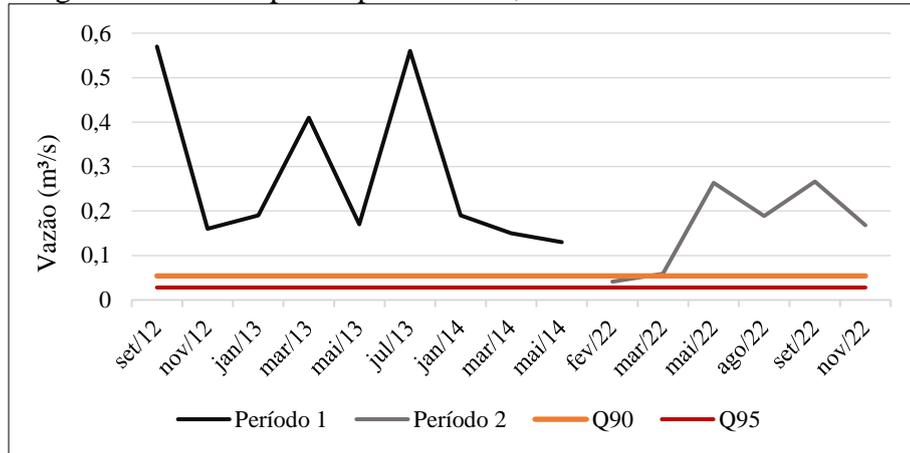
As Figuras 28 a 32 apresentam os valores de vazão obtidos em campo para as sub-bacias hidrográficas da Bacia do Caí, monitoradas no Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022).

Figura 28 - Vazão para o ponto Belo 1, inserido na sub-bacia do Belo



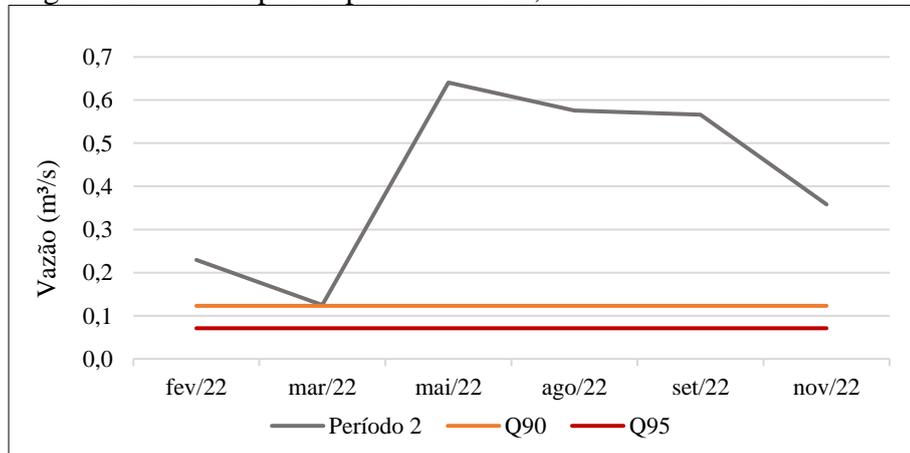
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 29 - Vazão para o ponto Piaí 4, inserido na sub-bacia do Piaí



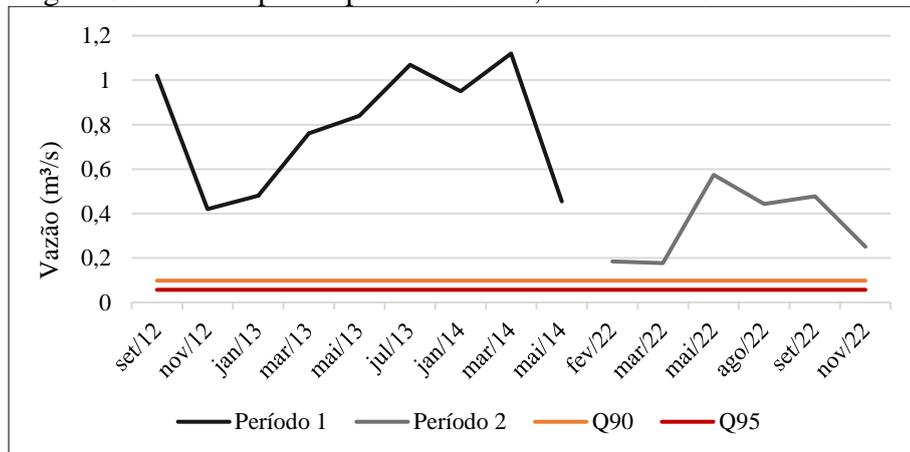
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 30 - Vazão para o ponto Pinhal 0, inserido na sub-bacia Pinhal



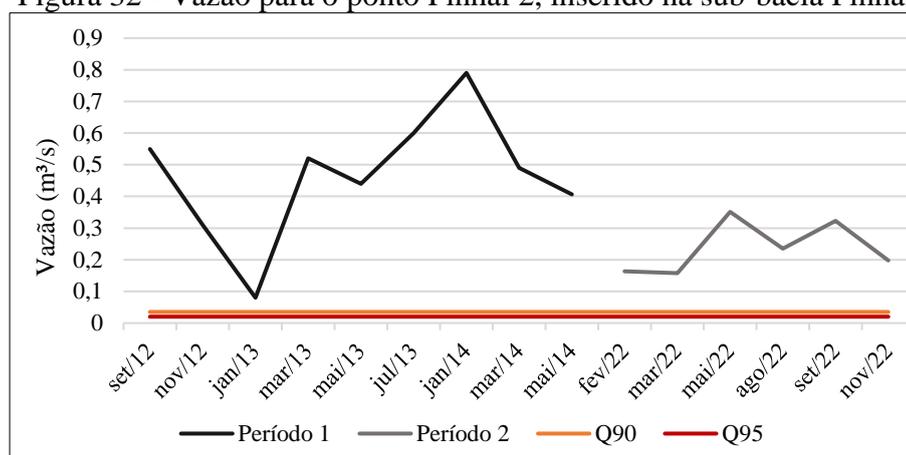
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 31 - Vazão para o ponto Pinhal 1, inserido na sub-bacia Pinhal



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 32 - Vazão para o ponto Pinhal 2, inserido na sub-bacia Pinhal



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Bacia do Caí apresentou vazões acima da Q90 para os pontos de estudo em ambos os períodos de análise, com exceção do ponto Piaí 4 (Pi4) em fevereiro de 2022, onde apresentou vazão abaixo da Q90, com 0,04 m³/s.

6.3.2 Índice de Qualidade da Água (IQA)

A Tabela 28 apresenta os resultados obtidos para o Índice de Qualidade da Água (IQA) para os pontos de monitoramento no Período 2 (2022).

Tabela 28 - Resultado do índice de qualidade da água (IQA) no Período 2 (2022)

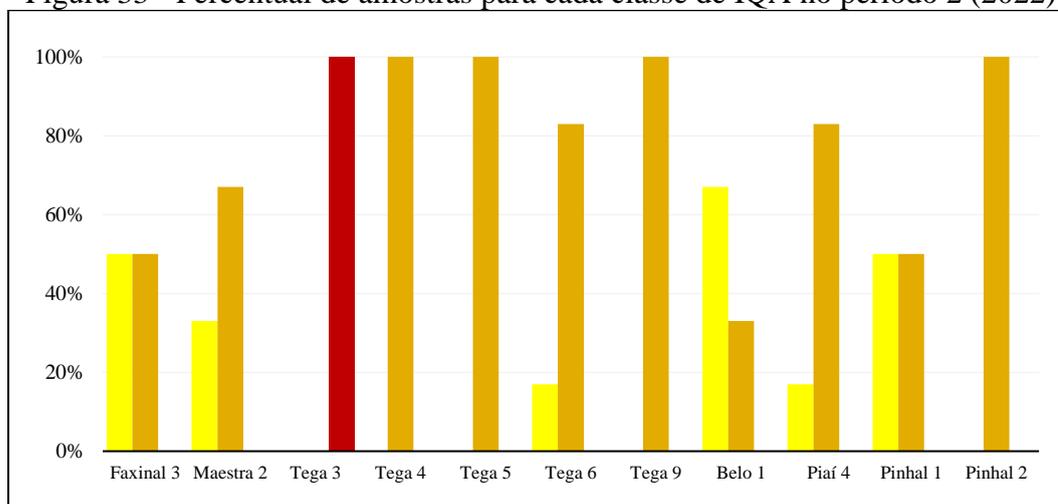
Bacia Hidrográfica	Pontos	Coletas					
		fev/22	mar/22	mai/22	ago/22	set/22	nov/22
Bacia Taquari-Antas	Faxinal 3	41,4	56,1	45,2	54,1	53,7	42,9
	Maestra 2	47,45	45,18	46,9	53,99	53,08	41,95
	Tega 3	18,9	22,9	18,7	20,29	21,38	15,23
	Tega 4	38,71	34,6	35,4	42,56	46,32	27,45
	Tega 5	37,17	36,53	33,65	39,68	39,11	35,4
	Tega 6	43,82	52,93	33,48	47,75	44,26	40,0
	Tega 9	40,63	41,52	39,34	47,46	41,9	37,65
Bacia Caí	Belo 1	44,2	52,0	39,2	52,8	50,2	50,6
	Piaí 4	45,08	46,12	44,9	53,1	49,03	38,09
	Pinhal 0	46,7	42,2	39,4	51,6	48,6	42,2
	Pinhal 1	45,08	55,72	43,82	59,41	54,33	42,28
	Pinhal 2	42,8	47,6	40,0	47,9	42,0	40,2

Legenda: Regular Ruim Péssimo

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na Figura 33 está representado os percentuais de amostras para cada classe do Índice de Qualidade da Água (IQA) obtidos no Período 2 (2022).

Figura 33 - Percentual de amostras para cada classe de IQA no período 2 (2022)



Legenda: Regular Ruim Péssimo

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Observa-se que apenas o ponto Tega 3 (T3), localizado na sub-bacia do Tega, apresentou IQA péssimo no Período 2 (2022). Os demais pontos de estudo, apresentaram IQA ruim em sua maioria e IQA regular para algumas campanhas não apresentando IQA bom ou ótimo.

O IQA calculado para as amostras de água coletadas durante o Período 2 (2022) revelou uma média de resultados ruim nos pontos de análise. Na sub-bacia do Faxinal, encontrou-se 50% de IQA ruim e 50% de regular. O ponto Maestra 2 (M2), localizado na sub-bacia do Maestra, apresentou 67% de IQA ruim e 33% de regular. Na sub-bacia do Tega, o ponto Tega 3 (T3) apresentou o pior resultado, com 100% de IQA ruim conforme observado na Figura 19. Cornelli *et al.* (2016) detectaram IQA péssimo e ruim em 9 pontos da sub-bacia do Tega, associando o resultado com a presença de residências nessa região. Conforme apresentado no item 6.3.1, importante considerar que no Período 1 (2012 a 2014) a vazão média para o ponto Tega 3 foi de 0,30 m³/s, enquanto no Período 2 a média da vazão foi de 0,12 m³/s, isto é 40% menor que no primeiro período.

Os pontos Tega 4 (T4), Tega 5 (T5) e Tega 9 (T9) apresentam 100% de IQA ruim e o ponto Tega 6 (T6) apresenta 83% de IQA ruim e 17% de regular. No ponto Tega 6 (T6), ressalta-se a identificação *in loco* de casas com contribuição de efluentes domésticos diretamente ao corpo hídrico.

É notória a melhora do IQA na sub-bacia do Tega à medida que ocorre o distanciamento

da área urbanizada (T6 e T9). Essa melhora pode estar associada à autodepuração do corpo hídrico. A autodepuração está vinculada ao restabelecimento do equilíbrio do meio aquático, através de mecanismos naturais, recebendo quantidade de matéria orgânica, degradando-a e convertendo-a em produtos não nocivos e ou benéficos aquele ambiente (Von Sperling, 2005; Teodoro, 2010). Além do processo de autodepuração, também se observa na Figura 8, que a população apresenta grande concentração próxima aos pontos Tega 3 (T3) e Tega 4 (T4), e reduz a densidade à medida que se afasta da área central do município (T5, T6 e T9). A maior densidade, localizada na área central, pode contribuir para uma pior qualidade da água (T3 e T4) e uma melhora gradativa nos demais pontos, afastados do centro do município e com densidade reduzida.

Sutil *et al.* (2018) realizaram estudo no rio Tega em Caxias do Sul e identificaram IQA ruim, devido à contaminação por esgoto sanitário e industrial. Schneider *et al.* (2021) realizaram amostragens de qualidade da água ao longo do trecho do Tega no ano de 2019 e constataram que o curso d'água apresenta pequena melhora nos resultados conforme se afasta da área mais urbana, a jusante da nascente do rio o que corrobora com os resultados obtidos neste trabalho. Finkler *et al.* (2015) constataram ao analisarem as bacias hidrográficas de Caxias do Sul, que os pontos localizados em área de menor pressão antrópica, distante da área urbanizada, apresentavam as menores concentrações de poluentes e maior presença de oxigênio dissolvido.

Na sub-bacia do Tega observa-se que os resultados do IQA sofreram influência das altas concentrações de coliformes termotolerantes, DBO e fósforo e baixas concentrações de OD. Nas sub-bacias do Faxinal e Maestra os resultados se deram devido as elevadas concentrações de coliformes termotolerantes e fósforo.

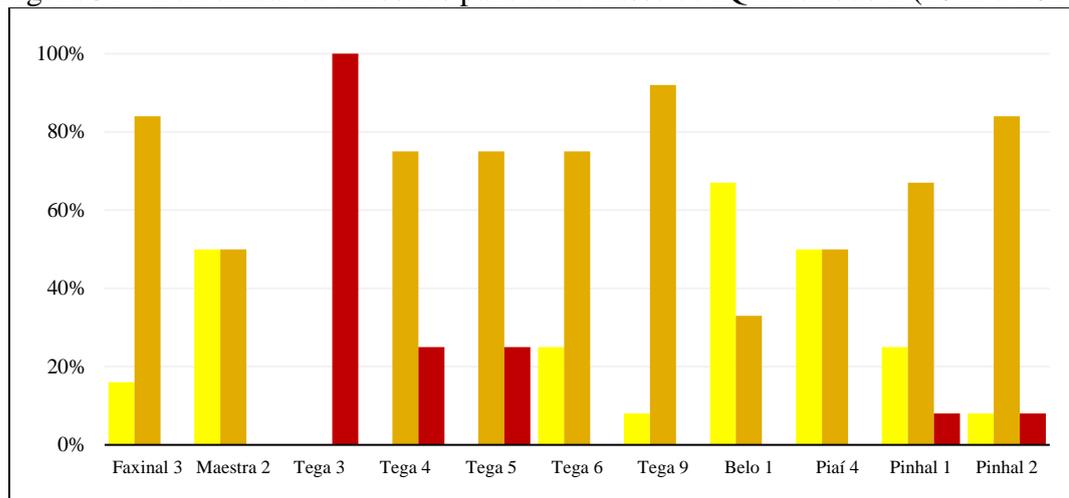
No Período 2, a sub-bacia do Belo, apresentou 67% de IQA regular e 33% de IQA ruim no ponto Belo 1 (B1), sendo esse o ponto com melhor IQA nesse período. Esse ponto está localizado a montante da ETE do Belo, única ETE da sub-bacia. Na sub-bacia do Piaí, o ponto Piaí 4 obteve resultado de IQA de 83% ruim e 17% regular, devido aos parâmetros coliformes termotolerantes e ao fósforo total. O ponto Piaí 4 (PI4) se encontra a jusante da única ETE da sub-bacia, a ETE Pena Branca.

Na sub-bacia do Pinhal, o ponto Pinhal 1 (P1) apresentou IQA de 50% ruim e regular e o ponto Pinhal 2 (P2), 100% de IQA ruim. A vazão encontrada nesse ponto no Período 2 apresentou média 30% menor do que no Período 1, passando de uma média de 0,17 m³/s para 0,12 m³/s no Período 2. No ano de 2014 foi inaugurada a ETE Pinhal, sendo considerada a segunda maior do município (SAMAE, 2023), o que pode ter contribuído com a melhora nos

valores dos parâmetros analisados para o ponto no Período 2 em relação ao Período 1, cujos resultados são mostrados na Figura 34. Essa ETE está a montante do ponto Pinhal 2 (P2) e jusante do ponto Pinhal 1 (P1) e Pinhal 0 (P0).

A Figura 34 está representado os percentuais de amostras para cada classe de IQA obtidos no Período 1 (2012 a 2014).

Figura 34 – Percentual de amostras para cada classe de IQA Período 1 (2012 a 2014)



Legenda: Regular Ruim Péssimo

Fonte: Fonte: Elaborado pela autora com base em Schneider (2014).

No Período 1 (2012 a 2014) é possível constatar que as sub-bacias do Faxinal e Maestra apresentaram 16% de resultado de IQA regular e 84% de ruim; e 50% de regular e 50% de ruim consecutivamente. Na sub-bacia do Tega, os pontos Tega 3 (T3), Tega 4 (T4) e Tega 5 (T5), apresentaram IQA péssimo em ao menos uma campanha de análise da qualidade da água, sendo que no Tega 3 (T3) esse resultado se deu em 100% das campanhas realizadas. O IQA péssimo se dá pelos elevados valores de coliformes termotolerantes, DBO e fósforo e as baixas concentrações de oxigênio dissolvido (OD). Os pontos Tega 4 (T4), Tega 5 (T5) e Tega 6 (T6) apresentaram 75% de resultado de IQA ruim, e o ponto Tega 9 (T9) apresentou 92% de IQA ruim e 8% de regular.

A quantidade de habitantes e moradias presente na sub-bacia do Tega pode estar influenciando nos resultados ruins de IQA desse período. Observa-se, conforme o item 6.2.1, a concentração de habitantes e moradias na área central do município, a montante do ponto de coleta Tega 3 (T3), ponto esse com os piores resultados de IQA, indicando a poluição por efluentes domésticos no local.

Considerando que o IQA está relacionado à poluição orgânica e aos efluentes domésticos (Finotti *et al.*, 2009), torna-se evidente que a sub-bacia do Tega apresenta uma

qualidade menor em comparação com as demais sub-bacias. Também é importante citar que no Período 1 (2012 a 2014) as ETEs que existam em Caxias do Sul eram de pequeno porte, com pouca capacidade para tratamento de esgoto, logo, através do resultado apontado no item 6.2.2, entende-se que 83% da população do Tega destinava diretamente seus efluentes domésticos sem tratamento na rede pluvial do município.

No Período 1, referente à Bacia Hidrográfica do Caí, na sub-bacia do Belo, o ponto Belo 1 (B1) apresentou o maior percentual de IQA regular (67%) e ruim (33%). O ponto Piaí 4 (PI4) apresentou 50% de IQA ruim e regular nas campanhas realizadas nesse período. O ponto Pinhal 1 (P1) apresentou no período 1 IQA péssimo (8%), ruim (67%) e regular (25%) e o ponto Pinhal 2 (P2) apresentou IQA péssimo e regular em 8% das campanhas e ruim em 84%.

Ressalta-se que a análise de oxigênio dissolvido (OD) de Schneider (2014) foi realizada com equipamento distinto da análise do ano de 2022 o que pode gerar interferência no resultado do Período 1 (2012 a 2014).

Os dados do IQA do Período 2 (2022) foram comparados com os dados de IQA do Período 1 (2012 a 2014) conforme apresentando na Tabela 29.

Tabela 29 – Média de IQA para cada sub-bacia nos períodos de estudo

Bacia Hidrográfica	Pontos	Média Período 1 (2012 A 2014)	Média Período 2 (2022)	Avaliação entre P1 e P2
Taquari-Antas	Faxinal 3	44,4	48,9	+10,1%
	Maestra 2	49,6	48,1	-3,0%
	Tega 3	18,7	19,6	+4,8%
	Tega 4	31,7	37,5	+18,3%
	Tega 5	30,3	36,9	+21,8%
	Tega 6	42,1	43,7	+3,8%
	Tega 9	37,8	41,4	+9,5%
Caí	Belo 1	49,8	48,2	-3,2%
	Piaí 4	52,0	46,1	-11,3%
	Pinhal 0	-	45,1	-
	Pinhal 1	44,3	50,1	+13,1%
	Pinhal 2	31,4	43,4	+38,2%

Legenda: Regular Ruim Péssimo

P1: Período 1 (2012 a 2014); P2: Período 2 (2022)

Fonte: Elaborado pela autora com base em Schneider (2014).

Abaixo estão descritas considerações gerais para cada sub-bacia, acerca da qualidade da água em comparação aos dois períodos analisados:

- Sub-Bacia do Faxinal: a sub-bacia apresentou melhora na média de valores no Período 2 em comparação ao Período 1, entretanto os resultados obtidos enquadram

o corpo hídrico na classe ruim do IQA.

- Sub-Bacia do Maestra: o Maestra apresentou piora no IQA ao longo dos períodos analisados.
- Sub-Bacia do Tega: na sub-bacia do Tega o ponto Tega 3 (T3) manteve resultados péssimos, demonstrando estabilidade no IQA, enquanto os pontos Tega 4 (T4), Tega 5 (T5), Tega 6 (T6) e Tega 9 (T9) apresentaram melhora nas médias do índice, mas ainda persistindo na sua maioria na classe ruim.
- Sub-Bacia do Belo: considerando ambos os períodos analisados, essa foi a sub-bacia que apresentou os melhores resultados com 67% das campanhas com IQA regular, entretanto de manteve estável nos Períodos analisados. O Belo apresentou melhora na DBO e no nitrogênio amoniacal do primeiro período para o segundo, mas apresentou piora no fósforo e coliformes, que acabam influenciando negativamente no resultado do IQA, não permitindo a melhora no índice.
- Sub-Bacia do Piaí: na sub-bacia do Piaí houve a piora dos resultados com o passar do tempo. Ressalta-se que as sub-bacias do Belo e Piaí, na presença de maior vazão apresentaram melhor resultado de IQA.
- Sub-Bacia do Pinhal: O Pinhal apresentou média de resultados melhores no segundo período, mas ainda com classificação ruim pelo índice.

Apesar de haver melhora em alguns resultados do Período 1 para o Período 2, ainda se encontram valores de IQA ruins na maioria dos pontos de análise, o que demonstra a poluição dos rios de estudo, principalmente pelas variáveis, coliformes termotolerantes, DBO, fósforo e OD, associados a despejo de efluentes domésticos. Isso pode estar associado à ausência da ligação do esgoto na rede coletora por parte da população, tendo em vista que os dados do Censo do IBGE, apresentados no item 6.2.2, demonstraram que a população em 2010 realizava o lançamento do esgoto doméstico na rede pluvial e com base nos dados do SNIS (Brasil, 2022), o município de Caxias do Sul apresentava em 2021 um índice de 48,87% de esgoto recebendo o devido tratamento.

6.3.3 Índice de Estado Trófico

O índice de estado trófico (IET) foi calculado usando apenas o parâmetro fósforo, tendo em vista que a clorofila-a apresentou resultados abaixo do limite de detecção do método de análise. Na Tabela 30 está apresentado o resultado das análises de fósforo total para cada ponto

em cada campanha realizada no Período 2 (2022).

Tabela 30 - Concentração de fósforo total (ug/l) de cada ponto das 6 campanhas do Período 2 (2022)

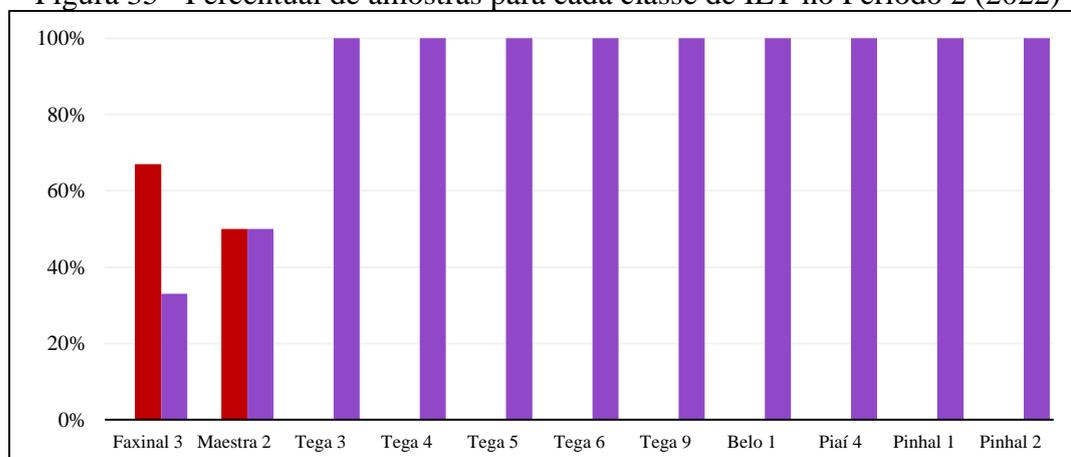
Bacia Hidrográfica	Pontos	Coletas					
		fev/22	mar/22	mai/22	ago/22	set/22	nov/22
Bacia Taquari-Antas	Faxinal 3	68,08	68,28	63,84	64,24	65,66	66,10
	Maestra 2	73,31	74,00	65,07	65,93	65,16	72,90
	Tega 3	77,30	77,21	75,46	72,96	76,93	73,94
	Tega 4	73,16	74,80	68,07	68,76	68,33	72,22
	Tega 5	72,86	74,18	70,40	69,28	71,57	73,35
	Tega 6	71,88	68,76	70,22	70,86	71,79	70,55
	Tega 9	72,86	73,33	67,82	70,32	71,68	73,82
Bacia Cai	Belo 1	71,33	70,11	67,33	67,73	70,68	70,11
	Piai 4	72,88	72,43	67,23	67,92	69,96	72,71
	Pinhal 0	72,75	71,52	67,63	69,31	70,77	73,20
	Pinhal 1	73,02	71,38	67,99	69,88	71,68	72,71
	Pinhal 2	68,08	68,28	63,84	64,24	65,66	66,10

Legenda: Supereutrófico Hipereutrófico

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O IET nos pontos e períodos de análise da qualidade da água apresentaram resultados de supereutrófico e hipereutrófico. Segundo Lamparelli (2002), corpos d'água supereutróficos possuem alta produtividade devido a atividade antrópica e pode haver episódios de florações de algas, causando interferência nos seus usos. O estado de trofia hipereutrófico de um corpo d'água ocorre devido às altas cargas de matéria orgânica e nutrientes presentes, comprometendo seus mais diversos usos. A Figura 35 ilustra os percentuais de amostras para cada classe de IET no Período 2 (2022).

Figura 35 - Percentual de amostras para cada classe de IET no Período 2 (2022)



Legenda: Supereutrófico Hipereutrófico

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os dados do Período 2 demonstram quem 90% das campanhas realizadas resultaram em

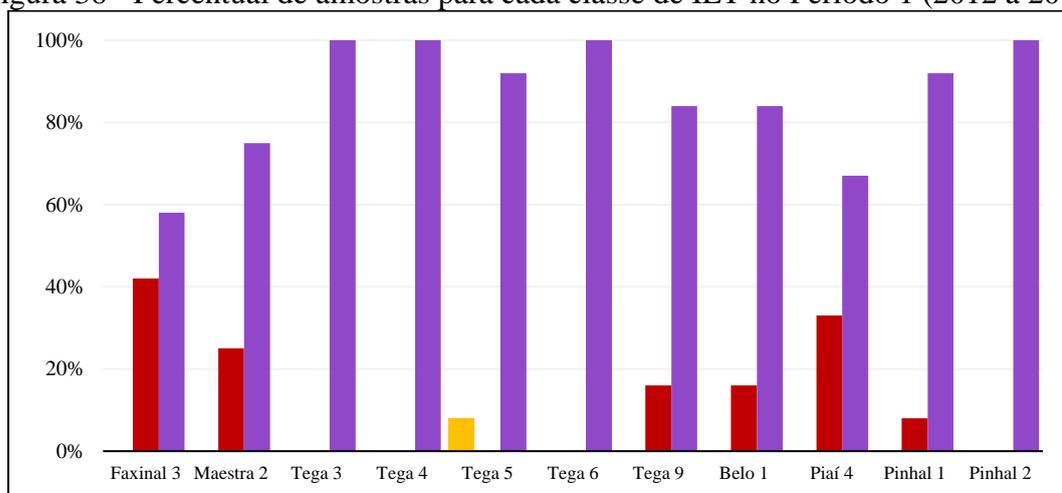
estado hipereutrófico e 10% em estado supereutrófico, estes localizados nos pontos Faxinal 3 (F3) e Maestra 2 (M2). O ponto Faxinal 3 (F3) apresentou o estado supereutrófico nos meses de maio a novembro, onde a vazão teve uma média de 0,15 m³/s, enquanto nas coletas de fevereiro e março, apresentaram uma vazão baixa com média de 0,01 m³/s, o que ocasionou a identificação do estado hipereutrófico.

O ponto Maestra 2 (M2) nos meses em que se encontrou maior vazão (média de 0,34 m³/s) encontrou-se o resultado supereutrófico do corpo d'água enquanto os resultados do estado hipereutrófico se deram com baixa vazão, com média de 0,07 m³/s. Nos demais pontos de análise, a vazão não aparentou interferir no resultado encontrado no indicador.

Conforme apresentado na Figura 35, os pontos das sub-bacias Tega, Belo, Piaí e Pinhal apresentaram 100% de estado hipereutrófico, caracterizado pelas elevadas cargas de nutrientes.

A Figura 36 ilustra os percentuais de amostras para cada classe de IET no Período 1 (2012 a 2014).

Figura 36 - Percentual de amostras para cada classe de IET no Período 1 (2012 a 2014)



Legenda: Mesoeutrófico Supereutrófico Hipereutrófico

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No Período 1 (2012 a 2014) é possível constatar que todos os pontos apresentaram percentual acima de 50% para o estado hipereutrófico, caracterizado pela presença elevada de matéria orgânica e nutrientes. O ponto Tega 5 (T5), presente na sub-bacia do Tega, apresentou 8% de estado mesoeutrófico, sendo esse classificado como corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos (Lamparelli, 2002). Sutil *et al.* (2018) analisaram as águas do rio Tega em Caxias do Sul no ano de 2014 e constaram o estado de trofia hipereutrófico devido a altas cargas de esgoto sanitário oriundo da zona norte do município.

Os dados do IET do Período 2 (2022) foram comparados com os dados do IET do Período 1 (2012 a 2014) conforme apresentado na Tabela 31. Devido aos dados do Período 2 (2022) não apresentarem valores de clorofila-a, o IET do Período 1 (2012 a 2014) foi recalculado considerando apenas com valores de fósforo total a fim de permitir a comparação dos resultados dentro dos períodos de análise.

O IET não apresentou melhora no índice ao longo do tempo, tendo em vista que ambos os períodos analisados demonstram uma alta produtividade das águas devido à presença de matéria orgânica e nutrientes. Conforme Gomes e Paula (2019), concentrações elevadas de fósforo na água, evidenciam interferências antrópicas, como despejo de resíduos e esgoto pela população que reside no seu entorno. Fia *et al.* (2015) também verificaram valores elevados de IET na microbacia do Ribeirão Vermelho em Minas Gerais devido a entrada de matéria orgânica nos corpos hídricos pelo lançamento de esgoto sem o devido tratamento.

Tabela 31 - Média de IET para cada sub-bacia nos períodos de estudo

Bacia Hidrográfica	Pontos	Média Período 1 (2012 A 2014)	Média Período 2 (2022)	Avaliação entre P1 e P2
Taquari-Antas	Faxinal 3	68,4	66,0	-3,5%
	Maestra 2	69,1	69,4	+0,4%
	Tega 3	75,9	75,6	-0,4%
	Tega 4	72,3	70,9	-1,9%
	Tega 5	70,5	71,9	+2,0%
	Tega 6	70,2	70,7	+0,7%
	Tega 9	70,0	71,6	+2,3%
Cáí	Belo 1	68,9	69,5	+0,9%
	Piaí 4	67,8	70,5	+4,0%
	Pinhal 0	-	70,3	-
	Pinhal 1	69,4	70,9	+2,2%
	Pinhal 2	73,9	71,1	-3,8%

Legenda: Supereutrófico Hipereutrófico
 P1: Período 1 (2012 a 2014); P2: Período 2 (2022)
 Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O ponto Faxinal 3 (F3), da sub-bacia do Faxinal apresentou melhora no índice passando para o estado supereutrófico. A vazão desse ponto no Período 2 foi abaixo da Q95 enquanto no primeiro período, na maioria das campanhas, foi superior. Isso demonstra que apesar de ser um ponto em área mais seca, o índice melhorou com o passar do tempo.

6.3.4 Índice de Toxicidade

Na Tabela 32 encontram-se os resultados obtidos para o índice de toxicidade para os pontos das campanhas realizadas no Período 2 (2022).

Observa-se que os pontos localizados na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, apresentam quase que em sua maioria, alta toxicidade, diferentemente dos pontos da Bacia Hidrográfica do Caí que em sua maioria apresentam baixa toxicidade. No Taquari-Antas, 71% dos resultados do Período 2 (2022), apresentam alta toxicidade no corpo hídrico, 10% apresentam média toxicidade e em 19% das coletas encontra-se resultado de baixa toxicidade. Em contrapartida a Bacia do Caí apresenta 13% das campanhas de coleta com toxicidade média e alta, e, 74% com toxicidade baixa.

Tabela 32 – Resultados do Índice de Toxicidade (IT) para o Período 2 (2022)

Bacia Hidrográfica	Pontos	Coletas					
		fev/22	mar/22	mai/22	ago/22	set/22	nov/22
Bacia Taquari-Antas	Faxinal 3	baixa	baixa	alta	baixa	baixa	alta
	Maestra 2	média	alta	baixa	baixa	média	alta
	Tega 3	alta	média	alta	alta	alta	alta
	Tega 4	alta	baixa	média	alta	baixa	alta
	Tega 5	alta	alta	alta	alta	alta	alta
	Tega 6	alta	alta	alta	alta	alta	alta
	Tega 9	alta	alta	alta	alta	alta	alta
Bacia Caí	Belo 1	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	alta
	Piai 4	baixa	alta	baixa	alta	baixa	média
	Pinhal 0	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa
	Pinhal 1	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	média
	Pinhal 2	baixa	média	baixa	baixa	média	alta

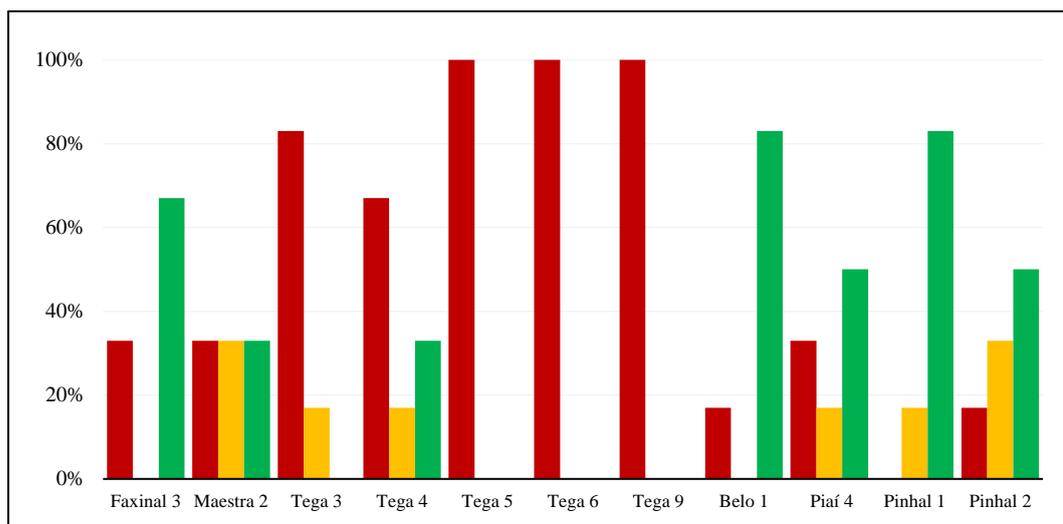
Legenda: P1: Período 1 (2012 a 2014); P2: Período 2 (2022)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Destaca-se que o mês de novembro de 2022 evidenciou, em quase todas as sub-bacias a alta toxicidade do corpo hídrico, apontada pela presença de nitrogênio amoniacal acima do permitido em todas as sub-bacias, e além desse o cianeto e níquel na sub-bacia do Tega. Nessa campanha foi constada a presença de odor desagradável e coloração escura da água no ponto de coleta Tega 3 (T3).

A Figura 37 apresenta os dados do percentual de amostras para cada classe de IT do Período 2 (2022).

Figura 37 – Percentual de amostras para cada classe de IT no Período 2 (2022)



Legenda:



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, a sub-bacia do Faxinal apresenta melhora no índice de toxicidade, estando alta em 33% das campanhas devido a presença de cromo no corpo d'água. Ressalta-se que no ponto Faxinal 3 (F3) existe um passivo ambiental referente à indústria de curtume. A sub-bacia do Maestra apresentou média e alta toxicidade devido a presença do nitrogênio amoniacal. Na ausência desse, o índice poderia ser classificado como baixo em todas as campanhas realizadas.

Os pontos localizados na sub-bacia do Tega no Período 2 (2022), apresentam alta toxicidade devido a concentrações elevadas de nitrogênio amoniacal, cianeto, cromo, níquel e zinco. Cornelli *et al.* (2016) relataram IT alto nos pontos de análise da sub-bacia do Tega devido aos parâmetros, chumbo, cianeto, cobre e níquel, possivelmente oriundos das indústrias galvanotécnicas do município. Os pontos Tega 3 (T3) e Tega 5 (T5) apresentaram alta toxicidade devido a presença de cianeto, níquel e nitrogênio amoniacal no corpo d'água. O ponto Tega 4 (T4) apresentou cromo e níquel e em apenas duas campanhas a alta toxicidade devido ao nitrogênio amoniacal, e o ponto Tega 6 (T6) apresentou concentrações elevadas de cianeto, níquel e zinco. Tal afirmação é corroborada pelos resultados encontrados no item 6.2.3, demonstram que há uma alta concentração de atividades com lançamento de efluentes na sub-bacia do Tega, principalmente associadas a oficinas mecânicas, a fabricação de máquinas, aparelhos e outros e serviços de galvanoplastia, o que poderia justificar a alta frequência de alta toxicidade nesse local.

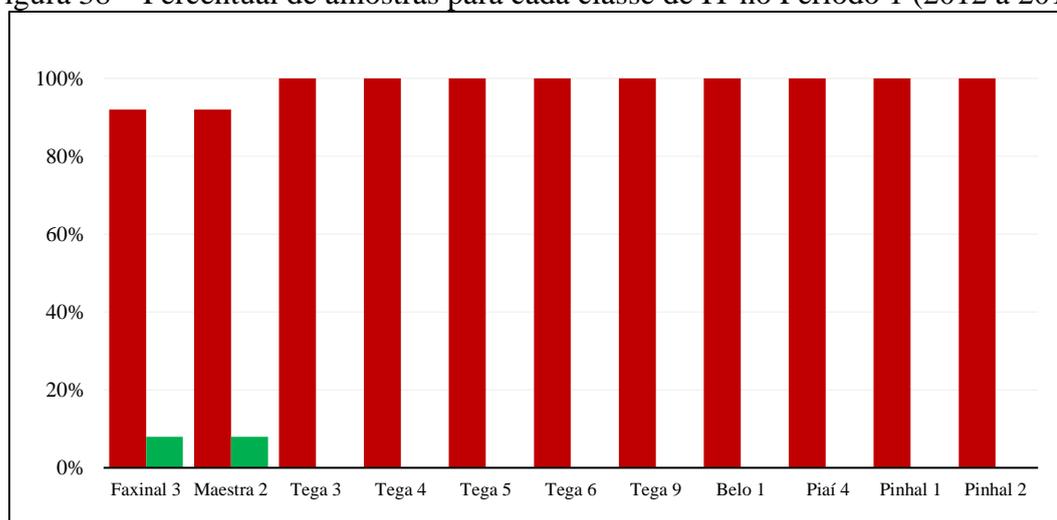
No ponto Tega 9 (T9), último ponto de amostragem localizado na sub-bacia do Tega, as altas toxicidades se deram somente ao nitrogênio amoniacal, sendo que sem a presença desse, o ponto poderia ser classificado como baixa toxicidade. Observa-se que houve uma melhora na

sub-bacia do Tega quanto a presença de metais, entretanto deve se atentar, pois segundo o trabalho de Schmitz (2017), foram encontradas concentrações maiores de metais em sedimentos do que na água superficial, especialmente para cobre, cromo, níquel e zinco.

Na Bacia Hidrográfica do Caí, as sub-bacias do Belo e Pinhal apresentaram média e alta toxicidade apenas por nitrogênio amoniacal. Na sub-bacia do Piaí, detectou-se a presença de cianeto e níquel em ao menos uma campanha de estudo. Conforme o item 6.2.3, na sub-bacia do Piaí, se encontram diversas empresas cuja atividade é o serviço de galvanoplastia o que poderia justificar a presença do cianeto e níquel no local.

Os dados do percentual de amostras para cada classe de IT do Período 1 são ilustrados da Figura 38.

Figura 38 – Percentual de amostras para cada classe de IT no Período 1 (2012 a 2014)



Legenda: ■ Baixa ■ Média ■ Alta
 Fonte: Elaborado pela autora com base em Schneider (2014).

Os resultados do IT no Período 1 (2012 a 2014) apresentam quase em sua totalidade, alta toxicidade dos rios de estudo. As variáveis que contribuíram para esse resultado foram, nitrogênio amoniacal, nitrato, cromo, zinco e destaque para chumbo e níquel, os quais foram encontrados em todos os pontos nesse período com valores elevados. As sub-bacias do Faxinal e Maestra apresentaram em duas campanhas baixa toxicidade para o índice.

Os dados do IT do Período 2 (2022) foram comparados com os dados do IET do Período 1 (2012 a 2014) conforme apresentado na Tabela 33.

Tabela 33 - Média de IT para cada sub-bacia nos períodos de estudo

Bacia Hidrográfica	Pontos	Média Período 1 (2012 A 2014)	Média Período 2 (2022)	Avaliação entre P1 e P2
Taquari-Antas	Faxinal 3	alta	baixa	Melhorou
	Maestra 2	alta	média	Melhorou
	Tega 3	alta	alta	Estável
	Tega 4	alta	média	Melhorou
	Tega 5	alta	alta	Estável
	Tega 6	alta	alta	Estável
	Tega 9	alta	alta	Estável
Caí	Belo 1	alta	baixa	Melhorou
	Piaí 4	alta	baixa	Melhorou
	Pinhal 0	-	baixa	-
	Pinhal 1	alta	baixa	Melhorou
	Pinhal 2	alta	baixa	Melhorou

Fonte: Elaborado pela autora com base em Schneider (2014).

Conforme a Tabela 33, no Período 2 (2022), observa-se uma melhora no IT, onde diversos pontos demonstram uma redução na toxicidade de suas águas no período de 10 anos.

Na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, a sub-bacia do Maestra e o ponto Tega 9 (T9) da sub-bacia do Tega, apresentaram média e alta toxicidade apenas devido a variável de nitrogênio amoniacal, sendo que desconsiderada essa da análise, os pontos poderiam ser classificados com baixa toxicidade.

Na Bacia Hidrográfica do Caí, as sub-bacias do Belo, Piaí e Pinhal apresentam melhora no IT no Período 2 (2022) quando comparadas ao primeiro período de estudo, sendo todas classificadas como baixa toxicidade na média. Na sub-bacia do Belo e Pinhal, foram observadas em algumas campanhas de 2022 a toxicidade alta e média devido a presença de nitrogênio amoniacal. Na sub-bacia do Piaí observou-se em duas campanhas a presença de cianeto e níquel acima do limite do cálculo de toxicidade.

Dentre os parâmetros tóxicos encontrados no indicador em questão, os metais são os que chamam atenção. O cianeto, juntamente com o níquel, são compostos utilizados em galvanoplastias. O cianeto é um composto tóxico à vida aquática, terrestre e aérea pois tende a bloquear o transporte de oxigênio no organismo e o níquel pode causar dermatites em indivíduos mais sensíveis se em doses muito altas (CETESB, 2017; CETESB, 2020).

O cromo é amplamente utilizado em produção de ligas metálicas, tintas, fertilizantes, curtumes e o zinco é um composto utilizado na galvanização de aço fabricação de ligas e outros (CETESB, 2020).

O município de Caxias do Sul destaca-se como sendo um polo metal mecânico importante no país (SALES, 2006) o que justifica a relação do potencial tóxico alto encontrado nos resultados de IT. Finkler *et al.* (2015) também encontraram contaminação química nas águas de Caxias do Sul e associaram ao conglomerado de atividades industriais do município, com ênfase ao ramo galvanotécnico. O item 6.2.3 sinaliza um maior número de empresas associadas ao serviço de oficina mecânica e similares, mas em relação ao ramo industrial, evidencia-se a presença de diversas empresas com atividades de galvanoplastia, fabricação de máquinas, de estruturas metálicas e outros.

6.3.5 Índice de Conformidade ao Enquadramento

Conforme resolução Conama 357 (Brasil, 2005), todos os pontos analisados no Período 1 (2012 a 2014) e no Período 2 (2022), foram classificados como rios de Classe 4 para ao menos um dos parâmetros analisados, sendo, segundo a resolução supracitada, destinados apenas a navegação e à harmonia paisagística.

Essa classificação se deu pelos elevados valores de coliformes termotolerantes, DBO, fósforo total, nitrogênio amoniacal e valores reduzidos de oxigênio dissolvido. Também se constatou a presença de metais com valores superiores aos estabelecidos pela resolução Conama 357 (Brasil, 2005) e presença de espumas óleos e materiais flutuantes em determinadas ocasiões.

A fim de se compreender se os rios de estudo estão evoluindo no processo de atendimento do enquadramento proposto, foi realizado o cálculo de ICE para a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas e a Bacia Hidrográfica Caí. Foi considerado para o cálculo de ICE e demais análises a classe 2 de enquadramento, com base na resolução CRH nº 121 (Rio Grande do Sul, 2012), para todas as sub-bacias de estudo da Bacia Taquari-Antas.

Conforme a resolução Conama 357 (Brasil, 2005), as águas de classe 2 são destinadas principalmente ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas de contato direto; recreação de contato primário; proteção das comunidades aquáticas e atividades de pesca.

Na Tabela 34 são observados os resultados do ICE para os rios da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas no Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022).

Tabela 34 - Resultados do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) para as Sub-Bacias do Taquari-Antas

PONTO	2012	2013	2014	2022
Tega 3	29,47	33,02	30,55	44,48
Tega 4	25,44	28,72	47,85	35,44
Tega 5	25,96	29,58	32,25	35,54
Tega 6	40,1	42,77	43,38	46,45
Tega 9	44,36	38,98	47,25	48,37
Faxinal 3	67,08	61,54	67,39	61,47
Maestra 2	68,25	64,64	42,63	51,71
<i>Legenda:</i>	<i>Conforme</i>	<i>Afastado</i>	<i>Não conforme</i>	

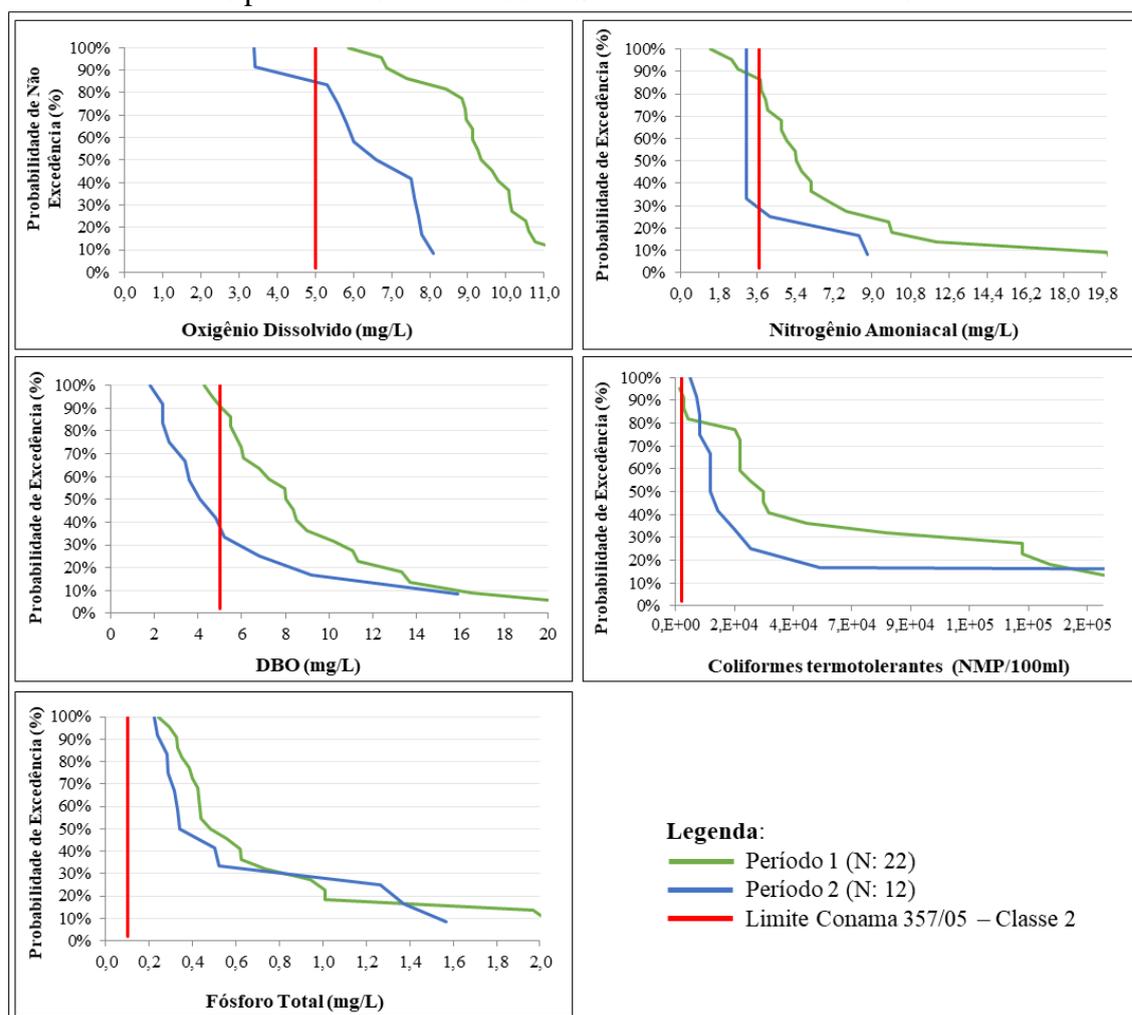
Fonte: Elaborado pela autora com base em Schneider (2014).

Os pontos de análise da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas não apresentam conformidade com a meta de enquadramento proposta em 2012. Os pontos Tega 3 (T3), Tega 4 (T4) e Tega 5 (T5) apresentaram desconformidade e os demais pontos estão afastados do enquadramento proposto. O ponto Faxinal 3 (F3) manteve durante todos os períodos analisados o afastamento do enquadramento, enquanto o ponto Maestra 2 (M2) apresentou não conformidade no ano de 2014.

Os parâmetros que tiveram maior impacto na ocorrência de afastamento ou desconformidade no Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) foram representados graficamente por meio de curvas probabilísticas, proporcionando uma compreensão mais clara do percentual de excedência e não excedência desses parâmetros, levando em consideração a classe desejada no enquadramento proposto no plano de bacia. Ressalta-se que os resultados do oxigênio dissolvido (OD) do Período 1, devem ser analisados com atenção, devido a análise ter sido realizada com equipamento distinto do Período 2, e não ser calibrado.

Na Figura 39 estão apresentados os gráficos de probabilidade de excedência ou não excedência para os pontos das sub-bacias Faxinal e Maestra no Período 1 (2012 a 2014) e no Período 2 (2022).

Figura 39 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência ao enquadramento para os parâmetros analisados da Sub-Bacia Faxinal e Maestra



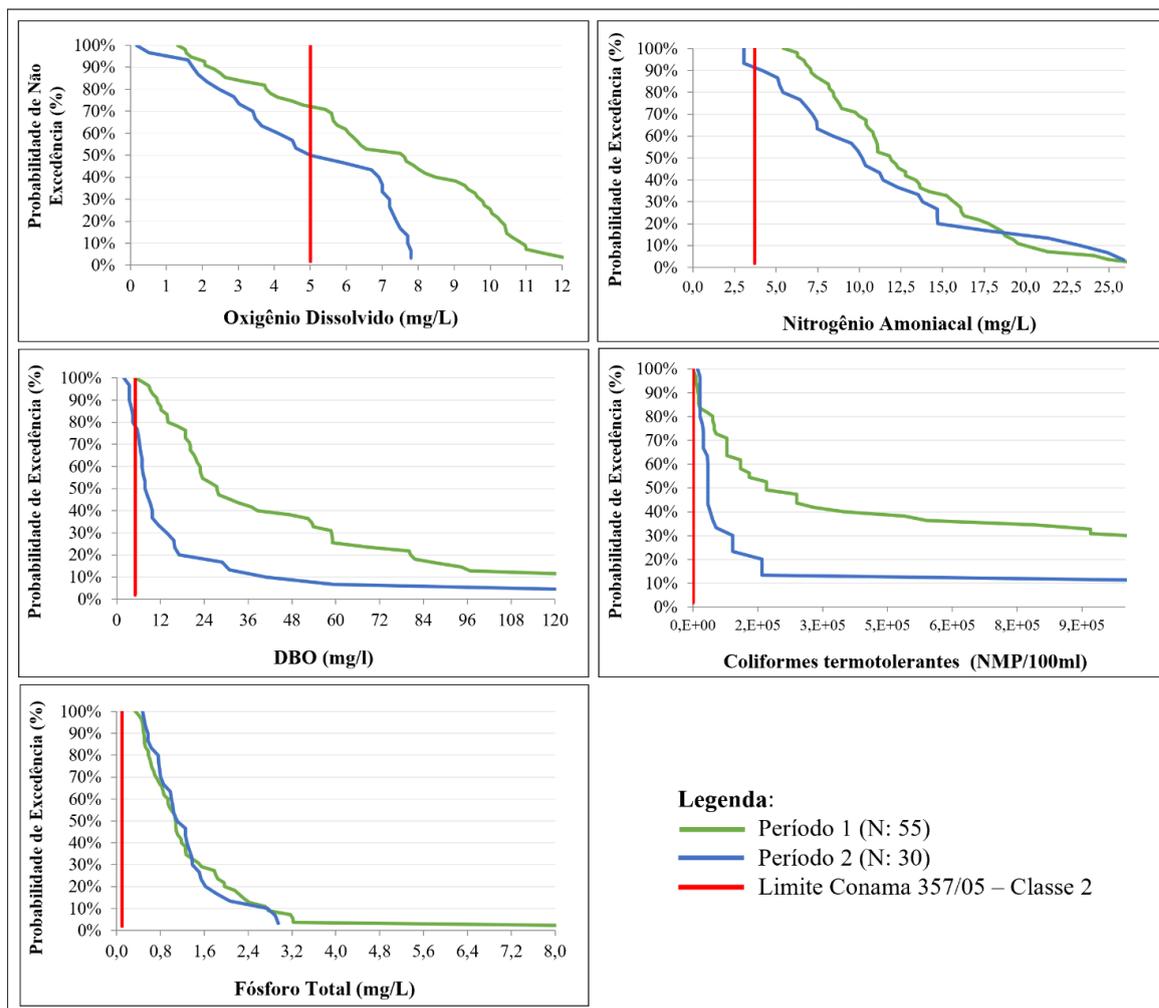
Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 – 2022

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O parâmetro de coliformes termotolerantes e fósforo no Período 1 e no Período 2 das amostras coletadas no Faxinal e Maestra apresentaram probabilidade de exceder a Classe 2 da Conama 357 (Brasil, 2005), em 100% das campanhas realizadas. O parâmetro de nitrogênio amoniacal e a DBO apresentaram melhora da não excedência no Período 2, com apenas 27% e 36% das campanhas ultrapassando o limite permitido quando comparadas ao Período 1. O oxigênio dissolvido no Período 2, ficou abaixo do limite mínimo em apenas 17% das campanhas.

Na Figura 40 estão apresentados os gráficos de probabilidade de excedência ou não excedência para os pontos da sub-bacia Tega para ambos os períodos analisados.

Figura 40 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência ao enquadramento para os parâmetros analisados da Sub-Bacia Tega



Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 – 2022

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na sub-bacia do Tega, o Período 1 apresentou uma probabilidade de excedência do limite para Classe 2 para coliformes termotolerantes de 98%, enquanto no Período 2 o parâmetro excedeu em 100% das campanhas. O parâmetro fósforo total apresentou desacordo com a classe de enquadramento proposta em 100% das campanhas realizadas. O Tega apresentou uma pequena melhora no Período 2 para os parâmetros de DBO e nitrogênio amoniacal, mas ainda com percentual elevado de excedência no corpo hídrico, chegando a 93% para nitrogênio amoniacal e 80% para DBO. O OD ficou abaixo do limite mínimo em 51% das campanhas realizadas.

Os parâmetros que mais apresentaram desconformidade com o enquadramento, para ambos os períodos de análise nas sub-bacias da Bacia do Taquari-Antas, foram o de coliformes termotolerantes e fósforo total.

A excedência desses parâmetros demonstra que ainda hoje está presente nesses locais a problemática quanto ao descarte dos efluentes sem o devido tratamento. As sub-bacias Tega, Faxinal e Maestra drenam grandes áreas urbanizadas e áreas industriais do município de Caxias do Sul. As áreas urbanizadas drenadas pelas sub-bacias em questão, possuem a presença de seis estações de tratamento de esgoto (ETE). Apesar da instalação das ETEs e início da operação dessas nas sub-bacias entre os períodos analisados, pelos dados apresentados, é possível verificar que o enquadramento proposto ainda não foi atingido. Segundo Rezende e Ribeiro (2022) a ociosidade das redes públicas de esgoto existentes, devido à falta de orientação da população para adequação de seu sistema domiciliar é uma realidade brasileira. Como exemplo, Teles (2015) constatou que a população de Salvador na Bahia, fazia o uso de fossas em padrões inadequadas e/ou lançavam seus efluentes em redes de drenagem mesmo existindo na cidade a rede coletora de esgoto pública.

Para o ICE da Bacia Hidrográfica do Cai adotou-se a Classe 2 para sub-bacia do Belo e Classe 3 para Piaí e Pinhal conforme as resoluções CRH nº 50 (Rio Grande do Sul, 2008) e CRH nº 53 (Rio Grande do Sul, 2009).

Os rios das sub-bacias citadas se enquadram, através das análises de qualidade da água realizadas, como sendo classe 4, destinada apenas a navegação e paisagismo. Abaixo observa-se a Tabela 35 com os resultados do ICE para os rios da Bacia Hidrográfica do Cai no Período 1 e Período 2 de análise.

Tabela 35 - Resultados do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) para as sub-bacias do Cai

PONTO	2012	2013	2014	2022
Belo 1	58,90	58,49	45,11	52,20
Piai 4	66,30	65,96	68,51	72,03
Pinhal 1	59,18	53,22	73,99	59,67
Pinhal 2	40,19	43,25	62,00	57,62
<i>Legenda:</i>	<i>Conforme</i>	<i>Afastado</i>	<i>Não conforme</i>	

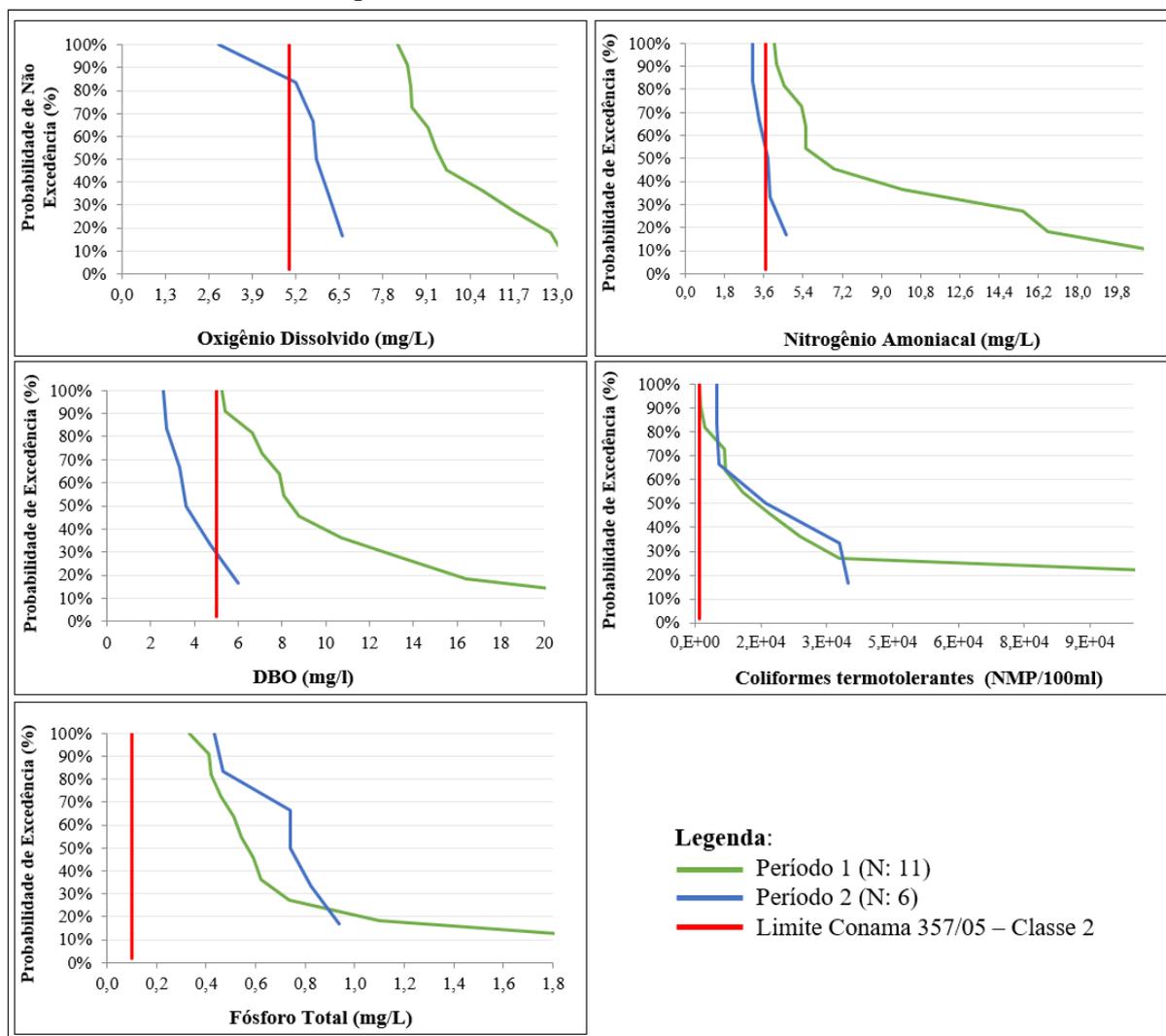
Fonte: Elaborado pela autora com base em Schneider (2014).

Os pontos da Bacia Hidrográfica do Cai estão em sua maioria afastados da meta de enquadramento proposta em 2009. No Período 1, o ponto Pinhal 2 da sub-bacia Pinhal, apresentou desconformidade ao enquadramento.

Os parâmetros que mais contribuíram para o ICE apresentar afastamento ou desconformidade foram inseridos em curvas probabilísticas para se compreender o percentual

de excedência ou não excedência desses, com a Classe que se quer obter. A Figura 41 apresenta as curvas probabilísticas para a sub-bacia do Belo.

Figura 41 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência ao enquadramento para os parâmetros analisados da sub-bacia Belo

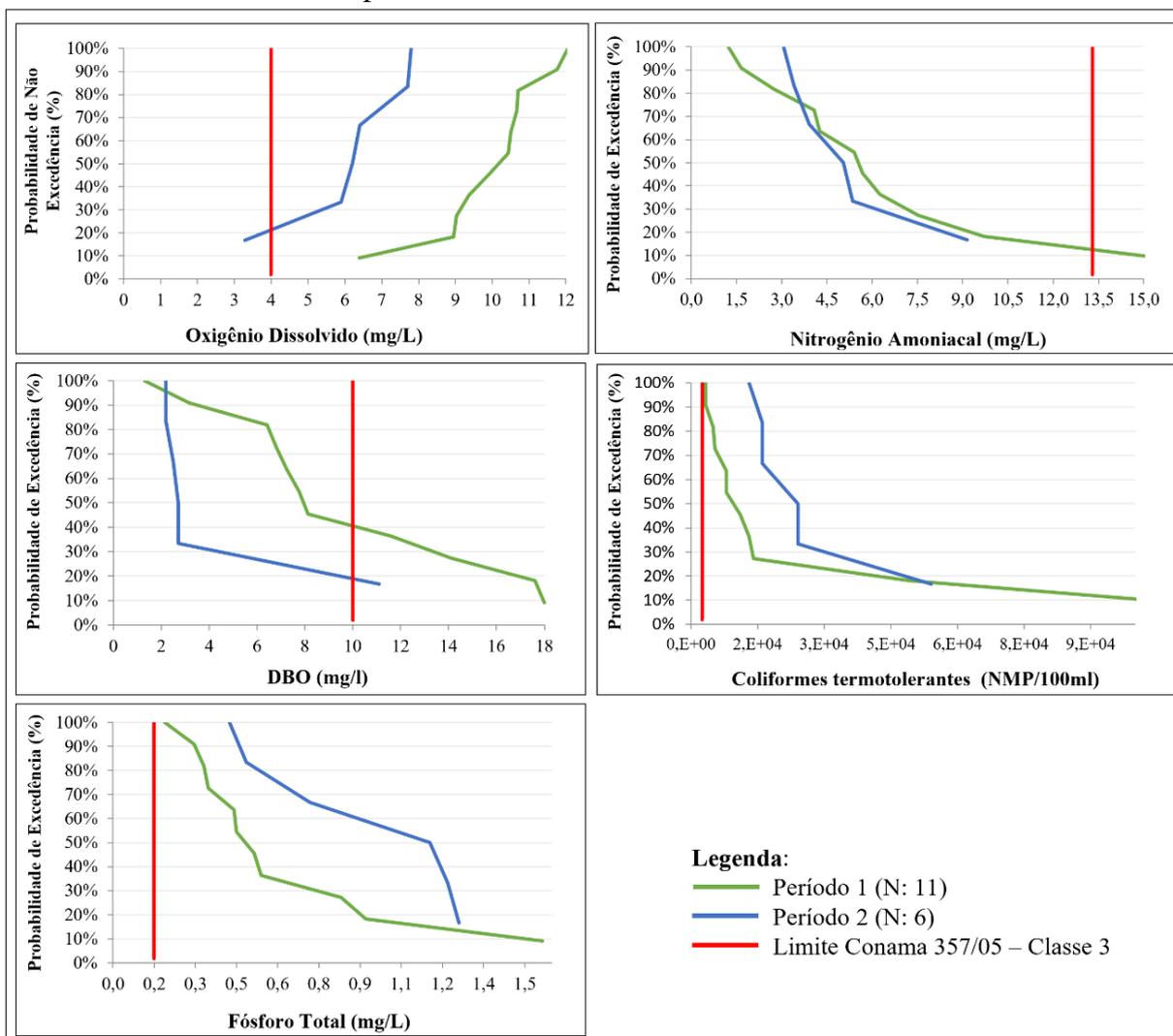


Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 – 2022
 Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na sub-bacia do Belo os parâmetros, coliformes termotolerantes e fósforo, apresentam-se 100% em desacordo com a classe de enquadramento estabelecida para todos os períodos analisados. A DBO no Período 2 apresentou melhora nos resultados, excedendo em apenas 30% das campanhas. O nitrogênio amoniacal também apresentou melhora no segundo período, entretanto ainda excedeu o limite da Classe 3 da Conama 357 (Brasil, 2005), em 54% das campanhas. O OD no Período 2 ficou abaixo do limite mínimo em 15% campanhas.

As curvas probabilísticas dos parâmetros analisados para sub-bacia do Piaí podem ser observadas na Figura 42.

Figura 42 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência ao enquadramento para os parâmetros analisados da sub-bacia Piaí



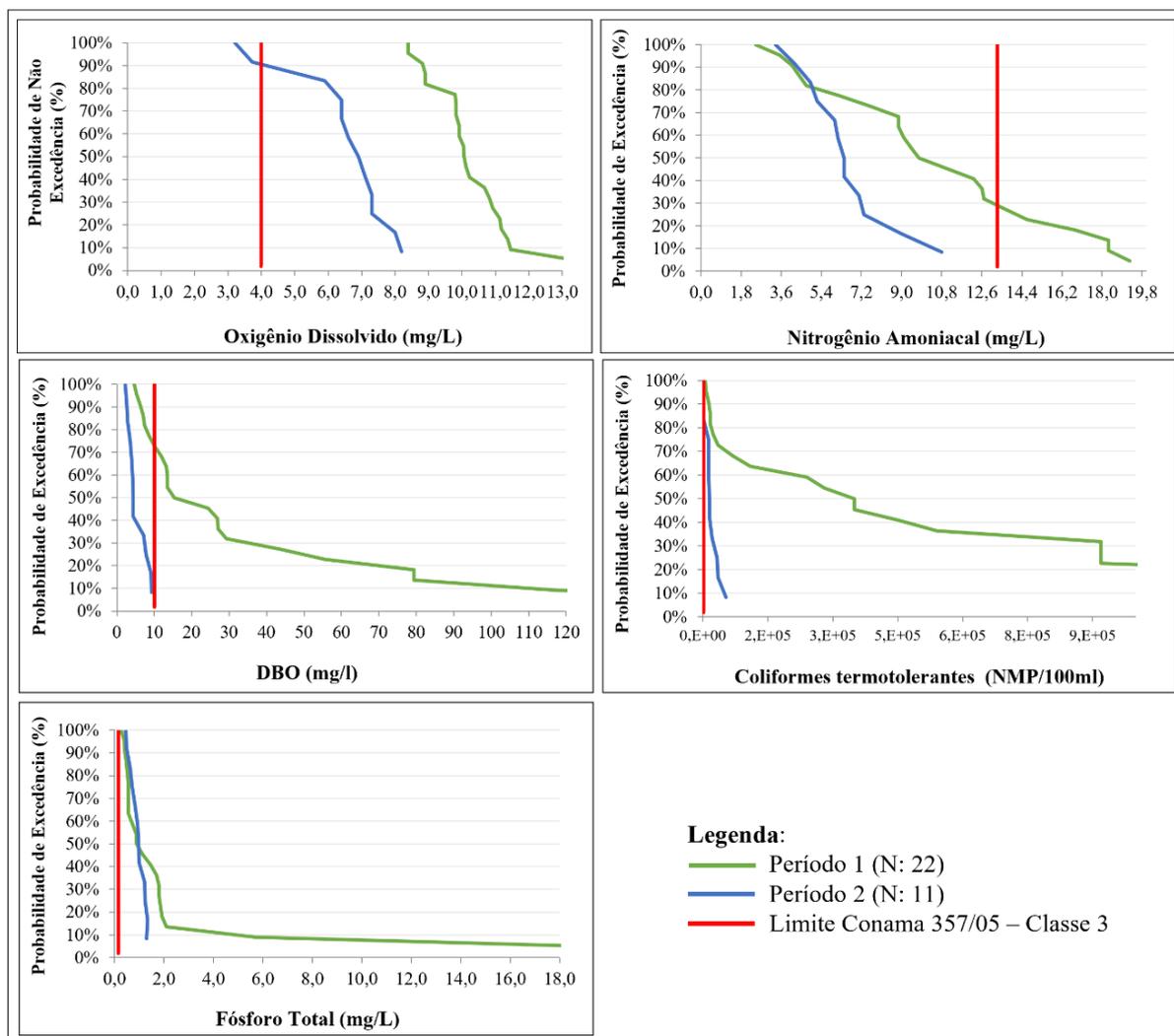
Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 – 2022

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os parâmetros de coliformes termotolerantes e fósforo, apresentam-se 100% em desacordo com a Classe 3 da Conama 357 (Brasil, 2005), além de apresentar piora nos resultados do Período 2 em comparação ao Período 1. A DBO no Período 2 apresentou melhora nos resultados, excedendo em apenas 18% das campanhas e o nitrogênio amoniacal não excedeu os valores do limite da Conama 357 (Brasil, 2005) em nenhuma das campanhas do segundo período. Nessa sub-bacia o OD ficou abaixo do limite mínimo da Classe 3, em 80% das campanhas realizadas.

As curvas probabilísticas dos parâmetros analisados para sub-bacia do Pinhal podem ser observadas na Figura 43.

Figura 43 - Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência ao enquadramento para os parâmetros da sub-bacia Pinhal



Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 – 2022

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O parâmetro fósforo, apresentou 100% de desacordo com a classe de enquadramento estabelecida para todos os períodos analisados, enquanto o parâmetro coliformes termotolerantes, no segundo período passou de 100% de excedência para uma frequência percentual de desacordo de 83%, apresentando uma pequena melhora quando comparada com o período anterior. A DBO e o nitrogênio amoniacal apresentaram melhora no Período 2 em comparação ao primeiro período, onde os parâmetros não ultrapassaram o limite da Classe 3 estabelecido na Conama 357 (Brasil, 2005).

A partir do cálculo do ICE, das curvas obtidas e da análise probabilística efetuada no presente estudo, eventuais ações para melhora na qualidade dos recursos hídricos das sub-bacias em questão devem principiar pela revisão e readequação do sistema de tratamento de esgotos gerados no município de Caxias do Sul, visando a diminuição da carga de nutrientes ao

ambiente aquático, carga identificada principalmente pela inconformidade dos resultados aos parâmetros OD, coliformes termotolerantes e fósforo total.

Todas as sub-bacias analisadas apresentaram desconformidade ou afastamento da meta proposta pelos comitês de bacias. Conforme Bitencourt, Fernandes e Gallego (2019), o Brasil em geral apresenta dificuldades de implementar e efetivar o enquadramento dos rios através dos seus Comitês de Bacias. A implantação do enquadramento ocorre de forma desigual entre os estados brasileiros, onde nem sempre é levado em consideração o que a legislação prevê, como a elaboração de cenários e metas progressivas (Bittencourt; Fernandes; Gallego, 2019).

Os dados do ICE demonstram o quão longe os rios estão da classe de enquadramento proposta nos planos de bacia. Atualmente, os rios de Caxias do Sul, inseridos na bacia hidrográfica Taquari-Antas e na bacia hidrográfica do Caí, com base nos resultados das análises de qualidade da água, são classificados como classe 4 segundo a Conama 357 (Brasil, 2005), e possuem o prazo de alcançar a classe 2 até o ano de 2032 para o Taquari-Antas, conforme a resolução CRH nº 121 (Rio Grande do Sul, 2012) e classe 2 e 3 em 2023, para a bacia do Caí, conforme as resoluções CRH nº 50 (Rio Grande do Sul, 2008) e CRH nº 53 (Rio Grande do Sul, 2009).

6.3.6 Análise Estatística dos Dados

Devido ao grande número de dados foi realizado o cálculo da Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise de Agrupamento (AA) para os resultados das campanhas do Período 2, e a estatística descritiva para os Períodos 1 (2012 a 2014) Período de 2 (2022).

6.3.6.1 Análise de Componentes Principais (ACP)

Ao avaliar a adequação dos dados para a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), verificou-se que o teste de KMO apresentou um índice de 0,786 sendo o valor maior que 0,5 demonstrando que há correlação entre as variáveis (Fraga *et al.*, 2021). O teste de esfericidade de Bartlett demonstrou significância estatística, com um valor de $p < 0,001$. Com base nos resultados desses testes, constata-se a eficácia da ACP ao ser aplicada ao conjunto de dados em questão.

Ao extrair os fatores das variáveis de qualidade da água das campanhas de 2022, foram encontrados 3 componentes que explicam juntos 63,1% da variabilidade dos dados. Na Tabela 36 é apresentada a pontuação dos autovalores de cada componente principal e a distribuição

das cargas fatoriais e correlações com as variáveis rotacionadas de forma ortogonal através do método *varimax*.

Tabela 36 - Matriz de peso fatorial das variáveis de qualidade da água analisadas

Parâmetros	Componente Principal		
	1	2	3
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0.842	0,283	0,145
Nitrato	-0.816	-0,079	-0,306
ORP	-0.798	-0,138	-0,317
Turbidez	0.793	-0,102	0,111
Oxigênio Dissolvido	-0.757	-0,067	0,158
Demanda Química de Oxigênio	0.683	0,238	0,257
Nitrogênio Total Kjeldahl	0.677	0,426	0,361
Nitrogênio Amoniacal	0.641	0,358	0,419
Coliformes Termotolerantes	0.614	0,249	-0,024
Fósforo Total	0,408	0.668	0,080
Temperatura da Amostra	0,042	0.846	0,158
Temperatura do Ar	-0,105	0.807	0,215
Condutividade	0,317	0.769	0,006
Sólidos Dissolvidos Totais	0,185	0.637	-0,017
Sólidos Totais	0,135	0.622	-0,104
Cobre Total	0,139	0,213	0.829
Níquel Total	0,163	-0,006	0.776
Zinco Total	0,314	-0,062	0.727
Cianeto Total	-0,097	0,064	0.714
pH	0,274	0,348	0.679
Cromo Total	0,096	-0,089	0.569
Total	5,494	3,928	3,825
% Variação	26,2	18,7	18,2
% Variação Acumulada	26,2	44,9	63,1

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

De acordo com os dados apresentados, a primeira componente (CP1) explicou uma variação de 26,2% formado pelos parâmetros, DBO, turbidez, DQO, nitrogênio total e amoniacal e coliformes termotolerantes e os parâmetros nitrato, ORP e oxigênio dissolvido (OD) representados por coeficiente negativo que indica uma correlação inversa entre as variáveis. O conjunto desses parâmetros indica forte contaminação das águas por despejos de efluentes de origem doméstica in natura ou parcialmente tratados nos corpos hídricos. O resultado corrobora com o trabalho de Finkler *et al.* (2015) onde, considerando análises da água no município de Caxias do Sul nos anos de 2012 a 2014, encontraram os parâmetros associados aos despejos de efluentes domésticos no primeiro componente com variação de 27,06%. No trabalho em questão, a condição encontrada foi associada às estações de tratamento (ETE) do Tega, Pinhal e Belo não estarem em operação total ou ainda em fase de construção.

Atualmente todas essas ETE estão em operação, e com capacidade para atender população das sub-bacias. Observa-se, no entanto, que ainda são encontrados parâmetros que sugerem a contaminação das águas por efluentes domésticos.

Guedes *et al.* (2012) e Pinto, Faria e Almeida (2021) também encontraram nos primeiros componentes as variáveis que indicavam a presença de cargas de nutrientes oriundas do esgoto doméstico, com destaque para os parâmetros de oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes. Rocha e Pereira (2016), identificaram na CP1 cor, turbidez, OD, ferro e condutividade, relacionando variável OD com os valores de turbidez, onde esse podem influenciar na passagem de luz solar o que conseqüentemente geraria uma diminuição nos valores de oxigênio dissolvido. Igualmente ao presente estudo, Alves *et al.* (2012), encontraram correlação inversa entre DBO e OD, o que indica um consumo de OD no processo de degradação da matéria orgânica e o aumento da DBO.

O segundo fator (CP2) explicou uma variação de 18,7% mostrando uma correlação entre as variáveis fósforo total, temperatura da amostra e do ar, condutividade e os sólidos totais e dissolvidos. Segundo a CETESB (2021), a condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, sendo assim altos valores dessas cargas podem indicar características corrosivas da água. Ribeiro *et al.* (2016), Rocha e Pereira (2016) e Marinho *et al.* (2020) ao analisarem a qualidade da água verificaram que os valores encontrados de sólidos dissolvidos totais e a condutividade eram diretamente proporcionais. Guedes *et al.* (2012) constataram no terceiro agrupamento fatorial a associação de sólidos totais e dissolvidos com fósforo total e assimilaram com a contribuição de esgotos domésticos e resíduos sólidos dispostos inadequadamente nas margens do curso de água. A variável fósforo não entrou na CP1 mas seu resultado está próximo dos valores desse componente, demonstrando a relação que tem com esse. Entretanto acabou se relacionando de forma mais direta com a CP2 indicando que a sedimentação e condução elétrica se destaca mais, sendo que o fósforo pode ser sedimentar, ficando acumulado no leito de rios.

O terceiro fator (CP3) explicou uma variação de 18,2% e abrange as variáveis cobre, níquel, zinco, cianeto e pH. Tal relação de parâmetros demonstra a contaminação química da água. Certos processos biológicos de tecidos vivos e microrganismos requerem alguns tipos de metais para acontecerem. Cobre, manganês e zinco, quando em baixas concentrações são fundamentais em processos fisiológicos de regulação (Tundisi, 2008). Entretanto, se esses metais estiverem em concentrações elevadas em um meio aquático podem ser tóxicos aos organismos e ao ser humano, sendo um dos piores problemas o processo de bioacumulação na rede alimentar (Tundisi, 2008). Conforme Deresio (2012), a ocorrência de cobre, chumbo,

cromo e níquel, é resultado do despejo industrial. O pH presente no CP3 denota a influência dessa variável quanto a solubilidade e ou precipitação de íons metálicos (Yabe; Oliveira, 1998; Nascimento *et al.*, 2015).

Ressalta-se que os índices de qualidade da água calculados ajudam a explicar parte dos componentes encontrados. Observa-se que, parcialmente, os resultados da CP1 acabam refletindo os resultados encontrados no cálculo do IQA, que sugere a contaminação doméstica dos rios do município. A CP2 acaba refletindo os resultados encontrados no cálculo de IET, sendo esses relacionados à contaminação doméstica associados a fósforo nas águas. E por fim a CP3 reflete os resultados encontrados no IT, sendo que nesse componente a variável nitrogênio amoniacal não está presente, pois está relacionada a contaminação por efluentes domésticos e não industriais, o que pode sugerir a retirada dessa variável no estudo do IT em trabalhos futuros, a fim de que esse possa avaliar somente a contaminação industrial. Por fim, destaca-se que o cálculo do ICE considera todas as variáveis, refletindo uma média dos componentes principais encontrados.

6.3.6.2 Análise de Agrupamentos (AA)

Para a Análise Agrupamentos (AA) considerou-se dois grupos de estudo, o agrupamento de pontos do Período 1 (2012 a 2014) e o agrupamento de pontos do Período 2 (2022). Além dos dados da AA, serão apresentadas as tabelas com a estatística descritiva para cada uma das campanhas de estudo, a fim de auxiliar na compreensão dos dados da análise. A Tabela 37 apresenta a estatística descritiva para os dados gerais do Período 1 (2012 a 2014).

Os parâmetros analisados apresentam valores elevados quando comparados à resolução Conama 357 (Brasil, 2005). Os parâmetros como coliformes, DBO, fósforo, nitrogênio, possuem médias de valores acima do permitido, demonstrando contaminação do recurso hídrico devido a descargas de efluentes domésticos e industriais.

Tabela 37 - Estatística descritiva das análises realizadas no Período 1 (2012 a 2014)

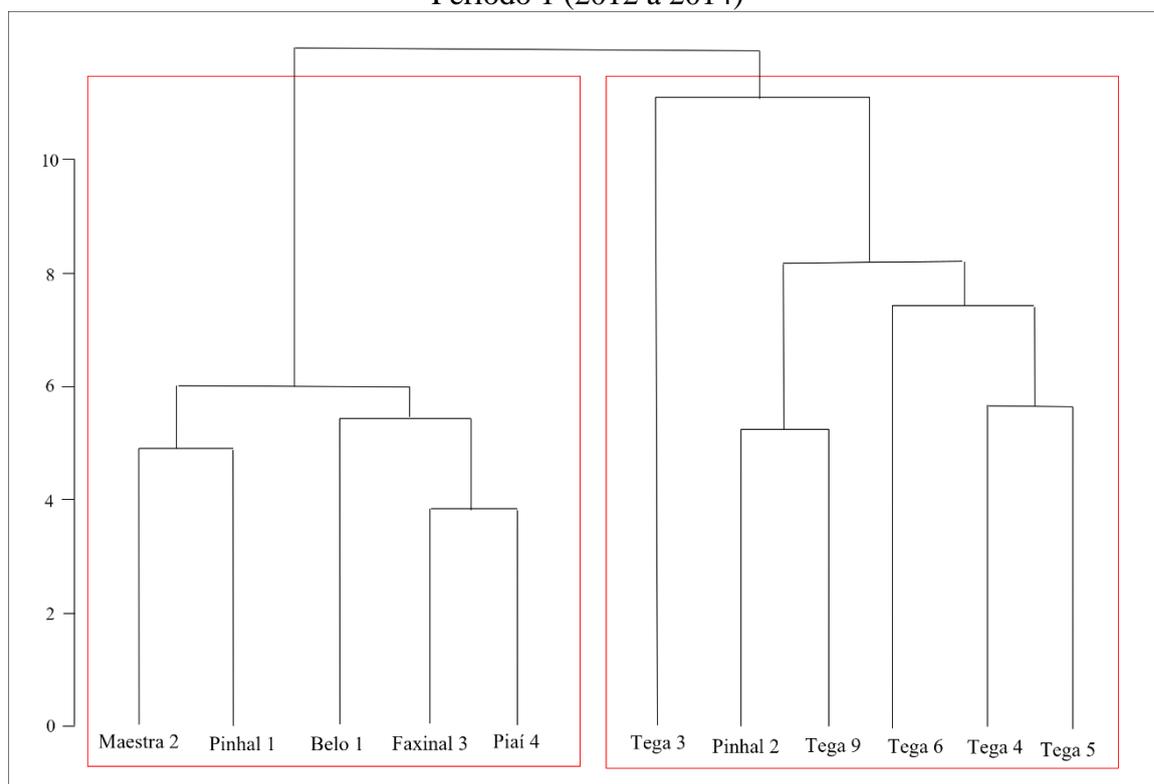
Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Cianeto Total	mg/l	0,01	0,97	0,08	0,17
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	7,90x10 ²	1,6x10 ⁷	6,85x10 ⁵	3,06x10 ⁶
Cobre	mg/l	0,02	1,96	0,23	0,35
Condutividade	mS/cm	0,19	3170,0	345,20	311,53
Cromo	mg/l	0,04	3,89	0,22	0,45
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/l	1,31	281,0	33,0	45,48
Demanda Química de Oxigênio	mg/l	9,00	729,0	69,49	90,82
Fósforo Total	mg/l	0,19	20,81	1,28	2,12
Níquel	mg/l	0,002	1,97	0,19	0,28
Nitrato	mg/l	0,18	38,91	7,72	6,49
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	1,23	26,90	10,35	5,68
Nitrogênio Total	mg/l	1,75	48,19	13,35	8,27
Oxigênio dissolvido	mg/l	1,32	13,34	8,54	2,82
ORP	mV	-210,0	381,0	163,38	90,65
pH	pH	5,88	8,79	7,55	0,48
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/l	1,00	515,0	224,88	95,79
Sólidos Totais	mg/l	94,00	1035,0	240,48	125,72
Temperatura da amostra	°C	11,88	26,60	18,32	3,29
Temperatura do ar	°C	8,20	36,00	21,74	5,77
Turbidez	NTU	0,00	766,00	31,82	80,87
Zinco	mg/l	0,03	3,11	0,29	0,44

Fonte: Elaborado pela autora com base em Schneider (2014).

A partir da análise de AA, os dados de qualidade da água de 2012 a 2014 foram divididos em dois grupos principais (Figura 44).

O Grupo 1 é composto pelos pontos Maestra 2 (M2), Pinhal 1 (P1), Belo 1 (B1), Faxinal 3 (F3) e Piaí 4 (Pi4). O Grupo 2 foi formado por todos os pontos relacionados ao Tega (T3, T4, T5, T6 e T9) e o ponto Pinhal 2 (P2) que pertence à sub-bacia do Pinhal. O Grupo 1, conforme o dendograma da Figura 44, apresenta uma maior similaridade entre os pontos, demonstrando ser um grupo homogêneo. O Grupo 2 já não apresenta homogeneidade como o grupo anterior, principalmente pelo ponto Tega 3 (T3) que possui a maior distância entre os outros pontos. Esse ponto drena a área mais urbanizada e central do município de estudo, recebendo elevadas cargas de efluentes de origem doméstica, como coliformes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo, nitrogênio amoniacal e total e valores baixos de oxigênio dissolvido.

Figura 44 - Dendrograma de agrupamento dos pontos de análise de qualidade da água do Período 1 (2012 a 2014)



Fonte: Elaborado pela autora com base em Schneider (2014).

No Grupo 2 encontram-se as maiores médias de concentrações de metais como cobre, com média de 0,38 mg/l, cromo com 0,36 mg/l, níquel com 0,31 mg/l e zinco com 0,44 mg/l, indicando que além da contaminação por efluentes domésticos, o Grupo 2 apresenta a contaminação por efluentes industriais. O Grupo 1 apresenta média para os metais de 0,04 mg/l para cobre e cromo, 0,05 mg/l para níquel e 0,09 mg/l para zinco, valores bem distintos do Grupo 2.

Outras variáveis também contribuíram para a formação dos grupos e caracterizam a qualidade da água no local. No Grupo 1 a concentração média de valor para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi de 11,44 mg/l, de demanda química de oxigênio (DQO) foi de 31,14 mg/l, fósforo foi de 0,73 mg/l, nitrogênio amoniacal de 7,28 mg/l e de nitrogênio total foi de 8,60 mg/l. As médias de concentração do Grupo 2 demonstraram valores mais elevados, chegando a 4 vezes o encontrado no Grupo 1. Os valores médios de DBO foram de 50,97 mg/l, de DBQ chegou a 101,45 mg/l, os valores médios de fosforo ficaram em 1,74 mg/l, nitrogênio amoniacal ficou em 12,91 mg/l e nitrogênio total em 17,30 mg/l. Os parâmetros analisados do Grupo 2 demonstram uma contaminação maior por efluentes domésticos e por efluentes industriais.

A Tabela 38 apresenta a estatística descritiva para os dados gerais do Período 2 (2022). Observa-se valores elevados para os parâmetros como, coliformes, cobre, fósforo, níquel e nitrogênio o que, igualmente no período 1 (2012 a 2014) enquadraria o corpo hídrico em classe 4 na Conama 357 (Brasil, 2005). Da mesma forma, os metais como cobre e níquel ainda apresentam médias acima do permitido para resolução supracitada.

Tabela 38 - Estatística descritiva das análises realizadas no Período 2 (2022)

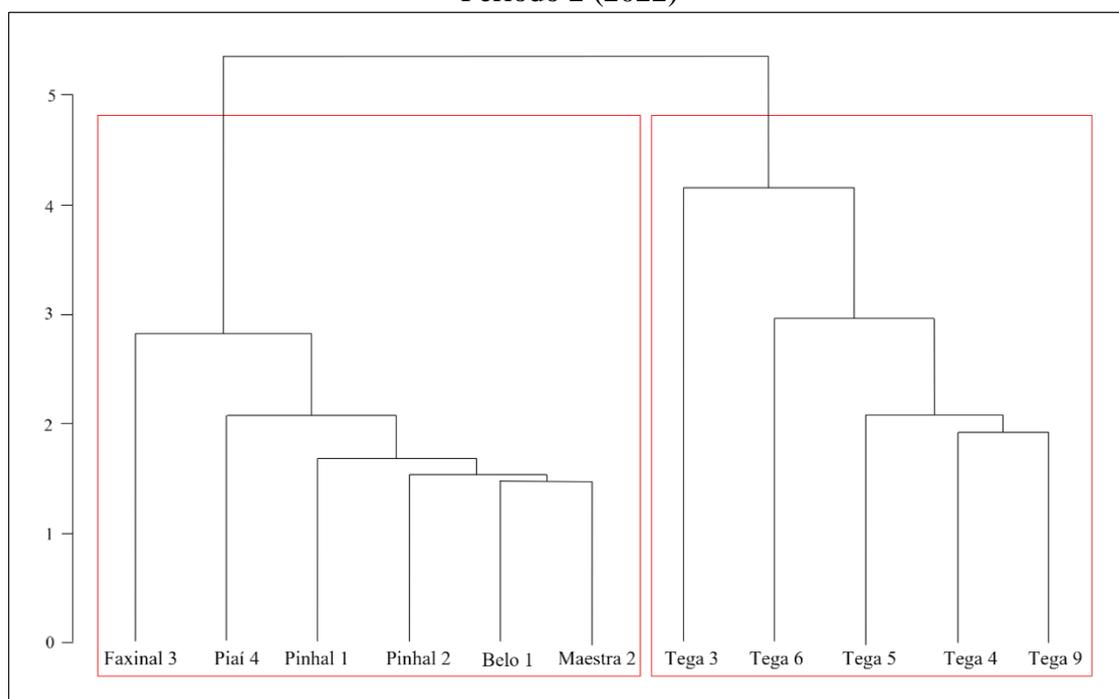
Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Cianeto Total	mg/l	0,01	0,411	0,025	0,056
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	7,91x10 ²	1,6x10 ⁶	1,41x10 ⁵	4,03x10 ⁵
Cobre	mg/l	0,007	0,522	0,047	0,078
Condutividade	mS/cm	0,105	0,611	0,306	0,107
Cromo	mg/l	0,004	0,162	0,021	0,031
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/l	1,80	151,90	9,81	19,26
Demanda Química de Oxigênio	mg/l	4,00	228,00	30,77	30,27
Fósforo Total	mg/l	0,221	2,95	0,97	0,57
Níquel	mg/l	0,008	0,41	0,03	0,07
Nitrato	mg/l	0,040	10,47	2,47	1,96
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	3,07	25,89	7,42	5,38
Nitrogênio Total	mg/l	2,80	30,13	9,18	6,53
Oxigênio dissolvido	mg/l	0,17	8,20	5,65	2,07
ORP	mV	-5,00	225,00	125,84	54,40
pH	pH	7,04	8,63	7,59	0,34
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/l	10,00	272,00	139,27	52,73
Sólidos Totais	mg/l	34,00	350,00	177,69	60,08
Temperatura da amostra	°C	14,40	27,80	19,87	3,11
Temperatura do ar	°C	12,00	32,00	23,28	4,73
Turbidez	NTU	1,20	32,80	6,57	6,85
Zinco	mg/l	0,011	0,832	0,11	0,13

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A partir da análise de AA, os dados de 2022 foram também divididos em dois grupos principais (Figura 45).

O Grupo 1 é composto pelos pontos Belo 1 (B1), Faxinal 3 (F3), Maestra 2 (M2), Piaí 4 (Pi4) e os dois pontos do Pinhal (P1 e P2). Vale ressaltar que nesse período de estudo o ponto Pinhal 2 (P2), que anteriormente no Período 1 (2012 a 2014) estava no Grupo 2 passou para o Grupo 1.

Figura 45 - Dendrograma de agrupamento dos pontos de análise de qualidade da água do Período 2 (2022)



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O Grupo 2 foi formado por todos os pontos relacionados ao Tega (T3, T4, T5, T6 e T9). Nessa sub-bacia, são observadas as maiores médias de concentrações de cobre chegando a 0,08 mg/l, DBO com 16,96 mg/l, DQO com 45,24 mg/l, fósforo com 1,25 mg/l, nitrogênio amoniacal com 11,07 mg/l e nitrogênio total com 14,17 mg/l. o que caracterizam a piora da qualidade do grupo. O Grupo 1 apresenta médias para os parâmetros citados acima quase três vezes menor do que o Grupo 2, com resultados para cobre de 0,02 mg/l, DBO de 4,72 mg/l, DQO de 21,16 mg/l, fósforo de 0,78 mg/l, nitrogênio amoniacal de 4,93 mg/l e nitrogênio total de 5,64 mg/l.

Os parâmetros citados estão associados ao lançamento de efluentes domésticos, com exceção do cobre. De acordo com a pesquisa realizada por Rodrigues, Nolasco e Jesus (2018), foi constatado que os pontos com menor qualidade da água refletiam a entrada de efluentes domésticos. Pastro *et al.* (2020) e Rodrigues Junior *et al.* (2022), evidenciaram que algumas variáveis como coliformes termotolerantes e coliformes totais e a intensa influência urbana, foram determinantes para formação de grupos na análise de AA. Sant'Ana, Vital e Silva (2019) identificaram que os parâmetros, DBO, condutividade, sólidos dissolvidos totais e coliformes termotolerantes influenciavam na qualidade da água, sendo esses relacionados ao processo de urbanização das cidades.

Os valores médios de coliformes termotolerantes e DBO foram os que mais contribuíram para a melhora na qualidade da água, que era de $8,30 \times 10^5$ NPM/100ml e 60,40

mg/l consecutivamente no Período 1 e passaram a $2,9 \times 10^4$ NPM/100ml e 5,16 mg/l no Período 2. Os pontos situados na sub-bacia do Tega em ambos os períodos analisados foram agrupados juntos, demonstrando a similaridade deles com o passar dos anos e apontando a persistência da contaminação doméstica e industrial nos corpos d'água. Essa sub-bacia é uma das mais urbanizadas do município e com elevada presença de atividades industriais o que torna evidente a influência negativa da urbanização na qualidade da água.

O cálculo do ICE auxilia no entendimento do resultado encontrado no AA, onde os pontos da sub-bacia do Tega apresentaram os piores resultados de ICE no Período 1, juntamente com o ponto Pinhal 2, da sub-bacia do Pinhal. No Período 2, o ponto Pinhal 2 melhorou a média de resultados do ICE, o que resultou na migração desse ponto para o Grupo 1 da AA, restando no Grupo 2 apenas os pontos do Tega, que ainda possuem valores médios de ICE ruins, demonstrando a não conformidade com o enquadramento proposto.

6.4 SISTEMATIZAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS POR SUB-BACIAS

Neste capítulo estão sintetizados por sub-bacia os principais resultados e discussão acerca do Índice de Qualidade da Água (IQA), Índice de Estado Trófico (IET), Índice de Toxicidade (IT), Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), análises estatísticas bem como da caracterização das sub-bacias de estudo.

A Tabela 39 apresenta o resumo dos índices de qualidade da água e principais resultados da caracterização urbana para cada sub-bacia de estudo.

Observa-se uma pequena evolução na qualidade da água, associada aos índices de IQA e IET, porém com resultados distantes do esperado. Os índices demonstram que ainda persiste no município a contaminação por efluentes orgânicos, tendo em vista o resultado encontrado e as altas concentrações de coliformes termotolerantes em todas as sub-bacias de estudo.

O IT apresentou melhora com o passar do tempo, sendo que em diversos casos, o resultado de toxicidade alto se deu pela presença do parâmetro de nitrogênio amoniacal no corpo hídrico, sendo esse parâmetro relacionado a contaminação orgânica e não industrial. A sub-bacia do Tega foi a que apresentou mais frequência de metais na água (cianeto, cromo, níquel e zinco), sendo que nessa sub-bacia se encontra a maior densidade de empresas com licença para lançamento de efluentes.

Tabela 39 – Sistematização dos índices de qualidade da água do Período 1 e 2 e principais resultados da caracterização urbana para cada sub-bacia de estudo

Análises	Ano	Bacia Taquari-Antas			Bacia do Caí		
		Faxinal	Maestra	Tega	Belo	Piaí	Pinhal
IQA	2012	44,4	49,6	32,1	49,8	52,0	37,9
	2022	48,9	48,1	35,8	48,2	46,0	46,2
IET	2012	68,4	69,1	71,8	68,9	67,8	71,6
	2022	66,0	69,4	72,1	69,5	70,5	70,8
IT	2012	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
	2022	Baixa	Média	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
ICE	2012	65,3	58,5	35,9	54,2	66,9	55,3
	2022	61,5	51,7	42,0	52,2	72,0	58,6
Área da sub-bacia urbana (km ²)		28,03	40,77	64,43	22,12	31,74	29,32
Habitantes/km ² (2010)		535,5	958,35	2.545,55	1.962,84	1.551,13	3.389,53
Densidade de empresas ¹ (2022)		0,61	0,37	1,65	0,59	0,88	0,82

Fonte: Elaborado pela autora com base em Schneider (2014).

6.4.1 Sub-Bacia do Faxinal

A sub-bacia do Faxinal contemplou somente um ponto de análise de água, denominado Faxinal 3. Este ponto situa-se na localidade de Parada Cristal, juntamente ao antigo descarte de resíduo de curtume, restando hoje no local, o passivo ambiental. A Tabela 40 apresenta os principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Faxinal.

Tabela 40 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Faxinal

INDICADOR	RESULTADO
Área da sub-bacia urbana (km ²)	28,03
Área urbanizada (2022)	19,4%
Aumento da área urbanizada ¹	35,2%
Habitantes (2010)	15.010
Habitantes/km ² (2010)	535,5
Renda média familiar (2010)	R\$ 2.658,98
Densidade de empresas ² (2022)	0,61
Quantidade de ETEs (2022)	1
Potencial de atendimento da ETE a população (2022)	2,5 mil

¹ Percentual de aumento da área urbanizada em comparação a área existente em 2010

² Empresas com licença para lançamento de efluentes

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A sub-bacia do Faxinal possui a segunda menor área do perímetro urbano em comparação as demais sub-bacias de estudo, o menor número de habitantes e a menor densidade populacional. Apresenta 19,4% de uso do solo caracterizado pela área urbanizada, um aumento de 35,2% da área em comparação ao ano de 2012. Possui densidade de 0,61 empresas/km² e apenas uma ETE (Ana Rech) com capacidade de tratar o efluente de até 2,5 mil habitantes, população inferior a residente na sub-bacia no ano de 2010.

A Tabela 41 apresenta a média dos resultados obtidos através do cálculo dos índices de qualidade da água nos Períodos 1 (2012 a 2014) e 2 (2022).

Tabela 41 - Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Faxinal

INDÍCES	PERÍODO 1 (2012 A 2014)	PERÍODO 2 (2022)
IQA	44,4	48,9
IET	68,4	66,0
IT	Alta toxicidade	Baixa toxicidade
ICE	65,3	61,5

Legenda: IQA Ruim IET Supereutrófico Hipereutrófico ICE Afastado

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O IQA resultou em qualidade regular no Período 1 e 2, com valores superiores no segundo período analisado (10%), demonstrando uma melhora na qualidade. A melhora observada no IQA se deve aos valores de fósforo total, que na média apresentaram valores menores do que o no primeiro período. Os dados de IET foram caracterizados como hipereutrófico no primeiro período e no segundo como supereutrófico. O estado hipereutrófico foi observado nos meses de fevereiro e março de 2022, onde encontrou-se as menores vazões do recurso hídrico nesse ponto.

Os resultados dos índices relacionados ao IQA e ao IET apontam que existe na sub-bacia poluição por efluentes orgânicos e domésticos, tendo em vista que os parâmetros que mais contribuíram para os resultados insatisfatórios dos índices foram DBO, fósforo e coliformes termotolerantes. A sub-bacia, conforme apresentado no item 6.2.1, possui a menor densidade de população e residências do município de Caxias do Sul. Possui a ETE Ana Rech, que teria a capacidade de tratar até 10 L/s de efluentes e atender até 2,5 mil pessoas, sendo essa uma capacidade de atendimento inferior à população residente no local, com base no Censo de 2010.

O IT demonstrou que a sub-bacia apresentou toxicidade alta no primeiro período de estudo, principalmente por chumbo e níquel enquanto no segundo período a toxicidade se

manteve baixa na média. As campanhas que resultaram em alta toxicidade no Período 2 (2022) ocorreram devido a valores elevados de cromo. Observa-se, com base no item 6.2.3, que nessa sub-bacia encontra-se um número reduzido de empreendimentos licenciados com autorização para lançamento de efluentes, mas apesar do número não ser expressivo, as atividades que esses exercem como de fabricação de máquinas, oficinas mecânicas, fabricação de móveis com pintura, fabricação de produtos químicos, galvanoplastia, poderiam estar fazendo o uso do cromo no seu dia a dia. Ainda, existe no local da coleta d'água o passivo ambiental de resíduo de curtume. Neste caso, fica evidenciada a necessidade de se destinar o passivo ambiental e realizar as devidas análises para identificar se esse passivo ainda pode estar contribuindo com o escoamento de cromo nas águas quando ocorrem as precipitações.

O ICE regrediu no Período 2 (2022) em comparação ao primeiro período, sendo classificado como afastado da classe proposta em todas as campanhas realizadas em 2022. Os parâmetros que contribuíram para o afastamento do ICE foram a DBO e nitrogênio amoniacal.

Os resultados da qualidade da água, associado a uma menor densidade populacional da região demonstra que mesmo uma proporção pequena de famílias residindo em uma sub-bacia, a falta ou insuficiência no tratamento de esgoto, associado a baixa vazão do rio, dificultando a diluição do efluente bruto, é suficiente para apresentar resultados inferiores ao desejado. Além disso, é importante que o órgão público leve em consideração a densidade populacional da área e avalie a eficácia ETE existente para atender às necessidades dessas comunidades, ou considere a instalação de novas ETEs capazes de suprir essa demanda crescente.

6.4.2 Sub-Bacia do Maestra

A sub-bacia do Maestra contemplou um ponto de análise de água, denominado Maestra 2. Este ponto localiza-se na comunidade da Linha 40. A Tabela 42 apresenta os principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia.

Tabela 42 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Maestra

INDICADOR	RESULTADO
Área da sub-bacia urbana (km ²)	40,77
Área urbanizada (2022)	16,4%
Aumento da área urbanizada ¹	23,9%
Habitantes (2010)	39.072
Habitantes/km ² (2010)	958,35
Renda média familiar (2010)	R\$ 2.544,01
Densidade de empresas ² (2022)	0,37
Quantidade de ETEs (2022)	2
Potencial de atendimento da ETE a população (2022)	55 mil

¹ Percentual de aumento da área urbanizada em comparação a área existente em 2010

² Empresas com licença para lançamento de efluentes

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Tabela 43 apresenta a média dos resultados obtidos através do cálculo dos índices de qualidade da água nos Períodos 1 (2012 a 2014) e 2 (2022).

Tabela 43 - Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Maestra

INDÍCES	PERÍODO 1 (2012 A 2014)	PERÍODO 2 (2022)
IQA	49,6	48,1
IET	69,1	69,4
IT	Alta toxicidade	Média toxicidade
ICE	58,5	51,7

Legenda: IQA Ruim IET Hipereutrófico ICE Afastado

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O IQA nessa sub-bacia, não apresentou evolução do Período 1 ao Período 2. O IQA médio encontrado no segundo período regrediu em comparação ao primeiro devido principalmente aos valores de fósforo encontrados. O IET também não apresentou avanços em seu resultado, com média do Período 2, mais alta que no Período 1, o que corrobora com o resultado de IQA, onde o fósforo apresentou valores mais elevados. Encontrou-se em 2022 o estado supereutrófico nos meses com maior vazão e hipereutrófico nos meses de menor vazão, demonstrando alguma capacidade de diluição do efluente. Ambos os índices (IQA e IET), apontam para a provável poluição por efluentes domésticos na sub-bacia.

O IT apresentou resultados melhores no Período 2 em comparação ao Período 1. Ressalta-se que no segundo período, observou-se que nos meses em que a vazão estava alta, o

IT resultou em média e baixa toxicidade e nos meses de baixa vazão apresentou alta toxicidade. A alta e média toxicidade encontrada ocorreu devido a valores de nitrogênio amoniacal acima do permitido o que está relacionado com o efluente doméstico. No caso de retirar da análise de IT esse parâmetro, o corpo hídrico apresentaria baixa toxicidade em todas as campanhas do Período 2. Cabe destacar que em algumas campanhas realizadas em 2022 foi possível observar a presença de coloração amarelo-esverdeada no arroio. Dentro os parâmetros químicos analisados, apenas identificou-se o cobre acima do limite permitido para Classe 2, conforme a Conama 357 (Brasil, 2005) em três campanhas.

O ICE regrediu um pouco em comparação ao período de estudo anterior, sendo classificado novamente como afastado do enquadramento proposto.

Essa sub-bacia possui duas ETEs (Canyon e Serrano) com potencial de atender a região, entretanto, devido aos resultados demonstrarem a contaminação por efluentes domésticos, necessita-se a realização de novos estudos que possam compreender a eficácia da coleta dos efluentes e destino as estações existentes, bem como o tratamento realizado, tendo em vista que ambas estão em funcionamento a mais de 15 anos. Também se faz necessário avaliar com base no novo Censo, qual é a população atual residente da sub-bacia.

6.4.3 Sub-Bacia do Tega

A sub-bacia do Tega contemplou 5 pontos de análises da água, denominados Tega 3, Tega 4, Tega 5, Tega 6 e Tega 9. Os pontos drenam a maior parte dos efluentes da população urbana, tendo em vista que essa bacia, conforme o item 6.2.1 apresenta grande densidade de população e residências no município. A Tabela 44 apresenta os principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Tega.

Tabela 44 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Tega

INDICADOR	RESULTADO
Área da sub-bacia urbana (km ²)	64,43
Área urbanizada (2022)	51,5%
Aumento da área urbanizada ¹	10,0%
Habitantes (2010)	164.010
Habitantes/km ² (2010)	2.545,55
Renda média familiar (2010)	R\$ 4.076,60
Densidade de empresas ² (2022)	1,65
Quantidade de ETEs (2022)	3
Potencial de atendimento da ETE a população (2022)	227 mil

¹ Percentual de aumento da área urbanizada em comparação a área existente em 2010

² Empresas com licença para lançamento de efluentes

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A sub-bacia do Tega possui a maior área do perímetro urbano, o maior número de habitantes e a segunda maior densidade populacional de Caxias do Sul. Apresenta 56,6% de uso do solo caracterizado pela área urbanizada, um aumento de 10% da área em comparação ao ano de 2012. Possui a maior densidade de empresas, com 1,65 empresas/km². No Tega encontra-se 3 ETEs (Tega, Samuara e Dal Bó) com capacidade de tratar o efluente de até 227 mil habitantes, população acima do que existia no local em 2010. Destaca-se que em janeiro de 2023, a ETE Dal Bó foi desativada.

A Tabela 45 apresenta a média dos resultados obtidos através do cálculo dos índices de qualidade da água nos Períodos 1 (2012 a 2014) e 2 (2022).

Tabela 45 - Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Tega

INDÍCES	PERÍODO 1 (2012 A 2014)	PERÍODO 2 (2022)
IQA	32,1	35,8
IET	71,8	72,1
IT	Alta toxicidade	Alta toxicidade
ICE	35,9	42,0

Legenda: **IQA** Ruim **IET** Hipereutrófico **ICE** Não Conforme

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O IQA apresentou melhora na média do Período 2 em comparação ao primeiro período de estudo, entretanto ainda é classificado como ruim. A melhora se deu pela redução da concentração das variáveis coliformes e fósforo, com exceção ao Ponto Tega 9 (T9), que apresentou média de concentração de fósforo mais elevado em 2022 do que no período anterior.

O IQA, principalmente no ponto Tega 3, ponto esse que recebe as águas oriundas da área central do município, é o que possui a pior qualidade. Os resultados tendem a melhorar ao longo do percurso, demonstrando a capacidade de autodepuração do corpo hídrico. Entretanto, devido às cargas serem altas, a autodepuração não é suficiente para trazer resultados satisfatórios, resultando em qualidade ruim na maior parte dos casos. O IET se manteve estável do Período 2 ao Período 1, devido aos valores de fósforo não terem sofrido grandes alterações com o passar do tempo. O IQA e o IET apresentaram que a contaminação do corpo hídrico oriundo de efluentes orgânicos e domésticos ainda persiste.

Essa sub-bacia possui três ETEs, entretanto conforme os dados do SNIS (BRASIL, 2022), o município só consegue estar tratando 48,87% do esgoto coletado. Esse dado demonstra a necessidade de atenção ao esgotamento sanitário, incentivando a população a ligar seus efluentes na rede coletora, para assim aumentar a vazão que chega nas ETE aumentando sua eficiência.

Os dados do Censo do IBGE de 2010, mostraram que mais de 90% da população reside nessa sub-bacia. As Figuras 8 e 9 demonstram que as maiores rendas familiares estão localizadas na região central do município, próximo ao ponto Tega 3 e Tega 4, entretanto nessa sub-bacia é notória a disparidade de renda, onde próximo ao ponto Tega 6 encontra-se região de renda familiar mais baixa. O ponto Tega 6, ainda apresenta uma elevada densidade populacional em seu entorno, e a identificação de casas com contribuição de efluentes domésticos diretamente ao corpo hídrico, demonstrando a necessidade de políticas públicas diferenciadas na região.

A população afirmou ainda destinar seus resíduos para coleta municipal, entretanto em todos os pontos de coleta foi possível constatar a presença de resíduos sólidos junto ao corpo hídrico. Próximo ao ponto Tega 9, se identificou a presença de resíduos volumosos, têxteis e plásticos.

Os dados de IT revelaram que em 86% das campanhas de 2022, o corpo hídrico apresentou alta toxicidade devido ao nitrogênio amoniacal, cianeto, cromo, níquel e zinco. Em comparação ao período de análise anterior, ressalta-se que ocorreu melhora no índice, o que pode evidenciar a efetividade das políticas de licenciamento ambiental. Entretanto, a presença de alguns parâmetros no corpo d'água traz a importância de continuar havendo monitoramentos regulares e fiscalizações nos empreendimentos a fim de verificar se os lançamentos de efluentes condizem com o permitido.

O ICE continuou apresentando a não conformidade com o enquadramento proposto durante os períodos estudados, mas com média mais alta no Período 2 (2022), devido a redução

da concentração de parâmetros como coliformes, DBO e nitrogênio amoniacal.

Corroborando com o resultado acima descrito, a Análise de Agrupamento (AA) separou a sub-bacia do Tega das demais sub-bacias, evidenciando que essa possui características distintas das demais, como a contaminação por efluentes domésticos e pelos efluentes industriais. Sendo assim se faz necessária a criação de políticas públicas distintas das demais sub-bacias.

6.4.4 Sub-Bacia do Belo

A sub-bacia do Belo contemplou um ponto de análise de água, denominado Belo 1. A Tabela 46 apresenta os principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Belo.

Tabela 46 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Belo

INDICADOR	RESULTADO
Área da sub-bacia urbana (km ²)	22,12
Área urbanizada (2022)	36,4%
Aumento da área urbanizada ¹	13,7%
Habitantes (2010)	43.418
Habitantes/km ² (2010)	1962,84
Renda média familiar (2010)	R\$ 2.579,15
Densidade de empresas ² (2022)	0,59
Quantidade de ETEs (2022)	1
Potencial de atendimento da ETE a população (2022)	38 mil

¹ Percentual de aumento da área urbanizada em comparação a área existente em 2010

² Empresas com licença para lançamento de efluentes

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A sub-bacia do Belo possui a menor área do perímetro urbano do município e a terceira maior densidade populacional. Apresenta 36,4% de uso do solo caracterizado pela área urbanizada, um aumento de 13,7% da área em comparação ao ano de 2012. Possui uma densidade de empresas, de 0,59 empresas/km². No Belo encontra-se apenas uma ETE (Belo) com capacidade de tratar o efluente de até 38 mil habitantes, população abaixo do que existia no local em 2010.

A Tabela 47 apresenta a média dos resultados obtidos através do cálculo dos índices de qualidade da água nos Períodos 1 (2012 a 2014) e 2 (2022).

Tabela 47 -Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Belo

INDÍCES	PERÍODO 1 (2012 A 2014)	PERÍODO 2 (2022)
IQA	49,8	48,2
IET	68,9	69,5
IT	Alta toxicidade	Baixa toxicidade
ICE	54,2	52,2

Legenda: IQA Ruim IET Hipereutrófico ICE Afastado

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O IQA apresentou piora no Período 2 (2022) em comparação ao primeiro período de estudo. As variáveis, coliformes termotolerantes e fósforo não apresentaram redução, contribuindo para a persistência da qualidade ruim do corpo hídrico. Ressalta-se, que apesar da não evolução da qualidade ao longo do tempo, no Período 2 (2022) a qualidade da água nessa sub-bacia apresentou uma maior frequência de IQA regular, demonstrando uma melhor qualidade em comparação as demais sub-bacias de estudo. O IET também não apresentou melhora no índice, com média mais elevada no Período 2 (2022), devido a altas cargas de fósforo e nutrientes no corpo d'água não terem reduzido com o passar do tempo.

O IT apresentou avanços durante os períodos de estudo, passando de alta toxicidade, devido a presença de chumbo e níquel no primeiro período, para baixa toxicidade em todas as campanhas de 2022.

O ICE durante os períodos estudados regrediu, não demonstrando evolução, sendo classificado como afastado do enquadramento proposto. Tal resultado decorreu da presença das altas cargas de coliformes termotolerantes e fósforo, que também contribuíram para os resultados insatisfatórios de IQA e IET do Período 2 (2022).

Essa sub-bacia possui uma ETE que iniciou suas atividades no ano de 2012. Essa ETE foi construída com capacidade de tratar até 120 L/s de efluentes e assim atender até 38 mil habitantes. Com base na informação de habitantes do ano de 2010, observa-se que a população do Belo é superior a capacidade total de tratamento da ETE, sendo necessária uma reavaliação dessa ou instalação de outra ETE que possa suportar a quantidade de efluentes lançados no corpo hídrico e atender a população que reside na sub-bacia.

Ressalta-se que apesar de possuir a melhor qualidade d'água do município, esse ponto de coleta apresentava diversas tipologias de resíduos plásticos e têxteis no seu entorno.

6.4.5 Sub-Bacia do Piaí

A sub-bacia do Piaí contemplou um ponto de análise de água, denominado Piaí 4. O ponto está localizado à jusante da ETE Pena Branca. A Tabela 48 apresenta os principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Piaí.

A sub-bacia do Piaí possui 31,74 km² de área do perímetro urbano do município e a terceira maior quantidade de população residente. A densidade não é tão elevada, sendo a quarta sub-bacia de estudo com a maior densidade populacional. Apresenta 41,2% de uso do solo caracterizado pela área urbanizada, um aumento de 19,1% da área em comparação ao ano de 2012. Possui a segunda maior densidade de empresas, com 0,88 empresas/km².

Tabela 48 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Piaí

INDICADOR	RESULTADO
Área da sub-bacia urbana (km ²)	31,74
Área urbanizada (2022)	41,2%
Aumento da área urbanizada ¹	19,1%
Habitantes (2010)	49.233
Habitantes/km ² (2010)	1551,13
Renda média familiar (2010)	R\$ 3.293,91
Densidade de empresas ² (2022)	0,88
Quantidade de ETEs (2022)	1
Potencial de atendimento da ETE a população (2022)	40 mil

¹ Percentual de aumento da área urbanizada em comparação a área existente em 2010

² Empresas com licença para lançamento de efluentes

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No Piaí encontra-se apenas uma ETE (Pena Branca) com capacidade de tratar o efluente de até 40 mil habitantes, população abaixo do que existia nessa região em 2010. A Tabela 49 apresenta a média dos resultados obtidos através do cálculo dos índices de qualidade da água nos Períodos 1 (2012 a 2014) e 2 (2022).

Tabela 49 - Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Piaí

INDÍCES	PERÍODO 1 (2012 A 2014)	PERÍODO 2 (2022)
IQA	52,0	46,0
IET	67,8	70,5
IT	Alta toxicidade	Baixa toxicidade
ICE	66,9	72,0

Legenda: IQA Regular Ruim IET Hipereutrófico ICE Afastado
 Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O IQA apresentou piora ao longo do tempo, passando de regular no Período 1 (2012 a 2014) para ruim no Período 2 (2022), devido ao aumento da concentração de fósforo e coliformes termotolerantes no corpo hídrico. O IET também apresentou valor alto de trofia, aumentando no segundo período de estudo, em consequência ao fósforo encontrado. Os resultados de IQA e IET demonstram a contaminação da sub-bacia por carga orgânica e efluentes domésticos. Nessa sub-bacia existe uma ETE que está em funcionamento desde 2014 e foi projetada com capacidade de atender até 40 mil moradores (SAMAE, 2023). Conforme apresentado na Tabela 44, sub-bacia do Pinhal, no ano de 2010, tinha aproximadamente 49 mil habitantes, sendo necessária uma revisão da capacidade efetiva da ETE e planejamento para expansão do tratamento de efluentes na região que possa atender a população residente no local.

O IT apresentou avanços do Período 1 ao Período 2 (2022), passando para uma média de baixa toxicidade na sub-bacia. Em duas campanhas de 2022 foi evidenciada a alta toxicidade devido a cianeto e níquel. Conforme o item 6.2.3, existe na sub-bacia atividades de oficinas mecânicas, chapeação e pintura e de serviços de galvanoplastia em maior quantidade. Também vale destacar que a vazão média do Período 2 (2022) foi de 0,16 m³/s, isto é aproximadamente 42,9% inferior à média de vazão do Período 1 que foi 0,28 m³/s.

O ICE durante os períodos estudados apresentou pequena evolução na média dos resultados, mas persistindo na classificação de afastamento do enquadramento proposto no ano de 2022. Apesar de coliformes termotolerantes e fósforo não terem melhorado as concentrações, os parâmetros como DBO e nitrato apresentaram redução, contribuindo para o aumento do valor encontrado no ICE.

6.4.6 Sub-Bacia do Pinhal

A sub-bacia do Pinhal contemplou três pontos de análise da água, denominados Pinhal 0, sendo esse o ponto novo criado para o presente trabalho, Pinhal 1 e Pinhal 2. A Tabela 50 apresenta os principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia.

Tabela 50 - Principais resultados da caracterização da área urbanizada da sub-bacia do Pinhal

INDICADOR	RESULTADO
Área da sub-bacia urbana (km ²)	29,32
Área urbanizada (2022)	57,3%
Aumento da área urbanizada ¹	10,6%
Habitantes (2010)	99.381
Habitantes/km ² (2010)	3.389,53
Renda média familiar (2010)	R\$ 3.571,51
Densidade de empresas ² (2022)	0,82
Quantidade de ETEs (2022)	2
Potencial de atendimento da ETE a população (2022)	134,5 mil

¹ Percentual de aumento da área urbanizada em comparação a área existente em 2010

² Empresas com licença para lançamento de efluentes

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A sub-bacia do Pinhal possui 29,32 km² de área do perímetro urbano do município, sendo a terceira menor das demais sub-bacias estudadas. O Pinhal possui a segunda maior população residente e a maior densidade populacional. Apresenta 57,3% de uso do solo caracterizado pela área urbanizada, um aumento de 10,6% da área em comparação ao ano de 2012. Possui a terceira maior densidade de empresas, com 0,82 empresas/km². No Pinhal encontra-se duas ETEs (Pinhal e Vitória) com capacidade de tratar o efluente de até 134,5 mil habitantes, população acima do que existia nessa região em 2010.

A Tabela 51 apresenta a média dos resultados obtidos através do cálculo dos índices de qualidade da água nos Períodos 1 (2012 a 2014) e 2 (2022).

Tabela 51 - Média dos resultados dos índices de qualidade da água obtidos no Período 1 e no Período 2 na sub-bacia do Pinhal

INDÍCES	PERÍODO 1 (2012 A 2014)	PERÍODO 2 (2022)
IQA	37,9	46,2
IET	71,6	70,8
IT	Alta toxicidade	Baixa toxicidade
ICE	55,3	58,6

Legenda: IQA Ruim IET Hipereutrófico ICE Afastado

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O IQA apresentou melhora do Período 1 (2012 a 2014) em comparação ao Período 2 (2022). Apesar de continuar com a qualidade ruim, a média do segundo período foi superior ao do primeiro. Os parâmetros que mais contribuíram foram a redução de coliformes termotolerantes e fósforo no corpo hídrico. O IET continuou no estado de trofia hipereutrófico com o passar do tempo, mas a média do Período 2 (2022), foi menor que no primeiro período, demonstrando a melhora no índice em questão. Corroborando com o resultado de IQA, a melhora no IET se deu também pelos valores reduzidos de fósforo encontrados no corpo hídrico.

Os resultados dos índices demonstram a poluição do corpo hídrico por carga orgânica e efluentes domésticos. Ressalta-se que na Análise de Agrupamentos (AA), o ponto Pinhal 2 no primeiro período de estudo, estava presente no agrupamento juntamente com os pontos do Tega, demonstrando a contaminação mista (efluentes domésticos e industriais) no local. No entanto, no Período 2 (2022), observa-se que esse mesmo ponto mudou de grupo, apresentando melhora para contaminação industrial, mas ainda persistindo a contaminação orgânica.

Nessa sub-bacia há a presença da ETE Pinhal, inaugurada em 2014, sendo a segunda maior do município com potencial de atender até 130 mil habitantes (SAMAE, 2023). No ano de 2010, conforme apresentado na Tabela 46, a sub-bacia Pinhal tinha aproximadamente 99 mil habitantes na região. Faz-se necessário avaliar juntamente ao novo Censo de 2022 a quantidade de habitantes que a região possui atualmente, a fim de compreender se a ETE possui capacidade de atender a todos, ou se deve planejar a expansão do tratamento na região. Além disso, os órgãos responsáveis devem realizar a avaliação e orientação aos moradores da sub-bacia, para que façam a ligação na rede coletora de efluentes, para que assim chegue a ETE a vazão necessária para o tratamento.

O IT apresentou melhora durante os dois períodos de estudo. No Período 1 (2012 a 2014) apresentou alta toxicidade em todas as campanhas devido a presença de chumbo, níquel

e nitrogênio amoniacal acima do permitido. No Período 2 (2022) o IT em três campanhas média toxicidade e uma alta, devido apenas ao parâmetro nitrogênio amoniacal.

O ICE apresentou avanços com o tempo, onde a média do índice se mostrou mais elevada no Período 2 (2022), apesar de ainda ser classificado como afastado do enquadramento proposto. O ICE reflete os avanços obtidos nos demais índices que igualmente, no segundo período, demonstraram redução de concentração de parâmetros e conseqüentemente a melhora nos índices de qualidade.

6.5 RESULTADOS PUBLICADOS E SUBMETIDOS PARA PUBLICAÇÃO

Com base nos resultados obtidos pelo presente trabalho, foram elaborados um artigo para congresso e dois artigos que foram submetidos a revistas brasileiras. Os trabalhos publicados em congressos e revistas são detalhados nos quadros 5 e 6.

Quadro 5 - Resumo de artigos publicados em congressos

TIPO	TÍTULO	EVENTO/REVISTA	APÊNDICE
Artigo 1	Análise Temporal da Qualidade da Água da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Tega, Caxias do Sul/RS	7º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente	B

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Quadro 6 - Resumo dos artigos submetidos para publicação em revistas

TIPO	TÍTULO	REVISTA	APÊNDICE
Artigo 2	Análise da qualidade da água de rios urbanos no município de Caxias do Sul-RS utilizando estatística multivariada	Revista Caminhos de Geografia	C
Artigo 3	Análise do cumprimento das metas e eficácia do enquadramento de corpos d'água das bacias hidrográficas de Caxias do Sul/RS	Revista Brasileira de Geografia Física	D

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos pode-se concluir que os objetivos propostos no presente estudo foram alcançados, porém, os resultados apontam a possibilidade de estudos futuros para assim melhor compreender o panorama dos recursos hídricos de Caxias do Sul.

Devido aos dados brutos do Censo do IBGE de 2022 não estarem disponíveis até o presente momento, o trabalho limitou-se a apresentar dados e resultados de 2010. As informações de 2010 foram trabalhadas com o intuito de caracterizar a área urbana do município e demonstrar a funcionalidade e visualização dos dados do Censo. Com base nos dados de 2010, foi possível observar que Caxias do Sul possuía uma taxa de urbanização de 94% e que aproximadamente 40% da população residia na sub-bacia do Tega. Além disso, verificou-se que grande parte dos empreendimentos com licença para o lançamento de efluentes está localizado sobre essa sub-bacia. Ressalta-se também que o trabalho apresentou limitações quanto a análise de empreendimentos, tendo em vista que não se considerou a vazão de lançamento desses nem os empreendimentos com lançamentos irregulares.

Houve pequena evolução na qualidade da água de Caxias do Sul, entretanto ainda longe do que se considera esperado, principalmente para a contaminação por efluentes de origem orgânica, considerando a instalação de 5 ETEs no município durante o intervalo de tempo entre as análises do Período 1 e do Período 2. Com a implantação das ETEs seria esperado observar melhora significativa na contaminação dos rios, no entanto, um dos parâmetros que mais contribuiu com o resultado ruim de IQA foi o de coliformes termotolerantes, sendo esse, relacionado diretamente à contaminação por dejetos. O IET corrobora com o resultado do IQA, apresentando resultados de trofia da água elevados o que é característico de concentrações de matéria orgânica e nutrientes no corpo hídrico. Os dados da estatística multivariada confirmam o resultado, onde na CPI foi encontrado o conjunto de parâmetros que indicam forte contaminação das águas por despejos de efluentes de origem doméstica *in natura* ou parcialmente tratados nos corpos hídricos.

O município conta hoje com 9 ETEs em funcionamento, tendo em vista que a ETE Dal Bó foi desativada em janeiro de 2023, com capacidade de atender parcialmente a população urbana. Os resultados encontrados para qualidade da água demonstraram problemas nas políticas de tratamento de efluentes e a falha no sistema de esgotamento sanitário de Caxias do Sul. Essa falha pode estar associada a falta de conexão do sistema de esgoto das residências a rede coletora de esgoto pública o que acarreta a chegada de uma vazão baixa na ETE dificultando o tratamento para qual essa foi planejada. Tal fato demonstra, que ainda hoje

persiste a problemática quanto ao tratamento de efluentes no município, tendo em vista que se monitora com regularidade o efluente, mas não os rios, avaliando a eficácia do tratamento, mas não a efetividade real desse.

Ressalta-se que a vazão encontrada no Período 2 foi menor que a do Período 1, entretanto, em grande parte das sub-bacias a vazão não foi caracterizada como vazão de seca, pois ficou acima da Q90 de referência. Isso demonstra a importância de monitoramentos regulares a fim de reduzir efeitos pontuais de medição de vazão, podendo abranger períodos de vazões mais elevadas, compreendendo se a qualidade da água realmente não apresentou melhora, ou se os resultados obtidos se deram devido a um período mais seco dos rios.

Em termos de contaminação industrial, observou-se melhora no panorama geral dos recursos hídricos do município, que pode estar associado ao aumento da fiscalização e controle ambiental. O Índice de Toxicidade apresentou maior preocupação na sub-bacia do Tega que indicou contaminação alta por metais pesados, como cianeto, cromo, níquel e zinco. Apresentou também elevada toxicidade em diversas sub-bacias devido a presença de nitrogênio amoniacal. A CP3 da ACP corroborou com o resultado do IT, identificando a contaminação química da água através dos parâmetros de cobre, níquel, zinco, cianeto e pH, mas separando a variável nitrogênio amoniacal na CP2. Assim, sugere-se que os próximos estudos relacionados ao IT nas sub-bacias de Caxias do Sul, podem desconsiderar o nitrogênio amoniacal da análise, visando a compreensão da contaminação industrial, visto que esse parâmetro está associado à contaminação doméstica, e o IQA auxilia no entendimento desse tipo de contaminação. A Análise de Agrupamentos demonstrou também a contaminação orgânica e industrial da sub-bacia do Tega, diferentemente das demais sub-bacias, onde predomina a contaminação por efluentes domésticos.

A bacia hidrográfica é a parcela de território que melhor responde aos processos de mudança, por isso deve ser considerada na estruturação do planejamento urbano. A adoção desse princípio auxilia no planejamento integrado do território nas suas várias instâncias. Observa-se que a capacidade de suporte das bacias hidrográficas – considerando as necessidades urbanas e industriais – pode se constituir num importante indicador/limitador do crescimento urbano, servindo ainda como instrumento fundamental das decisões e, também, no monitoramento dos resultados das ações implementadas.

Com base nos dados de monitoramentos da qualidade da água e o entendimento da ocupação urbana da cidade, entende-se que a utilização da sub-bacia como uma unidade territorial de planejamento (UTP) torna mais eficiente o planejamento urbano integrado, tendo em vista que facilita o entendimento das áreas mais vulneráveis auxiliando na tomada de ações

prioritárias e assertivas nos problemas ambientais. Evidenciou-se no presente trabalho que a sub-bacia do Tega é distinta das demais, com a presença de contaminação orgânica e industrial, sendo necessária ações prioritárias e um olhar atento para essa, visto que é a maior do município.

Os resultados obtidos demonstram a importância de monitorar de forma regular a qualidade da água. Uma das principais dificuldades para se compreender as causas da qualidade da água encontrada no município é o fato das cidades serem orgânicas, dinâmicas, o que torna evidente a necessidade de estudos da qualidade das águas dos rios frequente, para assim tornar possível o entendimento de causas e efeitos. Também se faz necessária a busca por mais informação e geração de indicadores urbanos e que visem compreender o território, tendo em vista que os calculados no presente trabalho não foram suficientes para responder as perguntas das causas das contaminações.

8. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visto os resultados obtidos, este trabalho permite continuidade para trabalhos futuros a fim de acompanhar ao longo do tempo, a qualidade da água do município. Com base nos resultados do presente trabalho recomenda-se que em trabalhos futuros sejam estudadas as seguintes questões:

- Monitoramentos regulares acerca da qualidade da água no município, a fim de acompanhar e auxiliar o poder público na tomada de decisões para melhoria ambiental e avaliar a efetividade da implantação das redes separadoras absolutas.

- Monitoramento e análise de outros contaminantes industriais, além de cobre, cromo, níquel e zinco, tendo em vista as mais diversas atividades que o município comporta, para auxiliar na fiscalização e tomada de decisões ambientais.

- Monitoramento e análise da vazão de efluentes das empresas licenciadas no município para compreensão das cargas lançadas.

- Monitoramento e análise dos efluentes domésticos nas sub-bacias e estudo dos problemas associados as doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI).

- Atualização dos indicadores do estudo com base no Censo de 2022.

- Ampliação de estudos e indicadores que permitam compreender o território urbano.

Esses estudos auxiliam no entendimento das demandas e prioridades de programas e projetos do município, auxiliando ainda na melhora de regiões mais vulneráveis.

- Avaliação e criação de indicadores para compreensão da eficiência dos sistemas de coleta e tratamento das ETEs existentes em Caxias do Sul, e relação com a contaminação das sub-bacias.

- Modelagem das cargas orgânicas e não orgânicas considerando vazões e limites de lançamento, a fim de avaliar a capacidade de autodepuração do rio.

REFERÊNCIAS

ABEP - Critério Padrão de Classificação Econômica Brasil de 2010. 2012. Disponível em: <https://www.abep.org/criterio-brasil>. Acesso em: 03 out. 2023.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR n° 9.897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, jun.1987.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR n° 9.898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, jun.1987.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 37120:2021: Desenvolvimento sustentável de comunidades** — Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. Rio de Janeiro. 2021.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 37122:2020: Cidades e comunidades sustentáveis** – Indicadores para cidades inteligentes. Rio de Janeiro. 2020.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 37123:2021: Cidades e comunidades sustentáveis** – Indicadores para cidades resilientes. Rio de Janeiro. 2021.

Agência Nacional de Águas - ANA. **INDICADORES DE QUALIDADE - ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA)**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/gestao-da-agua>. Acesso em: 20 dez. 2022.

ALMEIDA, Suise Carolina Carmelo de; GONÇALVES, Luciana Márcia. Indicadores de Sustentabilidade Urbana: panorama das principais ferramentas utilizadas para gestão do desenvolvimento sustentável. **Revista Científica Anap Brasil**, [S.L.], v. 11, n. 22, p. 39-53, 15 out. 2018. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. <http://dx.doi.org/10.17271/19843240112220181857>.

ALVES, Igor Charles Castor; EL-ROBRINI, Maâmar; SANTOS, Maria de Lourdes Souza; MONTEIRO, Sury de Moura; BARBOSA, Leandro Patrick Ferreira; GUIMARÃES, José Tasso Felix. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazônica**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 115-124, mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672012000100014>.

AMARO, C.A. Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. 2009. 224 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no BRASIL**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. -: Ana - Agência Nacional de Águas, 2005. Disponível em:

http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf. Acesso em: 19 jan. 2022.

APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ª edição, 2017.

AQUINO, A. R. et al. Indicadores de desenvolvimento sustentável: uma visão acadêmica. 1. ed. Rio de Janeiro: Rede Sirius, 2014.

Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 08 de out. 2023.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BASTOS, Suzana Quinet. *et al.* Evidências entre a Qualidade das Bacias Hidrográficas e as Características dos Municípios de Minas Gerais. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, [S.L.], v 56, n. 01, p. 143-162, jan/mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560109>. Disponível em: <http://https://www.scielo.br/j/resr/a/YfL6wzXsfXVsW4YpWxYcksC/?lang=pt>. Acesso em: 3 abr. 2022.

BITENCOURT, Camila; FERNANDES, Cristóvão; GALLEGO, Carlos. Panorama do enquadramento no Brasil: uma reflexão crítica. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 9-9, 11 jul. 2019. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v16e9>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=210&SUMARIO=5346>. Acesso em: 28 dez. 2022.

BRASIL. Constituição (1934). Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643compilado.htm. Acesso em: 22 jun. 2021.

BRASIL. Constituição (1997). Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 22 jun. 2021.

BRASIL. Constituição (2000). Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020). Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19984.htm. Acesso em: 22 jun. 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 28 jul. 2020.

BRASIL. Constituição (2007). Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 25 jul. 2023.

BRASIL. Constituição (2020). Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrôpole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados.. Brasília, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#view. Acesso em: 18 set. 2023.

BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto – 2021. Brasília: SNIS, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/diagnosticos_snis. Acesso em: 07 jul. 2023.

BRAULIO-GONZALO, Marta; BOVEA, María Dolores; RUÁ, María José. Sustainability on the urban scale: proposal of a structure of indicators for the spanish context. **Environmental Impact Assessment Review**, [S.L.], v. 53, n. 1, p. 16-30, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2015.03.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925515000311>. Acesso em: 07 mar. 2022.

BROWN, R. M.; McLELLAND, N. I.; DEININGER, R. A.; TOZER, R. G. A. Water quality index – Do we dare? *Water & Sewage Works*, Chicago, p. 339-343, 1970.
CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**. Vol 22 (2). 1977.

CARNEIRO, F. M. F.; FRAGA, M. DE S.; REIS, G. B.; TOZI, T.; SILVA, D. D. DA. Proposta de enquadramento de corpos hídricos em classes de uso na bacia hidrográfica do rio Piranga utilizando geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 05, p. 2491–2502, 2020.

CAXIAS DO SUL. Constituição (2005). Lei Complementar nº 246, de 6 de dezembro de 2005. Estabelece conceitos e funções da zona das águas (za) - bacias de captação e acumulação de água para o abastecimento do município de Caxias do Sul, disciplina o uso e parcelamento do solo para estes espaços e dá outras providências. Caxias do Sul, Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rs/c/caxias-do-sul/lei-complementar/2005/24/246/lei-complementar-n-246-2005-estabelece-conceitos-e-funcoes-da-zona-das-aguas-za-bacias-de-captacao-e-acumulacao-de-agua-para-o-abastecimento-do-municipio-de-caxias-do-sul-disciplina-o-uso-e-parcelamento-do-solo-para-estes-espacos-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 22 jun. 2021.

CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Water Quality Index: Technical Report. In: Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. 2001. Disponível em: http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrprftctsht_e.pdf. Acesso em: 10 abr. 2013.

CENTENO, Luana Nunes; CECCONELLO, Samanta Tolentino; GUEDES, Hugo Alexandre Soares; LEANDRO, Diuliana; MORAES, Philippe. Monitoramento da qualidade da água do arroio São Lourenço/RS. **Revista de Ciência e Inovação**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 67-76, 23 dez. 2016. Revista de Ciencia e Inovacao. <http://dx.doi.org/10.26669/2448-4091119>. Disponível em: <https://periodicos.iffarroupilha.edu.br/index.php/cienciainovacao/article/view/119>. Acesso em: 19 jun. 2023.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CETESB. L5.306: determinação de pigmentos fotossintetizantes, Clorofila - A, B e C e Feofitina-A. São Paulo, 1990. 22 p.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. 2021. Apêndice E – Índices de Qualidade das Águas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 14 jul. 2022.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. 2021. Apêndice C Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 14 jul. 2022.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Ficha de Informação Toxicológica - Cianeto. 2017. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cianetos.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2021.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

CORNELLI, R. et al. Análise da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água de duas subbacias hidrográficas do município de Caxias do Sul. 2016. Publicado em *Scientia Cum Industria (Sci. Cum Ind.)*, v.4, n. 1, 1 — 14, 2016.

COSTA, Carlos Augusto; MATOS, Ana Cristina. CIDADES INTELIGENTES: O DESAFIO DO PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL. In: FGV PROJETOS (Rio de Janeiro), p. 186-222. **CIDADES SUSTENTÁVEIS**. 32. ed. Rio de Janeiro: FGV Projetos, 2018. p. 1-366.

DERISIO, Jose Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 228 p. ISBN: 9788579752735.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FAVERO, Luiz P; BELFIORE, Patrícia. **Manual de Análise de Dados - Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®**. Elsevier Editora: Grupo GEN, 2017. 9788595155602. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155602/>. Acesso em: 04 abr. 2022.

FEIL, Alexandre André; SCHREIBER, Dusan. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos Ebape.Br**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 667-681, jul. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395157473>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cebape/a/hvbYDBH5vQFD6zfjC9zHc5g/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 27 mar. 2022.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Hoesler. Índice de Qualidade das Águas. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br>>. Acesso em 01 agosto. 2023.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Hoesler. Licenças Ambientais. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br>>. Acesso em 01 jun. 2023.

FIA, Ronaldo; TADEU, Hugo; MENEZES, João; FIA, Fátima; OLIVEIRA, Luiz. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 267-275, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p267-275>.

FINKLER, Nicolás Reinaldo *et al.* Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 782-792, 28 out. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1468>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/khyRgGGTH53kJ3gYn5w8SdL/?lang=pt>. Acesso em: 07 maio 2023.

FINOTTI, Alexandra Rodrigues *et al.* **Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas**. Caxias do Sul, RS: EDUCS, 2009. 270 p.

FRAGA, M. S.; ALMEIDA, L. T.; ABREU, M. C.; SILVA, F. B.; REIS, G. B.; FERREIRA, R. G. Avaliação da qualidade das águas superficiais na circunscrição hidrográfica do rio Piranga utilizando análise estatística multivariada e não-paramétrica. **Revista Brasileira de**

Geografia Física, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 694-710, 14 abr. 2021. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p694-710>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/244937>. Acesso em: 04 jun. 2023.

GUEDES, Hugo A. S.; SILVA, Demetrius D. da; ELESBON, Abrahão A. A.; RIBEIRO, Celso B. M.; MATOS, Antonio T. de; SOARES, José H. P.. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 558-563, maio 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662012000500012>.

GHENO, Patricia Zwetsch. **Indicador de Desempenho Urbano: Metodologia e Perspectiva de Integração**. 2009. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GOMES, M. da C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 134–149, 2017. DOI: 10.14295/ras.v31i1.28617. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28617>. Acesso em: 8 jun. 2023.

GOMES, M. C. R.; MENDONÇA, L. A. R. Análise estatística multivariada aplicada em amostras de água subterrânea da região do Cariri, sul do Estado do Ceará. Pesquisas em Geociências, [S. l.], v. 44, n. 3, p. 453–465, 2017. DOI: 10.22456/1807-9806.83269. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/83269>. Acesso em: 14 jun. 2023.

GOMES, F. B. M.; DE PAULA, D. P. DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET) EM RIO URBANO LOCALIZADO NO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 730–744, 2019. DOI: 10.35701/rcgs.v21n2.487. Disponível em: [//rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/487](http://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/487). Acesso em: 8 jul. 2023.

HAIR., Joseph F Jr.; BLACK, William C.; BABIN, Barry J.; et al. **Análise multivariada de dados**. São Paulo: Grupo A, 2009. *E-book*. ISBN 9788577805341. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577805341/>. Acesso em: 23 ago. 2023.

HERMIDA, Augusta et al.. La Ciudad es Esto. Medición y representación espacial para ciudades compactas y sustentables, Universidad de Cuenca, Cuenca. Marzo 2015. ISBN: 978-9978-14-296-7.

HERMIDA, Augusta *et al.*. **Ríourbano: Medición, representación espacial y estrategias de diseño para las márgenes de los ríos urbanos**, Universidad de Cuenca, Cuenca. Febrero 2021. ISBN: 978-9978-14-460-2

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. de O. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. **ES Engineering and Science**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016. DOI: 10.18607/ES201653398. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/3398>. Acesso em: 2 abr. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 mai. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 jul. 2023.

IBGE. Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br>. Acesso em: 20 jan. 2024.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Monitoramento de Qualidade das Águas.** 2022. Minas Gerais. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/monitoramento-de-qualidade-das-aguas>. Acesso em: 08 fev. 2022.

JASP. Software estatístico JASP. 2023. Elaborado pela Universidade de Amsterdã. Disponível em: <https://jasp-stats.org/>. Acesso em: 23 jun. 2023.

KARIS, Clara María; MUJICA, Camila Magalí; FERRARO, Rosana. INDICADORES AMBIENTALES Y GESTIÓN URBANA. RELACIONES ENTRE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS URBANOS Y SUSTENTABILIDAD. **Cuaderno Urbano**, [S.L.], v. 27, n. 27, p. 9, 4 fev. 2020. Universidad Nacional del Nordeste. <http://dx.doi.org/10.30972/crn.27274117>. Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185336552019000200001&lng=en&tlng=en. Acesso em: 29 mar. 2022.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento. São Paulo. 2004. 238f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEITE, Carlos. Cidades Sustentáveis Cidades Inteligentes. Desenvolvimento sustentável num planeta urbano. Porto Alegre: Grupo A, 2012. 9788540701854. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788540701854/>. Acesso em: 15 mar. 2022.

LEMO, Ronaldo; STEIBEL, Fabro; VICENTE, Victor. PARTICIPAÇÃO CIDADÃ E A CRISE AMBIENTAL NAS CIDADES: CAMINHOS PARA O CRESCIMENTO SUSTENTÁVEL. In: FGV PROJETOS (Rio de Janeiro), p. 86-114. **CIDADES SUSTENTÁVEIS**. 32. ed. Rio de Janeiro: FGV Projetos, 2018. p. 1-366.

LIU, S., MANSON, J.E., STAMPFER, M.J., HU, F.B., GIOVANNUCCI, E., COLDITZ, G.A., HENNEKENS, C.H., WILLETT, W.C., 2000. A prospective study of whole-grain intake and risk of type 2 diabetes mellitus in US women. *American journal of Public Health* [online] 90, 1409–1415. Disponível: <https://doi.org/10.2105/AJPH.90.9.1409>

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomass** – Coleção 7 e 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 17 out. 2023.

MARINHO, Eduardo Ribeiro; MOREIRA, Fernanda da Silva de Andrade; BRITO, Wedlas Júnior Pereira; MOREIRA, Fábio Luiz Baia Barreto; SILVA, Emerson Renato Maciel da;

SANTOS, Leticia Furtado dos. Avaliação da Ação Urbana no Canal Água Cristal em Belém, Pará, um Estudo Sobre Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 322, 6 abr. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p322-335>.

MARTINS, Lorraine Campos; ROSOLEN, Vânia Sílvia. A APLICAÇÃO DO CONCEITO DE CIDADE SAUDÁVEL POR MEIO DE INDICADORES SÓCIO-AMBIENTAIS: uma análise da microrregião de Uberlândia - MG. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, [S.L.], v. 6, n. 16, p. 2-25, maio 2015. Disponível em: <http://www.observatorium.ig.ufu.br/pdfs/6edicao/n16/1.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2022.

MEDEIROS, Rafael Brugnolli; PINTO, André Luiz; ALVES, Lorrane Barbosa. Evolução do uso e cobertura das terras e seus impactos na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Córrego Bonito (Mato Grosso do Sul, Brasil). **Finisterra**, [S.L.], v. 117, n. 56, p. 215-236, 28 ago. 2021. *Finisterra*. <http://dx.doi.org/10.18055/FINIS19702>. Disponível em: <https://scielo.pt/pdf/fin/n117/0430-5027-fin-117-215.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2022.

MENEZES, João Paulo Cunha *et al.* Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 519-534, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016145405>.

MESQUITA, Luís Fábio Gonçalves de. **GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO: ATORES, AÇÕES CONFLITOS**. 2017. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/25264/1/2017_Lu%c3%adsF%c3%a1bioGon%c3%a7alvesdeMesquita.pdf. Acesso em: 28 nov. 2021.

MORAIS, José Luciano Mendonça; FADUL, Élvia; CERQUEIRA, Lucas Santos. LIMITES E DESAFIOS NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS POR COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: um estudo nos estados do nordeste do Brasil. **Revista Eletrônica de Administração** (Porto Alegre), [S.L.], v. 24, n. 1, p. 238-264, abr. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-2311.187.67528>.

NASCIMENTO, Bruno Lucio Meneses; GOMES, Dianna Rayla Carneiro de Souza; COSTA, Gleison Pereira; ARAËJO, Suely Silva; SANTOS, Luiz Carlos Araújo dos; OLIVEIRA, Jorge Diniz de. Comportamento e avaliação de metais potencialmente tóxicos (Cu (II), Cr (III), Pb(II) e Fe(III)) em águas superficiais dos Riachos Capivara e Bacuri Imperatriz-MA, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 369-378, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000113620>.

NACIONES UNIDAS - ONU. Resolución n° 70/1, de 21 de outubro de 2015. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. Transformar Nuestro Mundo: La Agenda 2030 Para El Desarrollo Sostenible. Distr. general, 21 out. 2015. Traduzido por Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf. Acesso em: 20 jun. 2021.

NETO, Vicente S. **Cidades Inteligentes - Guia para Construção de Centros Urbanos Eficientes e Sustentáveis**. São Paulo: Editora Saraiva, 2018. 9788536530314. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536530314/>. Acesso em: 15 mar. 2022

OKUMURA, Adriana Tieni Ramos *et al.* Determinação da Qualidade da Água de um Rio Tropical sob a perspectiva do Uso do Solo e Cobertura Vegetal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1835-1850, 11 jun. 2020. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1835-1850>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/243982>. Acesso em: 09 fev. 2022

OPAS 1996. *El Movimiento de Municipios Saludables: una Estrategia para la Promoción de la Salud en América Latina*, v. 96-14, abril, 1996.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). – Organização das Nações Unidas. **Declaração Universal dos Direitos da Água**, de 22 de março de 1992. ONU.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Documentos temáticos da Habitat III. Cidades Inteligentes, 31 maio 2015. Disponível em: < https://uploads.habitat3.org/hb3/21-Cidades-Inteligentes_final.pdf >. Acesso em: 17 mar.2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050. Fev, 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>>. Acesso em: 17 mar.2022.

OUYANG, Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water Research*, Amsterdam, v. 39, n. 12, p. 2621-2635, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.024>

PASTRO, M. S.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, F. R. De; FERRAZ, F. T. Estatística Multivariada aplicada à análise de qualidade da água em diferentes ambientes de microbacias hidrográficas. **Nativa**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 185–191, 2020. DOI: 10.31413/nativa.v8i2.8047. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/8047>. Acesso em: 8 jun. 2023.

PINTO, Carolina Cristiane; FARIA, Fábio Palmer Caldeira Parreiras de; ALMEIDA, Gustavo Matheus de. Utilização de modelo baseado em análise por componentes principais para identificação de condições críticas de qualidade de água superficial. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 288-305, 8 fev. 2021. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.004.0024>. Disponível em: <https://sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.004.0024>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PINTO, Lilian Vilela Andrade; ROMA, Talita Nazareth de; BALIEIRO, Kátia Regina de Carvalho. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Cerne**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 495-505, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-77602012000300018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/fwFZsKZV4mVXqLX98sYtcHb/?lang=pt>. Acesso em: 13 mar. 2022.

PINTO, Carolina Cristiane *et al.* Análise dos Valores do Índice de Conformidade ao Enquadramento no Baixo Rio das Velhas, situado na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. In: I Simpósio Da Bacia Hidrográfica Do Rio São Francisco, 1., 2016, Juazeiro. Anais [...]. Juazeiro: SBHSF, 2016. p. 2-9. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2019/06/An%C3%A1lise-dos-valores-do-%C3%ADndice-de-conformidade-ao-enquadramento-no-Baixo-Rio-das-Velhas-situado-na-BH-do-SF.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

POLAZ, Carla Natacha Marcolino; TEIXEIRA, Bernardo Arantes do Nascimento. Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). **Engenharia Sanitária Ambiental**, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 411-420, set. 2009.

QUINELATO, Raquel Viana *et al.* Determinação da qualidade da água superficial e sua compatibilidade com os múltiplos usos: estudo de caso do estuário do rio Caraíva. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 037-057, 16 abr. 2021. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p037-057>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/248978>. Acesso em: 03 jun. 2023.

RAMOS, Adolfo de Souza; OLIVEIRA, Vicente de Paulo Santos de; ARAÚJO, Thiago Moreira de Rezende. Qualidade da água: parâmetros e métodos mais utilizados para análise de água de recursos hídricos superficiais. *Holos Environment*, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 205, 1 jul. 2019. *Lepidus Tecnologia*. <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i2.12315>.

REZENDE, Elcio Nacur; RIBEIRO, Patrícia de Freitas Reis Vilela. A OBRIGAÇÃO DE INSTALAÇÃO DOMÉSTICA DE REDE DE ESGOTO FRENTE AO NOVO MARCO DO SANEAMENTO BÁSICO: ESTUDO SOBRE AS ALTERAÇÕES PROMOVIDAS PELA LEI 14.026/2020. **Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade**, Encontro Virtual, v. 1, n. 8, p. 76-96, jan. 2022. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/revistaDireitoUrbanistico/article/view/8816>. Acesso em: 11 jul. 2023.

RIBEIRO, TG; BOAVENTURA, GR; DA CUNHA, LS; PIMENTA, SM. Estudo da qualidade das águas por meio da correlação de parâmetros físico-químicos, bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns. **Geochimica Brasiliensis**, [S. l.], v. 30, n. 1, pág. 84, 2016. DOI: 10.21715/GB2358-2812.2016301084. Disponível em: <https://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/449>. Acesso em: 8 jun. 2023.

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: E. Blücher, 1991. 332 p.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Constituição (1994). Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 1 jan. 1995. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/10.350.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 50, de 11 de novembro de 2008. Aprova o enquadramento das águas das bacias hidrográficas dos rios Caí, Pardo, Tramandaí e do Lago Guaíba. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>. Acesso em: 01 dez. 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 53, de 20 de abril de 2009. Aprova os prazos máximos para atingir a meta final e a meta intermediária do enquadramento das águas da bacia hidrográfica do Rio Caí. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>. Acesso em: 01 dez. 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução CRH nº 141, de 21 de março de 2014. Institui o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul - PERH/RS. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22164454-resolucao-crh-141-2014-institui-plano-estadual-recursos-hidricos-estado-rs-28-03.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução Consema 372, de 22 de fevereiro de 2018. Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202112/02170410-372-2018-atividades-licenciaveis-compilada.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (SEMA). (org.). **Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul**. 2021. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 30 nov. 2021.

ROBLEDO, José; CHACÓN, Eddi Alejandro Vanegas; ÁLVAREZ, Nancy García. Calidad del agua del río Túnico como respuesta al uso del suelo. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, San José de Las Lajas, v. 23, n. 3, p. 41-45, set. 2014. ISSN 2071-0054. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000300007&lng=en&tlng=en. Acesso em: 12 mar. 2022.

ROCHA, César Henrique Barra; PEREIRA, Amanda Maia. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 176-187, 26 jan. 2016. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1590>.

RODRIGUES, D. da P.; NOLASCO, M. C.; DE JESUS, T. B. BACKGROUND DE QUALIDADE DE ÁGUA DO ALTO PARAGUAÇU - CHAPADA DIAMANTINA - BAHIA - BRASIL. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 68, p. 157-167, 2018. DOI: 10.14393/RCG196811. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40387>. Acesso em: 8 jun. 2023.

RODRIGUES JUNIOR, Jocimar Coutinho; PAIVA, Anderson Luiz Ribeiro de; MOTTERAN, Fabricio; OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel de; SILVA FILHO, José Adalberto da; PESSOA, Jonas Onis. Variância de parâmetros de qualidade da água e análise de agrupamentos na bacia hidrográfica do rio Goiana, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 3013-3031, nov. 2022. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p3013-3031>.

RUEDA, Salvador (ed.). **PLAN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD URBANA DE VITORIA-GASTEIZ**. Barcelona: Agência de Ecología Urbana de Barcelona, 2010.

SAENZ, Itzkuauhtli Zamora; HIRIART, Marisa Mazari; LEÑERO, Lucía Almeida. Sistema de indicadores para la recuperación de ríos urbanos. El caso del río Magdalena, Ciudad de México. **Acta Universitaria**, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 53-65, 26 fev. 2018. University of Guanajuato. <http://dx.doi.org/10.15174/au.2017.1520>. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662017000600053. Acesso em: 13 mar. 2022.

SALTOS, R. V. A., Rodríguez, L., Sucoshañay, D., & Bucaram, E. (2017). Caracterización preliminar de calidad de aguas en subcuenca media del río Puyo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXVIII (2), 59–72. <https://doi.org/1815-591X>

SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Esgoto. 2022. Disponível em: <https://www.samaecaxias.com.br/Pagina/Index/10043>. Acesso em: 23 mar. 2022.

SANCHEZ, Enrique Moreno. Indicadores para el estudio de la sustentabilidad urbana en Chimalhuacán, Estado de México. **Estudios Sociales (Hermosillo, Son.)**, Estado de México, v. 22, n. 43, p. 160-186, jun. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/pdf/estsoc/v22n43/v22n43a7.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2022.

SANTANA, D.P. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANT'ANA, A. C.; VITAL, M. J. S.; SILVA, H. E. B. Influência da urbanização na qualidade da água do Rio Branco e afluentes no município de Boa Vista, Roraima, Amazônia brasileira. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, e6, 2019. <https://dx.doi.org/10.21168/rega.v16e6>.

SANTOS, Irani et al. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento - LACTEC, 372p. Curitiba – Paraná, 2001.

SANTOS, Gleici Pérola de Oliveira dos. **Aplicação de Indicadores de Sustentabilidade em Bairros da Cidade de Bragança**. 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança, 2017. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/14401>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SANTOS, R. C. L. *et al.* Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23(1), 33–46. 2018. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017159832>

SCHMITZ, Michele. **ANÁLISE DE METAIS BIODISPONÍVEIS EM SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TEGA - RS**. 2017. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/3439/Dissertacao%20Michele%20Schmitz.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SCHNEIDER, Vania Elisabete (org.). **Ampliação de rede de monitoramento qualitativo das bacias urbanas do Município de Caxias do Sul**: relatório conjuntura. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2014. 211 p.

SCHNEIDER, Vania Elisabete *et al.* Impacto de córregos urbanos. Estudo de caso: Arroio Pinhal, Caxias do Sul. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 5º., 2016, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: p. 1-8. Disponível em: https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=721&ano=_quinto. Acesso em: 08 fev. 2022.

SCHNEIDER, Vania Elisabete *et al.* ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA DA SUB-BACIA DO RIO TEGA – RS/BR. **Sistematização de Uma Agenda Para Questões Socioambientais**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 16-26, 15 abr. 2020. Atena Editora. <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.0562015043>.

SCHNEIDER, Vania Elisabete *et al.* Avaliação da qualidade da água da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Tega considerando a influência da urbanização. **Gestão e Tecnologias para o Meio Ambiente**: visões e ações interdisciplinares. Volume 2. Recursos Hídricos e Saneamento, Caxias do Sul, v. 2, p. 182-191, 12 nov. 2021. EDUCS. <http://dx.doi.org/10.18226/9786558071167>.

SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antonio F. M. (ed.). **Conceitos de Bacias Hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus, Ba: Editus, 2002. 281 p. ISBN: 85-7455-053-1. Disponível em: http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/conceitos_de_bacias.pdf. Acesso em: 07 fev. 2022.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente de Caxias do Sul. Disponível em: <https://caxias.rs.gov.br/gestao/secretarias/meio-ambiente>. Acesso em: 05 jun. 2023.

SIA. Sistema de Informação Ambiental. Universidade de Caxias do Sul. 2023. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/>. Acesso em: 05 fev. 2023.

SILVA, L.P. Hidrologia, Engenharia e Meio Ambiente. Elsevier. ed.1, Rio de Janeiro, 2015.

SILVA, Mayane Bento; HERREROS, Mário Miguel Amin Garcia; BORGES, Fabricio Quadros. GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS COMO POLÍTICA DE GERENCIAMENTO DAS ÁGUAS NO BRASIL. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 101-115. Março. 2017. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/19834659>.

SODRÉ, Fernando Fabríz. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. **Artigos Temáticos do Aqqua**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 9-16, jan. 2012. Disponível em: <https://www.aqqua.unb.br/images/Artigos/Tematicos/difusa.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2021.

SOUZA, Gisele Silva de; CECCONELLO, Samanta Tolentino; CENTENO, Luana Nunes. Análise espacial de similaridade da qualidade da água de um rio localizado no sul do Rio Grande do Sul. **Revista Ambientale**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 38-49, 21 dez. 2021. Universidade Estadual de Alagoas. <http://dx.doi.org/10.48180/ambientale.v13i4.319>.

SOUZA, Josimar dos Reis de; SOARES, Beatriz Ribeiro. Em busca de cidades saudáveis: metodologia de análise de indicadores ambientais urbanos em Uberlândia, minas gerais. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 141-157, 1 jan. 2017. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. <http://dx.doi.org/10.17271/1980082713120171496>. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1496. Acesso em: 30 abr. 2022.

SOUZA *et al.* (2020) - Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine - Remote Sensing, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735 doi: 10.3390/rs12172735

SUTIL, Thaise *et al.* ANÁLISE DA QUALIDADE HÍDRICA DO RIO TEGA, CAXIAS DO SUL- RS, BRASIL. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 124-142, 27 abr. 2018. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018124-142>.

TELES, Aislã. **Ligações domiciliares de esgoto e sua importância ambiental**. 2015. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14946/1/MD_GAMUNI_I_2014_3.pdf. Acesso em 11 jul. 2023.

TEODORO, Valter Luiz Iost *et al.* O CONCEITO DE BACIA HIDROGRÁFICA E A IMPORTÂNCIA DA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA PARA O ENTENDIMENTO DA DINÂMICA AMBIENTAL LOCAL. **Revista Uniara**, Araraquara, v. 20, p. 136-156, 2007.

TEODORO, Anderson *et al.* Implementação do conceito Capacidade de Diluição de Efluentes no modelo de qualidade da água QUAL-UFGM: estudo de caso no rio Taquarizinho (MS). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 275-288, set. 2013. FapUNIFEP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522013000300010>.

TRATA BRASIL. **Água**. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/agua>. Acesso em: 23 jun. 2021.

TUCCI, Carlos E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 22, n. 63, p. 97-112. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrhrvtkxybFsjYQtx7v/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 dez. 2022.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 626 p.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. **Recursos Hídricos no Séc. XXI**. Recursos Hídricos no Séc. XXI: Oficina de Textos, 2011. ISBN: 9788579750120.

ULIAN, Giovana. AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA PARA A GESTÃO URBANA ATRAVÉS DE INDICADORES DE “HIDRICIDADE”. 2015. 308 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doctorado En Arquitectura y Urbanismo, Universidad del Bio- Universidad del Bio-Bio, Concepción, 2015.

UNIVERSIDAD DE CUENCA (Cuenca). **LlactaLAB**: cidades sustentáveis. 2022. Disponível em: <https://llactalab.ucuenca.edu.ec/que-es-llactalab-2/>. Acesso em: 08 fev. 2022.

VANZELA, Luiz. S.; HERNANDEZ, Fernando B. T.; FRANCO, Renato A. M.. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 55-64, jan. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wYWM8Ws6jCnzYQrVvJx3fzJ/?lang=pt>. Acesso em: 09 fev. 2022.

VEIGA, Denise Piccirillo Barbosa da; GUANDIQUE, Manuel Enrique Gamero; NARDOCCI, Adelaide Cassia. Land use and water quality in watersheds in the State of São Paulo, based on GIS and SWAT data. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 14, n. 5, p. 1, 10 set. 2019. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2325>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/QjkZD9gbFNQNRmCsQ8Qgfqg/?lang=en>. Acesso em: 29 mar. 2022.

VESSONI, Ricardo Henrique. **CONSERVAÇÃO DE NASCENTES E A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL POR OCUPAÇÃO DO SOLO NO BAIRRO NASCENTE IMPERIAL EM CONTAGEM (MG)**. 2019. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização de Gerenciamento em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-BDAN4C/1/tcc_ricardo_h_vessoni_2019_icb.pdf. Acesso em: 13 set. 2023.

VICINI, L; SOUZA, A. M. Análise Multivariada da Teoria à Prática. Santa Maria: Biblioteca Central da Ufsm, 2005. 215 p.

VIEIRA, Isabel Cristina Bohn; RIBEIRO, Eduardo Augusto Werneck. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água no rio Itajaí-Açu, Santa Catarina. **Revista de Geografia**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 396-420, 23 jul. 2021. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.51359/2238-6211.2021.248822>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/248822>. Acesso em: 07 fev. 2022.

VITOR, Cesar Fortunato Martínez. Indicadores urbanos y su influencia en el desarrollo sostenible urbano de Huancayo metropolitano - Perú. **Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 465-478, set. 2019. SciELO Agencia Nacional de Investigacion y Desarrollo (ANID). <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-33052019000300465>.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2005.

VON SPERLING, Marcos. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 588 p. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 7)

WHO - World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality. ed. 40. 2017.

YABE, Maria Josefa Santos; OLIVEIRA, Elisabeth de. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**, [S.L.], v. 21, n. 5, p. 551-556, out. 1998. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40421998000500003>.

APÊNDICE A – RESUMO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DA ÁGUA DO PERÍODO 2 (2022)

Ponto Belo 1

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	565	565	565	565	565	565
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	0,0090	0,0124	0,0206	<0,0073	<0,0073	0,0818
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	3,30E+04	5,40E+03	3,50E+04	1,60E+04	4,90E+03	4,90E+03
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,516	0,394	0,279	0,235	0,328	0,320
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O ₂ /L	1,0	3,6	2,7	3,3	2,6	4,7	6,0
Demanda química de oxigênio	mg O ₂ /L	4	17	19	12	26	17	14
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	0,935	0,740	0,433	0,468	0,825	0,740
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076
Nitrato	NO ₃ - mg/L	0,04	10,47	7,01	2,91	4,28	4,47	4,11
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ -N/L	3,07	3,36	<3,07	3,8	<3,07	4,63	3,89
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	3,92	3,75	4,65	3,40	5,88	4,60
ORP	(mV)	-	195	225	197	192	143	49
Oxigênio dissolvido	mg O ₂ /L	-	5,2	5,8	2,90	6,6	6,2	5,7
pH a 25°C		-	7,16	7,15	7,36	7,23	7,41	7,88
Sólidos totais	mg/L	-	310	302	186	174	188	248
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	148	66,0	154	108	176	242
Temperatura da amostra	°C	12,0	27,2	20,5	18,62	19,18	19,1	22,8
Temperatura do ar	°C	-	32	24	22	22	24,5	28
Turbidez	NTU	-	1,6	1,9	7,3	2,2	2,8	1,4
Vazão	m ³ /s	-	0,0918	0,0804	0,1534	0,1373	0,1855	0,0953
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,0251	0,0250	0,0273	0,0261	0,0696	0,0404
Espumas		-	P	P	P	P	A	A
Óleos e Graxas		-	A	A	A	A	A	A
Materiais Flutuantes		-	A	A	P	A	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Faxinal 3

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	658	658	658	658	658	658
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	0,0117	0,0136	0,0167	<0,0073	<0,0073	0,0612
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	1600000	9200	22000	16000	28000	54000
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,611	0,362	0,161	0,156	0,154	0,316
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	0,0310	0,0148	0,1200	0,0378	0,0072	0,1285
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	6,8	1,8	3,4	4,8	2,4	15,9
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	34	23	8	21	15	48
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	0,500	0,520	0,221	0,239	0,314	0,342
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076
Nitrato	NO3- mg/L	0,04	3,31	6,49	3,1	2,54	1,97	4,61
Nitrogênio amoniacal	mg NH3-N/L	3,07	<3,07	<3,07	<3,07	<3,07	<3,07	<3,07
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	<2,8	<2,8	<2,8	<2,8	<2,8	<2,8
ORP	(mV)	-	168	203	181	169	138	68
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	5,3	7,5	3,4	7,6	8,1	6,6
pH a 25°C	-	-	7,41	7,43	7,49	7,27	7,24	7,90
Sólidos totais	mg/L	-	350	160	128	140	96,0	228
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	252	106	98	120	86,0	212
Temperatura da amostra	°C	12,0	25,2	20,7	18	15,3	15,5	19,1
Temperatura do ar	°C	-	31	24	20	15	20,5	27
Turbidez	NTU	-	7,0	3,7	5,1	6,7	3,8	6,3
Vazão	m ³ /s	-	0,0135	0,0151	0,1734	0,1972	0,1718	0,0649
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,0235	0,0151	0,0249	0,0272	0,0851	0,0130
Espumas	-	-	A	A	P	A	A	A
Óleos e Graxas	-	-	A	A	A	A	A	A
Materiais Flutuantes	-	-	A	A	A	A	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Maestra 2

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	605	605	605	605	605	605
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	<0,0073	0,0101	0,0158	<0,0073	<0,0073	0,0643
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	7900	5400	13000	9200	13000	13000
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,344	0,423	0,141	0,105	0,123	0,298
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	3,6	2,7	2,4	4,1	5,2	9,2
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	13	30	8	32	16	21
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	1,370	1,565	0,280	0,331	0,285	1,265
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076
Nitrato	NO3- mg/L	0,04	4,99	5,73	2,13	2,21	2,45	3,85
Nitrogênio amoniacal	mg NH3-N/L	3,07	4,20	8,4	<3,07	<3,07	<3,07	8,76
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	5,32	9,24	<2,8	<2,8	<2,8	10,03
ORP	(mV)	-	173	176	182	161	163	108
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	5,8	5,6	3,41	7,8	7,7	6,0
pH a 25°C	-	-	7,42	7,39	7,43	7,37	7,36	7,99
Sólidos totais	mg/L	-	164	260	142	316	72,0	168
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	150	216	134	178	60,0	154
Temperatura da amostra	°C	12,0	26,3	19,3	17,5	17,7	17,8	22,2
Temperatura do ar	°C	-	31	24	20	24	23	30
Turbidez	NTU	-	1,9	1,2	2,9	15,6	15,8	1,5
Vazão	m ³ /s	-	0,0584	0,0272	0,3598	0,3110	0,3583	0,1277
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,0111	0,0165	0,0177	0,0560	0,0309	0,0435
Espumas	-	-	A	A	P	A	A	A
Óleos e Graxas	-	-	A	A	P	A	A	A
Materiais Flutuantes	-	-	A	A	A	A	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Piaí 4

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	560	560	560	560	560	560
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	<0,01	0,102	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	0,0115	0,0182	0,0252	0,0090	0,0100	0,0795
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	24000	16000	13000	16000	24000	54000
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,334	0,318	0,192	0,164	0,217	0,303
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	0,0243	<0,0044	<0,0044	<0,0044	0,0046	0,0098
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	2,7	2,2	2,2	2,5	2,7	11,1
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	10	18	12	83	8	30
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	1,260	1,155	0,425	0,485	0,718	1,220
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	0,0598	0,0316	0,0166
Nitrato	NO3- mg/L	0,04	6,08	5,92	1,94	1,88	1,45	2,69
Nitrogênio amoniacal	mg NH3-N/L	3,07	3,92	5,04	<3,07	3,40	5,35	9,15
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	4,76	7,00	3,32	4,20	6,55	10,51
ORP	(mV)	-	183	185	183	151	118	71
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	5,9	6,4	3,29	7,8	7,7	6,2
pH a 25°C	-	-	7,28	7,24	7,42	7,44	7,47	7,97
Sólidos totais	mg/L	-	188	188	150	130	168	124
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	180	174	126	80,0	110	120
Temperatura da amostra	°C	12,0	24,9	18,7	18,1	16,8	17,5	21,6
Temperatura do ar	°C	-	30	22	19	22	22,5	27
Turbidez	NTU	-	3,3	1,8	2,4	2,5	3,3	7,2
Vazão	m ³ /s	-	0,04120	0,05880	0,2636	0,1885	0,2663	0,1682
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,0733	0,1085	0,0848	0,1225	0,1705	0,3200
Espumas	-	-	A	A	A	A	A	A
Óleos e Graxas	-	-	A	A	A	A	A	A
Materiais Flutuantes	-	-	A	A	A	A	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Pinhal 0

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	461	461	461	461	461	461
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	0,0073	0,0111	0,0204	0,0073	0,0073	0,0677
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	1,70E+04	1,60E+06	9,20E+04	1,60E+04	2,20E+04	2,40E+04
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,335	0,323	0,214	0,190	0,223	0,287
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	4,0	2,2	3,6	4,5	4,5	8,8
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	19	22	4	16	19	17
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	1,115	0,975	0,461	0,473	0,720	1,230
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076
Nitrato	NO3- mg/L	0,04	5,23	3,83	3,48	2,26	2,54	3,47
Nitrogênio amoniacal	mg NH3-N/L	3,07	3,36	4,55	<3,07	4,44	4,71	4,12
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	5,04	4,49	4,01	5,38	6,65	7,72
ORP	(mV)	-	187	164	156	142	109	113
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	6,3	7,0	3,63	8,0	7,8	6,6
pH a 25°C	-	-	7,04	7,2	7,24	7,28	7,15	7,42
Sólidos totais	mg/L	-	156	254	104	142	112	162
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	140	174	44,0	132	92,0	150
Temperatura da amostra	°C	12,0	21,4	16,8	14,6	15,8	16,1	20,2
Temperatura do ar	°C	-	24	18	12	16,5	20	27
Turbidez	NTU	-	2,6	3,2	3,8	3,4	3,89	3,2
Vazão	m ³ /s	-	0,2294	0,1249	0,6407	0,5760	0,5658	0,3580
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,0208	0,0273	0,0304	0,0385	0,0589	0,0248
Espumas	-	-	P	A	A	A	P	A
Óleos e Graxas	-	-	A	A	A	A	A	A
Materiais Flutuantes	-	-	A	A	A	A	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Pinhal 1

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	471	471	471	471	471	471
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	<0,0073	0,0109	0,0166	<0,0073	<0,0073	0,0601
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	1,30E+04	1,30E+03	1,30E+04	7,90E+02	2,30E+03	1,30E+04
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,337	0,320	0,228	0,203	0,246	0,302
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	7,2	2,7	2,9	4,4	4,2	9,1
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	23	26	14	27	11	16
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	1,230	0,97	0,459	0,634	0,840	1,340
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076
Nitrato	NO3- mg/L	0,04	4,80	5,02	2,62	2,11	2,61	1,47
Nitrogênio amoniacal	mg NH3-N/L	3,07	4,20	6,42	3,34	5,22	5,99	8,97
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	5,46	6,10	4,12	5,67	6,92	10,57
ORP	(mV)	-	190	190	167	159	151	133
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	6,6	7,1	3,73	8,2	8,0	6,9
pH a 25°C	-	-	7,33	7,37	7,37	7,43	7,43	7,75
Sólidos totais	mg/L	-	162	46,0	164	150	170	208
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	154	10	106	22,0	142	178
Temperatura da amostra	°C	12,0	22	17	14,4	15,3	16,4	20,8
Temperatura do ar	°C	-	26	19	12	16	21	27
Turbidez	NTU	-	2,3	2,7	2,7	3,2	2,8	3,1
Vazão	m ³ /s	-	0,1850	0,1770	0,5740	0,4430	0,4770	0,2510
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,0251	0,0258	0,0321	0,0450	0,0861	0,0233
Espumas	-	-	P	P	P	A	P	A
Óleos e Graxas	-	-	A	A	A	A	A	A
Materiais Flutuantes	-	-	A	A	A	A	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Pinhal 2

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	583	583	583	583	583	583
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	<0,0073	0,0112	0,0186	<0,0073	<0,0073	0,0694
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	3,30E+04	1,60E+04	2,20E+04	1,60E+04	5,40E+04	3,50E+04
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,278	0,277	0,240	0,210	0,259	0,266
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044	<0,0044
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	3,6	2,2	3,9	4,3	7,8	9,2
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	10	20	10	23	27	20
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	1,295	0,945	0,492	0,708	1,000	1,220
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076	<0,0076
Nitrato	NO3- mg/L	0,04	3,19	1,18	2,17	1,38	2,21	1,07
Nitrogênio amoniacal	mg NH3-N/L	3,07	6,16	7,09	4,92	6,42	7,32	10,80
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	8,4	7,49	6,93	7,20	9,07	12,51
ORP	(mV)	-	174	169	180	127	129	89
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	5,9	6,4	3,21	7,3	7,3	6,4
pH a 25°C	-	-	7,52	7,55	7,53	7,48	7,55	8,03
Sólidos totais	mg/L	-	152	82	160	280	128	120
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	146	76	128	190	126	106
Temperatura da amostra	°C	12,0	23,85	18,7	16,4	16,8	17,6	21,8
Temperatura do ar	°C	-	29	19	18	19	21,5	28
Turbidez	NTU	-	2,3	3,1	2,9	2,3	2,9	3,1
Vazão	m ³ /s	-	0,1632	0,1575	0,3511	0,2352	0,3228	0,1981
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,0438	0,0206	0,0333	0,0582	0,0669	0,0272
Espumas	-	-	A	A	A	P	P	A
Óleos e Graxas	-	-	A	P	P	P	A	A
Materiais Flutuantes	-	-	A	A	P	A	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Tega 3

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	727	727	727	727	727	727
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	0,0193	0,0150	0,0203	0,0087	0,0106	0,0847
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	1,60E+06	1,60E+05	3,50E+04	1,60E+06	3,50E+04	1,60E+06
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,539	0,503	0,458	0,381	0,520	0,455
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	<0,0044	<0,0044	0,0312	0,0060	<0,0044	<0,0044
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	28,9	15,9	40,9	59,3	30,8	151,9
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	76	57	61	117	56	228
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	2,950	2,900	2,070	1,280	2,750	1,545
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	<0,0076	0,181	<0,0076	<0,0076	<0,0076
Nitrato	NO3- mg/L	0,04	0,22	0,09	0,53	0,10	0,16	0,04
Nitrogênio amoniacal	mg NH3-N/L	3,07	23,25	3,07	17,74	21,35	24,91	25,89
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	26,89	23,86	22,82	26,19	27,09	30,13
ORP	(mV)	-	64	63	16	17	45	-5
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	1,74	2,13	0,51	2,87	1,60	0,17
pH a 25°C	-	-	7,69	7,69	7,63	7,5	7,54	8,15
Sólidos totais	mg/L	-	246	192	220	234	152	288
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	218	142	178	160	148	220
Temperatura da amostra	°C	12,0	25,5	21,6	18,4	17,1	21,2	23,7
Temperatura do ar	°C	-	30,2	23	17	16	22	29,5
Turbidez	NTU	-	27,1	19,4	10,5	30,2	29,3	32,8
Vazão	m ³ /s	-	0,1490	0,1461	0,1225	0,1151	0,0516	0,1523
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,0951	0,0410	0,0454	0,1620	0,2355	0,1530
Espumas	-	-	P	P	P	P	A	P
Óleos e Graxas	-	-	P	P	P	P	A	P
Materiais Flutuantes	-	-	P	P	P	P	P	P

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Tega 4

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	730	730	730	730	730	730
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	0,0462	0,0245	0,0317	0,0591	0,0223	0,1305
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	4,00E+04	9,20E+04	2,20E+04	1,60E+04	3,50E+04	1,60E+05
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,373	0,349	0,235	0,226	0,126	0,301
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	0,0258	0,0372	0,0693	0,1615	0,0225	0,0503
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	9,8	3,5	6,2	6,0	7,7	17,1
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	32	31	13	34	26	47
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	1,330	1,825	0,499	0,570	0,525	1,110
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	0,0219	0,0076	0,1360	0,0076	0,0412
Nitrato	NO3- mg/L	0,04	1,68	0,43	2,72	1,42	1,33	0,23
Nitrogênio amoniacal	mg NH3-N/L	3,07	10,36	<3,07	5,08	5,40	<3,07	13,79
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	11,77	12,41	5,51	6,05	2,87	15,12
ORP	(mV)	-	104	134	164	34	122	79
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	5,9	3,65	1,88	4,6	6,7	3,02
pH a 25°C	-	-	7,75	7,49	7,33	7,19	7,31	7,93
Sólidos totais	mg/L	-	180	176	156	146	34,0	188
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	156	142	112	116	34,0	156
Temperatura da amostra	°C	12,0	27,8	21,4	16,9	16,6	19,6	22,3
Temperatura do ar	°C	-	30	24	16,5	16	21	29
Turbidez	NTU	-	8,7	5,9	3,9	9,9	13,4	4,0
Vazão	m ³ /s	-	0,2101	0,1935	0,3561	0,1925	1,5218	0,1965
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,0598	0,0778	0,1445	0,3195	0,1002	0,2040
Espumas	-	-	A	P	P	A	A	A
Óleos e Graxas	-	-	A	P	P	P	A	A
Materiais Flutuantes	-	-	A	P	A	P	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Tega 5

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	666	666	666	666	666	666
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	0,029	0,020	0,053	0,052	0,046	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	0,0325	0,0520	0,0615	0,0896	0,0507	0,2465
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	1,70E+04	2,40E+04	3,50E+04	1,60E+04	9,20E+04	3,50E+04
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,458	0,424	0,310	0,368	0,364	0,316
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	0,0079	0,0322	0,034	0,0701	0,0467	0,0927
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	9,7	3,5	6,9	11,5	8,4	15,6
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	32	27	17	52	40	40
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	1,255	1,620	0,782	0,630	0,980	1,380
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	0,0928	<0,0076	0,4190	0,0862	0,2830
Nitrato	NO3- mg/L	0,04	0,48	0,21	1,91	0,56	1,30	0,23
Nitrogênio amoniacal	mg NH3-N/L	3,07	11,21	12,31	7,17	14,69	14,72	14,69
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	12,89	13,59	10,7	15,22	17,27	17,43
ORP	(mV)	-	124	119	117	65	77	35
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	4,5	4,1	2,45	5,0	7,5	7,0
pH a 25°C	-	-	7,64	7,56	7,5	7,65	8,03	8,63
Sólidos totais	mg/L	-	228	192	162	224	154	150
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	208	172	148	218	140	148
Temperatura da amostra	°C	12,0	24,3	19,8	17,3	20,8	20	23,6
Temperatura do ar	°C	-	26,5	23	18	25	24	27
Turbidez	NTU	-	7,7	8,2	3,6	11,9	11,3	6,9
Vazão	m ³ /s	-	0,2298	0,2445	0,3880	0,3165	0,5089	0,4785
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,1010	0,2250	0,1390	0,3110	0,2120	0,1460
Espumas	-	-	A	P	P	P	P	P
Óleos e Graxas	-	-	P	P	P	P	A	A
Materiais Flutuantes	-	-	P	P	P	P	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Tega 6

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	640	640	640	640	640	640
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	0,033	<0,01	0,061	0,411	0,158	0,207
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	0,0759	0,0471	0,1495	0,5220	0,2150	0,2880
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	4,60E+04	1,10E+04	1,60E+05	1,60E+04	1,70E+04	9,20E+04
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,261	0,221	0,309	0,256	0,324	0,276
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	0,0320	0,0205	0,0446	<0,0044	0,0287	0,0298
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	4,4	2,0	6,6	4,0	7,2	9,2
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	28	18	21	62	35	23
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	1,040	0,570	0,756	0,854	1,023	0,805
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	0,0149	0,0119	<0,0076	0,0633	0,2170	0,0966
Nitrato	NO ₃ - mg/L	0,04	2,24	0,65	1,94	1,28	1,14	0,44
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ -N/L	3,07	6,44	5,22	6,82	7,44	10,17	11,44
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	7,56	6,42	8,48	9,66	11,66	13,33
ORP	(mV)	-	81	140	74	57	56	34
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	6,9	7,4	3,4	7,7	7,7	7,2
pH a 25°C	-	-	7,99	7,89	7,99	7,98	7,94	8,6
Sólidos totais	mg/L	-	156	132	170	168	164	164
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	134	114	130	50	150	160
Temperatura da amostra	°C	12,0	23,2	19,6	19,6	20,2	19,4	23,3
Temperatura do ar	°C	-	28	22	22	25	25	29
Turbidez	NTU	-	4,4	3,9	6,8	2,9	4,2	4,1
Vazão	m ³ /s	-	0,0612	0,0535	0,1455	0,0499	0,0845	0,0541
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,4750	0,3580	0,2330	0,2190	0,8320	0,1765
Espumas	-	-	P	P	P	P	P	A
Óleos e Graxas	-	-	P	P	P	P	A	P
Materiais Flutuantes	-	-	P	P	P	P	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

Ponto Tega 9

Ensaio	UN	L.Q	COLETAS					
			02/02/2022	21/03/2022	09/05/2022	03/08/2022	26/09/2022	28/11/2022
Altitude	m	-	529	529	529	529	529	529
Cianeto Total	mg CN/L	0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Clorofila a	mg/m ³	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cobre total	mg Cu/L	0,0073	0,0284	0,0382	0,0407	0,0318	0,0129	0,0659
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1,8	3,30E+04	2,40E+04	3,50E+04	1,60E+04	5,40E+04	2,40E+04
Condutividade	µS/cm a 20°C	-	0,469	0,482	0,221	0,271	0,315	0,36
Cromo total	mg Cr/L	0,0044	0,0121	0,0304	0,0297	0,0158	0,0073	<0,0044
Demanda bioquímica de oxigênio	mg O2/L	1,0	7,7	4,4	3,4	5,6	7,0	13,7
Demanda química de oxigênio	mg O2/L	4	24	31	20	43	33	33
Fenol	µg/L	0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007
Fósforo total	mg P/L	0,016	1,255	1,375	0,476	0,770	1,000	1,510
Níquel total	mg Ni/L	0,0076	<0,0076	0,0259	<0,0076	0,0251	0,0111	0,0277
Nitrato	NO3- mg/L	0,04	2,58	1,82	2,05	1,76	1,19	0,09
Nitrogênio amoniacal	mg NH3-N/L	3,07	9,52	9,90	4,17	7,46	8,41	13,55
Nitrogênio total kjeldahl	mg N/L	2,8	11,07	15,94	6,15	9,39	11,23	16,37
ORP	(mV)	-	131	177	121	118	124	63
Oxigênio dissolvido	mg O2/L	-	7,0	7,3	3,48	7,8	7,8	7,2
pH a 25°C	-	-	7,88	7,78	7,86	7,88	7,88	8,48
Sólidos totais	mg/L	-	252	232	222	184	140	156
Sólidos Dissolvidos totais	mg/L	10,0	272	204	106	56,0	128	142
Temperatura da amostra	°C	12,0	23,3	17,9	19,6	20	18,5	23,1
Temperatura do ar	°C	-	27	21	22	27,5	24	29
Turbidez	NTU	-	5,1	4,5	15,4	3,1	5,5	6,0
Vazão	m ³ /s	-	0,3485	0,2710	2,0856	0,7040	1,1359	0,7280
Zinco total	mg Zn/L	0,0025	0,0980	0,1900	0,1085	0,1715	0,0433	0,0450
Espumas	-	-	A	A	P	P	P	A
Óleos e Graxas	-	-	A	A	A	P	A	A
Materiais Flutuantes	-	-	A	A	A	A	A	A

Nota: A (ausente); P (presente).

**APÊNDICE B – ARTIGO 1: ANÁLISE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA
DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TEGA, CAXIAS DO SUL/RS**



Análise Temporal da Qualidade da Água da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Tega, Caxias do Sul/RS

Daniela Menegat¹, Vania Elisabete Schneider², Taison Anderson Bortolin³

¹Universidade de Caxias do Sul (dmenegat1@ucs.br)

²Universidade de Caxias do Sul (veschnei@ucs.br)

³Universidade de Caxias do Sul (tabortol@ucs.br)

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados da avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) no rio Tega, localizado na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas nos períodos de 2012 a 2014 e 2022. Para tanto, foram analisados 5 pontos de monitoramento da qualidade da água localizados no perímetro urbano de Caxias do Sul. Os resultados analisados entre os anos de 2012 a 2014 foram extraídos do Sistema de Informações Ambientais (SIA), gerenciado pelo ISAM da Universidade de Caxias do Sul. As amostragens do ano de 2022 ocorreram em 6 campanhas realizadas nos meses de fevereiro, março, maio, agosto, outubro e novembro. O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi calculado com base nos parâmetros oxigênio dissolvido, coliformes, pH, DBO, fósforo total, temperatura, nitrogênio total, turbidez e sólidos totais. Os parâmetros foram analisados ainda quanto a classificação estabelecida pela Resolução CONAMA 357/05 segundo a qual o rio Tega, ao longo do trecho estudado, configura-se como classe 4 para todos os pontos de análise para ao menos um dos parâmetros analisados. Em relação ao IQA, evidenciou-se que passados 10 anos de monitoramento os índices de qualidade não apresentaram melhoras uma vez que, a qualidade da água continua ruim em quase todos os pontos. Destaca-se que o monitoramento frequente do corpo hídrico auxilia no entendimento da sua qualidade permitindo analisar o efeito das medidas de saneamento e controle da poluição e subsidiar a tomada de decisões quanto a melhorias desses sistemas.

Palavras-chave: IQA. Qualidade da Água, Monitoramento de recursos hídricos.

Área Temática: Recursos Hídricos

Temporal Analysis of Water Quality in the Tega River Sub-Basin, Caxias do Sul/RS

Abstract

This paper presents the results of the evaluation of the Water Quality Index (WQI) in the Tega River, located in the Taquari-Antas Watershed, from 2012 to 2014 and 2022. For this purpose, 5 water quality monitoring points located in the urban perimeter of Caxias do Sul. The results analyzed between the years 2012 to 2014 were extracted from the Environmental Information System (SIA), managed by the ISAM of the University of Caxias do Sul. Sampling for the year 2022 took place in 6 campaigns carried out in the months of February, March, May, August, October and November. The Water Quality Index (WQI) was calculated based on the parameters dissolved oxygen, coliforms, pH, BOD, total phosphorus, temperature, total nitrogen, turbidity and total solids. The parameters were also analyzed according to the classification established by CONAMA Resolution 357/05 according to which the Tega River, along the studied stretch, is configured as class 4 for all points of analysis for at least one of the analyzed parameters. Regarding the IQA, it was evident that after 10 years of monitoring the quality indices did not show improvements, since the water quality remains bad in almost all



points. It is noteworthy that the frequent monitoring of the water body helps to understand its quality, allowing the analysis of the effect of sanitation and pollution control measures and subsidizing decision-making regarding the improvements of these systems.

Key words: River Tega. Water quality. Assessment.

Theme Area: Water resources

1 Introdução

A urbanização crescente das cidades trouxe consigo a preocupação quanto aos impactos ambientais gerados a partir da atividade antrópica. A água é um dos recursos naturais que mais sofre com esses impactos, que em consequência vem recebendo restrições para o seu uso em virtude da sua qualidade e também da sua quantidade.

Segundo Tucci (2008), o desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação gerado pelos efluentes da população urbana, tanto doméstico quanto industrial e a drenagem pluvial. Nesse contexto, instrumentos que versem sobre os recursos hídricos são fundamentais, visto que, definem orientações e dão diretrizes para a preservação desse recurso. Com esse intuito a Lei 9.433 de 1997 traz em seu escopo as orientações para a elaboração de Planos de Recursos Hídricos e enquadramento dos corpos d'água.

De acordo com o Art. 9º da Lei 9.433 (BRASIL, 1997) o enquadramento tem como objetivo assegurar as águas, qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas. Uma das formas de avaliar a condição do corpo hídrico é com a comparação entre a condição ambiental atual observada com a estabelecida na Resolução CONAMA 357/05, que traz as diretrizes para enquadramento dos rios com base nos seus usos preponderantes.

Associado a análise do enquadramento, auxiliando na verificação da situação da qualidade da água, o uso de índices, como o Índice de Qualidade da Água (IQA), auxiliam na análise integrada dos dados. Conforme Schneider *et al.* (2018) o IQA é uma importante ferramenta para avaliação da qualidade da água dos recursos hídricos, transformando um grande número de dados em um único indicador que representa a condição da qualidade da água em um determinado ponto. O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi criado para avaliar a qualidade da água bruta (ANA, 2022), levando em conta nove parâmetros, oxigênio dissolvido, coliformes, pH, DBO, fósforo total, temperatura, nitrogênio total, turbidez e sólidos totais.

Nesse contexto o presente trabalho visa avaliar o Índice de Qualidade da Água (IQA) para cinco pontos localizados no leito principal do Rio Tega, em Caxias do Sul, no ano de 2022 em comparação com a série de dados obtidos nos anos de 2012 a 2014.

2 Metodologia

2.1 Área de Estudo

O rio Tega integra a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas no estado do Rio Grande do Sul. Suas nascentes em grande parte encontram-se na área urbanizada do município de Caxias do Sul, onde se concentra mais de 40% da população urbana dessa bacia. A Sub-Bacia Hidrográfica do Tega possui um perímetro de 116,81 km e drena uma área de 294,76km², compreendendo parte dos municípios de Caxias do Sul, Flores da Cunha, e Nova Pádua (CORNELLI *et al.*, 2016).

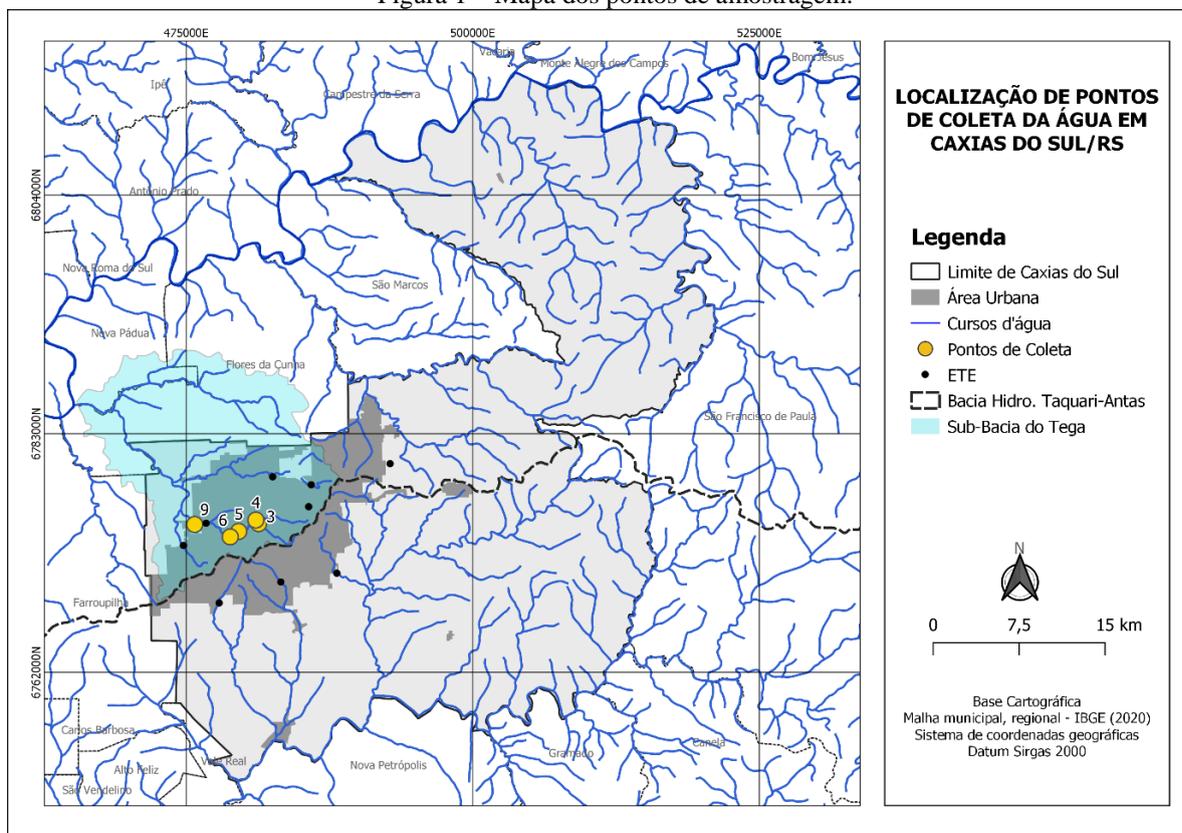
Em 2012 o Conselho de Recursos Hídricos conforme deliberação do Comitê de Bacia Taquari-Antas estabeleceu a Resolução nº 121 de 12 de dezembro para o enquadramento das águas superficiais da Bacia. Essa resolução aprovou a proposta de enquadramento dos cursos d'água para um horizonte de 10 e 20 anos, enquadrando os rios da Sub-Bacia do Tega em Classe 2 para ambos os períodos.



Para o presente estudo foram definidos 5 pontos de coleta, conforme Figura 1, em campanhas realizadas no ano de 2022 nos meses de fevereiro, março, maio, agosto, outubro e novembro. A coleta de água ocorreu seguindo o determinado pelos procedimentos internos elaborados com base NBR 9898/1987 (BRASIL, 1987), no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011), e os ensaios realizados pelo laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais, LAPAM, conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ed. 23 (APHA, 2017).

As informações referentes à qualidade da água nos 5 pontos de estudo do ano de 2012 a 2014, foram extraídas do Sistema de Informações Ambientais (SIA), gerenciado pelo Instituto de Saneamento Ambiental da Universidade de Caxias do Sul (ISAM/UCS, 2023). Nesse período realizaram-se amostras bimestrais iniciando em setembro de 2012 a maio de 2014.

Figura 1 – Mapa dos pontos de amostragem.



No Quadro 1 são apresentadas as informações de localização de cada ponto.

Quadro 1 – Identificação e localização dos pontos de monitoramento.

ID	Ponto	Descrição	Coordenada
3	Tega 3	Localizado na parte canalizada do rio Tega, recebendo o efluente de área densamente urbanizada.	481323 E 6775061 S
4	Tega 4	Localizado em área densamente urbanizada e industrializada.	481103 E 6775401 S
5	Tega 5	Localizado junto ao espaço cultural Moinho da Cascata.	479547 E 6774453 S
6	Tega 6	Localizado em local com existência de tubulações oriundas das residências que contribuem diretamente com o rio.	478776 E 6773906 S
9	Tega 9	Localizado a jusante da Estação de Tratamento de Efluentes. Recebe a contribuição dos demais pontos da Sub-Bacia do Tega.	475709 E 6775016 S



2.2 Avaliação da Qualidade da Água

Para se determinar o Índice de Qualidade da Água foi feito o uso da metodologia citada na CETESB (2020), contando com nove parâmetros, sendo eles: Oxigênio Dissolvido, Coliformes, pH, DBO, Fósforo Total, Temperatura, Nitrogênio Total, Turbidez, Sólidos Totais, e seus respectivos pesos, conforme equação 1:

Equação 1:
$$IQA = \prod_{i=1}^n qi^{wi}$$

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, sendo que:

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

No caso de não haver dado para algum dos nove parâmetros indicados para o índice, esse se torna inviabilizado de ser calculado. Para compreensão dos valores obtidos do índice será seguida a Tabela 1, onde está estabelecida a classificação para a qualidade da água.

Tabela 1. Classificação de IQA.

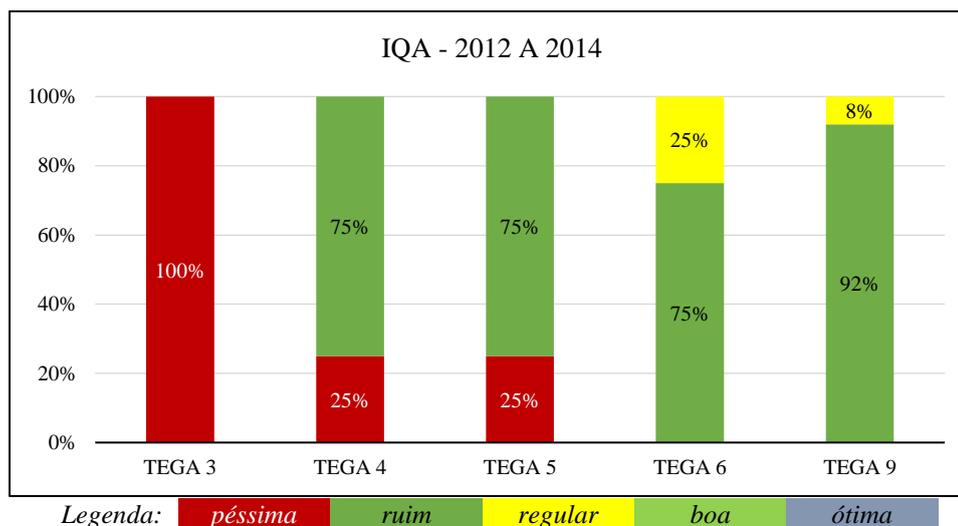
Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$90 < IQA \leq 100$
BOA	$70 < IQA \leq 90$
REGULAR	$50 < IQA \leq 70$
RUIM	$25 < IQA \leq 50$
PÉSSIMA	$IQA \leq 25$

Fonte: Adaptado de ANA (2022)

3 Resultados

Conforme Resolução CONAMA 357/05, todos os pontos das campanhas realizadas em 2012 a 2014 e as campanhas de 2022, foram classificados como rios de Classe 4 para ao menos um dos parâmetros analisados, sendo, segundo a resolução, destinada apenas a navegação e à harmonia paisagística. Todos os pontos apresentaram elevados valores de coliformes termotolerantes, fósforo e níquel, tanto para as campanhas anteriores quanto para as de 2022. Além desses parâmetros o ponto Tega 4 e Tega 5 apresentaram elevada DBO e valores de cromo acima do estabelecido para enquadramento na Classe 2 da CONAMA 357/05. Nos anos de 2012 a 2014 o ponto Tega 3 apresentou valores elevados de nitrogênio amoniacal, o ponto Tega 6 apresentou elevados valores de DBO e nitrogênio amoniacal e o ponto Tega 9 também apresentou valores elevados de DBO, nitrogênio amoniacal e de cromo. Esses valores não se repetiram no ano de 2022 nesses pontos, apresentando melhora nas concentrações.

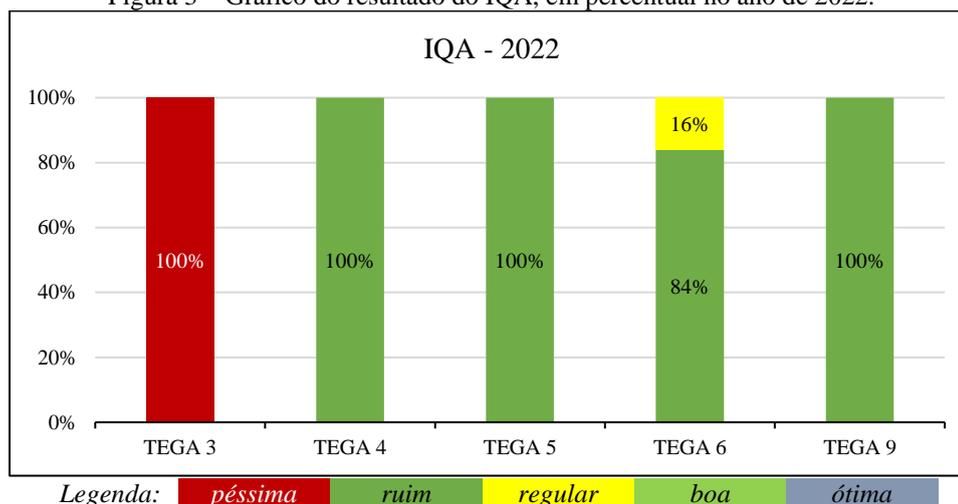
A Figura 2 apresenta os resultados obtidos para o Índice de Qualidade da Água para os anos de 2012 a 2014 para cada ponto monitorado.



Conforme se observa pelos resultados, o ponto Tega 3 apresentou durante os anos de coleta e análise da água, IQA péssimo. Um dos parâmetros que contribuiu para o resultado foi o de coliformes termotolerantes chegando a $1,6 \times 10^7$ NMP/100ml nos meses de novembro de 2012 e janeiro de 2013. Parâmetros como DBO, nitrogênio e fósforo, em virtude dos elevados valores de concentração, também contribuíram para a piora na qualidade da água. O ponto Tega 4 e Tega 5 apresentaram em 25% das campanhas IQA péssimo e em 75% IQA ruim. Os mesmos parâmetros citados anteriormente no Tega 3 são os que influenciaram no resultado obtido. O ponto Tega 6 também apresentou IQA ruim na grande maioria das campanhas, entretanto apresentou um pequeno percentual de IQA regular, trazendo uma melhora na qualidade da água nos meses de janeiro e março de 2013. O ponto Tega 9 apresentou 92% do resultado com IQA ruim e uma campanha de resultado como regular, fato este ocorrido em maio de 2014.

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para o Índice de Qualidade da Água para o ano de 2022.

Figura 3 – Gráfico do resultado do IQA, em percentual no ano de 2022.



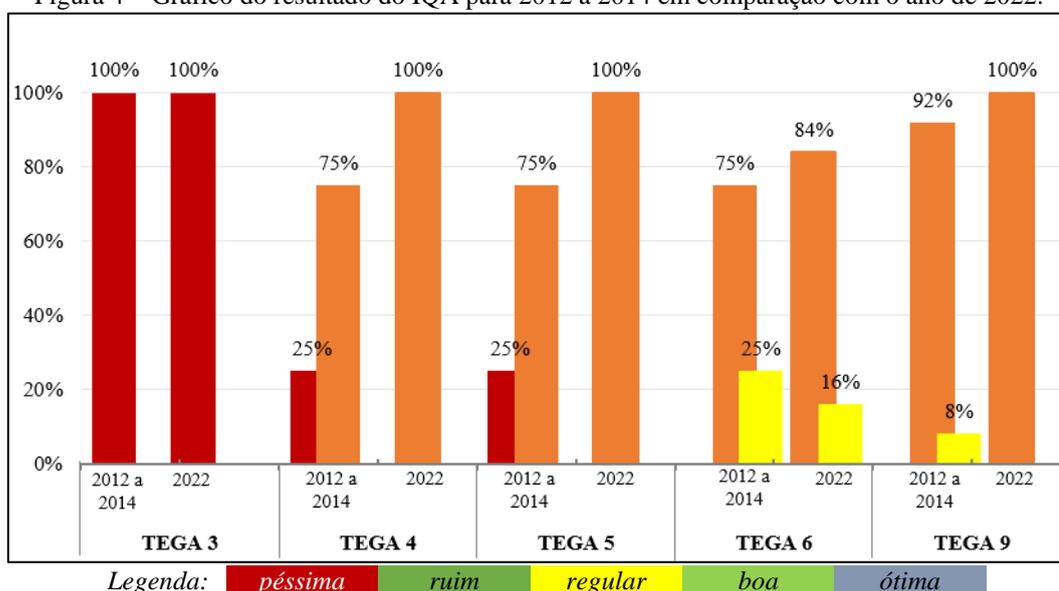
O ponto Tega 3 apresentou IQA péssimo em 100% das campanhas realizadas em 2022 mantendo o observado no período anterior. O ponto está inserido em uma região de intensa urbanização, recebendo em seu trecho boa parte da carga de efluentes drenada da área central do município de Caxias do Sul que não está integrada ao sistema de afastamento e tratamento do município. Diversos parâmetros contribuíram para esse resultado, como coliformes, DBO, fósforo, nitrogênio e oxigênio dissolvido que chegou a 0,17 mg/L em novembro de 2022.



Os pontos Tega 4 e Tega 5 apresentaram em todas as campanhas realizadas IQA ruim. Os parâmetros que mais contribuíram para tal resultado se comportaram igualmente ao observado no ponto Tega 3. O Ponto Tega 4 recebe efluentes de região urbanizada e com predominância industrial enquanto o ponto Tega 5, recebe as águas dos pontos Tega 3 e Tega 4 passando ainda parte da área urbana do município. O ponto Tega 6 apresentou IQA ruim na maioria das campanhas, apenas uma resultou em IQA regular. Os parâmetros que mais contribuíram para o resultado, novamente foram coliformes, DBO, fósforo total e nitrogênio. O oxigênio dissolvido apresenta uma pequena melhora nesse ponto. O ponto em questão recebe efluentes de tubulações de forma direta no rio. O ponto Tega 9 localizado em área mais afastada da urbanização, recebe toda a água que perpassa nos demais pontos. Em todas as campanhas realizadas apresentou IQA ruim pelos parâmetros coliformes termotolerantes, fósforo, nitrogênio.

A Figura 4 apresenta a comparação dos resultados em percentual obtidos através do IQA nos anos de 2012 a 2014 e no ano de 2022.

Figura 4 – Gráfico do resultado do IQA para 2012 a 2014 em comparação com o ano de 2022.



É possível observar que o ponto Tega 3, passados 10 anos das análises realizadas, continua apresentando IQA péssimo em 100% das coletas realizadas. O ponto Tega 4 e Tega 5 em 2022 apresentaram melhora no IQA mantendo-se na totalidade das campanhas como ruim. Os dados do ponto Tega 5 ainda podem ser comparados com Schneider *et al.* (2020) que calcularam o IQA para amostragens de água em outubro de 2018. Nessa ocasião o ponto apresentou IQA péssimo, com valor de 15,0. O ponto Tega 6 nos anos de 2012 a 2014 obteve um percentual maior de IQA regular, o que em 2022 apresentou uma pequena queda, e ponto Tega 9 passou a 100% de IQA ruim.

É possível observar uma melhora a jusante do ponto Tega 3 o que corrobora com Schneider, Carra, Santos e Breda (2020) os quais evidenciaram que o IQA apresentou melhora a jusante conforme se afastou da área mais urbanizada do município de Caxias do Sul. Entretanto em todo trecho que analisaram, o rio continuou apresentando IQA ruim. Schneider *et al.* (2021) também realizaram amostragens ao longo do trecho do Tega no ano de 2019 e constataram que o curso d'água apresenta pequena melhora nos resultados conforme se afasta da área mais urbana, a jusante da nascente do rio. O rio Tega tem a capacidade de realizar a autodepuração por tratar-se de um rio de montanha o que permite a oxidação biológica e química de alguns compostos. Apesar da capacidade de se autodepurar, os resultados não



demonstram melhora significativa, visto que ao longo do percurso, recebe elevadas cargas de contaminantes. Esse resultado aponta para a necessidade de se avaliar as variáveis do entorno que influenciam na qualidade ao longo do trecho estudado.

3 Considerações Finais

Os cursos hídricos da Sub-Bacia Hidrográfica do rio Tega foram classificados como péssimos e ruins através do cálculo do IQA. Quando comparadas com um período de 10 anos o curso hídrico, apesar de tecnologias, instalações de Estações de Tratamento de Efluentes e outros, não apresenta melhora significativa na sua qualidade. Os pontos que recebem as águas oriundas da área central do município foram os que apresentaram os piores valores, enquanto a jusante desses, nota-se uma pequena melhora no resultado, o que demonstra que ao longo do trecho, o rio possui a capacidade de realizar a autodepuração. Entretanto devido as cargas de contaminantes serem ainda bastante elevadas, os valores não apresentam melhora significativa.

Ressalta-se que a prática do monitoramento dos corpos da água é fundamental para o entendimento da qualidade da água existente e dessa forma se torna uma ferramenta importante para políticas públicas de saneamento, que atentem para a questão do lançamento dos efluentes e a eficácia das ETEs bem como contribuir para a análise do enquadramento. Além disso a educação ambiental da população, para entendimento da importância da preservação do curso hídrico, também é de extrema relevância para que se possa obter uma água de qualidade.

Referências

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23ª edição, 2017.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR n° 9.897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, jun.1987.

Agência Nacional de Águas - ANA. **Indicadores De Qualidade - Índice De Qualidade Das Águas (IQA)**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 19 dez. 2022.

BRASIL. Constituição (1997). **Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n° 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n° 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 22 dez. 2022.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n° 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 12 dez. 2022.



CORNELLI, Renata. *et al.* Análise da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água de duas sub-bacias hidrográficas do município de Caxias do Sul. **Scientia Cum Industria**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 2016.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução nº 121, de 12 de dezembro de 2012**. Aprova o Enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Porto Alegre, Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22162317-resolucao-crh-121-2012-aprova-enquadramento-aguas-superficiais-bacia-taquari-antas-07-01-1.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2022.

SCHNEIDER, Vania Elisabete *et al.* **Avaliação da qualidade da água de um trecho do Rio Carreiro com vistas ao enquadramento na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 6., 2018, Bento Gonçalves. Bento Gonçalves: Congresso Internacional de Tecnologias Para O Meio Ambiente, 2018. p.1-8. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/congresso/>. Acesso em: 25 jan. 2023.

SCHNEIDER, Vania Elisabete *et al.* Avaliação da qualidade da água da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Tega considerando a influência da urbanização. **Gestão e Tecnologias Para O Meio Ambiente: visões e ações interdisciplinares**. Volume 2. Recursos Hídricos e Saneamento, Caxias do Sul, v. 2, p. 182-191, 12 nov. 2021. EDUCS. <http://dx.doi.org/10.18226/9786558071167>.

SCHNEIDER, Vania Elisabete *et al.* ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA DA SUB-BACIA DO RIO TEGA – RS/BR. **Sistematização de Uma Agenda Para Questões Socioambientais**, Ponta Grossa, n. 1, p. 16-26, 15 abr. 2020. Atena Editora. <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.056201504>. Disponível em: <file:///E:/Usu%C3%A1rios/Mauricio/Downloads/sistematizacao-de-uma-agenda-para-questoes-socioambientais.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2023.

SIA – Sistema de Informação Ambiental. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br>. Acesso em: 20 dez. 2022.

TUCCI, Carlos E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 22, n. 63, p. 97-112. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrhrvtkxybFsjYQtx7v/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 dez. 2022.

**APÊNDICE C – ARTIGO 2: ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIOS
URBANOS NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL-RS UTILIZANDO ESTATÍSTICA
MULTIVARIADA**

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL UTILIZANDO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

RESUMO

A compreensão da evolução da qualidade da água no tempo e espaço, é ferramenta indispensável em um mundo dependente de água em boa qualidade e quantidade. Nesse sentido o estudo objetivou analisar a qualidade da água do município de Caxias do Sul, utilizando técnicas de estatística multivariada. Foram analisados doze pontos distribuídos nas sub-bacias Faxinal, Maestra, Belo, Piaí e Pinhal, inseridos na área urbana do município. Para identificação da qualidade da água, foram analisados vinte e um parâmetros físicos, químicos e biológicos coletados em dois períodos (2012 a 2014 e 2022). Com base na Análise de Componentes Principais (ACP) foi possível identificar três componentes que explicam juntos 63,1% da variabilidade dos dados. A análise de agrupamentos (AA) conseguiu separar os períodos analisados em dois grupos. Um dos grupos formados contém todos os pontos presentes na sub-bacia do Tega, sendo essa a bacia mais urbanizada do município. A ACP e AA apontaram que as maiores fontes de degradação da qualidade da água do município são provenientes da descarga de efluentes domésticos e industrial nos corpos hídricos. Tal resultado demonstra a importância de estudos desse caráter a fim de que possam auxiliar o poder público na gestão das águas do seu território.

Palavras-chave: Qualidade da água. Estatística multivariada. Impactos ambientais.

ANALYSIS OF THE WATER QUALITY OF URBAN RIVERS IN THE MUNICIPALITY OF CAXIAS DO SUL-RS USING MULTIVARIATE STATISTICS

ABSTRACT

Understanding the evolution of water quality in time and space is an indispensable tool in a world dependent on water in good quality and quantity. In this sense, the study aimed to analyze the water quality in the city of Caxias do Sul, using multivariate statistical techniques. Twelve points distributed in the sub-basins Faxinal, Maestra, Belo, Piaí and Pinhal, inserted in the urban area of the municipality, were analyzed. To identify the water quality, twenty-one physical, chemical and biological parameters collected in two periods (2012 to 2014 and 2022) were analyzed. Based on the Principal Components Analysis (PCA) it was possible to identify three components that together explain 63.1% of the data variability. Cluster analysis (AA) was able to separate the analyzed periods into two groups. One of the groups formed contains all the points present in the Tega sub-basin, which is the most urbanized basin in the municipality. The ACP and AA pointed out that the main sources of degradation of water quality in the municipality come from the discharge of domestic and industrial effluents into water bodies. This result demonstrates the importance of studies of this nature so that they can help the public power in the management of the waters in its territory.

Keywords: Water quality. Multivariate statistics. Environmental impacts.

INTRODUÇÃO

O processo de degradação de corpos hídricos é um problema antigo que acaba limitando a utilização desse recurso para diversas atividades incluindo as mais essenciais, como o abastecimento humano, a dessedentação animal, a produção de alimentos entre outros (OLIVEIRA et al., 2020). As ações humanas têm desempenhado um papel significativo para essa degradação, resultando em alterações notáveis na qualidade da água e na biodiversidade dos ecossistemas aquáticos, através da geração de efluentes urbanos de origem doméstica e industrial, com lançamento muitas vezes sem tratamento ou acima da carga máxima que os corpos d'água podem suportar (TUCCI, 2008; OKUMURA et al., 2020). A escassez da água tanto em quantidade como em qualidade pode ter consequências à saúde pública, com a deterioração da qualidade de vida e do desenvolvimento econômico e social (TUNDISI, 2008).

Diante da preocupação quanto a qualidade da água, o Brasil conta com diversas legislações que visam garantir quantidade e qualidade do recurso hídrico para os diversos usos da população. Em 1997 foi estabelecida a Lei nº 9.433 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). A referida lei estabeleceu instrumentos para a gestão das águas no Brasil, como os Planos de Recursos Hídricos, sistemas de informações, outorga de direitos de uso das águas e enquadramento dos corpos d'água segundo seus usos preponderantes.

A qualidade da água pode ser representada por diferentes parâmetros que refletem as suas principais características físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 2005). A resolução nº 357 de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), traz a definição e estabelece os padrões da qualidade da água de acordo com a finalidade do seu uso. O monitoramento dos recursos hídricos, visando compreender a sua qualidade, se torna ferramenta fundamental para a garantia da preservação da vida na terra. Esse monitoramento deve ser realizado ao longo do tempo e espaço fornecendo assim, séries temporais de dados e permitindo a compreensão da evolução da qualidade da água e o comportamento de variáveis, a fim de auxiliar no planejamento de estratégias de gestão para com os recursos hídricos (TAVARES, 2014; DERESIO, 2012).

Conforme Finkler et al. (2015), medir variados parâmetros de poluentes em diferentes pontos, com frequências periódicas é o método mais usual de avaliação da qualidade da água. Entretanto obtém-se como resultado uma matriz complexa, composta de diversos parâmetros com grandezas distintas, o que torna difícil a leitura e a interpretação (FINKLER et al., 2015).

Dessa forma a análise estatística multivariada se torna uma ferramenta importante, pois permite analisar e manipular dados que contenham muitas variáveis. Conforme Guedes et al. (2012) a técnica de estatística de componentes principais (ACP), reorganiza um conjunto de variáveis originais em um novo conjunto, que se denomina componentes principais. O primeiro componente calculado é o que explica o máximo de variabilidade dos dados, o segundo componente principal explica o restante da dos dados, sem ter correlação com o primeiro componente calculado e assim sucessivamente (GUEDES et al., 2012).

Outra técnica de estatística multivariada é a análise de agrupamentos (AA). Conforme Centeno et al. (2016), a AA vem sendo amplamente utilizada nos estudos de qualidade da água com o intuito de auxiliar na identificação das fontes de poluição. Essa análise verifica a relação entre os pontos de estudo, separando-os em grupos com base nas variáveis que possuem (RODRIGUES JUNIOR et al., 2022).

Estudos sobre estatística multivariada utilizando a técnica de ACP (FINKLER et al., 2015; GOMES e CAVALCANTE, 2017; BIFANO et al., 2020; FRAGA et al., 2021; QUINELATO et al., 2021; KHAN et al., 2023) e a análise agrupamentos (PASTRO et al., 2020; GOMES e CAVALCANTE, 2017; CIDREIRA-NETO et al., 2022, CENTENO et al., 2016; RODRIGUES JUNIOR et al., 2022; SHANMUGASUNDHARAM et al., 2023) vem sendo amplamente utilizados para apoiar a gestão de recursos hídricos.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar a qualidade das águas superficiais da área urbana do município de Caxias do Sul, a partir de dados das características físicas, químicas e biológicas da água por meio de estatística multivariada.

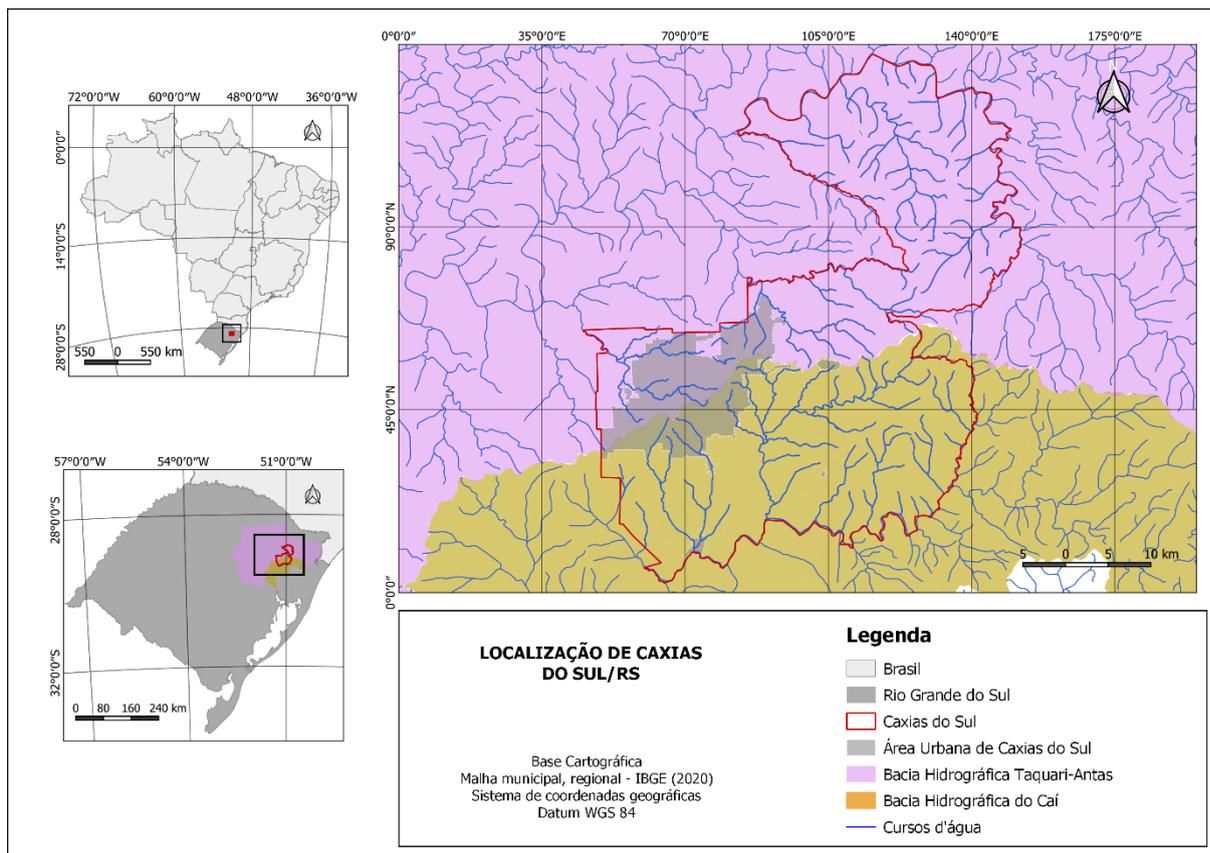
METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Caxias do Sul localiza-se no estado do Rio Grande do Sul, ocupando área de 1.652,32 km² (IBGE, 2023), conforme apresentado na Figura 1.

A população de Caxias do Sul, em 2010 era de 435.564 pessoas e os dados preliminares do censo de 2022 apontam que hoje tem-se 503.068 pessoas (IBGE, 2023), um crescimento de 15% na população em doze anos. Conforme SAMAE (2022) o município de estudo conta com dez estações de tratamento de esgoto (ETE) em operação, com capacidade de beneficiar 497 mil habitantes.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Caxias do Sul e suas bacias hidrográficas.



Fonte: Os autores, 2023.

Caxias do Sul se encontra na Região Hidrográfica do Guaíba, no divisor de águas da Bacia hidrográfica do Caí – G 030, e bacia hidrográfica Taquari-Antas – G 040, (RIO GRANDE DO SUL, 2022). Cada uma dessas bacias é dividida em sub-bacias importantes que cruzam o limite municipal. As sub-bacias que drenam para o Caí dentro da área urbana são a sub-bacia do Belo, Piaí e Pinhal e as que drenam para a Taquari Antas são a sub-bacia do Faxinal, Maestra e Tega.

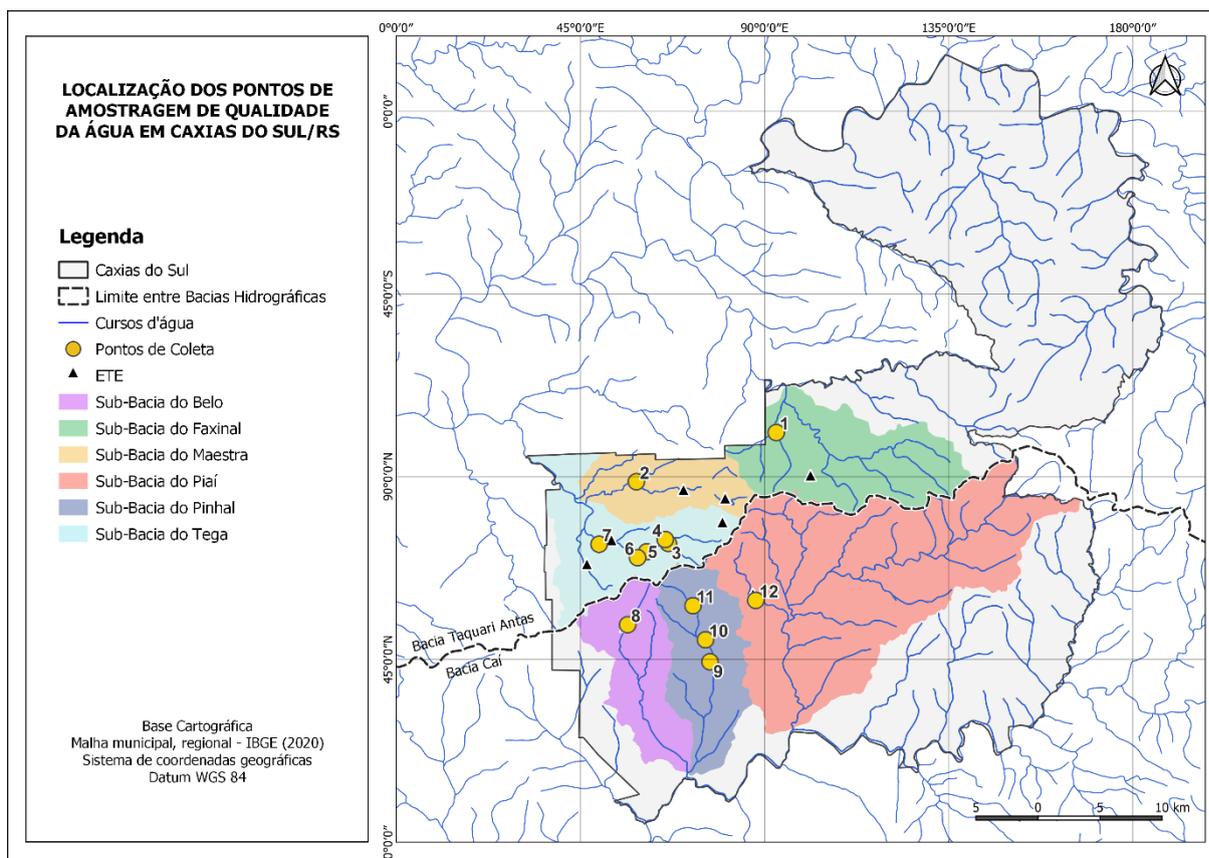
Os comitês das duas bacias hidrográficas definiram as metas de enquadramento para suas águas com base na Conama 357/05. Para a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, o enquadramento foi definido pela Resolução nº 121 de 12 de dezembro de 2012 para horizontes de 10 e 20 anos, considerando para a sub-bacia do Faxinal a proposta de classe 3 para 10 anos e classe 2 para 20 anos. As sub-bacias do Maestra e Tega possuem a proposta de enquadramento para classe 2 considerando o horizonte de 10 e 20 anos.

As Resoluções CRH nº 50 de 2008 e CRH nº 53 de 2009 estabeleceram as metas de enquadramento para a Bacia Hidrográfica do Caí, ficando determinando num horizonte de 15 anos o prazo para atendimento da meta final classificando assim os rios como classe 2 para a sub-bacia do Belo e classe 3 para Piaí e Pinhal, sendo o ano de 2024 o prazo final para atingir a meta.

Levantamento de dados

Foram definidos doze pontos de amostragem para análise da qualidade da água localizados na área urbana do município de Caxias do Sul, abrangendo as bacias do Rio Caí e Rio Taquari-Antas. A Figura 2 apresenta o mapa das Sub-Bacias onde se insere os pontos de amostragem de qualidade da água.

Figura 2 – Localização dos pontos de qualidade da água.



Fonte: Os autores, 2023.

No Quadro 1, apresenta-se o código do ponto no mapa (ID), as denominações dos pontos, descrição da localização e a respectiva coordenada geográfica.

Quadro 1- Localização e descrição dos pontos de amostragem.

(continua)

ID	Ponto	Descrição	Coordenada	Bacia
1	Faxinal 3	Localizado a jusante do reservatório de abastecimento público – Faxinal.	29° 04' 17" S 51° 06' 11" O	Sub-Bacia do Faxinal
2	Maestra 2	O ponto está localizado a jusante do reservatório de abastecimento público – Maestra.	29° 06' 25" S 51° 13' 08" O	Sub-Bacia do Maestra
3	Tega 3	O ponto localiza-se na parte canalizada do rio Tega, recebendo o efluente de área densamente urbanizada.	29° 09' 09" S 51° 11' 29" O	Sub-Bacia do Tega
4	Tega 4	O ponto localiza-se em área densamente urbanizada e industrializada.	29° 08' 59" S 51° 11' 35" O	Sub-Bacia do Tega
5	Tega 5	O ponto localiza-se junto ao espaço cultural Moinho da Cascata, no rio Tega.	29° 09' 39" S 51° 12' 42" O	Sub-Bacia do Tega
6	Tega 6	Localizado em local com elevada densidade de ocupação e de atividades.	29° 09' 45" S 51° 13' 02" O	Sub-Bacia do Tega

Quadro 1 - Localização e descrição dos pontos de amostragem.

(conclusão)

ID	Ponto	Descrição	Coordenada	Bacia
7	Tega 9	Localizado a jusante da Estação de Tratamento de Efluentes do Rio Tega.	29° 09' 04" S 51° 14' 50" O	Sub-Bacia do Tega
8	Belo 1	Situado em área de influência antrópica. A sua nascente está localizada dentro do perímetro urbano.	29° 12' 39" S 51° 13' 18" O	Sub-Bacia do Belo
9	Pinhal 0	Recebe efluentes domésticos e industriais de todo o distrito de Galópolis.	29° 14' 02" S 51° 09' 16" O	Sub-Bacia do Pinhal
10	Pinhal 1	O ponto recebe as contribuições de drenagem do ponto 2, e de bairros da zona sul do município, bem como, de uma região a sudeste com mata mais preservada e com baixa ocupação populacional.	29° 13' 22" S 51° 09' 37" O	Sub-Bacia do Pinhal
11	Pinhal 2	Está localizado a montante da Estação de Tratamento de Efluentes do Arroio Pinhal. Drena uma área urbanizada.	29° 11' 57" S 51° 10' 14" O	Sub-Bacia do Pinhal
12	Piaí 4	O ponto de amostragem recebe contribuições de extensas áreas urbanizadas.	29° 11' 39" S 51° 07' 09" O	Sub-Bacia do Piaí

Fonte: Os autores, 2023.

As coletas e análise da água foram realizadas nos meses de fevereiro a novembro de 2022, totalizando seis campanhas. As amostras foram coletadas seguindo os procedimentos definidos pelas normas NBR 9898/1987 (ABNT, 1987), e pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2016). Os ensaios para determinação da condutividade, oxigênio dissolvido, potencial de oxirredução (ORP), pH, temperatura da amostra e do ar e turbidez foram realizados a campo e os parâmetros cianeto total, coliformes termotolerantes, cobre, cromo, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, fósforo total, níquel, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, sólidos dissolvidos totais, sólidos totais e zinco foram determinados pelo laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais, LAPAM, seguindo a metodologia estabelecida pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ed. 23 (APHA, 2017) e NBR 12620/1992 (ABNT, 1992), conforme apresentado no Quadro 2.

A fim de se compreender de forma temporal a qualidade da água dentro das sub-bacias do município de estudo, foram utilizados os dados de qualidade da água do período que compete aos anos de 2012 a 2014. Esses resultados foram obtidos do banco de dados do Sistema de Informação Ambiental (SIA) elaborado por BIGOLIN *et al.* (2013), através de campanhas de amostragem realizadas nos meses de setembro de 2012 a maio de 2014, totalizando onze campanhas.

A fim de facilitar o entendimento da qualidade da água, os dados foram separados em períodos, sendo o período 1 referente aos dados que competem aos anos de 2012 a 2014, e o período 2 os dados do ano de 2022. Os resultados dos parâmetros de ambos os períodos, foram analisados com o auxílio da estatística descritiva.

Quadro 2- Método de análise e limite de quantificação dos parâmetros analisados.

Parâmetro	Unidade	Limite de Quantificação	Metodologia
Cianeto Total	mg/l	0,010	SMWW-Método 4500-CN- E
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1,8	SMWW-Método 9221-E
Cobre	mg/l	0,0471	SMWW-Método 3120-B
Condutividade	mS/cm	-	Sonda Multiparâmetro MULT
Cromo	mg/l	0,0205	SMWW-Método 3120-B
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/l	1,0	SMWW-Método 5210-B
Demanda Química de Oxigênio	mg/l	4	SMWW-Método 5220-C
Fósforo Total	mg/l	0,016	SMWW-Método 4500-P B e E
Níquel	mg/l	0,0076	SMWW-Método 3120-B
Nitrato	mg/l	0,04	ABNT NBR 12620 (1992)
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	3,07	SMWW-Método 4500-NH3 B-C
Nitrogênio Total	mg/l	2,80	SMWW-Método 4500-Norg-B
Oxigênio dissolvido	mg/l	-	Oxímetro Óptico OXI
ORP	mV	-	Sonda Multiparâmetro MULT
pH	pH	-	Sonda Multiparâmetro MULT
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/l	10,0	SMWW-Método 2540-C
Sólidos Totais	mg/l	12,0	SMWW-Método 2540-B
Temperatura da amostra	°C	-	Termômetro químico
Temperatura do ar	°C	-	Oxímetro Óptico OXI
Turbidez	NTU	-	Sonda Multiparâmetro MULT
Zinco	mg/l	0,0025	SMWW-Método 3120-B

Fonte: Os autores, 2023.

Nota: SMWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ed. 23

Análise de Componentes Principais (ACP)

A ACP é uma técnica estatística multivariada que transforma um determinado conjunto de dados em um novo sistema de variáveis (FINKLER et al., 2015).

A aplicação da ACP, depende de dois testes que devem ser realizados previamente, sendo eles, o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e ao teste de esfericidade de Bartlet. O teste de KMO possui o objetivo de verificar a medida de correlação entre as variáveis independentes, sendo que o valor do teste varia de 0 a 1, considerando que valores abaixo de 0,5 indicam inapropriada a aplicação da ACP (FRAGA et al., 2021). Enquanto o teste de esfericidade de Bartlett testa se a matriz de correlação é uma matriz identidade, o que indicaria que não há correlação entre os dados e que o modelo de análise é inapropriado (FINKLER et al., 2015).

Realizou-se a ACP para as variáveis de qualidade da água monitoradas nas campanhas de todo o ano de 2022, totalizando vinte e uma variáveis distribuídas em seis campanhas. Uma mesma variável pode apresentar alta carga fatorial em mais de um dos componentes, devido a isso foi realizado o procedimento de rotação ortogonal da matriz através do método varimax, sendo utilizado também nos estudos de Finkler et al. (2015), Corrêa et al. (2019) e Fraga et al. (2021). Os valores dos dados dos parâmetros foram padronizados para a aplicação do teste estatístico por meio da transformação logarítmica.

Liu et al. (2000) classificam os valores das cargas fatoriais como relevantes (>0,75), médios (> 0,50 e <0,75) e irrelevantes (<0,50). Nesse estudo, igualmente a Finkler et al. (2015), Rocha e Pereira (2016) e Quinelato et al. (2021) definiu-se para a compreensão da ACP, as cargas fatoriais superiores a 0,5 devido aos dados de qualidade da água sofrerem grande variabilidade.

Para realização das análises estatísticas foi utilizado o software JASP versão 0.17.2.1 de maio de 2023, programa livre e de código aberto criado para auxiliar em análises estatísticas apoiado pela Universidade de Amsterdã (JASP, 2023).

Análise de Agrupamento (AA)

Para a análise de agrupamentos (AA) foram utilizados os dados do período 1 de coleta de água que compete aos anos de 2012 a 2014 disponibilizados pelo SIA, e os dados das coletas do período 2, realizadas no ano de 2022, com exceção ao ponto Pinhal 0, por não existir dados desse ponto na campanha 1. Optou-se por analisar os períodos 1 e 2 de forma isolada com o objetivo de se identificar os pontos e sub-bacias que mais contribuem com a degradação da qualidade da água com o passar do tempo.

O processamento dos dados para a AA foi dividido em padronização dos parâmetros e escolha da estratégia de agrupamento. Utilizou-se o método *Ward* como critério hierárquico de agrupamento com medida de similaridade dada pela distância euclidiana, conhecida como distância em linha reta. A escolha do critério se fundamentou com base em outras pesquisas envolvendo a qualidade da água (GOMES e CAVALCANTE, 2017; GOMES e MENDONÇA, 2017; PASTRO et al.; 2020; SOUZA, CECCONELLO e CENTENO, 2021). Foi realizada a padronização dos dados por meio da transformação logarítmica. A análise de agrupamento (AA) foi realizada a partir do software JASP (JASP, 2023).

Após a execução das etapas descritas, foi realizada a montagem do dendograma utilizando o agrupamento das amostras semelhantes. O ponto de corte do dendograma foi estabelecido em relação as maiores distâncias em que os grupos foram formados, sem que ocorresse heterogeneidade dentro desses grupos (VICINI e SOUZA, 2005, CENTENO et al, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados da estatística multivariada foi dividida em duas partes. Na primeira são apresentados os resultados da análise de componentes principais (ACP) para os vinte e um parâmetros analisados nas campanhas de coleta de água de 2022, trazendo os arranjos de variáveis que influenciam na qualidade da água da área urbana do município de Caxias do Sul. A segunda parte traz a análise de agrupamentos (AA) dividida em período 1 (2012 a 2014) e período 2 (2022).

Análise de Componentes Principais (ACP)

Ao avaliar a adequação dos dados para a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), verificou-se que o teste de KMO apresentou um índice de 0,786 sendo o valor maior que 0,5 demonstrando que há correlação entre as variáveis (FRAGA et al., 2021). O teste de esfericidade de Bartlett demonstrou significância estatística, com um valor de $p < 0,001$. Com base nos resultados desses testes, constata-se a eficácia da ACP ao ser aplicada ao conjunto de dados em questão.

Ao extrair os fatores das variáveis de qualidade da água das campanhas de 2022, foram encontrados 3 componentes que explicam juntos 63,1% da variabilidade dos dados. Na Tabela 1 é apresentada a pontuação dos autovalores de cada componente principal e a distribuição das cargas fatoriais e correlações com as variáveis rotacionadas de forma ortogonal através do método varimax.

De acordo com os dados apresentados, a primeira componente (CP1) explicou uma variação de 26,2% formado pelos parâmetros, DBO, turbidez, DQO, nitrogênio total e amoniacal e coliformes termotolerantes e os parâmetros nitrato, ORP e oxigênio dissolvido (OD) representados por coeficiente negativo que indica uma correlação inversa entre as variáveis. O conjunto desses parâmetros indica forte contaminação das águas por despejos de efluentes de origem doméstica in natura ou parcialmente tratados nos corpos hídricos. O resultado corrobora com o trabalho de Finkler et al. (2015) onde, considerando análises da água no município de Caxias do Sul nos anos de 2012 a 2014, encontraram os parâmetros associados aos despejos de efluentes domésticos no primeiro componente com variação de 27,06%. No trabalho em questão a condição encontrada foi associada às estações de tratamento (ETE) do Tega, Pinhal e Belo não estarem em operação total ou ainda em fase de construção. Nos dias atuais todas essas ETE estão operando, porém observa-se que ainda são encontrados parâmetros que sugerem a contaminação das águas por efluentes domésticos, devido à ausência de redes coletoras que abranjam a totalidade do município, a ausência da ligação do esgoto na rede coletora por parte da população ou ainda a falta de tratamento adequado dos efluentes dos empreendimentos industriais.

Guedes et al. (2012) e Pinto, Faria e Almeida (2021) também encontraram nos primeiros componentes, as variáveis que indicavam a presença de cargas de nutrientes oriundas do esgoto doméstico, com destaque para os parâmetros de oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes. Rocha e Pereira (2016), identificaram na CP1, cor, turbidez, OD, ferro e condutividade, relacionando variável OD com

os valores de turbidez, onde esse podem influenciar na passagem de luz solar o que conseqüentemente geraria uma diminuição nos valores de oxigênio dissolvido. Igualmente ao presente estudo, Alves et al. (2012), encontraram correlação inversa entre DBO e OD, o que indica um consumo de OD no processo de degradação da matéria orgânica e o aumento da DBO.

Tabela 1. Matriz de peso fatorial das variáveis de qualidade da água analisadas.

Parâmetros	Componente Principal		
	1	2	3
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0.842	0,283	0,145
Nitrato	-0.816	-0,079	-0,306
ORP	-0.798	-0,138	-0,317
Turbidez	0.793	-0,102	0,111
Oxigênio Dissolvido	-0.757	-0,067	0,158
Demanda Química de Oxigênio	0.683	0,238	0,257
Nitrogênio Total Kjeldahl	0.677	0,426	0,361
Nitrogênio Amoniacal	0.641	0,358	0,419
Coliformes Termotolerantes	0.614	0,249	-0,024
Fósforo Total	0,408	0.668	0,080
Temperatura da Amostra	0,042	0.846	0,158
Temperatura do Ar	-0,105	0.807	0,215
Condutividade	0,317	0.769	0,006
Sólidos Dissolvidos Totais	0,185	0.637	-0,017
Sólidos Totais	0,135	0.622	-0,104
Cobre Total	0,139	0,213	0.829
Níquel Total	0,163	-0,006	0.776
Zinco Total	0,314	-0,062	0.727
Cianeto Total	-0,097	0,064	0.714
pH	0,274	0,348	0.679
Cromo Total	0,096	-0,089	0.569
Total	5,494	3,928	3,825
% Variação	26,2	18,7	18,2
% Variação Acumulada	26,2	44,9	63,1

Fonte: Os autores, 2023.

O segundo fator explicou uma variação de 18,7% mostrando uma correlação entre as variáveis fósforo total, temperatura da amostra e do ar, condutividade e os sólidos totais e dissolvidos. Segundo a CETESB (2020) a condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, sendo assim altos valores dessas cargas podem indicar características corrosivas da água. Ribeiro et al. (2016), Rocha e Pereira (2016) e Marinho et al. (2020) ao analisarem a qualidade da água verificaram que os valores encontrados de sólidos dissolvidos totais e a condutividade eram diretamente proporcionais. Guedes et al. (2012) constataram no terceiro agrupamento fatorial a associação de sólidos totais e dissolvidos com fósforo total e assimilaram com o a contribuição de esgotos domésticos e resíduos sólidos dispostos inadequadamente nas margens do curso de água.

O terceiro fator explicou uma variação de 18,2% e abrange as variáveis cobre, níquel, zinco, cianeto e pH. Tal relação de parâmetros demonstra a contaminação química da água. Certos processos biológicos de tecidos vivos e microrganismos requerem alguns tipos de metais para acontecerem. Cobre, manganês e zinco, quando em baixas concentrações são fundamentais em processos fisiológicos de regulação (TUNDISI, 2008). Entretanto se esses metais estiverem em concentrações elevadas em um meio aquático podem ser tóxicos aos organismos e ao ser humano, sendo um dos piores problemas o processo de bioacumulação na rede alimentar (TUNDISI, 2008).

O cianeto, juntamente com níquel são compostos utilizados em galvanoplastias. O cromo é amplamente utilizado em produção de ligas metálicas, tintas, fertilizantes, curtumes. O metal cobre pode ser associado a corrosão de tubulações, efluentes de estação de tratamentos e outros. E o zinco também é um composto utilizado na galvanização de aço fabricação de ligas e outros (CETESB, 2020). Conforme Deresio (2012) a ocorrência de cobre, chumbo, cromo e níquel na CP3, é resultado do despejo industrial. O município de Caxias do Sul destaca-se como sendo um polo metal mecânico importante no país (SALES, 2006) o que justifica a relação das cargas químicas encontradas no terceiro fator de agrupamento. Finkler et al. (2015) também encontraram contaminação química nas águas de Caxias do Sul e associaram ao conglomerado de atividades industriais do município, com ênfase ao

ramo galvanotécnico. O pH, presente no CP3 demonstra a influência dessa variável quanto a solubilidade e ou precipitação de íons metálicos (YABE e OLIVEIRA, 1998; NASCIMENTO et al., 2015).

Análise de Agrupamento (AA)

A análise de agrupamentos foi dividida em duas partes: primeiro considerando o agrupamento de pontos do período de amostragem 1 (2012 a 2014) e o segundo com o agrupamento de pontos do período de amostragem 2 (2022). Além dos dados da AA, serão apresentadas as tabelas com a estatística descritiva para cada uma das campanhas de estudo, a fim de auxiliar na compreensão dos dados da análise.

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva para os dados gerais do período 1 (2012 a 2014).

Tabela 2 – Estatística descritiva das análises realizadas no período 1 (2012 a 2014).

Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Cianeto Total	mg/l	0,01	0,97	0,08	0,17
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	7,90x10 ²	1,6x10 ⁷	6,85x10 ⁵	3,06x10 ⁶
Cobre	mg/l	0,02	1,96	0,23	0,35
Condutividade	mS/cm	0,19	3170,0	345,20	311,53
Cromo	mg/l	0,04	3,89	0,22	0,45
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/l	1,31	281,0	33,0	45,48
Demanda Química de Oxigênio	mg/l	9,00	729,0	69,49	90,82
Fósforo Total	mg/l	0,19	20,81	1,28	2,12
Níquel	mg/l	0,002	1,97	0,19	0,28
Nitrato	mg/l	0,18	38,91	7,72	6,49
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	1,23	26,90	10,35	5,68
Nitrogênio Total	mg/l	1,75	48,19	13,35	8,27
Oxigênio dissolvido	mg/l	1,32	13,34	8,54	2,82
ORP	mV	-210,0	381,0	163,38	90,65
pH	pH	5,88	8,79	7,55	0,48
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/l	1,00	515,0	224,88	95,79
Sólidos Totais	mg/l	94,00	1035,0	240,48	125,72
Temperatura da amostra	°C	11,88	26,60	18,32	3,29
Temperatura do ar	°C	8,20	36,00	21,74	5,77
Turbidez	NTU	0,00	766,00	31,82	80,87
Zinco	mg/l	0,03	3,11	0,29	0,44

Fonte: Os autores, 2023.

Os dados demonstram elevados valores para os parâmetros analisados quando comparados à resolução Conama 357/05 o que classificaria os cursos d'água como classe 4. Os parâmetros como coliformes, DBO, fósforo, nitrogênio, possuem médias de valores acima do permitido demonstrando contaminação do recurso hídrico devido a descargas de efluentes domésticos e industriais. Os metais como cobre, cromo e níquel também apresentam médias acima do permitido, o que igualmente classificaria o corpo hídrico como classe 4 para resolução supracitada.

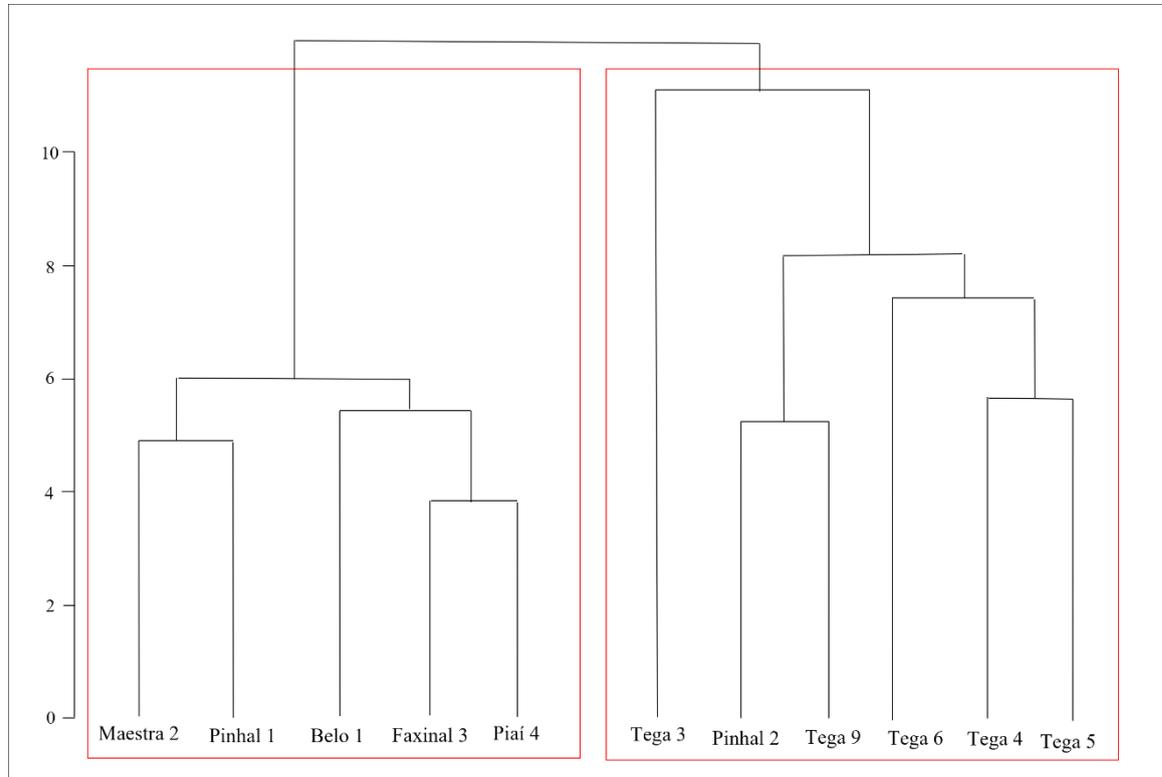
A partir da análise de AA, os dados de qualidade da água de 2012 a 2014 foram divididos em dois grupos principais (Figura 3).

O grupo 1 é composto pelos pontos Maestra 2, Pinhal 1, Belo 1, Faxinal 3 e Piaí 4. O grupo 2 foi formado por todos os pontos relacionados ao Tega (Tega 3, 4, 5, 6 e 9) e o ponto Pinhal 2 que pertence à sub-bacia do Pinhal. O grupo 1 apresenta uma maior similaridade entre os pontos, demonstrando ser um grupo homogêneo. O grupo 2 já não apresenta homogeneidade como o grupo anterior, principalmente pelo ponto Tega 3 que possui a maior distância entre os outros pontos. Esse ponto drena a área mais urbanizada e central do município de estudo, recebendo elevadas cargas de efluentes de origem doméstica, como coliformes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo, nitrogênio amoniacal e total e valores baixos de oxigênio dissolvido.

No grupo 2 encontram-se as maiores médias de concentrações de metais como cobre com média de 0,38 mg/l, cromo com 0,36 mg/l, níquel com 0,31 mg/l e zinco com 0,44 mg/l. O grupo 1 apresenta

média para os metais de 0,04 mg/l para cobre e cromo, 0,05 mg/l para níquel e 0,09 mg/l para zinco, valores bem distintos do grupo 2.

Figura 3. Dendrograma de agrupamento dos pontos de análise de qualidade da água de 2012 a 2014.



Fonte: Os autores, 2023.

Outras variáveis também contribuíram para a formação dos grupos e caracterizam a qualidade da água no local. No grupo 1 a média de valor para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi de 11,44 mg/l, de demanda química de oxigênio (DQO) foi de 31,14 mg/l, fósforo foi de 0,73 mg/l, nitrogênio amoniacal de 7,28 mg/l e de nitrogênio total foi de 8,60 mg/l. As médias de concentração do grupo 2 demonstraram valores mais elevados, chegando a 4 vezes o encontrado no grupo 1. Os valores médios de DBO foram de 50,97 mg/l, de DBQ chegou a 101,45 mg/l, os valores médios de fosforo ficaram em 1,74 mg/l, nitrogênio amoniacal ficou em 12,91 mg/l e nitrogênio total em 17,30 mg/l. Os valores dos parâmetros demonstram uma contaminação maior nessas águas por efluentes domésticos e por efluentes industriais.

A Tabela 3 apresenta a estatística descritiva para os dados gerais do período 2 (2022). Os dados demonstram elevados valores para determinados parâmetros como, coliformes, cobre, fósforo, níquel e nitrogênio o que, igualmente no período 1 (2012 a 2014) enquadraria o corpo hídrico em classe 4 na Conama 357/05. Apesar dos valores encontrados do período 2 (2022) serem menores do que os encontrados no período 1 (2012 a 2014), ainda é possível constatar a contaminação por despejo de efluente doméstico e industrial nos rios de estudo. Os metais como cobre e níquel ainda apresentam médias acima do permitido para resolução supracitada.

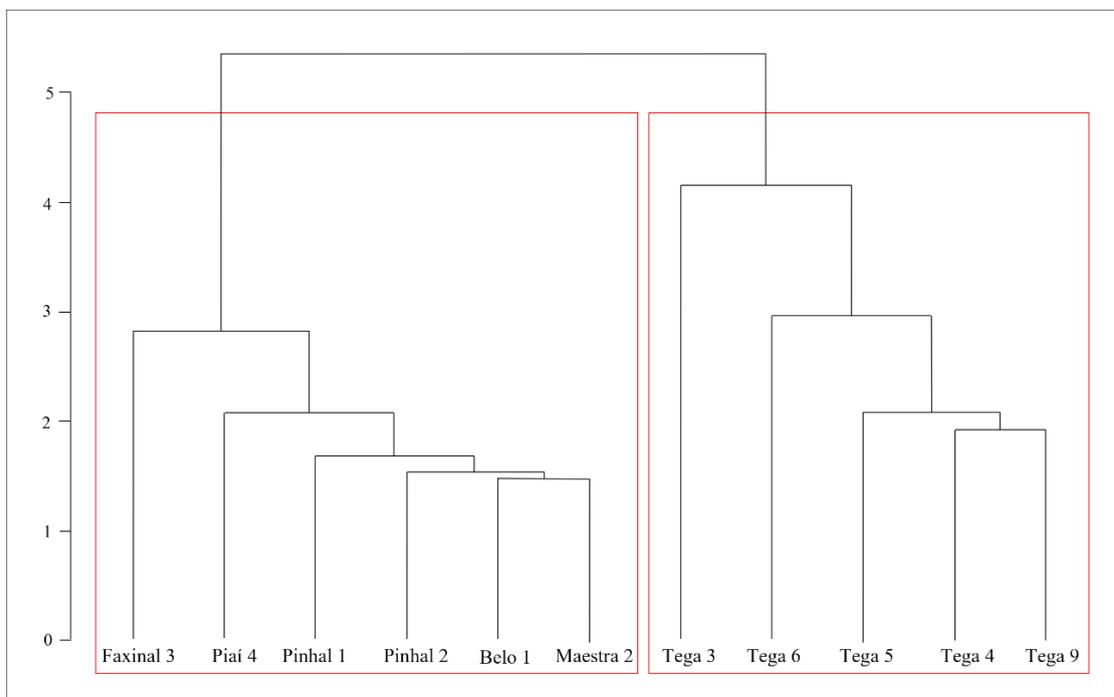
Tabela 3 – Estatística descritiva das análises realizadas no período 2 (2022).

Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Cianeto Total	mg/l	0,01	0,411	0,025	0,056
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	7,91x10 ²	1,6x10 ⁶	1,41x10 ⁵	4,03x10 ⁵
Cobre	mg/l	0,007	0,522	0,047	0,078
Condutividade	mS/cm	0,105	0,611	0,306	0,107
Cromo	mg/l	0,004	0,162	0,021	0,031
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/l	1,80	151,90	9,81	19,26
Demanda Química de Oxigênio	mg/l	4,00	228,00	30,77	30,27
Fósforo Total	mg/l	0,221	2,95	0,97	0,57
Níquel	mg/l	0,008	0,41	0,03	0,07
Nitrato	mg/l	0,040	10,47	2,47	1,96
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	3,07	25,89	7,42	5,38
Nitrogênio Total	mg/l	2,80	30,13	9,18	6,53
Oxigênio dissolvido	mg/l	0,17	8,20	5,65	2,07
ORP	mV	-5,00	225,00	125,84	54,40
pH	pH	7,04	8,63	7,59	0,34
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/l	10,00	272,00	139,27	52,73
Sólidos Totais	mg/l	34,00	350,00	177,69	60,08
Temperatura da amostra	°C	14,40	27,80	19,87	3,11
Temperatura do ar	°C	12,00	32,00	23,28	4,73
Turbidez	NTU	1,20	32,80	6,57	6,85
Zinco	mg/l	0,011	0,832	0,11	0,13

Fonte: Os autores, 2023.

A partir da análise de AA dos dados de 2022, foram divididos também em dois grupos principais (Figura 4).

Figura 4. Dendrograma de agrupamento dos pontos de análise de qualidade da água de 2022.



Fonte: Os autores, 2023.

O grupo 1 é composto pelos pontos Belo 1, Faxinal 3, Maestra 2, Piaí 4 e os dois pontos do Pinhal, Pinhal 1 e 2. O grupo 2 foi formado por todos os pontos relacionados ao Tega (Tega 3, 4, 5, 6 e 9). Nessa sub-bacia, são observadas as maiores médias de concentrações de cobre chegando a 0,08 mg/l, DBO com 16,96 mg/l, DQO com 45,24 mg/l, fósforo com 1,25 mg/l, nitrogênio amoniacal com 11,07 mg/l e nitrogênio total com 14,17 mg/l. o que caracterizam a piora da qualidade do grupo. O grupo 1 apresenta médias para os parâmetros citados acima quase três vezes menor do que o grupo 2 com resultados para cobre de 0,02 mg/l, DBO de 4,72 mg/l, DQO de 21,16 mg/l, fósforo de 0,78 mg/l, nitrogênio amoniacal de 4,93 mg/l e nitrogênio total de 5,64 mg/l.

Os parâmetros citados estão associados ao lançamento de efluentes domésticos, com exceção do cobre. De acordo com a pesquisa realizada por Rodrigues, Nolasco e Jesus (2018), foi constatado que os pontos com menor qualidade da água refletem a entrada de efluentes domésticos. Pastro et al. (2020) e Rodrigues Junior et al. (2022), evidenciaram que algumas variáveis como coliformes termotolerantes e coliformes totais e a intensa influência urbana, foram determinantes para formação de grupos na análise de AA. Sant'Ana, Vital e Silva (2019) identificaram que os parâmetros, DBO, condutividade, sólidos dissolvidos totais e coliformes termotolerantes influenciavam na qualidade da água, sendo esses relacionados ao processo de urbanização das cidades.

Vale ressaltar que nesse período de estudo o ponto Pinhal 2, que anteriormente no período 1 (2012 a 2014) estava no grupo 2 passou para o grupo 1. Os valores médios de coliformes termotolerantes e DBO foram os que mais contribuíram para a melhora na qualidade da água, que era de $8,30 \times 10^5$ NPM/100ml e 60,40 mg/l consecutivamente no período 1 e passaram a $2,9 \times 10^4$ NPM/100ml e 5,16 mg/l no período 2. No ano de 2014 foi inaugurada a ETE Pinhal, sendo considerada a segunda maior do município (SAMAE, 2023), o que pode ter contribuído com a melhora nos valores dos parâmetros analisados para o ponto no período 2. Os pontos situados na sub-bacia do Tega em ambos os períodos analisados foram agrupados juntos, demonstrando que a qualidade da água não melhorou com o passar dos anos. Essa sub-bacia é uma das mais urbanizadas do município e com elevada presença de atividades industriais o que torna evidente a influência negativa da urbanização na qualidade da água (SANT'ANA, VITAL E SILVA, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da qualidade da água através da estatística multivariada possibilita a compreensão dos parâmetros que mais contribuem com a degradação da qualidade da água nos recursos hídricos de Caxias do Sul. Os dados apontam que as variáveis associadas aos efluentes domésticos, são as que hoje, contribuem diretamente na qualidade do corpo hídrico, apresentando 26,2% da variância dos dados na análise da ACP. A análise de agrupamentos também demonstrou forte relação das bacias mais urbanizadas com a contaminação por efluentes domésticos e contaminação devido aos efluentes industriais. Comparados os dados das campanhas 1 (2012 a 2014) e campanha 2 (2022), não se observa grande alteração na qualidade da água, demonstrando que a implantação das ETE durante o intervalo de tempo das campanhas, ainda não está sendo completamente efetiva no tratamento dos efluentes gerados pelo município.

Isso demonstra a necessidade de estudos futuros que visem compreender a urbanização crescente das cidades e a relação com as estações de tratamento de efluentes (ETE), a fim de se identificar se o município está conseguindo tratar de forma eficaz o efluente gerado pela população.

A contaminação por efluentes industriais, foi identificada no terceiro componente principal com 18,2% de variação dos dados, através das variáveis cianeto, cobre, níquel e zinco. Caxias do Sul é considerada no país, um grande polo metalmeccânico, o que traz a importância da fiscalização e orientação por meio dos órgãos ambientais para com as indústrias.

A estatística multivariada, através da análise de ACP e análise de agrupamentos, demonstrou ser ferramenta útil para a gestão dos dados da qualidade da água, facilitando o entendimento e possibilitando a tomada de decisões mais assertivas acerca das providências a serem tomadas para com os recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR n° 9.898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, jun.1987.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR n° 12620**: Determinação de nitrato – métodos do ácido cromotrópico e do ácido fenoldissulfônico. Rio de Janeiro, set.1992.
- ALVES, Igor Charles Castor; EL-ROBRINI, Maâmar; SANTOS, Maria de Lourdes Souza; MONTEIRO, Sury de Moura; BARBOSA, Leandro Patrick Ferreira; GUIMARÃES, José Tasso Felix. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 115-124, mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672012000100014>.
- APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ª edição, 2017.
- BIFANO, Reinaldo Brandi Abreu *et al.* Avaliação da Qualidade da Água em Microbacias Hidrográficas do Extremo Sul da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 2447-2461, 2 ago. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2447-2461>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/issue/view/2970>. Acesso em: 04 jun. 2023.
- BIGOLIN, Marcio *et al.* SIA – Sistema de Informação Ambiental: Ferramenta para monitoramento e apoio a decisão em Recursos Hídricos para Empreendimentos Hidrelétricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: Abrh, 2013. p. 1-7. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/b07d3341d0511ff96d6df165b3246211_2e4019d3b0e710ce4d8fee48343ba8a2.pdf. Acesso em: 23 maio 2023.
- BRASIL. Constituição (1997). Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília.
- CENTENO, Luana Nunes; CECCONELLO, Samanta Tolentino; GUEDES, Hugo Alexandre Soares; LEANDRO, Diuliana; MORAES, Philippe. Monitoramento da qualidade da água do arroio São Lourenço/RS. **Revista de Ciência e Inovação**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 67-76, 23 dez. 2016. *Revista de Ciência e Inovação*. <http://dx.doi.org/10.26669/2448-4091119>. Disponível em: <https://periodicos.iffarroupilha.edu.br/index.php/cienciainovacao/article/view/119>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. 2020. Apêndice C Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.
- CIDREIRA-NETO, Ivo Raposo Gonçalves *et al.* Qualidade da Água no Estuário do Rio Goiana, Nordeste do Brasil: subsídios para a conservação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 15, n. 5, p. 2340-2353, 29 ago. 2022. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2340-2353>.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB., 2016. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília: CETESB; ANA.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília.
- CORRÊA, H.K; RIEGEL, RP; ALVES, DD; OSÓRIO, DMM; COSTA, GM da; HUSSAIN, CM; QUEVEDO, DM de. Análise estatística multivariada e uso de sistemas de informação geográfica na avaliação da qualidade de água bruta. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, Rio de Janeiro, n. 52, pág. 1–15, 2019. DOI: 10.5327/Z2176-947820190431. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/583. Acesso em: 4 jun. 2023.
- DERISIO, J. C. Introdução ao controle de poluição ambiental.4ª edição atualizada, São Paulo, Oficina de Textos, 2012.

FINKLER, Nicolas Reinaldo et al. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 782-792, 28 out. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1468>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/khyRgGGTH53kJ3gYn5w8SdL/?lang=pt>. Acesso em: 07 maio 2023.

FRAGA, M. S.; ALMEIDA, L. T.; ABREU, M. C.; SILVA, F. B.; REIS, G. B.; FERREIRA, R. G. Avaliação da qualidade das águas superficiais na circunscrição hidrográfica do rio Piranga utilizando análise estatística multivariada e não-paramétrica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 694-710, 14 abr. 2021. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p694-710>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/244937>. Acesso em: 04 jun. 2023.

GOMES, M. da C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 134–149, 2017. DOI: 10.14295/ras.v31i1.28617. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28617>. Acesso em: 8 jun. 2023.

GOMES, M. C. R.; MENDONÇA, L. A. R. Análise estatística multivariada aplicada em amostras de água subterrânea da região do Cariri, sul do Estado do Ceará. *Pesquisas em Geociências*, [S. l.], v. 44, n. 3, p. 453–465, 2017. DOI: 10.22456/1807-9806.83269. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/83269>. Acesso em: 14 jun. 2023.

GUEDES, Hugo A. S.; SILVA, Demetrius D. da; ELESBON, Abrahão A. A.; RIBEIRO, Celso B. M.; MATOS, Antonio T. de; SOARES, José H. P.. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 558-563, maio 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662012000500012>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**: Caxias do Sul. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/caxias-do-sul.html>. Acesso em: 23 jun. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2022. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022>. Acesso em: 23 jun. 2023.

JASP. Software estatístico JASP. 2023. Elaborado pela Universidade de Amsterdã. Disponível em: <https://jasp-stats.org/>. Acesso em: 23 jun. 2023.

KHAN, Mohd Yawar Ali; ELKASHOUTY, Mohamed; ABDELLATTIF, Ayman; EGBUERI, Johnbosco C.; TAHA, Ayman I; DEEP, Mohamed Al; SHAABAN, Fathy. Influence of natural and anthropogenic factors on the hydrogeology and hydrogeochemistry of Wadi Itwad Aquifer, Saudi Arabia: Assessment using multivariate statistics and PMWIN simulation. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 151, n. 110287, p. 1-16, jul. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110287>.

LIU, S., MANSON, J.E., STAMPFER, M.J., Hu, F.B., GIOVANNUCCI, E., COLDITZ, G.A., HENNEKENS, C.H., WILLETT, W.C., 2000. A prospective study of whole-grain intake and risk of type 2 diabetes mellitus in US women. *American journal of Public Health* [online] 90, 1409–1415. Disponível: <https://doi.org/10.2105/AJPH.90.9.1409>

MARINHO, Eduardo Ribeiro; MOREIRA, Fernanda da Silva de Andrade; BRITO, Wedlas Júnior Pereira; MOREIRA, Fábio Luiz Baia Barreto; SILVA, Emerson Renato Maciel da; SANTOS, Letícia Furtado dos. Avaliação da Ação Urbana no Canal Água Cristal em Belém, Pará, um Estudo Sobre Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 322, 6 abr. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p322-335>.

NASCIMENTO, Bruno Lucio Meneses; GOMES, Dianna Rayla Carneiro de Souza; COSTA, Gleison Pereira; ARAËJO, Suely Silva; SANTOS, Luiz Carlos Araújo dos; OLIVEIRA, Jorge Diniz de. Comportamento e avaliação de metais potencialmente tóxicos (Cu (II), Cr (III), Pb(II) e Fe(III)) em águas superficiais dos Riachos Capivara e Bacuri Imperatriz-MA, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 369-378, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000113620>.

OLIVEIRA, Francielle Rodrigues de; CECÍLIO, Roberto Avelino; ZANETTI, Sidney Sara; FERRAZ, Fabrina Teixeira. QUALIDADE DE ÁGUA E DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DAS FAMÍLIAS DO ASSENTAMENTO FLORESTAN FERNANDES. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 74, p. 226–240, 2020. DOI: 10.14393/RCG217450284. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/50284>. Acesso em: 4 jun. 2023.

OKUMURA, Adriana Tieni Ramos et al. Determinação da Qualidade da Água de um Rio Tropical sob a perspectiva do Uso do Solo e Cobertura Vegetal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1835-1850, 11 jun. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1835-1850>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/243982>. Acesso em: 09 fev. 2022.

PASTRO, M. S.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, F. R. De; FERRAZ, F. T. Estatística Multivariada aplicada à análise de qualidade da água em diferentes ambientes de microbacias hidrográficas. *Nativa*, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 185–191, 2020. DOI: 10.31413/nativa.v8i2.8047. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/8047>. Acesso em: 8 jun. 2023.

PINTO, Carolina Cristiane; FARIA, Fábio Palmer Caldeira Parreiras de; ALMEIDA, Gustavo Matheus de. Utilização de modelo baseado em análise por componentes principais para identificação de condições críticas de qualidade de água superficial. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 288-305, 8 fev. 2021. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.004.0024>. Disponível em: <https://sustenerere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.004.0024>. Acesso em: 18 jun. 2023.

QUINELATO, Raquel Viana *et al.* Determinação da qualidade da água superficial e sua compatibilidade com os múltiplos usos: estudo de caso do estuário do rio Caraíva. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 037-057, 16 abr. 2021. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p037-057>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/248978>. Acesso em: 03 jun. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 50, de 11 de novembro de 2008. Aprova o enquadramento das águas das bacias hidrográficas dos rios Caí, Pardo, Tramandaí e do Lago Guaíba. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>. Acesso em: 01 dez. 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 53, de 20 de abril de 2009. A Aprova os prazos máximos para atingir a meta final e a meta intermediária do enquadramento das águas da bacia hidrográfica do Rio Caí. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>. Acesso em: 01 dez. 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 121, de 12 de dezembro de 2012. Aprova o Enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>. Acesso em: 01 dez. 2022.

RIBEIRO, TG; BOAVENTURA, GR; DA CUNHA, LS; PIMENTA, SM. Estudo da qualidade das águas por meio da correlação de parâmetros físico-químicos, bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns. **Geochimica Brasiliensis**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 84, 2016. DOI: 10.21715/GB2358-2812.2016301084. Disponível em: <https://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/449>. Acesso em: 8 jun. 2023.

ROCHA, César Henrique Barra; PEREIRA, Amanda Maia. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 176-187, 26 jan. 2016. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1590>.

RODRIGUES, D. da P.; NOLASCO, M. C.; DE JESUS, T. B. BACKGROUND DE QUALIDADE DE ÁGUA DO ALTO PARAGUAÇU - CHAPADA DIAMANTINA - BAHIA - BRASIL. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 68, p. 157–167, 2018. DOI: 10.14393/RCG196811. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40387>. Acesso em: 8 jun. 2023.

RODRIGUES DE OLIVEIRA, F.; AVELINO CECÍLIO, R.; SARA ZANETTI, S.; TEIXEIRA FERRAZ, F. QUALIDADE DE ÁGUA E DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DAS FAMÍLIAS DO ASSENTAMENTO FLORESTAN FERNANDES. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 74, p. 226–240, 2020. DOI: 10.14393/RCG217450284. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/50284>. Acesso em: 8 jun. 2023.

RODRIGUES JUNIOR, Jocimar Coutinho; PAIVA, Anderson Luiz Ribeiro de; MOTTERAN, Fabricio; OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel de; SILVA FILHO, José Adalberto da; PESSOA, Jonas Onis. Variância de parâmetros de qualidade da água e análise de agrupamentos na bacia hidrográfica do rio Goiana, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 3013-3031, nov. 2022. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p3013-3031>.

SALES, Fabiana de Lima. O desenvolvimento econômico de Caxias do Sul na perspectiva do acervo do Museu Municipal. In: SEMINTUR, 4., 2006, Caxias do Sul. **Anais [...]**. Caxias do Sul: SeminTUR, 2006. p. 1-13.

SANT'ANA, A. C.; VITAL, M. J. S.; SILVA, H. E. B. Influência da urbanização na qualidade da água do Rio Branco e afluentes no município de Boa Vista, Roraima, Amazônia brasileira. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, e6, 2019. <https://dx.doi.org/10.21168/reg.a.v16e6>.

SHANMUGASUNDHARAM, A.; AKHINA, S.N.; ADHITHYA, R.P.; SINGH, D. Satheesh Herbert; KRISHNAKUMAR, S.. Water quality index (WQI), multivariate statistical and GIS for assessment of surface water quality of Karamana river estuary, west coast of India. **Total Environment Research Themes**, [S.L.], v. 6, n. 100031, p. 1-12, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.totert.2023.100031>

SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Esgoto. 2023. Disponível em: <https://www.samaecaxias.com.br/Pagina/Index/10043>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SOUZA, Gisele Silva de; CECCONELLO, Samanta Tolentino; CENTENO, Luana Nunes. Análise espacial de similaridade da qualidade da água de um rio localizado no sul do Rio Grande do Sul. **Revista Ambientale**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 38-49, 21 dez. 2021. Universidade Estadual de Alagoas. <http://dx.doi.org/10.48180/ambientale.v13i4.319>.

TAVARES, B. S. Qualidade de água na bacia hidrográfica do rio Una - Pernambuco. 2014. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2014. Disponível em: http://www.condepefidem.pe.gov.br/c/document_library/get_file?p_l_id=78673&folderId=141847&name=DLFE-11996.pdf. Acesso em: 23 jul. 2015

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002>

TUCCI, Carlos E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 22, n. 63, p. 97-112. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s010>

VICINI, L; SOUZA, A. M. Análise Multivariada da Teoria à Prática. Santa Maria: Biblioteca Central da Ufsm, 2005. 215 p.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2005.

YABE, Maria Josefa Santos; OLIVEIRA, Elisabeth de. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Química Nova**, [S.L.], v. 21, n. 5, p. 551-556, out. 1998. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40421998000500003>.

**APÊNDICE D – ARTIGO 3: ANÁLISE DO CUMPRIMENTO DAS METAS E
EFICÁCIA DO ENQUADRAMENTO DE CORPOS D’AGUA DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS DE CAXIAS DO SUL/RS**

ANÁLISE DO CUMPRIMENTO DAS METAS E EFICÁCIA DO ENQUADRAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE CAXIAS DO SUL/RS

Daniela Menegat¹, Taison Anderson Bortolin², Vania Elisabete Schneider²

¹Universidade de Caxias do Sul, Instituto de Saneamento Ambiental, Caxias do Sul, RS. dmenegat1@ucs.br

²Universidade de Caxias do Sul, Instituto de Saneamento Ambiental, Caxias do Sul, RS. tabortol@ucs.br

³Universidade de Caxias do Sul, Instituto de Saneamento Ambiental, Caxias do Sul, RS. veschnei@ucs.br

RESUMO

As atividades humanas têm causado degradação dos corpos hídricos ao longo do tempo. Sendo assim, a criação de um plano de gestão de recursos hídricos, visando compreender os rios que existem atualmente e os rios que se deseja obter se torna ferramenta fundamental. O presente trabalho possui o objetivo de analisar o cumprimento das metas estabelecidas para enquadramento de corpos hídricos com base na legislação, através do cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) e do emprego da análise probabilística no período de 2012 a 2014 em comparação ao ano de 2022 em rios da área urbana do município de Caxias do Sul/RS. Foram analisados 11 pontos abrangendo as sub-bacias Faxinal, Maestra, Tega, Belo, Piaí e Pinhal. Para o cálculo do ICE foram analisados 14 parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os resultados do ICE apontaram a não conformidade e/ou o afastamento do enquadramento proposto nos dois períodos de estudo, demonstrando a dificuldade de alcançar a meta proposta de enquadramento devido a contaminação por meio de efluentes industriais e domésticos com elevada carga orgânica no corpo hídrico. Com base nas curvas probabilísticas, foi possível constatar que os parâmetros que mais contribuíram com o afastamento do enquadramento foram coliformes termotolerantes e fósforo. A análise estatística permitiu ainda concluir que os períodos analisados não apresentam diferença significativa da qualidade da água. Isto expressa a importância da revisão dos enquadramentos com metas e fiscalizações progressivas para que se possa atingir a proposição de enquadramento proposta para o uso da água definido pela população.

Palavras-Chave: Enquadramento. ICE. Análise probabilística. Qualidade da água.

ANALYSIS OF THE ACHIEVEMENT OF THE GOALS AND EFFECTIVENESS OF THE FRAMEWORK OF WATER BODIES IN THE WATER BASINS OF CAXIAS DO SUL/RS

ABSTRACT

Human activities have caused degradation of water bodies over time. Therefore, the creation of a water resources management plan, aiming to understand the rivers that currently exist and the rivers that one wants to obtain, becomes a fundamental tool. The present work has the objective of analyzing the fulfillment of the goals established for the classification of water bodies based on the legislation, through the calculation of the Conformity Index to the Classification (ECI) and the use of probabilistic analysis in the period from 2012 to 2014 in comparison to the year 2022 in rivers in the urban area of the municipality of Caxias do Sul/RS. Eleven points covering the Faxinal, Maestra, Tega, Belo, Piaí and Pinhal sub-basins were analyzed. For the calculation of the ICE, 14 physical, chemical and biological parameters were analyzed. The ICE results pointed to non-compliance and/or departure from the proposed framework in the two study periods, demonstrating the difficulty of achieving the proposed framework target due to contamination by industrial and domestic effluents with a high organic load in the water body. Based on the probabilistic curves, it was possible to verify that the parameters that most contributed to the removal from the framework were thermotolerant coliforms and phosphorus. Statistical analysis also allowed to conclude that the analyzed periods do not present a significant difference in water quality. This expresses the importance of revising the frameworks with targets and progressive inspections so that the proposal for the framework proposed for the use of water defined by the population can be achieved.

Keywords: Framework. ICE. Probabilistic analysis. Water quality.

Introdução

A água é um bem vital a toda e qualquer espécie do planeta, e está relacionada a diversos usos industriais, cotidianos e de lazer da população. Segundo Teodoro et al. (2013) devido aos diversos usos, diretos e indiretos da água, a necessidade de preservação e recuperação de recursos hídricos vem a cada dia se tornando mais evidente. Um dos grandes desafios, não apenas no Brasil, mas no mundo é a poluição dos corpos de água e como realizar o controle desse recurso natural (TEODORO et al., 2013). Grande parte das práticas industriais, comerciais, agropecuárias e do cotidiano da população requer uma água de qualidade para suas atividades, bem como para o consumo humano. Entretanto, conforme Tucci (2008) e Okumura et al. (2020) as atividades humanas têm causado significativa alteração na qualidade da água e na biodiversidade, oriundo principalmente pelo descarte inadequado de esgoto doméstico e efluentes industriais sem tratamento ou sem atendimento à capacidade suporte do recurso hídrico.

Para lidar com a preocupação com os recursos hídricos, foi criada a Lei nº 9.433 em 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). A lei estabeleceu instrumentos para a gestão das águas no Brasil, como os Planos de Recursos Hídricos, sistemas de informações, outorga de direitos de uso das águas e enquadramento dos corpos d'água segundo seus usos preponderantes.

O enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade possui o objetivo de assegurar às águas, qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas, e ainda auxiliar na diminuição dos custos de combate à poluição hídrica, mediante ações preventivas permanentes (PINTO et al., 2016; ANA, 2021). Além disso, o enquadramento deve ser referência, tanto para a condição atual da qualidade da água, quanto para a desejada, ou seja, a meta pela qual se almeja encontrar o recurso hídrico com o objetivo de atender aos usos definidos pela sociedade. Na resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, estão definidas as diretrizes para a classificação das classes de enquadramento dos corpos de água que deve ser realizada pelos comitês de bacias hidrográficas dentro do processo de planejamento dos recursos hídricos.

Conforme Silva (2017), é necessária a avaliação da qualidade do curso d'água por meio de uma rede de monitoramento para se compreender a efetivação e acompanhar a eficácia das ações definidas nos planos de bacia. Também se faz necessário a compreensão do que consiste o

atendimento ou não, do enquadramento proposto nos respectivos planos e/ou o quão distante está a qualidade do rio atual para aquela desejada (SILVA, 2017). A fim de verificar a situação do corpo hídrico em relação ao enquadramento planejado para seus usos, foi desenvolvido originalmente em 1997 pelo Canadian Council of Ministers of the Environment, o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE). Conforme Amaro e Porto (2009), a utilização do ICE permite identificar se os corpos d'água estão ou não conformes com o enquadramento proposto pela legislação.

Lumb, Halliwell e Sharma (2006), Amaro e Porto (2009), Bortolin et al. (2013), Pinto et al. (2016), Silva (2017), Oliveira et al. (2018) e Oliveira et al. (2018), Reis et al. (2019), Santos et al. (2020), Rocha et al. (2022), Sobreira Silva et al. (2022) utilizaram o ICE para avaliar o enquadramento nos corpos hídricos e verificar os parâmetros que possuem o maior número de desconformidades em relação à classe de uso proposta pelo enquadramento da bacia. Isto demonstra a importância da utilização de um índice que permita compreender se as metas propostas nos Planos de Recursos Hídricos para qualidade da água estão sendo atendidas. Além de verificar o cumprimento das metas propostas nos planos de bacia, se faz necessário avaliar a eficácia do enquadramento estipulado pelos planos, a fim de se compreender se a meta proposta foi audaciosa tendo em vista a situação do rio atual e o uso pelo qual a população faz desse e a quantidade de recursos disponíveis para alcançar a meta desejada.

A fim de facilitar a interpretação dos dados obtidos através da ferramenta do ICE pode-se também fazer o uso das curvas probabilísticas. Cunha e Calijuri (2010), Guimarães et al. (2016) e Santos et al. (2018) utilizaram curvas probabilísticas como forma de condensar as informações da qualidade da água e auxiliar na tomada de decisão, identificando as áreas prioritárias para ações de recuperação. O uso das curvas probabilísticas, pode ser ferramenta de divulgação de dados a sociedade, por apresentar de forma clara e sucinta a informação pertinente além de auxiliar o poder público na tomada de decisões identificando áreas prioritárias para ações efetivas.

Neste contexto, este estudo teve como objetivo analisar o cumprimento das metas estabelecidas para enquadramento de corpos hídricos com base na legislação, através do cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) e do emprego da análise probabilística no período de 2012 a 2014 em comparação ao ano de 2022 em rios que cruzam a área urbana do

município de Caxias do Sul no estado do Rio Grande do Sul.

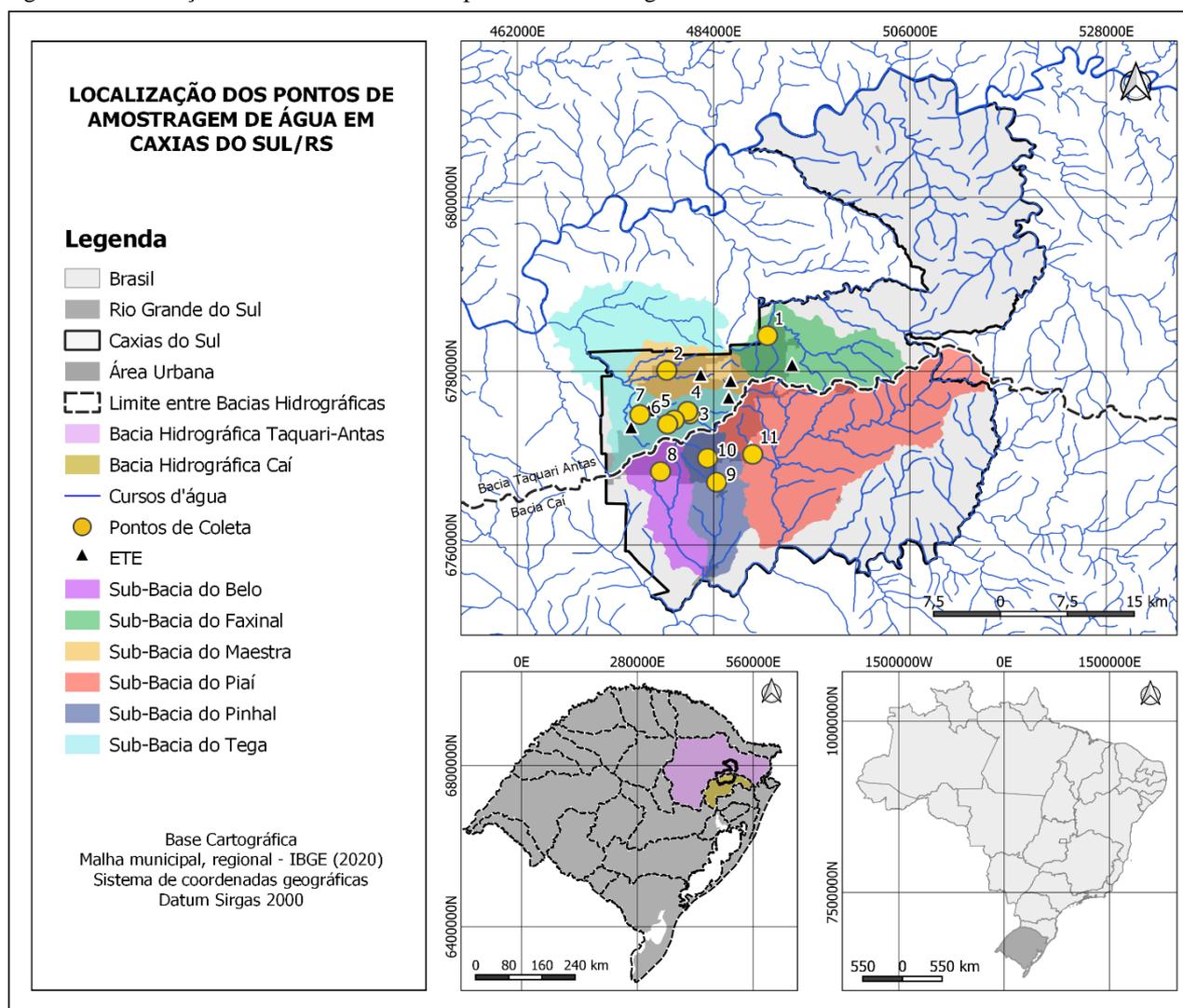
Metodologia

Área de estudo

Tendo em vista o objetivo proposto, o estudo foi realizado na área urbana do município de Caxias do Sul, localizado no Estado do Rio

Grande do Sul. Escolheu-se analisar a área urbana do município, pois é a que sofre com o processo de pressão antrópica. Caxias do Sul se encontra na Região Hidrográfica do Guaíba, no divisor de águas do comitê da Bacia Hidrográfica do Caí – G 030, e do comitê da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas – G 040, (RIO GRANDE DO SUL, 2022), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Localização da área de estudo e dos pontos de amostragem.



O Estado do Rio Grande do Sul, instituiu através da Lei nº 10.530 de 30 de julho de 1994, o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Através dessa Lei foi proposta a criação de Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica. Ficou instituído que em cada bacia hidrográfica fosse constituído um Comitê, ao qual receberia a função de coordenar as atividades dos agentes públicos e privados relacionados aos recursos hídricos e assim cumprindo as metas do Plano Estadual de Recursos

Hídricos que estava previsto na lei supracitada (RIO GRANDE DO SUL, 1994) e que foi instituído apenas no ano de 2014 através da Resolução CRH nº 141 de 21 de março.

Os comitês de bacia dentro de seus planos, realizam o enquadramento dos corpos hídricos com base na Resolução CONAMA 357/2005.

As metas de qualidade da água planejadas para as Bacias Hidrográficas em que se inserem os pontos de análise do presente estudo, estão

definidas na Resolução nº 121 de 12 de dezembro de 2012 para o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas na qual propõem horizontes de 10 e 20 anos para enquadramento dos rios. E nas Resoluções CRH nº 50 de 2008 e CRH nº 53 de 2009 que tratam sobre o enquadramento das águas da Bacia

Hidrográfica do Rio Caí, determinando um horizonte de 15 anos para o atendimento final da meta proposta.

Na tabela 1 são apresentados o código do ponto no mapa (ID), as denominações dos pontos, descrição da localização e a coordenada expressa em UTM fuso 22S.

Tabela 1. Localização e descrição dos pontos de amostragem.

ID	Ponto	Descrição	Coordenada	Bacia
1	Faxinal 3	Localizado a jusante do reservatório de abastecimento público – Faxinal. Antigamente, existia no local um curtume, existindo atualmente o passivo ambiental.	4889940 E 6784021 S	Sub-Bacia do Faxinal
2	Maestra 2	O ponto está localizado a jusante do reservatório de abastecimento público – Maestra.	478754 E 6780109 S	Sub-Bacia do Maestra
3	Tega 3	O ponto localiza-se na parte canalizada do rio Tega, recebendo o efluente de área densamente urbanizada.	481323 E 6775061 S	Sub-Bacia do Tega
4	Tega 4	O ponto localiza-se em área densamente urbanizada e industrial.	481103 E 6775401 S	Sub-Bacia do Tega
5	Tega 5	O ponto localiza-se junto ao espaço cultural Moinho da Cascata, no rio Tega.	479547 E 6774453 S	Sub-Bacia do Tega
6	Tega 6	O ponto localiza-se em local com elevada densidade de ocupação e de atividades. Destaca-se a existência de tubulações oriundas das residências que contribuem diretamente com o rio.	478776 E 6773906 S	Sub-Bacia do Tega
7	Tega 9	O ponto localiza-se a jusante da Estação de Tratamento de Efluentes do Rio Tega. Recebe a contribuição dos demais pontos monitorados na bacia do Tega.	475709 E 6775016 S	Sub-Bacia do Tega
8	Belo 1	O ponto localiza-se em área de influência antrópica.	4788070 E 6768469 S	Sub-Bacia do Belo
9	Pinhal 1	O ponto recebe as contribuições de drenagem do ponto Pinhal 2 e de bairros da zona sul do município, bem como, de uma região a sudeste com mata mais preservada e com baixa ocupação populacional.	484336 E 6767234 S	Sub-Bacia do Pinhal
10	Pinhal 2	O ponto localiza-se a montante da Estação de Tratamento de Efluentes do Arroio Pinhal.	483312 E 6769864 S	Sub-Bacia do Pinhal
11	Piaí 4	O ponto de amostragem recebe contribuições de extensas áreas urbanizadas.	488463 E 6770404 S	Sub-Bacia do Piaí

As sub-bacias do Tega, Faxinal e Maestra estão inseridas na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, enquanto as sub-bacias Belo, Piaí e Pinhal estão inseridas na Bacia Hidrográfica do Caí.

Levantamento de Dados

Foram definidos onze pontos de amostragem para análise da qualidade da água localizados na área urbana do município de Caxias do Sul, abrangendo as duas Bacias Hidrográficas no qual o município se insere.

Os dados de qualidade da água do período 1 que compete aos anos de 2012 a 2014, foram obtidos do banco de dados do Sistema de Informação Ambiental (SIA) através de campanhas de amostragem, realizadas nos meses de setembro de 2012 a maio de 2014, totalizando 11 campanhas. O SIA é um sistema de gestão ambiental criado para auxiliar na tomada de decisão (BIGOLIN *et al.*, 2013). Foi desenvolvido pela Universidade de Caxias do Sul e engloba informações de diferentes fatores ambientais, tais como qualidade da água,

clima, fauna e flora da região. Os dados do período 2, foram obtidos através de coleta e análise da água realizada de forma bimestral nos meses de fevereiro a novembro de 2022, totalizando 6 campanhas. As amostras foram coletadas seguindo os procedimentos com base na NBR 9898/1987 (ABNT, 1987), no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2016), e os ensaios realizados pelo laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais, LAPAM, conforme *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ed. 23 (APHA, 2017). Os parâmetros analisados foram: cianeto, clorofila- α , coliformes termotolerantes, cromo, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, níquel, nitrato, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, turbidez e zinco. Tais parâmetros foram selecionados por possuírem limites estabelecidos na resolução Conama 357/05, tendo em vista que a verificação de desconformidade é medida com base na meta estabelecida para cada classe de enquadramento do corpo hídrico.

Cálculo do índice de conformidade ao enquadramento

O Índice de Conformidade ao Enquadramento, conhecido também por ICE, foi desenvolvido no Canadá em 1997 pela *Canadian Council of Ministers of the Environment: Water Quality Guidelines* (CCME, 2001) com o objetivo de fornecer uma ferramenta para avaliação de dados de qualidade das águas, fazendo uso de diversos parâmetros e de fácil entendimento. O ICE foi proposto por Amaro (2009) na avaliação da qualidade das águas das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), localizada no estado de São Paulo e atualmente é utilizado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2022) para avaliar os rios brasileiros.

Este índice é utilizado para indicar a condição de conformidade da qualidade da água do corpo hídrico ao enquadramento estabelecido pela legislação, sendo composto pelos seguintes fatores:

Fator 1 - Abrangência/Espaço: representa a abrangência das desconformidades, isto é, o

número de variáveis que violaram os limites desejáveis pelo menos uma vez no período de observação (Equação 1).

Equação 1:

$$\left(\frac{n^{\circ} \text{ de variáveis que ultrapassam o limite}}{n^{\circ} \text{ total de variáveis}} \right) \times 100$$

Fator 2 - Frequência: representa a porcentagem de vezes que a variável esteve em desconformidade em relação ao número de observações (Equação 2).

Equação 2:

$$F_2 = \left(\frac{n^{\circ} \text{ de medições que ultrapassam o limite}}{n^{\circ} \text{ total de medições}} \right) \times 100$$

Fator 3 - Amplitude: representa a extensão da não conformidade legal, isto é, a diferença entre o valor medido e o limite legal, sendo calculado em três etapas:

- I) O número de vezes no qual a concentração individual é maior que o limite da classe (ou menor que, quando o objetivo é um mínimo);
- II) O número total de medições individuais que está em desacordo com o limite legal é calculado somando as variações individuais em relação aos limites legais e dividindo pelo número total de medições;
- III) O valor de F3 é calculado pela soma normalizada das variações em relação aos limites legais, sendo que estas foram reduzidas a uma variável entre 0 e 100. A fórmula de cálculo do ICE é apresentada na Equação 3.

Equação 3:

$$ICE = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$$

O fator de 1,732 normaliza os valores resultantes para a faixa entre 0 e 100, onde 0 representa a pior qualidade e 100 a melhor qualidade das águas. São estabelecidas faixas de valores para este índice, as quais caracterizam a qualidade das águas, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Faixas de classificação do ICE.

Categorias	Faixa de Valores	Descrição
CONFORME	$80 \leq ICE \leq 100$	A maioria ou todas as medições estão dentro dos padrões de qualidade da água
AFASTADO	$45 \leq ICE < 80$	As medições estão frequentemente em desacordo com os padrões de qualidade da água
NÃO CONFORME	$ICE < 45$	A maioria ou a totalidade das medições está violando os limites da classe de enquadramento

FONTE: adaptado de Amaro (2009) e Bortolin *et al.* (2013).

Estatística descritiva e curvas probabilísticas

Foi realizada a estatística descritiva das séries históricas por períodos e bacias hidrográficas, obtendo-se os valores máximos, mínimos, médias e desvio padrão. Além disso, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para verificar se existia diferença estatística entre os períodos 1 e 2 em cada bacia hidrográfica de estudo. Igualmente a Sabino, Lage e Noronha (2017), foi considerado para o teste, o nível de significância de 5%. As análises se deram com o auxílio do software JASP versão 0.17.2.1 de maio de 2023, programa livre e de código aberto criado para auxiliar em análises estatísticas gerenciado pela Universidade de Amsterdã (JASP, 2023).

As curvas probabilísticas foram geradas através da análise dos parâmetros que mais contribuíram para a desconformidade ou afastamento dos cursos d'água de estudo e que

definem o enquadramento das bacias. Os parâmetros selecionados para criação das curvas foram, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, oxigênio dissolvido e nitrogênio amoniacal. Para as curvas probabilísticas foram utilizadas planilhas de Excel®.

Resultados e Discussões

A seguir são apresentados os resultados obtidos para as Bacias Hidrográficas do município de Caxias do Sul bem como suas respectivas discussões.

Sub-bacias do Taquari Antas

A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas dos parâmetros selecionados para cálculo do ICE, separados em dois períodos: o período 1 (2012 a 2014) e período 2 (2022) para a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.

Tabela 3. Estatísticas descritivas dos pontos localizados na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas no Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022).

Parâmetro	Período 1 ¹				Período 2 ²			
	Máx.	Mín.	Méd.	Desv. Pad.	Máx.	Mín.	Méd.	Desv. Pad.
Cianeto (mg/L)	0,975	0,01	0,12	0,20	0,41	0,01	0,03	0,07
Clorofila- α (mg/m ³)	45,39	0,05	7,62	9,45	0,05	0,05	0,05	0,00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	1,6x10 ⁷	7,9x10 ²	8,8x10 ⁵	2,32x10 ⁶	1,6x10 ⁶	5,4x10 ³	1,89x10 ⁵	4,65x10 ⁵
Cromo (mg/L)	3,89	0,04	0,32	0,55	0,16	0,004	0,032	0,04
DBO (mg/L)	177,6	4,30	31,94	35,29	151,9	1,80	13,60	24,56
Fósforo (mg/L)	9,51	0,242	1,14	1,19	2,95	0,22	1,06	0,69
Níquel (mg/L)	1,97	0,002	0,26	0,31	0,42	0,008	0,05	0,08
Nitrato (mg/L)	24,55	0,41	6,39	5,69	6,49	0,04	1,76	1,58
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	26,90	1,42	10,81	5,53	25,89	3,07	9,08	6,38
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	12,51	1,52	7,86	2,88	8,10	0,17	5,26	2,34
pH	8,79	6,52	7,64	0,44	8,63	7,19	7,72	0,35
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	515,00	1,00	246,77	99,13	272,00	34,00	148,29	52,66
Turbidez (NTU)	383,00	0,00	30,20	50,99	32,80	1,20	9,10	8,03
Zinco (mg/L)	2,30	0,034	0,335	0,404	0,83	0,01	0,14	0,15

¹ Período 1 (2012 a 2014); ² Período 2 (2022)

Máx. – concentrações e teores máximos encontrados; Mín. – concentrações e teores mínimos encontrados; Méd. – concentrações e teores médios encontrados; Desv. Pad. – desvio padrão das concentrações e teores encontrados.

A partir da Tabela 3, é possível observar que há diferenças entre alguns parâmetros dos períodos analisados.

O período 1 apresentou valores médios mais elevados de cianeto, clorofila- α , cromo, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), níquel, nitrato, sólidos dissolvidos totais, turbidez e zinco quando comparados ao período 2. O parâmetro cianeto apresentou o maior valor no período 1 com 0,975 mg/L no ponto Tega 6. O cianeto está relacionado a indústrias de galvanoplastia,

indústria química e outros (CETESB, 2017) empresas essas localizadas a montante do ponto Tega 6.

A maior concentração de DBO no período 1, foi encontrada no Tega 3 com valor de 177,6 mg/L, valor que excede 17 vezes o máximo permitido para enquadramento em classe 3 na Conama 357/05. Nesse mesmo ponto foi encontrado o valor máximo de nitrogênio amoniacal que chegou a 26,9mg/L. O ponto em questão caracteriza-se por receber contribuições

da bacia mais urbanizada do município. Para o parâmetro coliformes termotolerantes, os valores ficaram acima do preconizado da resolução 357/05 no ponto Tega 4 chegando a $1,6 \times 10^7$ NMP/100ml.

Os parâmetros de fósforo e pH não apresentaram variação expressiva entre as médias dos períodos 1 e 2, apresentando médias de 1,14 e 1,06 mg/L respectivamente. O fósforo apresentou maior concentração no ponto Tega 3, chegando a 9,51 mg/L, valor que ultrapassa 60 vezes o limite da Conama 357/05 para classe 3 de enquadramento.

Na região de estudo o fósforo não possui origem natural, pois os solos e as rochas encontrados possuem baixa concentração natural de fósforo (VON SPERLING, 1996). Nesse caso a fonte principal de fósforo nos corpos hídricos é de origem antrópica, com destaque para os efluentes industriais sem tratamento ou os efluentes domésticos que não estão conectados as ETEs.

Os metais como cromo e níquel apresentaram os maiores resultados no ponto Tega 4, ponto esse marcado pela forte presença de atividades industriais. Os valores encontrados no período 1 ultrapassam os limites propostos nas classes da Conama 357/05, que preconiza o valor máximo de 0,05 mg/L de cromo e 0,025 mg/L de níquel para as Classes 1, 2 e 3.

No período 2 os parâmetros cianeto, cromo, coliformes termotolerantes, DBO, níquel e nitrogênio amoniacal apresentaram valores máximos elevados. O cianeto chegou a 0,41 mg/L e o cromo em 0,16 mg/L, ambos no ponto Tega 4, mesmo ponto que apresentou valores elevados para esses parâmetros no período 1.

O parâmetro de coliformes termotolerantes apresentou valor elevado chegando a $1,6 \times 10^6$ NMP/100ml nos pontos Faxinal 3 e Tega 3. Mesmo considerando os valores mínimos encontrados para ambos os períodos, esses não possibilitam o enquadramento dos corpos d'água em classes superiores a classe 4 da Conama 357/05. A DBO e o nitrogênio amoniacal apresentaram valores elevados no ponto Tega 3, igualmente no período 1. No período 2, os máximos valores encontrados foram de 151,9 mg/L para DBO e 25,89 mg/L de nitrogênio amoniacal.

O níquel, diferentemente do período 1, apresentou sua máxima concentração no ponto Tega 5, ponto que está a jusante do ponto Tega 4, ponto esse que apresentou valores elevados no primeiro período de análise.

A fim de identificar se existe diferença significativa entre as médias das variáveis do período 1 e 2 foi realizado o teste de Kruskal-Wallis. O teste apresentou significância de 0,312 sendo o valor maior que 0,05 o que leva a não

rejeitar a hipótese nula de que não existem diferença significativa entre os períodos 1 e 2 de estudo. O resultado aponta que não existe diferença significativa entre os períodos analisados. Apesar de haver uma melhora nos parâmetros analisados no período 2 em comparação ao período 1, os valores encontrados são ruins, demonstrando que a degradação do corpo hídrico persiste.

A fim de se compreender se os rios de estudo estão atingindo o enquadramento proposto, foi realizado o cálculo de ICE. A Resolução nº 121 de 12 de dezembro de 2012 estabeleceu metas de enquadramento para os seus rios para horizontes de 10 e 20 anos. A presente Resolução não considerou o parâmetro fósforo para a determinação dos enquadramentos propostos, sugerindo apenas que fossem elaborados estudos para determinação da concentração basal do fósforo na bacia em questão, para assim determinar os padrões de qualidade da água.

O ponto localizado na Sub-Bacia do Faxinal, conforme apresentado na Tabela 4, possui proposta de enquadramento para classe 3 num horizonte de 10 anos e classe 2 para um horizonte de 20 anos. As sub-bacias do Maestra e Tega possuem a proposta de enquadramento classe 2 para um horizonte de 10 e mesma classe para um horizonte de 20 anos.

Foi considerado para o cálculo de ICE e demais análises a classe 2 de enquadramento para todas as sub-bacias de estudo da Bacia Taquari-Antas.

Tabela 4. Metas de enquadramento na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.

Sub-Bacia	Meta intermediária (10 anos)	Meta final (20 anos)
Faxinal	3	2
Maestra	2	2
Tega	2	2

Conforme a Resolução Conama 357/05, as águas de classe 2 são destinadas principalmente ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas de contato direto; recreação de contato primário; proteção das comunidades aquáticas e atividades de pesca.

Os pontos de amostragem nos rios das sub-bacias citadas se enquadram, através das análises de qualidade da água realizadas, como sendo classe 4 para ao menos um dos parâmetros analisados, sendo eles cianeto, clorofila- α , coliformes termotolerantes, cromo, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, níquel, nitrato, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, turbidez e zinco. Rios

enquadrados como classe 4, segundo a Conama 357/05, são destinados apenas para navegação e paisagismo.

Na Tabela 5 são observados os resultados do ICE para os rios da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas no período 1 (2012 a 2014) e período 2 (2022).

Tabela 5. Resultados do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) para as Sub-Bacias do Taquari-Antas.

PONTO	2012	2013	2014	2022
TEGA 3	29,47	33,02	30,55	44,48
TEGA 4	25,44	28,72	47,85	35,44
TEGA 5	25,96	29,58	32,25	35,54
TEGA 6	40,1	42,77	43,38	46,45
TEGA 9	44,36	38,98	47,25	48,37
FAXINAL 3	67,08	61,54	67,39	61,47
MAESTRA 2	68,25	64,64	42,63	51,71
Legenda:	Conforme	Afastado	Não conforme	

Os pontos de análise da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas não apresentam conformidade com a meta de enquadramento proposta em 2012. Os pontos Tega 3, Tega 4 e Tega 5 apresentaram desconformidade e os demais pontos estão afastados do enquadramento proposto. É notória a melhora do ICE na sub-bacia do Tega à medida que ocorre o distanciamento da área urbanizada (Tega 6 e 9). Essa melhora pode estar associada à autodepuração do corpo da água. A autodepuração está vinculada ao restabelecimento do equilíbrio do meio aquático, através de mecanismos naturais, recebendo quantidade de matéria orgânica, degradando-a e convertendo-a em produtos não nocivos e ou benéficos aquele ambiente (SPERLING, 2005; TEODORO, 2010). Schneider *et al.* (2021) realizaram amostragens de qualidade da água ao longo do trecho do Tega no ano de 2019 e constataram que o curso d'água apresenta pequena melhora nos resultados conforme se afasta da área mais urbana, a jusante da nascente do rio o que corrobora com os resultados obtidos acima. Finkler *et al.* (2015) constataram ao analisarem as bacias hidrográficas de Caxias do Sul, que os pontos localizados em área de menor pressão antrópica, distante da área urbanizada, apresentavam as menores concentrações de poluentes e maior presença de oxigênio dissolvido.

O ponto Faxinal 3 manteve durante todos os períodos analisados o afastamento do enquadramento proposto, com valores de ICE semelhantes, ficando entre 61 e 67. O ponto Maestra 2 apresentou piora nos resultados com o passar dos anos. No ano de 2022 o índice apresentou afastamento para esse ponto, com valor de ICE de 51,71 sendo que, para atingir a conformidade, o valor de ICE deve ser superior a 80. Em comparação com o período 1 o valor do

ICE apresentou queda, estando mais próximo da não conformidade.

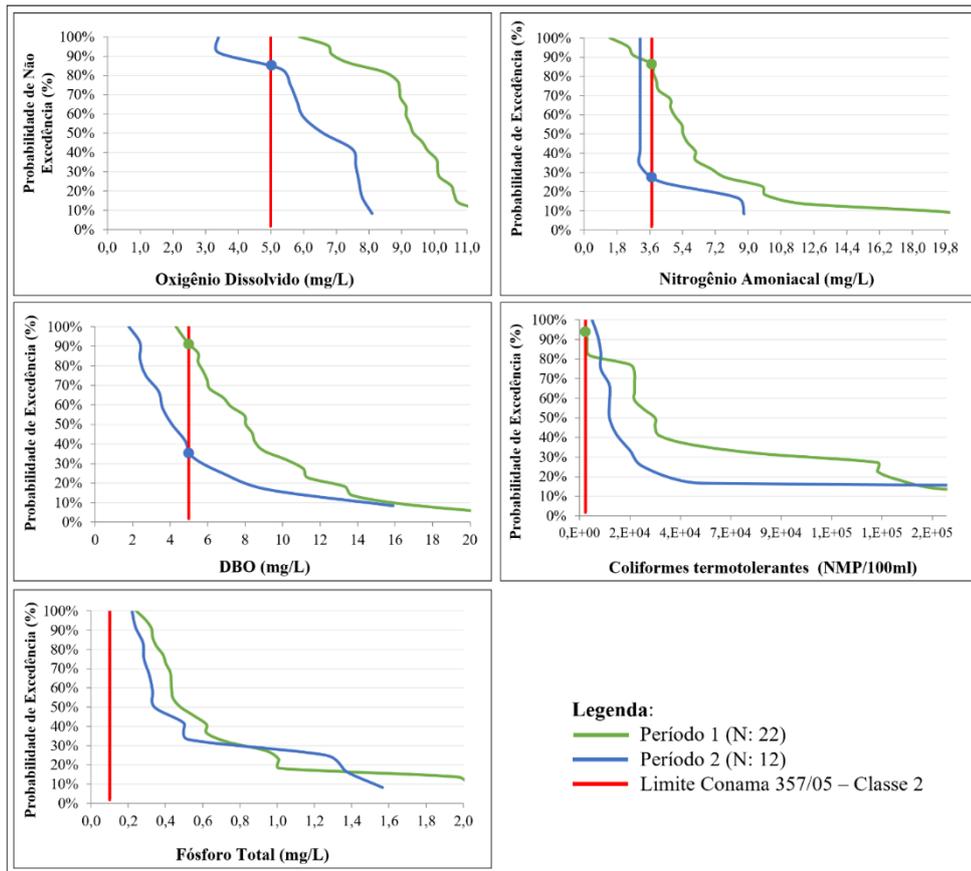
Os parâmetros que tiveram maior impacto na ocorrência de afastamento ou desconformidade no Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) foram representados graficamente por meio de curvas probabilísticas, proporcionando uma compreensão mais clara do percentual de excedência e não excedência desses parâmetros, levando em consideração a classe desejada no enquadramento proposto no plano de bacia.

A Figura 2 apresenta os gráficos de probabilidade de excedência ou não excedência para os pontos das sub-bacias Faxinal e Maestra no período 1 (2012 a 2014) e no período 2 (2022) e a Figura 3 apresenta os dados da sub-bacia Tega para os mesmos períodos.

Os parâmetros que mais apresentaram desconformidade com o enquadramento, para ambos os períodos de análise e sub-bacias, foram o de coliformes termotolerantes e fósforo total. Guimarães (2013) também encontrou com frequência valores em desconformidade para os parâmetros coliformes e fósforo em seu estudo realizado na bacia hidrográfica do Rio Doce, entre Minas Gerais e Espírito Santo.

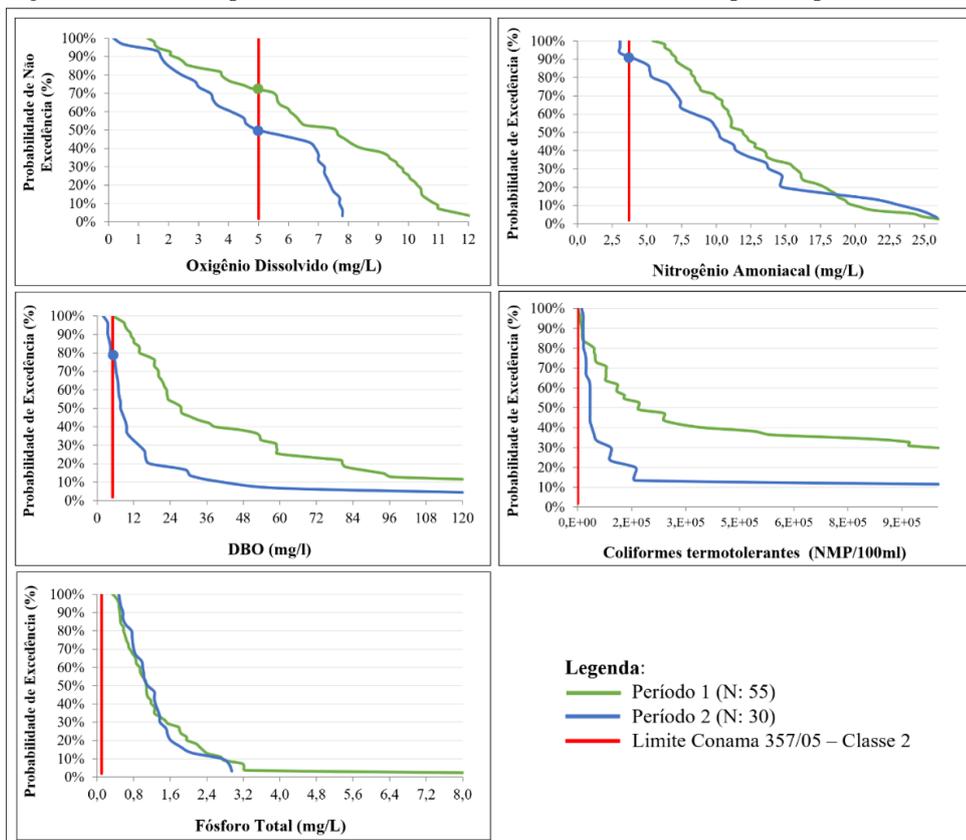
O parâmetro de coliformes termotolerantes no período 1 e no período 2 das amostras coletadas no Faxinal e Maestra apresentaram probabilidade de exceder a classe 2 da Conama 357/05 em 100% das campanhas realizadas. No Tega, o período 1 apresentou a probabilidade de excedência do limite para classe 2 de 98%, enquanto no período 2 o parâmetro excedeu em 100% das campanhas. O parâmetro fósforo total apresentou desacordo com a classe de enquadramento proposta em 100% das campanhas realizadas nas sub-bacias que integram a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.

Figura 2. Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência para os parâmetros analisados da Sub-Bacia Faxinal e Maestra.



Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 - 2022

Figura 3. Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência para os parâmetros analisados da Sub-Bacia Tega.



Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 - 2022

O parâmetro de nitrogênio amoniacal e a DBO apresentaram melhora da não excedência no período 2, com apenas 27% e 36% das campanhas ultrapassando o limite permitido nas sub-bacias do Faxinal e Maestra quando comparadas ao período 1. A sub-bacia do Tega também apresentou uma pequena melhora no período 2 para os parâmetros citados, mais ainda com percentual elevado de excedência no corpo hídrico, chegando a 93% para nitrogênio amoniacal e 80% para DBO.

A excedência desses parâmetros demonstra que ainda hoje está presente nesses locais a problemática quanto ao descarte dos efluentes sem o devido tratamento. As sub-bacias Tega, Faxinal e Maestra drenam grandes áreas urbanizadas e áreas industriais do município de Caxias do Sul. As áreas urbanizadas drenadas pelas sub-bacias em questão, possuem a presença de seis estações de tratamento de esgoto (ETE). Apesar da instalação das ETE e início da operação dessas nas sub-bacias entre os períodos analisados, pelos dados apresentados, é possível verificar que o enquadramento proposto ainda não atingiu o nível de conformidade desejado, sendo que boa parte dos

parâmetros que estabelecem o desacordo com o enquadramento são de origem orgânica relacionando a existência de esgoto sanitário nos rios. Tal fato pode estar associado à ineficiência da conexão das residências aos sistemas de tratamento esgoto do município. Segundo Rezende e Ribeiro (2022) a ociosidade das redes públicas de esgoto existentes, devido à falta de orientação da população para adequação de seu sistema domiciliar é uma realidade brasileira. Teles (2015) constatou que a população de Salvador na Bahia, fazia o uso de fossas em padrões inadequadas e/ou lançavam seus efluentes em redes de drenagem mesmo existindo na cidade a rede coletora de esgoto pública.

Sub-bacias do Caí

As águas das sub-bacias Belo, Piaí e Pinhal estão inseridas na Bacia Hidrográfica do Caí. Conforme apresentado na Tabela 5, realizou-se a estatística descritiva dos parâmetros para compreensão dos valores máximos, mínimos, médias e desvio padrão encontrados para o período 1 (2012 a 2014) e período 2 (2022).

Tabela 5. Estatística descritivas dos pontos localizados na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas no Período 1 (2012 a 2014) e Período 2 (2022).

Parâmetro	Período 1 ¹				Período 2 ²			
	Máx.	Mín.	Méd.	Desv. Pad.	Máx.	Mín.	Méd.	Desv. Pad.
Cianeto (mg/L)	0,20	0,01	0,02	0,04	0,10	0,01	0,01	0,02
Clorofila- α (mg/m ³)	44,50	0,05	4,13	7,18	0,05	0,05	0,05	0,00
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	1,60x10 ⁷	1,10x10 ³	6,42x10 ⁵	2,42x10 ⁶	5,4x10 ⁴	7,9x10 ²	1,87x10 ⁴	1,48x10 ⁴
Cromo (mg/L)	0,36	0,04	0,05	0,06	0,02	0,004	0,006	0,004
DBO (mg/L)	281,00	1,31	24,95	47,76	11,10	2,20	4,30	2,40
Fósforo (mg/L)	20,81	0,19	1,34	3,13	1,34	0,42	0,84	0,30
Níquel (mg/L)	1,44	0,016	0,09	0,21	0,06	0,008	0,01	0,01
Nitrato (mg/L)	38,91	0,17	10,21	7,16	10,47	1,18	3,56	2,24
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	21,98	1,23	8,95	5,36	9,15	3,07	5,12	1,81
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	13,34	6,39	10,10	1,40	8,20	2,90	6,10	1,54
pH	8,44	5,88	7,40	0,51	7,97	7,15	7,45	0,20
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	383,00	69,00	178,36	65,21	242,00	10,00	128,79	53,94
Turbidez (NTU)	766,00	0,00	31,71	117,07	7,30	1,40	2,96	1,45
Zinco (mg/L)	3,11	0,034	0,21	0,49	0,32	0,02	0,07	0,07

¹ Período 1 (2012 a 2014); ² Período 2 (2022)

Máx. – concentrações e teores máximos encontrados; Mín. – concentrações e teores mínimos encontrados; Méd. – concentrações e teores médios encontrados; Desv. Pad. – desvio padrão das concentrações e teores encontrados.

A análise descritiva dos dados dos parâmetros analisados, demonstrou que as variáveis como, clorofila- α , coliformes, cromo, DBO, níquel, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, turbidez e zinco foram as que apresentaram alteração nos resultados encontrados no período 1 em comparação ao período 2.

O parâmetro de coliformes termotolerantes, no período 1, apresentou valor máximo de 1,60x10⁷ NMP/100ml no ponto Pinhal 1 valor esse 6.500 vezes superior ao estabelecido para enquadramento na classe 3 da Conama 357/05. Outro parâmetro que excedeu o valor máximo encontrado em comparação a legislação supracitada foi a DBO e o fósforo, que chegaram a

281 mg/L e 20,81 mg/L consecutivamente, no ponto Pinhal 2.

Dentre os metais analisados, o cromo e o níquel, foram encontrados com valores máximos elevados no ponto Pinhal 2 com 0,36 mg/L e 1,44 mg/L consecutivamente. Parâmetros como cianeto, fósforo e nitrato não obtiveram grandes alterações nos valores.

No período 2, o parâmetro de coliformes termotolerantes apresentou valores elevados no ponto Pinhal 2, ponto que está a montante do Pinhal 1, que foi o que apresentou altas cargas no período 1. O fósforo apresentou valor máximo encontrado no ponto Pinhal 1 chegando a 1,34 mg/L. A média ficou em 0,84 mg/L, valor ainda alto para enquadramento na Classe 3 da Conama 357/05 que estabelece limite de 0,15 mg/L de fósforo para ambientes lóticos. A DBO no período 2 apresentou média em 4,30 mg/l o que permitiria o corpo hídrico ser enquadrado como classe 2 segundo a resolução Conama 357/05 que prevê para essa classe valores não superiores a 5 mg/L. Dentre os metais analisados apenas o níquel apresentou valor máximo elevado, chegando a 0,06 mg/L no ponto Piaí 4.

A fim de identificar se existe diferença significativa entre as médias de todas as variáveis do período 1 e 2 foi realizado o teste de Kruskal-Wallis. O teste apresentou significância de 0,161

sendo o valor maior que 0,05 o que nos leva a não rejeitar a hipótese nula de que não existe diferença significativa entre os períodos 1 e 2 de estudo.

As Resoluções CRH nº 50 de 2008 e CRH nº 53 de 2009 estabeleceram as metas de enquadramento para a Bacia Hidrográfica do Caí, ficando determinando, num horizonte de 15 anos o prazo para atendimento da meta final classificando assim os rios como classe 2 para sub-bacia do Belo e classe 3 para Piaí e Pinhal, sendo o ano de 2024 o prazo final para atingir a meta.

Tabela 6. Metas de enquadramento na Bacia Hidrográfica Caí.

Sub-Bacia	Meta final (15 anos)
Belo	2
Piaí	3
Pinhal	3

Os rios das sub-bacias citadas se enquadram, através das análises de qualidade da água realizadas, como sendo classe 4, destinada apenas a navegação e paisagismo. Abaixo observa-se a Tabela 6 com os resultados do ICE para os Rios da Bacia Hidrográfica do Caí no período 1 e período 2 de análise.

Tabela 7. Resultados do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) para as Sub-Bacias do Caí.

PONTO	2012	2013	2014	2022
BELO 1	58,9	58,49	45,11	52,2
PIAI 4	66,3	65,96	68,51	72,03
PINHAL 1	59,18	53,22	73,99	59,67
PINHAL 2	40,19	43,25	62	57,62
Legenda:	Conforme	Afastado	Não conforme	

Os pontos da Bacia Hidrográfica do Caí estão em sua maioria afastados da meta de enquadramento proposta em 2009. No período 1, o ponto Pinhal 2 da Sub-Bacia Pinhal, apresentou desconformidade ao enquadramento.

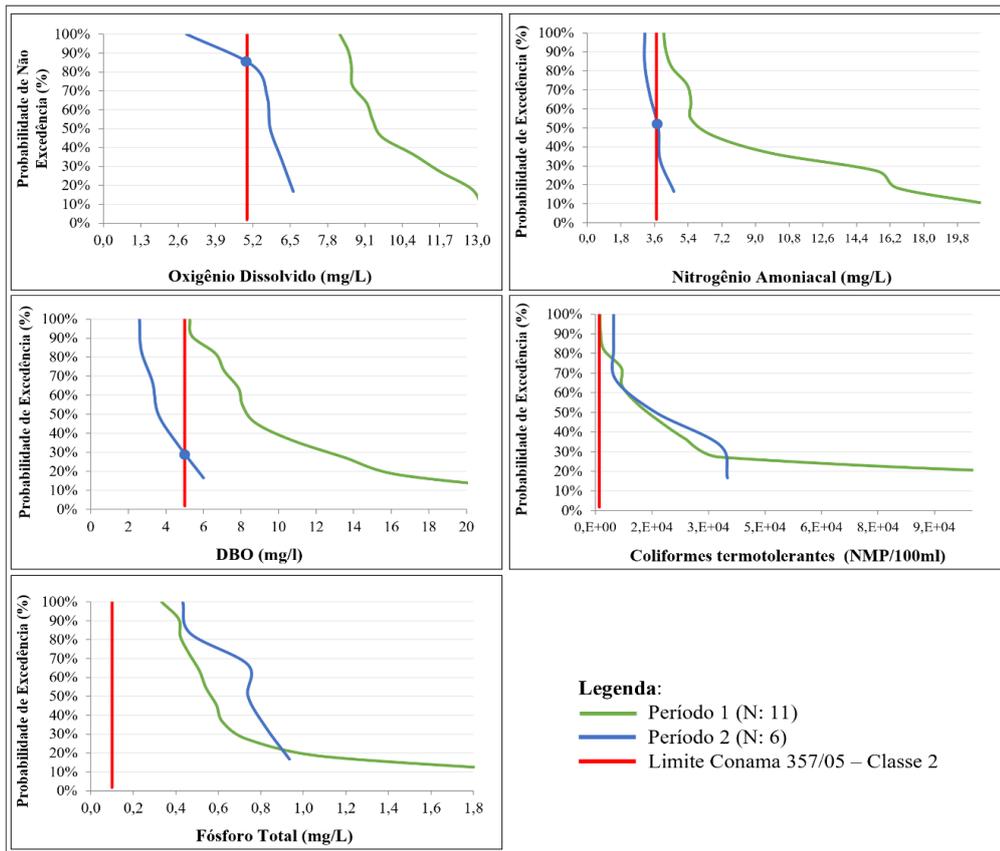
Os parâmetros que mais contribuíram para o ICE apresentar afastamento ou desconformidade foram inseridos em curvas probabilísticas para se compreender o percentual de excedência ou não excedência desses, com a Classe que se quer obter, conforme Figuras 4, 5 e 6.

Os parâmetros de coliformes termotolerantes e fósforo, apresentam-se 100% em

desacordo com a classe de enquadramento estabelecida para todos os períodos e sub-bacias, com exceção a sub-bacia do Pinhal que no segundo período a frequência percentual em desacordo passou para 83% para coliformes, apresentando uma pequena melhora quando comparada com o período anterior.

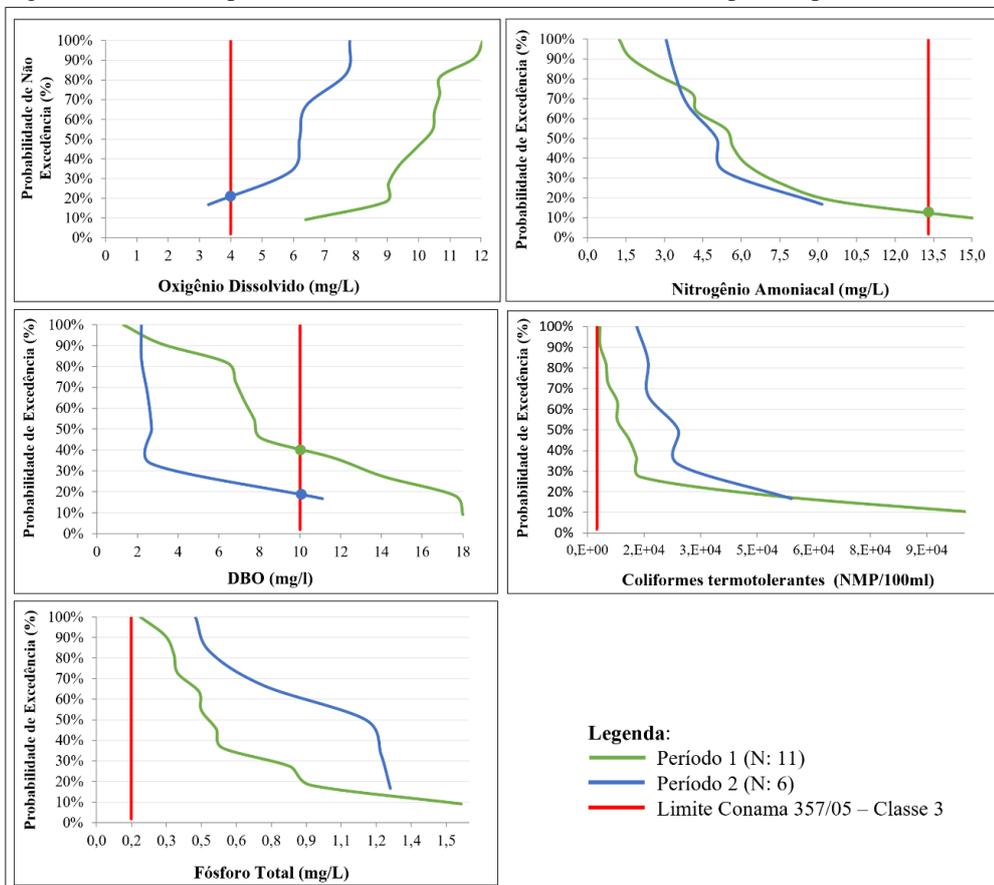
A DBO no período 2, apresentou melhora nos resultados, onde em todas as sub-bacias os percentuais de excedência não ultrapassam 30%, valor esse encontrado no Belo.

Figura 4. Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência para os parâmetros analisados da Sub-Bacia Belo.



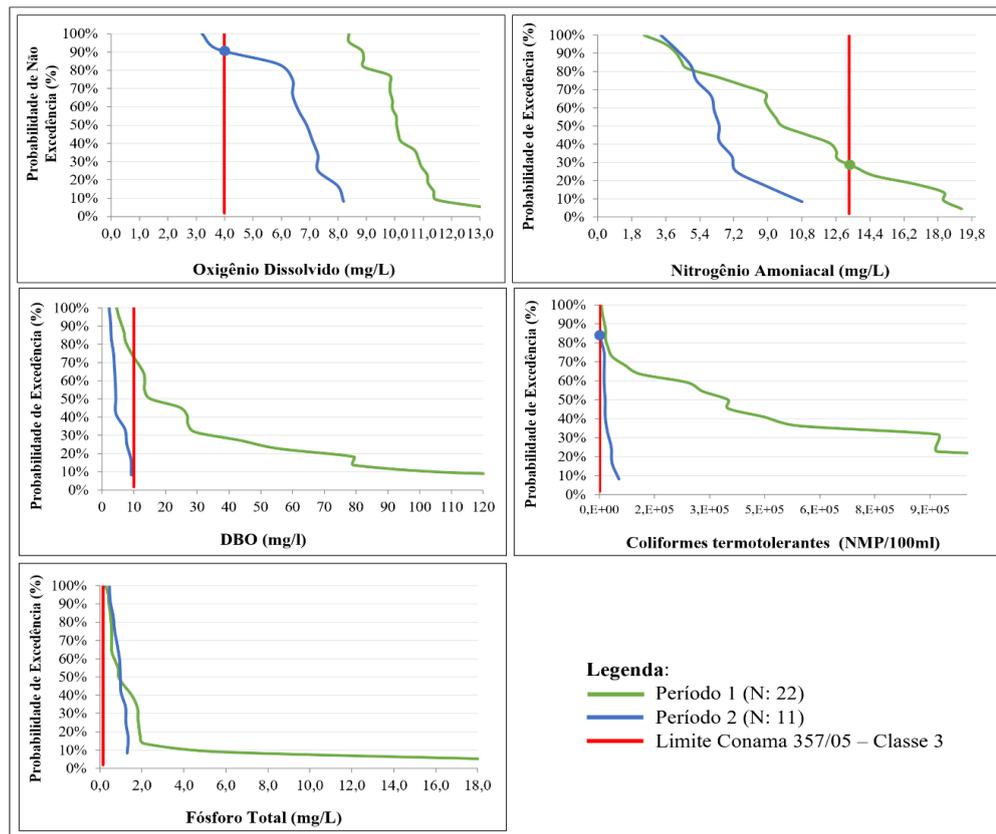
Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 - 2022

Figura 5. Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência para os parâmetros analisados da Sub-Bacia Piaí.



Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 - 202

Figura 6. Gráfico da probabilidade de não excedência e excedência para os parâmetros da Sub-Bacia Pinhal.



Período 1 - 2012 a 2014; Período 2 - 2022

Os pontos localizados nas sub-bacias da bacia hidrográfica do Cai, estão na porção final da área urbana do município de Caxias do Sul. O ponto do Belo 1 e o Pinhal 3 estão a montante da ETE das sub-bacias. Piaí 4 e Pinhal 1 se encontram a jusante das ETE.

A partir do cálculo do ICE, das curvas obtidas e da análise probabilística efetuada no presente estudo, eventuais ações para melhora na qualidade dos recursos hídricos das Sub-Bacias em questão devem principiar pela revisão e readequação do sistema de tratamento de esgotos gerados no município de Caxias do Sul, visando a diminuição da carga de nutrientes ao ambiente aquático, carga identificada principalmente pela incoerência dos resultados aos parâmetros OD, coliformes termotolerantes e fósforo total. No ano de 2022, alguns parâmetros como fósforo e OD apresentaram os menores resultados em ambas as Bacias Hidrográficas de estudo no mês de maio e parâmetros como nitrogênio e DBO com valores máximos no mês de novembro.

Análise Integrada da Eficiência do Enquadramento na Região

Todas as sub-bacias analisadas apresentaram desconformidade ou afastamento da meta proposta pelos comitês de bacias. Conforme Bitencourt, Fernandes e Gallego (2019), o Brasil em geral apresenta dificuldades de implementar e efetivar o enquadramento dos rios através dos seus Comitês de Bacias. A implantação do enquadramento ocorre de forma desigual entre os estados brasileiros, onde nem sempre é levado em consideração o que a legislação prevê, como a elaboração de cenários e metas progressivas (BITTENCOURT, FERNANDES e GALLEGO, 2019).

Os dados do ICE demonstram o quão longe os rios estão da classe de enquadramento proposta nos planos de bacia. Atualmente, os rios da bacia hidrográfica Taquari-Antas e da bacia hidrográfica do Caí são classificados como classe 4 segundo a Conama 357/05, e possuem o prazo de alcançar a classe 2 dentro do prazo de 9 anos para o Taquari-Antas e classe 2 e 3 em menos de 1 ano para a bacia do Caí.

O não atingimento das metas propostas pelos planos, após passados 10 anos levanta o questionamento quanto à eficácia dos enquadramentos propostos pelos usuários das águas nos comitês de bacias. Tais dados suscitam dúvidas quanto à meta de enquadramento definida

que conforme Bittencourt, Fernandes e Gallego (2019) não pode ser apenas um documento formal que acaba não garantindo a qualidade do rio.

Pessoa, Azevedo e Ribeiro (2018), constataram que o enquadramento proposto na bacia hidrográfica dos rios Preto e Paraibuna não contou com diagnóstico e prognóstico da qualidade das águas, com a participação social e não gerou pacto social para implementação dele. Igualmente nas Bacias Caí e Taquari-Antas não engajamento da população e agentes públicos e privados para se chegar ao que foi proposto. Dessa forma o enquadramento proposto não pode garantir os usos reais e pretendidos pela população e ainda não se sabe se as metas criadas são realistas e se há acompanhamento de ações para melhoria do corpo hídrico (PESSOA, AZEVEDO e RIBEIRO, 2018).

O processo de enquadramento deve considerar aspectos técnicos, econômicos, sociais e políticos para que assim sejam criadas metas de qualidade da água factíveis de serem alcançadas no horizonte planejado (COSTA e CONEJO, 2009). Conforme Costa e Conejo (2009) se forem criadas metas ambiciosas os custos podem se tornar altos e assim dificilmente se alcançará o proposto, entretanto metas muito modestas podem acarretar a degradação da água, tornando ainda mais difícil sua recuperação. Por isso o processo de enquadramento deve ser periódico, para que possam ser ajustadas as metas de acordo com o cenário atual e pelos resultados dos monitoramentos dos parâmetros realizados nas bacias (COSTA e CONEJO, 2009; PADOVESI-FONSECA e FARIA, 2022).

Carneiro *et al.* (2020) elaboraram uma proposta de enquadramento para os rios da bacia Ipiranga em Minas Gerais com base em dados de outorgas, volume, uso e ocupação do solo e densidade populacional. Isto traz a necessidade da revisão dos planos de bacia a fim de analisar os enquadramentos propostos e reavaliar as classes de uso que a população faz hoje, juntamente com o aumento dos monitoramentos de qualidade da água (PADOVESI-FONSECA e FARIA, 2022).

As bacias de estudo ultrapassaram a meta intermediária ou estão próximas a meta final de enquadramento. Até o presente momento não houve estudos de revisão ou análise da efetividade do atingimento das propostas de enquadramento elaboradas, ou mesmo mobilização da população, do poder público e ou do privado para se chegar a qualidade do rio que se deseja obter.

Conclusões

A utilização de instrumentos como o cálculo do ICE e o emprego das curvas probabilísticas de incompatibilidade da qualidade

da água demonstram ser ferramentas úteis para a gestão dos dados de programas de monitoramento. Além disso, um monitoramento regular auxilia no entendimento do comportamento dos recursos hídricos existentes, a fim de auxiliar o poder público a elencar prioridades de programas, projetos e investimentos para melhoria no saneamento e uso do solo. Também se faz necessária a revisão das metas de enquadramento pelos Comitês de Bacias, tendo em vista que algumas já chegaram no seu prazo final, a fim de verificar o efetivo uso da população para com os cursos d'água.

Com vistas à redução da probabilidade com conflitos para com o enquadramento legal, através da análise da excedência de diversos fatores que contribuem para uma má qualidade dos rios, recomenda-se o aprimoramento e a avaliação da efetividade do processo de tratamento de esgoto do município, tendo em vista que, ainda há presente grande quantidade de matéria orgânica doméstica nesses ambientes aquáticos. Além disso, a fiscalização e controle do despejo de efluentes industriais no recurso hídrico também são necessários para evitar contaminação por diversos tipos de metais e outros.

Sugere-se ainda que futuros planos de monitoramento ou estudos da qualidade da água dos recursos hídricos incluam a análise das curvas de probabilidade para obtenção do enquadramento proposto. Essa análise pode contribuir na identificação das fontes de poluentes existentes no corpo hídrico, auxiliando na tomada de decisão de ações prioritárias para a busca da melhora na qualidade da água.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR n° 9.897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.** Rio de Janeiro, jun.1987.

AMARO, C. A., 2009. Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. Dissertação (Mestrado). São Paulo, Poli-USP.

AMARO, Cristiane Araújo; PORTO, Monica Ferreira do Amaral. PROPOSTA DE UM ÍNDICE

PARA AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE DA QUALIDADE DOS CORPOS HÍDRICOS AO ENQUADRAMENTO. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais [...]**. Campo Grande: ABRH, 2009. p. 1-17. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7503/ice-amaro-2009.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/gestao-da-agua>. Acesso em: 20 dez. 2022.

APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ª edição, 2017.

BIGOLIN, Marcio *et al.* SIA – Sistema de Informação Ambiental: Ferramenta para monitoramento e apoio a decisão em Recursos Hídricos para Empreendimentos Hidrelétricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 1-7. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/b07d3341d0511ff96d6df165b3246211_2e4019d3b0e710ce4d8fee48343ba8a2.pdf. Acesso em: 23 maio 2023.

BITENCOURT, Camila; FERNANDES, Cristóvão; GALLEGO, Carlos. Panorama do enquadramento no Brasil: uma reflexão crítica. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 9-9, 11 jul. 2019. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/reg.v16e9>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=210&SUMARIO=5346>. Acesso em: 28 dez. 2022.

BRASIL, 1997. Lei no 9.433, de 8 de janeiro.

BRASIL, 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 357, de 17 de março. Disponível: <http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705>.

BORTOLIN, Taison Anderson *et al.* Avaliação do índice de conformidade ao enquadramento em um trecho da bacia do rio São Marcos. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2013. Disponível: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/1b7a5c287>

349bf540536603497a61983_dd75e59705799455d2f6f7ff4b071c98.pdf. Acesso: 15 dez. 2022.

CARNEIRO, Fernanda Mourão Fonseca *et al.* Proposta de enquadramento de corpos hídricos em classes de uso na bacia hidrográfica do rio Piranga utilizando geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 2491-2502, 29 jul. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2491-2502>.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. CCME Water Quality Index 1.0 User's Manual. Winnipeg. Disponível em: http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrprtfcst_e.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB., 2016. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília: CETESB; ANA.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB., 2020. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Apêndice C - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Apendice-E-Indice-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2022.

COSTA, Marcelo Pires da; CONEJO, João Gilberto Lotufo. A IMPLEMENTAÇÃO DO ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: CONCEITOS E PROCEDIMENTOS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVIII., 2009, Campo Grande. **Anais [...]**. Campo Grande/MS: SBRH, 2009. p. 1-20. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/93c66dcf0a338a9675c7b7b00b7dc1b0_defff93153c1ae6523493dd7e57d6a078.pdf. Acesso em: 10 jul. 2023.

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; CALIJURI, Maria do Carmo. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos - estudo de caso do rio Pariquera-Açu

(SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 337-346, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522010000400006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/VZN7PkDBp6JtjDx3cKQqx7H/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 jan. 2023.

DERISIO, Jose Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 228 p. ISBN: 9788579752735.

FINKLER, Nícolas Reinaldo et al. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 782-792, 28 out. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1468>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/khyRgGGTH53kJ3gYn5w8SdL/?lang=pt>. Acesso em: 07 maio 2023.

GUIMARÃES, Brunna Oliveira. **Análise probabilística de incompatibilidade entre a qualidade da água de rios do estado do Espírito Santo e os padrões de enquadramento legal**. 2013. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/6194>. Acesso em: 10 jul. 2023.

GUIMARÃES, Brunna Oliveira; REIS, José Antonio Tosta dos; MENDONÇA, Antônio Sérgio Ferreira; AKABASSI, Lucien. Análise probabilística de parâmetros de qualidade da água para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 807-815, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016143190>.

JASP. Software estatístico JASP. 2023. Elaborado pela Universidade de Amsterdã. Disponível em: <https://jasp-stats.org/>. Acesso em: 23 jun. 2023.

LUMB, A., HALLIWELL, D., SHARMA, T., 2006. Application of CCME Water Quality Index to Monitor Water Quality: a case of the Mackenzie River Basin, Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*. Disponível: <https://www.environmental->

expert.com/Files/6063/articles/8597/1.pdf. Acesso: 14 dez. 2022.

OKUMURA, Adriana Tieni Ramos *et al.* Determinação da Qualidade da Água de um Rio Tropical sob a perspectiva do Uso do Solo e Cobertura Vegetal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1835-1850, 11 jun. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1835-1850>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/243982>. Acesso em: 09 fev. 2022.

OLIVEIRA, Ivanise da Silva *et al.* Índice de Conformidade ao Enquadramento nos Reservatórios Jucazinho, Bituri, Botafogo e Pirapama, em Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 1575-1584, 2018. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1575-1584>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234614/30748>. Acesso em: 15 dez. 2022.

OLIVEIRA, Márcio de *et al.* QUALIDADE DA ÁGUA E ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO DA REPRESA DR. JOÃO PENIDO, JUIZ DE FORA (MG), BRASIL. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL, 3, 2018, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora -Mg: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018. p. 1-8. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/76/C8001.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2022.

PADOVESI-FONSECA, C.; FARIA, R. S. de. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no Brasil e Europa. **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 3, 2022. DOI: 10.59824/rmrh.v3i.221. Disponível em: <https://periodicos.meioambiente.mg.gov.br/NM/article/view/221>. Acesso em: 10 jul. 2023.

PESSOA, Guido de Melo; AZEVEDO, Taiza dos Santos; RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo. ESTUDO DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS PRETO E PARAIBUNA. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO PARAÍBA DO SUL, 3., 2018, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: SRHPS, 2018. p. 1-10. Disponível em:

<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/76/B1003.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2023.

PINTO, Carolina Cristiane et al. Análise dos Valores do Índice de Conformidade ao Enquadramento no Baixo Rio das Velhas, situado na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. In: I Simpósio Da Bacia Hidrográfica Do Rio São Francisco, 1., 2016, Juazeiro. Anais [...]. Juazeiro: SBHSF, 2016. p. 2-9. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2019/06/An%C3%A1lise-dos-valores-do-%C3%ADndice-de-conformidade-ao-enquadramento-no-Baixo-Rio-das-Velhas-situado-na-BH-do-SF.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

REIS, G. B.; ABREU, V. de O.; FRAGA, M. de S.; TOZI, T.; SILVA, D. D. da. PROPOSTA DE ENQUADRAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS EM CLASSES DE USO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO (MG). *Nativa*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 189–196, 2019. DOI: 10.31413/nativa.v7i2.6333. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6333>. Acesso em: 9 jul. 2023.

REZENDE, Elcio Nacur; RIBEIRO, Patrícia de Freitas Reis Vilela. A OBRIGAÇÃO DE INSTALAÇÃO DOMÉSTICA DE REDE DE ESGOTO FRENTE AO NOVO MARCO DO SANEAMENTO BÁSICO: ESTUDO SOBRE AS ALTERAÇÕES PROMOVIDAS PELA LEI 14.026/2020. **Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade**, Encontro Virtual, v. 1, n. 8, p. 76-96, jan. 2022. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/revistaDireitoUrbanistico/article/view/8816>. Acesso em: 11 jul. 2023.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Constituição (1994). Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 1 jan. 1995. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/10.350.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (SEMA). (org.). *Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul*. 2022. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 20 nov. 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 50, de 11 de novembro de 2008. Aprova o enquadramento

das águas das bacias hidrográficas dos rios Caí, Pardo, Tramandaí e do Lago Guaíba. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>. Acesso em: 01 dez. 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 53, de 20 de abril de 2009. Aprova os prazos máximos para atingir a meta final e a meta intermediária do enquadramento das águas da bacia hidrográfica do Rio Caí. Porto Alegre, Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>. Acesso em: 01 dez. 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução nº 121, de 12 de dezembro de 2012. Aprova o Enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. Porto Alegre, Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22162317-resolucao-crh-121-2012-aprova-enquadramento-aguas-superficiais-bacia-taquari-antas-07-01-1.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2022.

ROCHA, César Henrique Barra; DUARTE, Renata Lopes; MATOSO, Ramon Octaviano de Castro; SOUZA, Lucas do Vale; SILVEIRA, Fábio Jacob da; MACHADO, Micael Marlon de Moraes. Vulnerabilidades socioambientais associadas à implantação de rodovias às margens do reservatório de abastecimento público da Represa de São Pedro, Juiz de Fora, Minas Gerais. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 1-27, 14 mar. 2022. University Nove de Julho. <http://dx.doi.org/10.5585/geas.v11i1.19805>.

SABINO, Claudia Vilhena Schayer; LAGE, Ludmila Vieira; NORONHA, César Vinícius de. Variação sazonal e temporal da qualidade das águas em um ponto do Córrego Gameleiras usando técnicas quimiométricas robustas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 5, p. 969-983, out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017158455>.

SANTOS, Sizabel; GASTALDINI, Maria do Carmo; PIVETTA, Glaucia; SCHMIDT FILHO, Osmar. Integração das curvas de probabilidade e carga máxima total diária (CMTD) na gestão da qualidade da água de uma bacia urbana. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 1-17, out. 2019. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v30n3-2018-1>.

SANTOS, Juliana Mattos Bohrer; SILVA, Isabela Regina; GOMES, Maria Helena Rodrigues;

PEREIRA, Renata de Oliveira. VARIACÃO DO IQA E ICE NO RIBEIRÃO ESPÍRITO SANTO-MG. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 460, 20 abr. 2020. Anima Educação. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e12020460-482>.

SCHNEIDER, Vania Elisabete et al. Avaliação da qualidade da água da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Tega considerando a influência da urbanização. **Gestão e Tecnologias Para O Meio Ambiente: visões e ações interdisciplinares**. Volume 2. Recursos Hídricos e Saneamento, Caxias do Sul, v. 2, p. 182-191, 12 nov. 2021. EDUCS. <http://dx.doi.org/10.18226/9786558071167>.

SILVA, Marcela Teixeira Lopes. **ADAPTAÇÃO E APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO (ICE) DE CURSOS D'ÁGUA**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SOBREIRA SILVA, F.; VASCO, G.; BELTRÃO RAMEH BARBOSA, I. M.; SILVA TAVARES, B.; ARAÚJO FERREIRA, A. AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DE ENQUADRAMENTO POR MEIO DO ICE EM RESERVATÓRIOS DA BACIA DO IPOJUCA, PERNAMBUCO, BRASIL. **Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 348-364, 2022. DOI: 10.17564/2316-3798.2022v9n1p348-364. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/saude/article/view/11117>. Acesso em: 9 jul. 2023.

SODRÉ, Fernando Fabriz. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de

controle. **Artigos Temáticos do Aqqua**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 9-16, jan. 2012. Disponível em: <https://www.aqqua.unb.br/images/Artigos/Tematicos/difusa.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2021.

TELES, Aislã. **Ligações domiciliares de esgoto e sua importância ambiental**. 2015. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14946/1/MD_GAMUNI_I_2014_3.pdf. Acesso em 11 jul. 2023.

TEODORO, Anderson *et al.* Implementação do conceito Capacidade de Diluição de Efluentes no modelo de qualidade da água QUAL-UFGM: estudo de caso no rio Taquarizinho (MS). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 275-288, set. 2013. FapUNIFEP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522013000300010>.

TUCCI, Carlos E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 22, n. 63, p. 97-112. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s010>

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: UFGM/ Departamento de Engenharia Sanitária, 1996. 243 p. ISBN: 8570411146.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFGM, 2005.