

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
SUPERFICIAIS EM CURSOS D'ÁGUA DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA**

**ROBERTA CARINA DA SILVA RODRIGUES**

**ORIENTADOR: RICARDO TEZINI MINOTI  
COORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE  
ALVES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL  
E RECURSOS HÍDRICOS**

**BRASÍLIA/DF: SETEMBRO – 2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
SUPERFICIAIS EM CURSOS D'ÁGUA DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA**

**ROBERTA CARINA DA SILVA RODRIGUES**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS  
HÍDRICOS.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Ricardo Tezini Minoti, DSc (ENC-UnB)**  
(Orientador)

---

**Prof<sup>ª</sup>. Conceição de Maria Albuquerque Alves, PhD (ENC-UnB)**  
(Co-orientadora)

---

**Prof. Oscar de Moraes Cordeiro Netto, PhD (ENC-UnB)**  
(Examinador Interno)

---

**Prof<sup>ª</sup>. Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira, PhD (UFMG)**  
(Examinadora Externa)

**BRASÍLIA/DF, 22 DE SETEMBRO DE 2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

DA SILVA RODRIGUES, ROBERTA CARINA

Avaliação da qualidade das águas superficiais em cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Paranaíba [Distrito Federal] 2023.

xv, 105p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2023).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Rios de domínio da União

2. Enquadramento de corpos d'água

3. IQA

4. ICE

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RODRIGUES, R. C. S. (2023). *Avaliação da qualidade das águas superficiais em cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Paranaíba*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 105p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Roberta Carina da Silva Rodrigues.

TÍTULO: Avaliação da qualidade das águas superficiais em cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

GRAU: Mestre

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Roberta Carina da Silva Rodrigues

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
2.1	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>20</b>
2.2	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>21</b>
3.1	<b>GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS</b> .....	<b>21</b>
3.1.1	<b>Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH)</b> 24	
3.1.2	<b>LEGISLAÇÃO FEDERAL</b> .....	<b>26</b>
3.1.2.1	Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 e Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011	26
3.1.2.2	- Resolução CNRH nº 91, de 05 de novembro de 2008	29
3.2	<b>QUALIDADE DA ÁGUA</b> .....	<b>31</b>
3.3	<b>ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA</b> .....	<b>36</b>
3.4	<b>ANÁLISE DO ENQUADRAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA</b> .....	<b>40</b>
3.5	<b>ENQUADRAMENTO DE CORPO D'ÁGUA EM RIOS DE DOMÍNIO   DA UNIÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>50</b>
4.1	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>51</b>
4.2	<b>GEOPROCESSAMENTO</b> .....	<b>59</b>
4.3	<b>DOCUMENTOS COM EVIDÊNCIAS DE PROBLEMAS DE   QUALIDADE DA ÁGUA NAS BACIAS</b> .....	<b>59</b>
4.4	<b>DEFINIÇÕES PARA OS CÁLCULS DE IQA E ICE</b> .....	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>68</b>
5.1	<b>RIO DESCOBERTO – PONTE DE-1</b> .....	<b>68</b>
5.1.1	<b>Qualidade da água do baixo rio Descoberto</b> .....	<b>68</b>
5.2	<b>RIBEIRÃO PONTE ALTA – ESTAÇÃO PONTE ALTA</b> .....	<b>73</b>
5.2.1	<b>Qualidade da água do ribeirão Ponte Alta</b> .....	<b>73</b>
5.3	<b>RIO ALAGADO – ESTAÇÃO ALAGADO</b> .....	<b>77</b>

5.3.1	Qualidade da água do ribeirão Alagado monitorado pela Estação Alagado .....	77
5.3.2	Conformidade ao enquadramento trecho do ribeirão Alagado monitorado pela Estação Alagado (Classe III).....	78
5.4	RIO ALAGADO – PONTO AL-1 .....	80
5.4.1	Qualidade da água do trecho do rio Alagado monitorado pelo ponto AL-1 .....	81
5.4.2	Conformidade ao enquadramento no trecho do rio Alagado monitorado pelo ponto AL-1 (Classe II) .....	82
5.5	RIBEIRÃO SANTA MARIA.....	83
5.5.1	Qualidade da água do ribeirão Santa Maria.....	84
5.5.2	Conformidade ao enquadramento do ribeirão Santa Maria (Classe II) ....	85
6	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>87</b>
6.1	<b>DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DO BAIXO RIO DESCOBERTO</b>	<b>87</b>
6.2	<b>DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DO RIBEIRÃO PONTE ALTA</b>	<b>88</b>
6.3	<b>DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DO RIO ALAGADO (ESTAÇÃO ALAGADO) .....</b>	<b>89</b>
6.4	<b>DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DO RIO ALAGADO (AL-1).</b>	<b>90</b>
6.5	<b>DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DO RIBEIRÃO SANTA MARIA .....</b>	<b>91</b>
6.6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>92</b>
7	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>96</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Mapa da localização da área de estudo. ....	19
Figura 3.1 – Fluxograma adaptado do processo de enquadramento. Fonte: (ANA, 2020). .....	31
Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia implementada na pesquisa. ....	50
Figura 4.2 - – Corpos d’água lóticos (rio Alagado, ribeirão Ponte lata, rio Alagado e ribeirão Santa Maria) e lânticos (Corumbá IV e Corumbá III). Estações de monitoramento de qualidade da água das sub-bacias. Pontos de lançamento de esgoto tratado das ETEs presentes nas sub-bacias. ....	52
Figura 4.3 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo das bacias hidrográficas analisadas (DF e GO). ....	55
Figura 4.4 – Mapa de declividade da área de estudo e entorno (DF e GO). ....	56
Figura 4.5 – Precipitação média entre 2012 e 2022 na bacia do baixo rio Descoberto calculada com os dados da estação pluviométrica Sítio das Neves/DF (Código: 1648020). ....	57
Figura 4.6 - Precipitação média entre 1970 e 2023 nas bacias do ribeirão Ponte Alta e rio Alagado, calculada com os dados da estação pluviométrica Gama ETE Alagado/DF (Código: 1548005). ....	57
Figura 5.1 – Índice de Qualidade da Água (IQA) do baixo rio Descoberto entre 2015 e 2022. ....	69
Figura 5.2 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) modificado do baixo rio Descoberto entre 2015 e 2022. ....	71
Figura 5.3 – Índice de Qualidade da Água (IQA) do ribeirão Ponte Alta. ....	74
Figura 5.4 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) do ribeirão Ponte Alta. .....	75
Figura 5.5 – Índice de Qualidade da Água (IQA) do trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado entre 2015 e 2023. ....	78
Figura 5.6 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) modificado do trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado. ....	79
Figura 5.7 – Índice de Qualidade da Água (IQA) do trecho do rio Alagado monitorado pela estação AL-1 entre 2015 e 2022. ....	81
Figura 5.8 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) do trecho do rio Alagado monitorado pela estação AL-1 entre 2015 e 2022. ....	82

Figura 5.9 – Índice de Qualidade da Água (IQA) do ribeirão Santa Maria entre 2015 e 2023.....	84
Figura 5.10 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) modificado do ribeirão Santa Maria.....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classificação das águas doces em função da sua destinação (Resolução CONAMA nº 357, 17/03/2005).....	27
Tabela 3.2 – Pesos atribuídos aos parâmetros utilizados no cálculo do IQA.....	38
Tabela 3.3 – Intervalos de valores referens às condições de qualidade da água de acordo com o valor do IQA.....	38
Tabela 3.4- Intervalos de valores referentes às condições de conformidade ao enquadramento da água de acordo com o valor do ICE. ....	42
Tabela 4.1 – Regiões administrativas e municípios que compreender as sub-bacias da área de estudo. ....	52
Tabela 4.2 – Estações de tratamento localizados nos rios da área de estudo. Os municípios e R.A.S atendidos por essas ETEs e os corpos receptores dos seus efluentes tratados. Os operadores de cada ETE.....	53
Tabela 4.3 – Estações de tratamento localizados nos afluentes dos rios da área de estudo. Os municípios e R.A.s atendidos por essas ETEs e os corpos receptores dos seus efluentes tratados. Os operadores de cada ETE.....	54
Tabela 4.4 – Dados secundários levantados. ....	58
Tabela 4.5 – Lista das fontes de dados utilizados nos mapas.....	59
Tabela 4.6 – Estações de monitoramento cujos dados foram utilizados no estudo referentes ao território do Distrito Federal. ....	64
Tabela 4.7 Estações de monitoramento cujos dados foram utilizados no estudo referentes ao território de Goiás. ....	64
Tabela 4.8 – Classes dos trechos dos corpos d’água da área de estudo. ....	65
Tabela 4.9 – Parâmetros utilizados para os cálculos de IQA e ICE de acordo com os dados disponibilizados.....	66
Tabela 4.10 – Valores de referência para os padrões permitidos aos parâmetros de qualidade da água para as classes dos corpos d’água em estudo.....	67
Tabela 5.1 - Estatística descritiva dos dados dos parâmetros de qualidade da água do baixo rio Descoberto considerando o período 2015-2022.....	68
Tabela 5.2 – Valores mais baixos de qi (qualidade do parâmetro) dos parâmetros de Coliformes Termotolerantes, DBO, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Sólidos Totais, no período em que o IQA do baixo Descoberto resultou na classe Ruim. ....	70

Tabela 5.3 – Valores da Variação de DBO, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total no período em que houve uma simultaneidade de desconformidades no baixo rio Descoberto. ....	72
Tabela 5.4 – Casos de simultaneidade de desconformidades de Oxigênio Dissolvido, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total no baixo rio Descoberto. ....	72
Tabela 5.5 – Estatística descritiva dos dados dos parâmetros de monitoramento de qualidade da água do ribeirão Ponte Alta. ....	73
Tabela 5.6 – Valores de qi das amostras de Turbidez em que o IQA resultou em uma qualidade Regular da água do ribeirão Ponte Alta. ....	74
Tabela 5.7 - Valores da Variação, representando a amplitude da desconformidade dos parâmetros de OD, Coliformes Termotolerantes, pH e Fósforo Total no período entre fevereiro de 2015 e maio de 2017 no ribeirão Ponte Alta. ....	76
Tabela 5.8 – Valores da Variação dos casos de desconformidades aos padrões da classe do ribeirão Ponte Alta do parâmetro de Coliformes Termotolerantes, representando a amplitude do desacordo. ....	76
Tabela 5.9 Estatística descritiva dos dados dos parâmetros de monitoramento de qualidade da água do trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado. ....	77
Tabela 5.10 – Valores da Variação de Fósforo Total .....	80
Tabela 5.11 – Valores da Variação de Coliformes Termotolerantes e pH de quando houve simultaneidade de desconformidades no trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado. ....	80
Tabela 5.12 – Estatística descritiva dos dados dos parâmetros de monitoramento de qualidade da água do trecho do rio Alagado monitorado pela estação AL-1.....	81
Tabela 5.13 – Valores da Variação nas desconformidades que ocorreram com o parâmetro de Nitrogênio amoniacal. ....	83
Tabela 5.14 – Valores de Variação dos parâmetros em desconformidade no período em que o ICE resultou em Não conforme. ....	83
Tabela 5.15 – Estatística descritiva dos dados dos parâmetros de monitoramento de qualidade da água do ribeirão Santa Maria. ....	84
Tabela 5.16 – Valores da Variação dos parâmetros de Fósforo Total, Coliformes Termotolerantes e Nitrogênio Amoniacal .....	86

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ANA: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Adasa: Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

BH: Bacia hidrográfica

CAESB: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CBH: Comitê de Bacia Hidrográfica

CCME: *Canadian Council of Ministers of the Environment*

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CNRH: Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CRH: Conselho de Recursos Hídricos

CT: Coliformes Termotolerantes

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DF: Distrito Federal

E. coli: *Escherichia coli*

Embrapa: Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária

ETE: Estação de tratamento de esgoto

EUA: Estados Unidos da América

GO: Goiás

ICE: Índice de Conformidade de Enquadramento

IGAM: Instituto Mineiro de Gestão as águas

IQA: Índice de Qualidade da Água

MapBiomass: Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil

N: Nitrogênio

NSF: *National Sanitation Foundation*

NTK: Nitrogênio total Kjeldahl

OD: Oxigênio Dissolvido

ODS: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU: Organização das Nações Unidas

pH: Potencial Hidrogeniônico

PNRH: Política Nacional Recursos Hídricos

PRH: Plano de Recursos Hídricos

P: Fósforo

Q: Vazão

QUAL-UFMG: Stream Water Quality Model – Universidade Federal de Minas Gerais

RA: Região Administrativa

RIDE: Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno

SANEAGO: Companhia Saneamento de Goiás

SDT: Sólidos Dissolvidos Totais

SEMAD: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIG: Sistema de informações geográficas

SINGREH: Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

ST: Sólidos Totais

UH: Unidade hidrográfica

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, gratidão por sempre lutarem pelo meu bem e por me mostraram que posso sempre buscar cada vez mais. Obrigada por todo o amor que recebo e que tenho oportunidade de oferecer a vocês.

À minha irmã, Camila, que possamos sempre ser companheiras de todos os momentos e crescer sempre juntas.

À minha prima Mariana, obrigada por me permitir ser a sua guia em Brasília, mesmo que já seja de casa. Obrigada pela companhia.

À minha tia Valglenia, obrigada pelo apoio e pela torcida.

Aos meus orientadores, professor Ricardo e professora Conceição. Obrigada por todas as orientações, pela compreensão e por acreditarem em mim.

À Déborah Sousa, que pegou na minha mão muitas vezes, mesmo que por vídeos-chamada por estar em outro país. Muito obrigada por tudo.

Aos amigos e colegas Izabel Brandão, Hiarque Oliveira, Breno Menezes, Louise de Miranda, Alice Pereira, Thaís Argenta, Thays Tsuji, Moíra Paranaguá, Eduardo Paulino, Liane, Luana Santos, Daniel Beltrão, Dandara Kokay e Clara Resende. Obrigada pelo incentivo e pelos debates, que me permitiram ter vários insights. Agradeço pelas conversas afetuosas e, para aqueles que estavam pela UnB, pelas companhias para lanches e para almoços no RU.

Aos queridos colegas de turma de 2020, obrigada por fazerem parte da minha trajetória. Estaremos para sempre ligados a um mestrado realizado na Pandemia. Com todas as dificuldades que enfrentamos, vencemos.

A todos os professores do PTARH, os quais acompanho e me acompanham desde a graduação. Obrigada por todo o conhecimento me passado, que me fizeram a pessoa e a profissional que eu sou. Obrigada por cada aula, por cada dúvida tirada, por cada incentivo e por todo o esforço de vocês em fazerem o melhor. Eu os admiro muito.

Aos excelentes profissionais, Ana Paula Generino, Lígia Gurgel, Carlo Renan, Mauro Felizatto e Bruno Marques pelos debates e pelo apoio. Vocês me inspiram a ser uma excelente profissional também.

Aos meus gurus da internet, Thiago Vidotto e Jessica Petit. Obrigada pelos conhecimentos em pesquisa e escrita científica.

Às minhas amigas de infância, do ensino médio e da graduação. Obrigada por fazerem a vida mais doce.

Às profissionais da Caesb, Adasa, Corumbá Concessões, IGAM, Saneago e Cetesb pelo compartilhamento de dados, informações, esclarecimento de dúvidas e por todo o empenho que permitiu que a minha pesquisa se concretizasse.

A todos que contribuíram de alguma forma.

Por todos os aprendizados que esse mestrado me proporcionou, me fazendo encarar muitos dos meus medos e me fazendo renascer mais forte. Mais do que uma despedida ao mestrado, essa é uma despedida da UnB, minha casa há 10 anos. Por enquanto.

## RESUMO

O rio Descoberto, o ribeirão Ponte Alta, o rio Alagado e o ribeirão Santa Maria são estratégicos para o Distrito Federal (DF) e Goiás (GO), devido à importância deles para depuração de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto na região e para afluições dos reservatórios Corumbá IV e Corumbá III, sendo o primeiro um importante manancial de abastecimento urbano de água para DF e GO. No lado distrital, existem registros dos parâmetros de qualidade da água, como Coliformes Termotolerantes (CT), Nitrogênio Total (N total) e Fósforo Total (P total) acima dos limites permitidos pelos padrões de qualidade de água das classes de enquadramento desses rios, propostos na Resolução CRH-DF nº 1 de 22 de outubro de 2014. Para a análise da qualidade geral da água e da conformidade ao enquadramento, foram calculados o Índice de Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), respectivamente. Os resultados foram analisados em conjunto com o mapa de uso e cobertura do solo. O parâmetro de CT foi um problema em todos os trechos dos corpos d'água; Oxigênio Dissolvido (OD) no rio Descoberto e no ribeirão Ponte Alta; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no rio Descoberto e em um trecho do rio Alagado; N total no rio Descoberto e em outro trecho do rio Alagado; P total em todos os cursos hídricos; Turbidez no ribeirão Ponte Alta; e Sólidos Totais (ST) no rio Descoberto e no ribeirão Ponte Alta. Os problemas do rio Descoberto podem estar associados aos efluentes da ETE Santo Antônio do Descoberto e com as cargas provenientes de um de seus afluentes, o rio Melchior, corpo hídrico receptor de esgoto tratado das ETES Melchior e Samambaia no DF. Os desafios do ribeirão Ponte Alta são, possivelmente, os afluentes receptores de efluentes da ETE Recanto das Emas, e possíveis lançamentos clandestinos de esgoto no afluente rio Monjolo. O rio Alagado é receptor dos efluentes das ETES Alagado e Santa Maria e possivelmente cargas de poluição difusa da área rural. O ribeirão Santa Maria pode estar recebendo lançamentos difusos de esgotos provenientes de zona urbana. Todos esses rios estão inseridos em bacias mais urbanizadas nas áreas a montante, mas com atividades agropecuárias presentes mais a jusante. Essas são atividades potencialmente poluidoras dos corpos d'água tanto por poluições pontuais de esgotos clandestinos ou tratados, quanto por poluição difusa, urbana e rural. Constatou-se que é preciso aumentar a cobertura da rede de monitoramento da qualidade da água e a frequência de amostragem, incluindo dos afluentes dos rios principais; regularizar os usuários de recursos hídricos e planejar a infraestrutura de saneamento básico considerando o adensamento populacional futuro.

**Palavras-chaves:** Rios de domínio da União; Enquadramento de corpos d'água; IQA; ICE.

## **ABSTRACT**

The Descoberto, Ponte Alta, Alagado and Santa Maria Streams are strategic to the Federal District (DF) and state of Goiás (GO) in Brazil, due to their importance for the depuration of effluents from Wastewater Treatment Plants in the region and for the inflow of the Corumbá III and Corumbá IV reservoirs, the latter being an important source of urban water supply for DF and GO. On the district side, there are records of water quality parameters, such as Thermotolerant Coliforms (CT), Total Nitrogen (N total), and Total Phosphorus (P total), above the limits allowed by the water quality standards of the framing classes of these rivers, as suggested in the 2014 CRH-DF Resolution. To analyze the general water quality and compliance with the framing, the Water Quality Index (IQA) and Conformity to Framing Index (ICE) were calculated. The results were analyzed in addition to land use and cover maps. The CT parameter was a problem in all sections of the bodies of water: Dissolved Oxygen (OD) in the Descoberto River and the Ponte Alta Stream; Biochemical Oxygen Demand (DBO) in the Descoberto River and in a section of the Alagado River; Total Nitrogen in the Descoberto River; Total Phosphorus in all bodies of water; Turbidity in the Ponte Alta Stream; and Total Solids (ST) in the Descoberto River and Ponte Alta Stream. The problems of the Descoberto River may be associated with effluents from the Santo Antônio do Descoberto STP and the loads from one of its tributaries, the Melchior River, a water body which receives treated sewage from the Melchior and Samambaia STP. The Ponte Alta Stream is possibly a tributary that receives effluents from the Recanto das Emas STP and possibly illegal discharges into the tributary of the Monjolo River. The Alagado River receives effluents from the Alagado and Santa Maria STP and possibly diffuses pollution loads from the rural areas. The Santa Maria stream may receive a diffuse release of sewage from urban areas. All these rivers are in more urbanized watersheds in the upstream areas, but agricultural activities are present further downstream. These are activities that potentially pollute bodies of water through point source pollution of both treated and untreated sewage, and through urban and rural nonpoint sources of pollution. It was found that it is necessary to expand the water quality monitoring network and the frequency of sampling, including in the tributaries of the main rivers, to rectify water users and to plan the sanitation infrastructure, considering future population growth.

**Keywords:** Federal domain rivers; Framing of bodies of water; IQA; ICE.

# 1 INTRODUÇÃO

O enquadramento é um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei das Águas, de planejamento de qualidade da água e visa a classificação de corpos d'água, de acordo com os seus usos preponderantes e a implementação de ações preventivas à poluição hídrica (Brasil, 1997). Para a viabilidade desse instrumento, o Brasil requer atenção à articulação entre as entidades participantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) nos níveis estadual/distrital e nacional, bem como à integração de diferentes instrumentos de gestão de qualidade da água e ambiental, especialmente em relação aos casos de transporte de cargas de poluição entre Unidades da Federação, em bacias interestaduais.

Apesar de o país contar com a organização de 10 Comitês de Bacias Hidrográficas interestaduais, apenas três possuem o enquadramento de seus corpos hídricos definido. Ainda assim, esses enquadramentos estão defasados, visto que se baseiam em normativas que estão revogadas. Comparando com a quantidade de planos de recursos hídricos de bacias interestaduais no Brasil (12), há muito menos casos de enquadramentos realizados, mesmo que o ideal seja de que os dois instrumentos da Lei das Águas sejam elaborados concomitantemente (ANA, 2020).

Muitos dos desafios para o enquadramento dos rios da bacia interestadual do rio Paranaíba e de outras bacias no Brasil perpassaram por questões como: falta de monitoramento quanti-qualitativo da água na bacia, baixa cobertura da rede de monitoramento qualitativo, baixa frequência amostral dos parâmetros, desatualização dos dados, escolha de grupo incompleto de parâmetros analisados, características de intermitência ou efemeridade dos rios, dentre outros (ANA, 2020). O Brasil tem enfrentado dificuldades na efetivação do enquadramento por causa dos altos custos do monitoramento, por dificuldades na análise dos dados e finalmente pela baixa remoção de cargas (Machado, Knapik e Bitencourt, 2019).

Os órgãos estaduais e distritais gestores de recursos hídricos e os Comitês de Bacia hidrográfica possuem uma relevância ao gerirem sobre as particularidades das águas das áreas atribuídas a cada um. Porém, o instrumento de enquadramento não tem sido prioridade dentro das atividades desses entes. Segundo o trabalho desenvolvido por Ribeiro e Hora (2020), que analisou a visão desses entes por meio de questionários, a

dificuldade para os órgãos gestores em aplicar o enquadramento tem sido a falta de recursos humanos e financeiros. Já para os comitês de bacia hidrográfica, o desafio é a falta de prioridade que os estados têm no planejamento de recursos hídricos e no aporte de recursos financeiros.

É importante considerar que cada região hidrográfica do Brasil e suas bacias têm suas particularidades e desafios quanto à gestão de recursos hídricos. O Distrito Federal e o Estado de Goiás estão inseridos no Bioma Cerrado, uma das savanas brasileiras. A região é marcada por uma alternância marcante entre o período de chuvas e o período de estiagem. Particularmente para o Distrito Federal, a área mais alta do Planalto Central, apresenta-se como uma área de nascentes, de rios menores que integram as regiões hidrográficas do Tocantins-Araguaia, São Francisco e Paraná (Distrito Federal, 2022). Logo, a área apresenta rios de baixas vazões (CODEPLAN, 2020) e boa qualidade de água nas proximidades das nascentes, mas baixa disponibilidade para a diluição de efluentes, mesmo que tratados. As condições desfavoráveis de qualidade das águas vêm sendo agravadas com o aumento da população na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno – RIDE-DF, que abrange o DF e municípios goianos situados em seu entorno.

As bacias hidrográficas do rio Descoberto, ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e do ribeirão Santa Maria são de grande relevância para a gestão de recursos hídricos da bacia do rio Paranaíba e são unidades hidrográficas que abrangem a porção oeste e sudoeste do DF e, também, o estado de Goiás. Nessas bacias hidrográficas, as cargas de poluição da água aportadas nos corpos hídricos, principalmente provenientes dos lançamentos de efluentes domésticos tratados, prejudicam a qualidade de suas águas. Esses rios saem do DF e atravessam municípios goianos, desaguando em um dos dois braços dos reservatórios de Corumbá III ou Corumbá IV, este o qual é um dos mananciais de abastecimento do DF e municípios, com captação da água iniciada em abril de 2022. O mapa de localização desses corpos hídricos pode ser visualizado na Figura 1.1

Foram mensurados o Índice da Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), que consideram indicadores de aspectos físicos, químicos e biológicos das águas dos corpos hídricos superficiais. O primeiro apresenta um retrato abrangente da qualidade da água, de forma simplificada, e o segundo avalia os níveis de conformidade à classe de enquadramento prevista para um determinado corpo d'água.

Assim, buscou-se compreender a situação da qualidade das águas nos rios principais das 4 sub-bacias mencionadas no contexto da implementação do enquadramento dos rios de domínio da União que relacionam o Distrito Federal e Goiás, afluentes ao rio Corumbá, e no contexto da revisão em andamento do Plano de Recursos Hídricos e do Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (PRH-Paranaíba), em desenvolvimento no âmbito do CBH Paranaíba, iniciada em 2022 e com término previsto para 2023.

A análise sistêmica e temporal sobre a situação da qualidade da água nesses corpos hídricos será importante para contribuir com o aprimoramento da gestão de recursos hídricos nessas bacias transfronteiriças.

O presente documento é objeto de dissertação de mestrado e está composto em 7 capítulos, sendo o primeiro referente à introdução. No segundo capítulo, são apresentados os objetivos geral e específicos. No terceiro, são relatadas a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica. No quarto, a metodologia de pesquisa. No quinto, os resultados. Por fim, a discussão dos resultados e a conclusão, que estão contidos nos capítulos 6 e 7, nesta ordem.

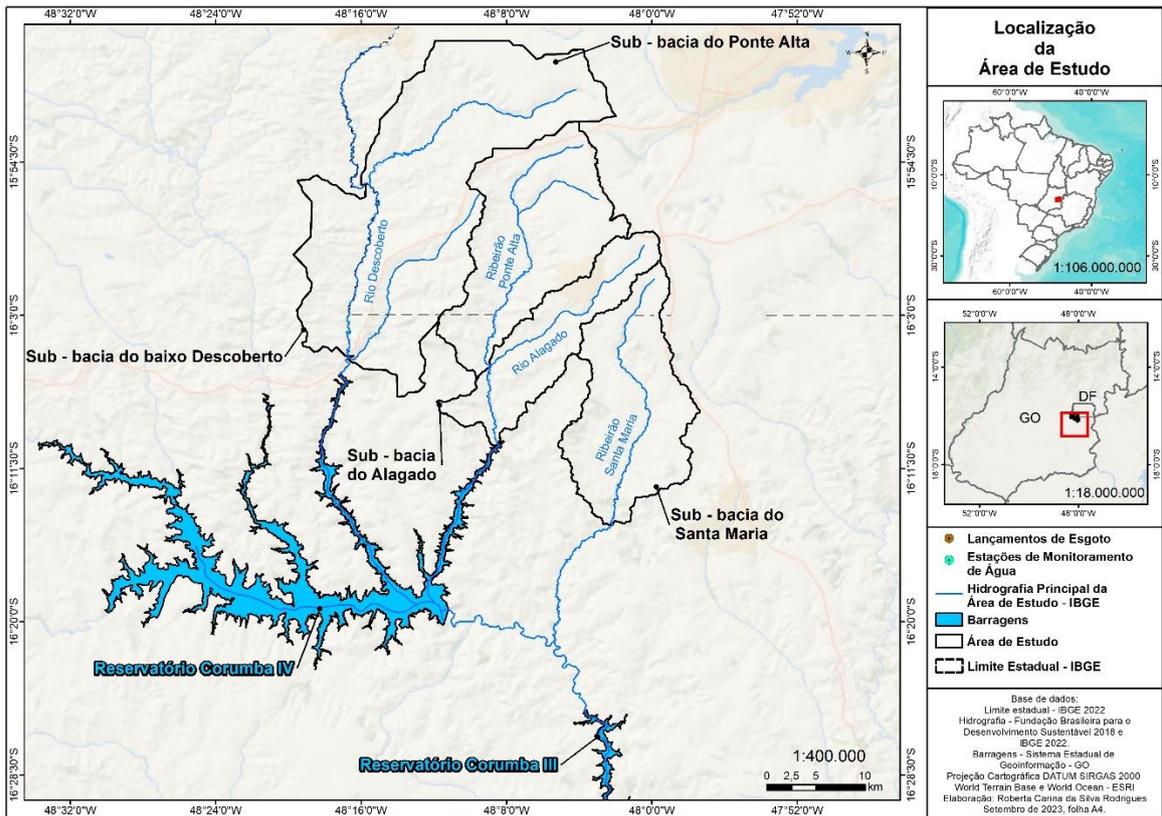


Figura 1.1 – Mapa da localização da área de estudo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral é avaliar a evolução da qualidade das águas e a conformidade ao enquadramento de corpos d'água de rios da região compreendida entre o sudoeste do Distrito Federal e o Estado de Goiás, em bacias afluentes aos reservatórios Corumbá III e Corumbá IV.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a qualidade da água do rio Descoberto, ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e ribeirão Santa Maria entre as duas Unidades da Federação (DF e GO) a partir dos dados monitorados disponíveis e da aplicação do Índice de Qualidade da Água.
- Analisar a conformidade ao enquadramento de corpos d'água em classes no rio Descoberto, ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e ribeirão Santa Maria entre as duas Unidades da Federação (DF e GO) a partir de dados monitorados disponíveis e da aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento.
- Avaliar a evolução da qualidade da água no rio Descoberto, ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e ribeirão Santa Maria entre as duas Unidades da Federação (DF e GO) e propor medidas para o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo, serão apresentados conhecimentos básicos sobre a gestão de recursos hídricos no Brasil, a legislação referente ao processo de enquadramento de corpos de água em classes e, ainda, os desafios encontrados no País para aprovar os enquadramentos de bacias interestaduais. Também serão abordados aspectos sobre a qualidade da água e estudos referentes às análises de qualidade e de conformidade ao enquadramento.

#### **3.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

A Organização das Nações Unidas (ONU) tem entre os objetivos da agenda de desenvolvimento sustentável (ODS) a proteção e restauração de ecossistemas relacionados com a água, incluindo, dentre outros, rios e lagos. Tal objetivo é uma maneira de buscar assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e o saneamento para todas e todos (ONU, 2015).

Em se tratando de recursos hídricos, existem vários enfoques de gestão, com suas respectivas ferramentas, em busca de regular os seus usos pela população, que interferem não só na qualidade da água no meio ambiente, como na quantidade (vazões dos corpos d'água). A forma convencional é a de comando e controle, que são medidas de controle determinadas por normativas legais e de fiscalização do cumprimento dessas. Outras formas de regulação são as políticas baseadas em incentivos, participação e planejamento (Field e Field, 2014).

As questões relacionadas à gestão ambiental ou, mais especificamente, à gestão dos recursos hídricos, são tratadas de formas diferenciadas em diversos países. No Brasil, a legislação considera as bacias hidrográficas como as unidades territoriais básicas de planejamento e de gestão de recursos hídricos na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que foi instituída pela Lei nº 9.433 em 1997. A PNRH visa garantir a utilização racional e integrada dos recursos hídricos de forma a assegurar às gerações atuais e subsequentes a disponibilidade de água aos seus usos, considerando também a sua qualidade (Brasil, 1997).

Existem cinco instrumentos presentes na PNRH. Um deles, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, garante o direito de uso da água na quantidade e na qualidade necessária ao usuário que o obtiver. Assim, evitam-se conflitos entre os usuários, servindo

como instrumento de alocação de água. Além disso, é concedida de acordo com estudos prévios da disponibilidade hídrica do corpo d'água, mantendo a segurança hídrica da bacia.

As outorgas garantem que o uso da água respeite as prioridades e os objetivos dos planos de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos d'água. Por isso, são necessárias em atividades que alteram de forma significativa o regime da água naquela localização, como no aproveitamento de potenciais hidrelétricos, captação de parcela da água para consumo final e lançamento de esgotos brutos ou tratados em corpo de água para fins de disposição final.

Os planos de recursos hídricos são outro instrumento, cuja função é orientar o gerenciamento de recursos hídricos, fundamentando-se na Política Nacional de Recursos Hídricos. É o instrumento que interrelaciona e estrutura todos os outros instrumentos.

Existe também o instrumento Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, que reflete o trabalho dos órgãos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, visto que é constituído por dados gerados pelos seus membros. Os dados são compartilhados com toda a sociedade e utilizados de forma a descentralizar as informações produzidas relacionadas aos recursos hídricos, servindo de base para o desenvolvimento dos outros instrumentos.

Outro instrumento, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, é associada aos usos sujeitos a outorga e é baseada no princípio do usuário-pagador. A cobrança é fundamental para incentivar a conscientização do valor da água como um bem público limitado e a racionalização do seu uso. O instrumento também é utilizado para subsidiar programas e projetos de Planos de Recursos Hídricos, que visam a proteção, conservação e a despoluição das águas, dentro do estabelecido no enquadramento dos corpos de águas em classes de usos preponderantes (Brasil, 2005).

O enquadramento é o instrumento que visa a classificação de corpos d'água, como rios, lagos e estuários, de acordo com os seus usos preponderantes e a implementação de ações preventivas à poluição hídrica (Brasil, 1997). Não é uma mera classificação, mas sim um instrumento de planejamento, pois é baseada em metas finais e intermediárias para o alcance dos padrões exigidos (ANA e ENAP, 2022).

A elaboração dos planos de recursos hídricos e a proposição do enquadramento possuem a indicação de serem realizadas simultaneamente. Isso porque os planos consideram os usos preponderantes dos recursos hídricos, demonstrando o alinhamento necessário que se deve ter entre o plano e as propostas de enquadramento (Barth, 2002, apud Costa, 2005). Essa recomendação é corroborada pela Resolução CNRH nº 91 de 2008, a qual determina que as propostas de enquadramento de trechos de corpos d'água sejam apresentadas na elaboração do texto dos Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas (Brasil, 2008).

O enquadramento surgiu como complemento aos instrumentos de comando e controle, já que, na verdade, é um instrumento de planejamento. Assim, a gestão de recursos hídricos se torna mais sustentável, pois objetiva manter ou aprimorar a qualidade do trecho do rio ao qual foi atribuída uma classe (Costa e Conejo 2009).

Para a implementação do enquadramento, é necessário avaliar, no mínimo, três aspectos do rio em questão. Primeiramente, a situação atual do trecho do rio em análise e as atividades principais da bacia hidrográfica; depois, as condições de qualidade e quantidade do rio que os vários atores envolvidos pretendem alcançar de acordo com os seus interesses; e por fim, o rio que se é possível chegar, em termos de qualidade de água, no prazo estabelecido, por meio de ações de infraestrutura e de gestão articulada da bacia citação (ANA, 2020a).

Quanto mais “nobre” for o uso, numericamente menor será a classificação daquele corpo d'água, e por uso nobre estão as destinações de abastecimento para consumo humano, a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas como, por exemplo, em Unidades de Conservação de Proteção Integral, recreação de contato primário, e irrigação de plantações específicas, tais como as hortaliças.

Algumas das causas resumidas por Costa, Assumpção, *et al* (2019) para a dificuldade em implementar esse instrumento é de que ainda não foi superado no país o problema da insuficiência de investimentos no tratamento de esgotos domésticos e outros poluentes, característico de países ainda considerados “em desenvolvimento”, isto é, com limitações técnicas e financeiras para a superação dessa etapa.

Outra crítica, agora especificamente à Resolução CONAMA 357/2005, relaciona-se à utilização da vazão de referência. A vazão de referência é a vazão mínima a partir da qual

há uma maior probabilidade de ocorrência das vazões, normalmente um valor de alta permanência. Variadas vezes ela pode ser a Q90 ou a Q95, por exemplo. Sendo a primeira é referente à quando em 90% da série hidrológica as vazões foram iguais ou superiores a ela; a segunda, em 95%.

Essa crítica se dá pelo fato de que a vazão não representa as mudanças na estação chuvosa, que é quando a poluição difusa se torna mais evidente, diferentemente do que acontece na estação seca, que é quando há uma predominância de poluições pontuais (Brites, 2010; Bitencourt, Fernandes e Gallego, 2019).

O enquadramento deve ser revisado de forma cíclica, quando as suas metas devem ser reajustadas às mudanças econômicas e sociais (Costa e Conejo, 2009).

O enquadramento está, ainda, relacionado com outras políticas setoriais, tais como os planos de saneamento básico; os planos diretores dos municípios em que estiverem inseridos; o Zoneamento Ecológico-Econômico; as avaliações de criação de áreas protegidas; as ações de restauração ambiental, entre outros (ANA e ENAP, 2022).

Outra ferramenta de controle ambiental, o licenciamento de empreendimentos, apresenta uma relação direta com os instrumentos da PNRH, especialmente com o enquadramento. Os órgãos competentes exigem um estudo da capacidade de suporte da carga que o empreendimento pretende lançar no corpo d'água receptor. Inclusive, os termos de ajustamento de conduta e de controle de poluição baseiam-se nas metas progressivas aprovadas.

Outros países, como a Itália, Portugal e Estados Unidos tiveram soluções similares ao do instrumento do enquadramento do Brasil. As normativas existentes determinadas por eles também visam a garantir os usos desejados dos corpos de água. Canadá e Japão o fazem também através da avaliação de aspectos físicos, químicos e biológicos da água (Silva e Albuquerque, 2018).

### **3.1.1 Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH)**

A Lei 9.433 criou também o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Os órgãos e entidades integrantes do SINGREH são o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas, os Conselhos de Recursos Hídricos

dos Estados e do DF, os Comitês de Bacia Hidrográfica, as Agências de Água e outros órgãos dos poderes públicos.

Cabe ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, ou seja, planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos, incluindo a promoção da cobrança pelo uso. Além disso, cabe a eles também arbitrar administrativamente os conflitos, coordenando, assim, a gestão integrada das águas (ANA e ENAP, 2022).

Os recursos hídricos são bens da União se forem, por exemplo, águas em terreno de seu domínio, ou seja, que demarquem o limite entre Unidades Federativas ou que perpassam entre elas. Sendo então de dominialidade federal, a União é competente para gerir a água (Brasil, 1988).

As agências de águas são as responsáveis pela elaboração dos planos de recursos hídricos e das propostas de enquadramento. Cabe aos Comitês de Bacia Hidrográfica acompanharem o processo, sugerirem as providências necessárias ao cumprimento de suas metas e selecionarem a proposta o enquadramento dos corpos d'água e programa de implementação, assim, definindo as prioridades do uso da água atual e futuro (ANA e ENAP, 2022).

Nesse momento de definição de metas, é o momento ideal para incentivar a sociedade a expor as suas opiniões quanto aos seus interesses em relação aos usos da água para que se possa mapear o rio que se quer ter. Isso é tão importante quanto se conhecer o rio que se tem e o rio que é possível adquirir (ANA e ENAP, 2022).

Por fim, encaminha-se a proposta ao Conselho Nacional ou ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos, a depender do domínio corpo d'água em uma bacia, para deliberação, podendo aprovar ou não, em Resolução, o enquadramento (Bitencourt, Fernandes e Gallego, 2019).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, além de outras competências, deve aprovar (ou não) o enquadramento dos corpos d'água em classes de acordo com as diretrizes também do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2019).

Dentre os órgãos gestores, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) integra o SINGREH e possui o papel de executar a PNRH dentro das suas competências, ou seja, nas bacias interestaduais. A agência também coordena as ações do SINGREH. No âmbito estadual e distrital, existe a figura do órgão gestor estadual/distrital de recursos hídricos com a função de também implementar a PNRH.

### **3.1.2 LEGISLAÇÃO FEDERAL**

#### **3.1.2.1 Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 e Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**

Como legislação para amparar o processo de enquadramento, foi publicada a Resolução CONAMA nº 357 de 2005. Essa normatização classifica os corpos de água e dispõe sobre as diretrizes ambientais para o seu enquadramento (Brasil, 2005). Como sua complementação, a Resolução CONAMA nº 430 de 2011 dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes (Brasil, 2011).

A Resolução 357/2005 evidencia que o enquadramento é baseado não necessariamente apenas no atual estado do corpo de água, mas também nos níveis de qualidade que ele deverá possuir para atender às necessidades dos seus usuários em um determinado prazo estabelecido.

Destaca-se também a necessidade de avaliação da evolução da qualidade das águas, tomando como base as classes estabelecidas no enquadramento, visando fixar e controlar as metas propostas e condições intermediárias, para atingi-las de forma gradativa.

A classificação das águas leva em consideração primeiramente a quantidade de sal existente. Se a salinidade for igual ou inferior a 0,5%, a água é considerada doce; sendo a salinidade superior a 0,5%, mas inferior a 30%, a água é salobra; já se a água tiver uma salinidade igual ou acima de 30%, esta é uma água salina.

A partir dessa caracterização física da água, dá-se uma importância aos usos mais exigentes até as de usos menos nobres. Tomaremos como exemplo as águas doces, cujas classes vão de “Especial”, Classe I, II, III e IV de acordo com os seus usos pretendidos, sendo então 5 classes. As águas de melhor qualidade podem comportar usos menos

exigentes, desde que estes não prejudiquem a qualidade necessária para os usos prioritários e mais exigentes.

A Tabela 3.1 indica os usos permitidos para as águas enquadradas em cada uma dessas classes, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Tabela 3.1 - Classificação das águas doces em função da sua destinação (Resolução CONAMA nº 357, 17/03/2005)

Uso da água	Classe				
	Especial	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	(h)				
Proteção das comunidades aquáticas		(i)			
Recreação de contato primário					
Aquicultura					
Abastecimento para consumo humano	(a)	(b)	(c)	(d)	
Recreação de contato secundário					
Pesca					
Irrigação		(e)	(f)	(g)	
Dessedentação de animais					
Navegação					
Harmonia paisagística					

Fonte: Brasil (2005) e ANA (2020).

Notas: (a) com desinfecção; (b) após tratamento simplificado; (c) após tratamento convencional; (d) após tratamento convencional ou avançado; (e) em hortaliças e frutas rentes ao solo consumidas cruas; (f) em hortaliças e plantas frutíferas e de parques etc.; (g) em culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; (h) mandatória em unidades de conservação de proteção integral; (i) mandatória em terras indígenas.

Cada corpo hídrico deve seguir as condições de qualidade de água esperadas para aquela classe estabelecida. Tomando como exemplo as águas doces de Classe II, que é a classe padrão para quando ainda não se implementou o processo de enquadramento, há exigências quanto às concentrações de Coliformes Termotolerantes, Cor Verdadeira, Turbidez, DBO<sub>5,20</sub>, OD, Clorofila A, Densidade de Cianobactérias, Fósforo Total, entre outros, de forma a não prejudicar o uso de recreação de contato primário e os demais usos permitidos a essa classe.

A Resolução 430/2011 determina as condições e padrões de lançamento de efluentes. Nessa sessão da Resolução, há a clara ligação entre o enquadramento e o licenciamento de empreendimentos de significativo impacto, pois o órgão ambiental competente exige deles nesses processos, ou na sua renovação, estudo de capacidade de suporte de carga do corpo d'água receptor. Esse estudo deve estimar a concentração após a zona de mistura.

Determina-se também que o lançamento de efluentes deverá:

I – atender às condições e padrões de lançamento de efluentes;

II – não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência;

Em relação à zona de mistura de efluentes, é possível haver uma autorização ao desacordo aos padrões de algumas substâncias, de acordo com os termos determinados pelo órgão ambiental competente, a depender do nível de comprometimento dos usos previstos para o corpo d'água em questão. Para isso, o empreendedor responsável pelo lançamento deve realizar estudos, tendo como objeto a extensão e as concentrações dessas substâncias.

No caso em que a qualidade da água em um corpo hídrico esteja em desacordo com o que se espera classe enquadrada, são necessárias metas intermediárias, até que se alcancem as metas finais, todas obrigatórias. São metas as quais são relacionadas à vazão de referência, para a melhoria da qualidade da água, que é necessária para a garantia dos usos preponderantes pretendidos.

Apesar de todas essas definições, a Resolução 357/2005 não menciona a necessidade nem o período para a realização de uma revisão do enquadramento já implementado.

### 3.1.2.2 - Resolução CNRH nº 91, de 05 de novembro de 2008

No processo de estudo para a elaboração de propostas de enquadramento de águas superficiais e subterrâneas, segundo a Resolução CNRH nº 91 de 2008, algumas etapas são recomendadas: as de diagnóstico; prognóstico; propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento; e de programa para efetivação do enquadramento. Neste trabalho, o foco será referente ao enquadramento apenas de águas superficiais (Brasil, 2008).

Antes do diagnóstico, será necessário haver uma preparação, quando então se mobiliza os atores envolvidos na bacia em questão (ANA e ENAP, 2022). No diagnóstico, há onze elementos essenciais para a sua elaboração, que vão desde a caracterização geral da bacia hidrográfica, como o uso e ocupação do solo; a identificação dos usos preponderantes da água e seus conflitos; das fontes de poluição pontuais e difusas; das unidades de conservação; áreas indígenas; áreas vulneráveis no geral; o diagnóstico da disponibilidade da água, o que inclui a sua qualidade, por meio de dados monitorados e atualizados; assim como o conhecimento do zoneamento ecológico-econômico e de outros planos e programas previstos na bacia (Brasil, 2008).

No prognóstico, é preciso avaliar cenários futuros de curto, médio e longo prazos em relação à ocupação humana, à disponibilidade e a demanda de água, às cargas poluidoras de origens diversas e seus impactos, e aos usos pretendidos dos recursos hídricos na bacia.

Na etapa de elaboração das alternativas de enquadramento, deve-se levar em conta as diversas projeções apontadas pelas etapas anteriores, principalmente as do prognóstico, e os investimentos necessários para implementar as ações de gestão. As metas relativas às alternativas serão apresentadas por meio de um quadro comparativo da situação atual da qualidade das águas e a da futura, que inclui os usos pretensos.

Notadamente, na bacia interestadual do rio Doce, a partir da revisão e atualização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (PIRH Doce), houve uma estimativa do orçamento gradualmente até 2042 para a implantação de obras necessárias para se alcançar o “rio que queremos ter” nos municípios da bacia. Neste orçamento foram incluídos os levantamentos dos custos da coleta e transporte de esgotos, das Estações de Tratamento de Esgoto existentes e futuras, e das soluções individuais para a população

urbana e rural, incluindo fossas sépticas, filtros anaeróbios e sumidouros (ENGEORPS, 2023).

Apesar disso, houve a proposta do “rio que podemos ter”, que não coincidiu com a proposta das ações do “rio que queremos”, sendo que o primeiro representou as ações já previstas pelos municípios e o último inclui a adição de ações a essas já previstas para o rio Doce. Assim, ocorreram Oficinas de Consolidação para que a sociedade pudesse debater sobre as duas propostas. Por fim, o CBH Doce aprovou a segunda alternativa, de acordo com a mobilização social, a qual ainda passará pela deliberação do CNRH (ENGEORPS, 2023).

Na prática, as alternativas apresentam elementos dos programas de efetivação. O Comitê de Bacia Hidrográfica então seleciona uma das alternativas ao fazer a análise integrada de vários aspectos: metas e prazos de execução; instrumentos de compromisso; recomendações e subsídios técnicos. Em seguida, o Conselho de Recursos Hídricos delibera e a implementação do programa de efetivação se inicia.

As etapas culminam em práticas que servirão para ou manter a qualidade do corpo d’água, que já está nas condições estipuladas nas metas, ou para reabilitar a qualidade dos rios (Costa, Assumpção, *et al.*, 2019). Percebe-se que a participação social é relevante nas etapas de diagnóstico, prognóstico e elaboração das alternativas de enquadramento, de forma a concretizar a gestão participativa dos recursos hídricos. Para realizá-la pode-se organizar consultas públicas, encontros técnicos e oficinas de trabalho, por exemplo (Brasil, 2008).

De forma didática, as etapas do processo de enquadramento estão indicadas na Figura 3.1.

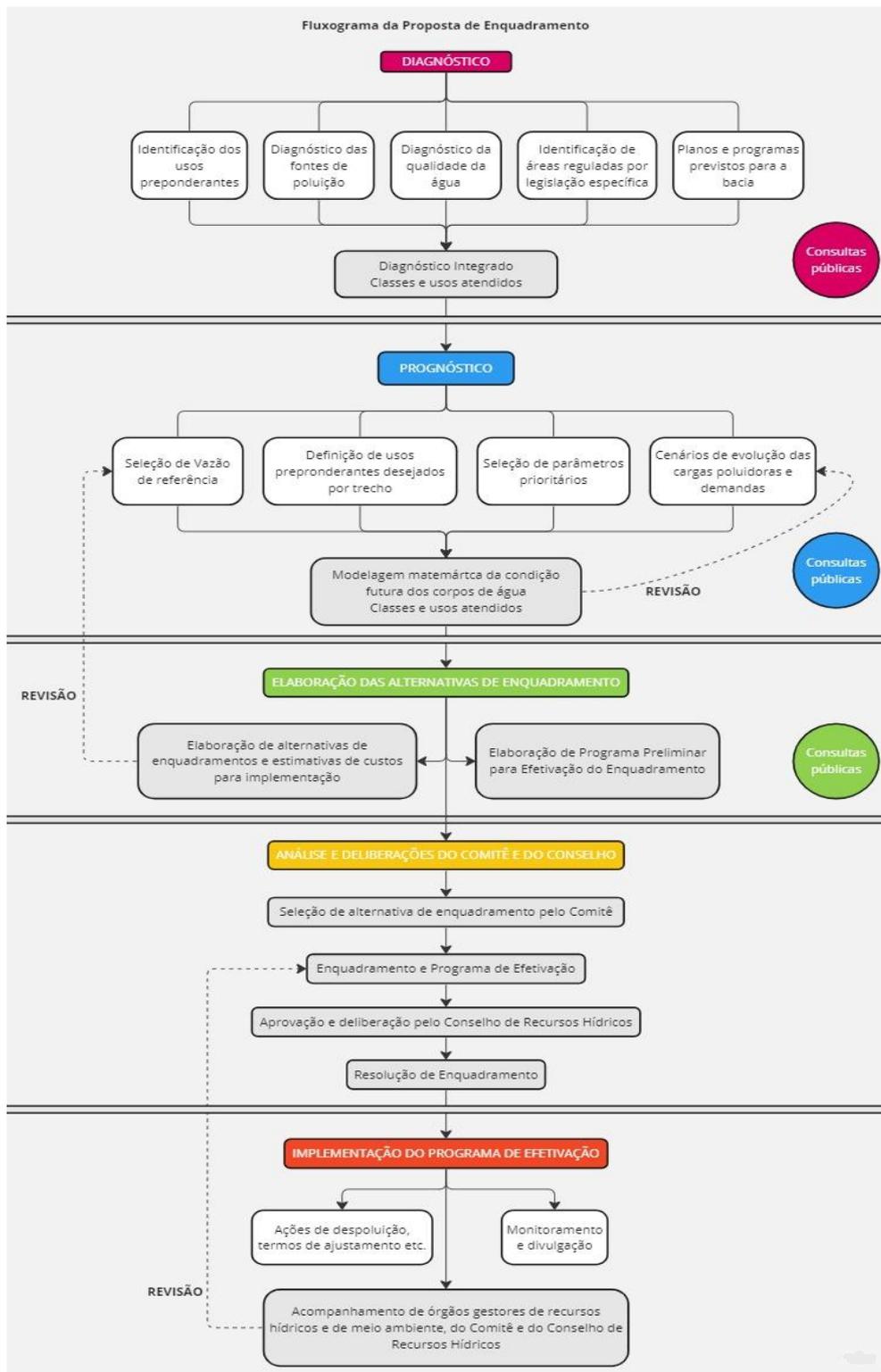


Figura 3.1 – Fluxograma adaptado do processo de enquadramento. Fonte: (ANA, 2020).

### 3.2 QUALIDADE DA ÁGUA

A poluição da água pode vir de diversas fontes, que podem ser de origem difusa ou pontual a depender do tipo de uso e ocupação do solo. A poluição difusa é aquela que se

dá de forma ampla ou indeterminada. Ela pode ocorrer, por exemplo, pelo carreamento de poluentes por meio do escoamento superficial em áreas urbanas ou agrícolas, este sendo fonte de compostos como o fósforo, advindo de fertilizantes e pesticidas; e por meio de chuvas ácidas. Por outro lado, a poluição pontual a descarga tem o seu local bem definido, pois geralmente se dá por meio de uma tubulação ou um escoamento concentrado, a exemplo da descarga de esgoto bruto e de esgoto tratado de forma ineficiente (Silva, 2015).

O esgoto doméstico é aquele originário de residências, instituições, comércio, entre outros estabelecimentos (Sperling, 2018). É também de natureza orgânica, composto em boa parte por carbono, hidrogênio, oxigênio, mas também, em menor proporção, por nitrogênio, fósforo e enxofre (Piveli e Kato, 2006).

O crescimento urbano, se não acompanhado com alta cobertura dos serviços de coleta e tratamento de esgoto, além de uma alta eficiência de tratamento do esgoto nas ETEs, significa um aumento da carga de poluição orgânica onde os efluentes nos rios são lançados.

Dentre alguns dos parâmetros físico-químicos que indicam o impacto advindos de lançamentos de efluentes domésticos na qualidade da água bruta estão (Piveli e Kato, 2006):

- Oxigênio Dissolvido (OD)
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>)
- Coliformes termotolerantes/ *Escherichia coli*
- pH
- Nitrogênio Total
- Fósforo Total
- Temperatura
- Turbidez
- Sólidos Totais

O lançamento de esgotos gera um impacto para o corpo receptor, principalmente em se tratando da redução das concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD) devido ao seu consumo por bactérias decompositoras, que usam a matéria orgânica para realizar a

respiração. O oxigênio dissolvido em quantidades adequadas também é importante para outros seres vivos, como os peixes (Sperling, 2018).

No caso de haver eutrofização, há que se ter cuidado, já que a presença de O<sub>2</sub> pode mascarar o fato de já ter ocorrido um lançamento de esgoto anteriormente. O oxigênio presente pode ser devido à multiplicação e produção pelas algas e cianobactérias devido aos macronutrientes presentes na água. O oxigênio dissolvido na água é consumido no processo de decomposição de compostos orgânicos presentes e lançados no corpo do rio. Por isso, a sua baixa concentração ou ausência são indicativos de baixa qualidade da água. A sua redução devido à poluição é preocupante, pois os seres aquáticos precisam dele para a sua sobrevivência (Piveli e Kato, 2006).

Apesar disso, os corpos d'água tendem a recuperar o oxigênio, em termos dessas concentrações, ao longo da distância e ao longo do tempo. Esse restabelecimento de equilíbrio é denominado autodepuração. As suas fases finais consistem em quando os compostos orgânicos finalmente já estão transformados em compostos que não prejudicam mais ecologicamente o meio (Sperling, 2018).

Como outro indicativo de poluição por esgoto doméstico, seria a alta medição de DBO<sub>5,20</sub>. Este parâmetro representa a presença de compostos orgânicos biodegradáveis que ocorrem nas águas por indicar a degradação ou estabilização biológica deles por meio da redução de OD na amostra durante 5 dias a 20°C (Jordão e Pessôa, 2014).

Os coliformes (grupo de bactérias) termotolerantes são originados majoritariamente do intestino de animais e seres humanos e, em menor grau, são de vida livre. Um organismo predominante dessa categoria é o *Escherichia coli* (*E. coli*), que é mais recomendado na utilização como indicador de contaminação exclusivamente fecal (Sperling, 2018).

O pH representa a concentração de íons hidrogênio H<sup>+</sup>, indicando as condições de acidez ou da característica básica da água (Usberco e Salvador, 2011). Esses efeitos podem ser originários de forma natural ou antropogênica da oxidação da matéria orgânica presente na água. Valores elevados podem indicar fenômenos como a proliferação de algas (Sperling, 2018).

Cabe destacar que o pH é um parâmetro importante, pois determina a fórmula molecular que prevalecerá nas águas naturais, influenciando no equilíbrio das reações químicas. Por

exemplo, dependendo da faixa de pH, é permitido uma quantidade ou outra de amônia gasosa na água, uma substância tóxica para os peixes (Piveli e Kato, 2006).

O esgoto também é uma fonte de outro composto, o nitrogênio, que pode estar presente nas suas formas reduzidas orgânica, amoniacal e oxidadas em nitrito e nitrato. É preciso de tratamentos mais avançados para não emitir esses parâmetros em quantidades inadequadas, de forma a não prejudicar as vidas dos peixes e outras espécies (Piveli e Kato, 2006).

A drenagem da água e o escoamento superficial de metais advindos de atividades de mineração podem comprometer o pH dos corpos d'água, causando uma acidez. Valores abaixo de 5,5 podem prejudicar os peixes e até mesmo causar a mortandade deles. A lixiviação de pilhas de resíduos sólidos também pode acarretar nesse efeito. Além disso, as chuvas ácidas também podem contribuir para a acidez das águas naturais (Chin, 2013).

O fósforo também pode ser originário de esgoto doméstico, pela própria composição dos dejetos, mas também pela presença de produtos de limpeza, como o detergente, o qual se entende ser a principal fonte desse parâmetro. Além disso, o fósforo pode derivar da poluição difusa decorrente do escoamento superficial compondo fertilizantes advindas de áreas agrícolas (Piveli e Kato, 2006).

O excesso de fósforo, assim como do nitrogênio, num corpo d'água pode causar o fenômeno de eutrofização, prejudicando vários usos como, por exemplo, o de contato primário, já que um ambiente hipereutrófico pode conter toxinas e patógenos, os quais causam diversas doenças de veiculação hídrica (Piveli e Kato, 2006).

A temperatura em águas naturais é importante para vários processos da vida dos seres ali presentes, como na sua reprodução. Além disso, assim como pH, participa das condições de reações químicas na água, especialmente relacionada com a velocidade delas, e interferindo também na solubilidade de gases (Piveli e Kato, 2006).

A turbidez é consequência da presença de sólidos em suspensão, que são categorizados por inorgânicos, partículas advindas do processo de erosão do solo; e orgânicos, esgoto e seres vivos como algas e bactérias. Em época de chuva, há o carreamento de partículas até o leito dos rios da bacia hidrográfica, principalmente em margens desprotegidas, contribuindo para a poluição difusa do meio (Gomes e Pereira, 2012).

Por fim, os Sólidos Totais (ST), também conhecido por Resíduo Total, são os sólidos restantes após o experimento de evaporação em banho-maria e posterior secagem a uma determinada temperatura, até que o peso se torne constante. Esse parâmetro inclui não só os sólidos em suspensão, mas também os sólidos voláteis, os sólidos fixos e os sólidos sedimentáveis, indicando diferentes características das partículas presentes na água (Piveli e Kato, 2006).

O tratamento convencional de esgoto visa a retirada de sólidos grosseiros, sólidos sedimentáveis, matéria orgânica e, eventualmente, nutrientes como o nitrogênio e o fósforo. Em alguns casos, há a etapa de tratamento terciário, o qual tem como objetivo a remoção de nutrientes, patogênicos, metais pesados, entre outros. Por isso que, em casos que os corpos d'água receptores não possuam capacidade de depurar esses poluentes, recomenda-se esse polimento final (Sperling, 2018).

Há ainda outras fontes de poluição da água por meio das atividades de empreendimentos como a mineração, industriais. A poluição também pode advir da presença de Poluentes Orgânicos Persistentes (POP) na água, os quais podem bioacumular nos ecossistemas e nos seres humanos e os causar prejuízos (Belo, *et al.*, 2021).

Dentre as várias abordagens possíveis para se analisar a situação dos cursos d'água, Ferreira (2011) elaborou mapas que auxiliam na análise espacial dos impactos causados pelas atividades antrópicas, de forma a complementar o monitoramento da qualidade das águas e assim contribuir para propostas de enquadramento de corpos de água. Seu estudo foi realizado na bacia do rio Jequitáí, em Minas Gerais, onde há sérios problemas de degradação dos recursos hídricos pelas atividades de mineração, pela erosão, pelo uso intenso de agrotóxicos e lançamento de esgoto doméstico bruto. Dentre esses mapas, alguns são de uso do solo e cobertura vegetal, com a inclusão das áreas de Unidade de Conservação; a localização das outorgas com as suas finalidades e as vazões superficiais outorgadas; os deflúvios superficiais (L/s/Km<sup>2</sup>); e a população nos setores censitários. Com a análise dos usos preponderantes e a espacialização das informações, a maior parte dos rios da bacia ficou na Classe II (Ferreira, 2011).

Em um estudo no Distrito Federal, estimou-se de forma precisa como a autodepuração pode amenizar os efeitos de poluição nos corpos receptores de 10 lançamentos de efluentes tratados. O impacto deles foi simulado pelo modelo de qualidade de água

QUAL-UFMG. O foco foi a época da estiagem. Foi utilizada a vazão média das mínimas (Q<sub>mm</sub>), ou seja, "uma vazão em que 92% dos dados diários da vazão da série histórica de iguais ou superiores a ela", baseada nas curvas de permanência das vazões medidas pelo monitoramento da CAESB. Há um decaimento de DBO entre o ponto de lançamento do efluente até a foz de rios como: Paranoá, Ribeirão Sobradinho e Riacho Fundo. Já no Ribeirão Ponte Alta há um aumento do DBO, o que deve estar associado a novos lançamentos de poluição inesperados. O tempo médio da trajetória do efluente até o seu decaimento é de 18 horas. A simulação de OD teve como resultado valores altos, tendo em vista o k<sub>2</sub> alto (Brites *et al*, 2019).

Nesse estudo, foi apontado que os rios do DF, por serem de baixa vazão, sofrem mais com os efeitos da poluição de lançamento de esgoto bruto ou até mesmo do tratado em estações de tratamento, por não haver a vazão suficiente para a diluição de concentrações elevadas de poluentes. Foi então estimado, de forma mais precisa, como a autodepuração pode amenizar esses efeitos. Os resultados contribuíram para a verificação do cumprimento de quesitos de enquadramento dos corpos d'água estudados (Brites *et al*, 2019).

### **3.3 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA**

Uma forma de apurar a situação da qualidade das águas é por meio do monitoramento, atividade essencial para a gestão das águas, acompanhamento de tendências e garantia dos seus múltiplos usos. Utilizando o Índice de Qualidade da Água (IQA) é possível averiguar os níveis de poluição e de contaminação dos diferentes trechos de um curso d'água.

O IQA reflete principalmente a contaminação derivada de lançamentos de esgoto doméstico, o que causa impactos não só na biota do ambiente receptor, como para os diversos usuários a jusante, especialmente em se tratando de possíveis usos para abastecimento humano (CETESB, 2020).

Dentre vários, o IQA utilizado aqui foi criado pela *National Sanitation Foundation* (NSF), nos Estados Unidos da América (EUA). O índice foi resultado da opinião de mais de 100 experts dos EUA obtida por meio de questionários, a fim de obter curvas de

qualidade da água em função das medições dos parâmetros que julgaram ser mais importantes (Brown, McClelland, *et al.*, 1970).

No Brasil, é comum utilizar-se versão final do IQA de NSF, o produtório apresentado pela Equação 3.1.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{W_i} \quad \text{Eq. 3.1}$$

Em que:

IQA: Índice de Qualidade de Água Multiplicativo da NSF, entre 0 e 100;

$q_i$ : Qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, entre 0 e 100, obtida da “curva média de variação de qualidade”;

$W_i$ : Peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, entre 0 e 1;

$n$ : Número de parâmetros que entram no cálculo.

Destaca-se que, pelo fato de a equação ser um produtório, um componente mais baixo reduzirá o valor agregado do IQA, inclusive chegando a 0 se um componente for 0, por exemplo. Esse problema e outros são explorados em estudos subjacentes aos da criação do IQA NSF (Sutadian, Muttill, *et al.*, 2015).

No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) realizou algumas adaptações ao grupo de parâmetros utilizados no cálculo do IQA. Determinaram-se os nove parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes termotolerante/ *Escherichia coli* (*E. coli*), pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio total (N total), Fósforo total (P total), Variação da temperatura da amostra, Turbidez, Sólidos Totais (ST). Além disso, a Companhia constatou que é possível utilizar valores de *Escherichia coli* em vez de Coliformes Termotolerantes, pois o comportamento de suas curvas médias é equivalente, após uma correção de fator 1,25 sobre o resultado de *E. coli* (CETESB, 2008).

Apesar de ser um índice bastante objetivo, o IQA não considera as especificidades das diferenças regionais e dos diferentes usos da água (Passos, Muniz, & Oliveira Filho, 2018). Contudo, como o IQA é particularmente sensível à presença de esgoto na água bruta, logo o uso desse índice é adequado para as análises do presente estudo (CETESB, 2021).

Os pesos correspondentes a cada parâmetro são predeterminados e estão apresentados na Tabela 3.2:

Tabela 3.2 – Pesos atribuídos aos parâmetros utilizados no cálculo do IQA.

Parâmetro (unidade)	Peso (Wi)
Saturação de oxigênio dissolvido (mg/L)	0,17
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L)	0,10
Nitrogênio total – N total (mg/L)	0,10
Fósforo total – P total (mg/L)	0,10
Variação da temperatura (°C)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Sólidos totais (mg/L)	0,08

Fonte: CETESB, 2021.

O IQA é particularmente sensível à presença de esgoto na água bruta e é referência principalmente para usos de abastecimento público da mesma água após tratamento (CETESB, 2021).

Os resultados do IQA são divididos em faixas de qualidade, as faixas utilizadas originalmente pela CETESB são: péssima (até 19), ruim (19-36), regular (36-51), boa (51-79) e ótima (79-100) como apresentado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Intervalos de valores referens às condições de qualidade da água de acordo com o valor do IQA

Condição	Valor de IQA
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Péssima	$0 < \text{IQA} \leq 19$

As águas cujos valores de IQA estiverem nas categorias Péssima e Ruim, são aquelas são impróprias para abastecimento humano público apenas com o tratamento convencional,

necessitando de tratamentos mais avançados. As águas classificadas como Regular, Boa ou Ótima são apropriadas para o tratamento convencional com fins de abastecimento público (IGAM, 2019).

Para a análise da tendência de melhora, manutenção ou piora do IQA na região do Paraná no período de 2000 a 2009, da Costa, de Oliveira e de Souza (2011) observaram a necessidade de se realizar uma análise temporal mais longa da qualidade da água, visando avaliar a evolução dos impactos antrópicos e das ações de gestão. Levantaram medidas dos mesmos nove parâmetros. Além disso, utilizaram dois coeficientes para confirmar a tendência.

Os pontos que apresentaram tendência de aumento do IQA foram onde houve o desenvolvimento de infraestrutura de saneamento (redes coletoras de esgoto e ETE). De modo geral, onde houve redução foi onde aumentou a população sem o devido acompanhamento do aumento do saneamento (esgoto) (Costa *et al*, 2011).

Em 2011, houve um estudo da ANA que identificou os problemas na qualidade das águas da bacia do Rio Descoberto por meio da análise físico-química e biológica da água. Nesse estudo, houve campanhas de coleta de dados em 14 pontos na bacia do Rio Descoberto, medições *in loco* e em laboratório. O cálculo do Índice de Qualidade da Água foi baseado nos nove parâmetros mencionados: Turbidez, pH, Temperatura, Nitrogênio e Fósforo totais, DBO, OD e Sólidos Totais. O estudo destacou que a taxa de remoção de Fósforo estava muito abaixo para uma ETE que tem tratamento terciário (ETE Melchior), o qual lança os seus efluentes em um afluente do rio Descoberto, o rio Melchior (ANA, 2011).

Observou-se que OD reduz-se bastante logo depois do lançamento de esgoto tratado da ETE de Santo Antônio do Descoberto no rio Descoberto e com a chegada do rio Melchior; que há altas cargas de nutrientes no curso hídrico, principalmente no último ponto do rio Descoberto antes do braço do reservatório de Corumbá IV; e que há altas cargas de Turbidez e Sólidos Totais, associadas provavelmente a poluição por esgotos ou por processos erosivos (ANA, 2011).

Em um outro estudo, em Aparecida do Taboado (MS), o IQA foi analisado em conjunto com a análise dos parâmetros (medidos por meio de coletas entre agosto de 2019 e fevereiro de 2020) em relação aos padrões de qualidade da água, no contexto do novo lançamento de esgoto por uma ETE de tratamento secundário na nascente do rio Paraná.

A área de lançamento se localiza a montante de balneários e de locais onde há as atividades de piscicultura. Foi realizado o monitoramento da qualidade da água antes do início dos lançamentos e foi encontrado valores de DBO e Fósforo Total em desconformidade com os padrões de Classe II, apesar de os resultados de IQA apresentarem águas na qualidade entre “Boa” e “Ótima”. Destacou-se a preocupação quanto à deterioração da qualidade da água após o início dos lançamentos de esgoto tratado, assim, foi constatado a necessidade de implementar um monitoramento a jusante do lançamento (Ribeiro *et al.*, 2020).

Existem exemplos de estudo que analisam a qualidade da água de águas superficiais ou subterrâneas por meio da avaliação de mais de um índice de qualidade da água, como no trabalho de Rizzo *et al* (2022), por meio da avaliação conjunta do IQA e do Índice do Estado Trófico (IET) no córrego Pequiá – Maranhão envolvendo parâmetros medidos por meio de coletas de amostras em 5 pontos do corpo d’água no período seco. Os resultados de “Ruim” do IQA indicaram influência da qualidade da água pelas atividades antrópicas de áreas urbanas e agrícolas como, por exemplo, por meio do lançamento de esgotos. Em relação aos resultados do IET, observou-se a influência da presença de nutrientes na presença de macrófitas no espelho d’água do córrego (Rizzo *et al.*, 2022).

### **3.4 ANÁLISE DO ENQUADRAMENTO DE CORPOS D’ÁGUA**

Outro índice interessante para a análise situacional da qualidade de cursos d’água é o que é chamado no Brasil de Índice de Conformidade de Enquadramento (ICE). É um índice produto de um método canadense chamado *Canadian Water Quality Index*. Iniciou-se o seu uso em 2001 pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME). Foi elaborado para avaliar a não conformidade de valores medidos de parâmetros com os valores de referência (CCME, 2017). No Brasil, o índice foi adaptado para identificar conformidade ou inconformidades ao enquadramento.

Assim, o ICE é calculado baseado na norma que abarca a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento é a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, pois ela apresenta os valores de referência dos parâmetros de acordo com a classe estabelecida. Esse índice pode ser fundamental em propostas de enquadramento, em conjunto com outras informações, como o uso e ocupação do solo e a finalidade das outorgas existentes, por exemplo (Carneiro, *et al.*, 2020).

Para o cálculo do ICE, é possível avaliar três aspectos, chamados fatores  $F_1$ ,  $F_2$  e,  $F_3$  (CCME, 2017):

$F_1$ : É a quantidade de parâmetros que possuem algum caso de desconformidade em relação aos valores de referência de cada um, isto é, os valores limites determinados dentro da classe enquadrada daquele curso d'água. É calculado pela Equação 3.3:

$$F_1 = \left( \frac{\text{Número de parâmetros com pelo menos uma falha}}{\text{Número total de parâmetros}} \right) \times 100 \quad \text{Eq 3.3}$$

$F_2$ : É a frequência em que ocorre a desconformidade do parâmetro analisado. É calculado pela Equação 3.4:

$$F_2 = \left( \frac{\text{Número de testes falhos}}{\text{Número total de testes}} \right) \times 100 \quad \text{Eq 3.4}$$

$F_3$ : É a amplitude é a diferença do valor medido entre cada parâmetro e o valor de conformidade. É calculado em etapas, sendo necessário primeiro calcular as variações, depois a soma normalizada das variações (nse) e em seguida a padronização da soma. Logo, as equações correspondentes respectivamente são as Equação 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8, sendo a primeira equação a seguinte:

A Equação 3.5 é utilizada se o valor objetivo for um limite máximo.

$$\text{variação} = \left( \frac{\text{Valor do teste que falhou}}{\text{Objetivo}_i} \right) - 1 \quad \text{Eq 3.5}$$

A Equação 3.6 é utilizada se o valor objetivo for um limite mínimo.

$$\text{variação} = \left( \frac{\text{Objetivo}_i}{\text{Valor do teste que falhou}} \right) - 1 \quad \text{Eq 3.6}$$

A Equação 3.7 é o cálculo da soma normalizadas variações (snv).

$$\text{snv} = \left( \frac{\sum_1^N \text{Variações}_i}{\text{Número total de testes}} \right) * 100 \quad \text{Eq 3.7}$$

Finalmente, o  $F_3$  é calculado pela Equação 3.8.

$$F_3 = \frac{\text{snv}}{0,01 * \text{snv} + 0,01} \quad \text{Eq 3.8}$$

O ICE então só é obtido depois que se soma os valores dos três fatores F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> por meio do cálculo da Equação 3.9:

$$ICE = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad \text{Eq 3.9}$$

Os resultados do cálculo para cada intervalo de amostras indicam uma das categorias demonstradas na Tabela 3.4:

Tabela 3.4- Intervalos de valores referentes às condições de conformidade ao enquadramento da água de acordo com o valor do ICE.

<b>Condição de atendimento</b>	<b>Valor de ICE</b>
Conforme	94 < ICE
Adequado	79 < ICE ≤ 94
Regular	64 < ICE ≤ 79
Afastado	44 < ICE ≤ 64
Não Conforme	0 < ICE ≤ 44

O método recomenda que se avaliem ao menos 8 parâmetros e no máximo 20. Também é indicado que se tenha dados de amostras distribuídos ao longo do ano para avaliar as mudanças sazonais no comportamento da qualidade da água e, no caso, e conformidade de enquadramento (CCME, 2017).

Em relação ao grupo para análises de enquadramento dos rios do DF, o CRH do DF, por meio da Resolução nº 2 de 2014, prioriza os parâmetros de temperatura, DBO, OD, P total, Coliformes Termotolerantes e Nitrogênio Total (Nt) (Distrito Federal, 2014b).

No estudo de Sousa e Felizatto (2018), escolheram-se pontos ao longo de um rio no DF para análise do ICE: um ponto a montante do lançamento de esgoto tratado no corpo receptor, onde a água estaria na sua forma mais natural; outro ponto logo depois, com 500 m de distância, ainda sob o efeito do efluente; e outro ponto mais a jusante, a 3,8 km para avaliar como está o trecho pós autodepuração. Calcularam-se o ICE e a tendência dos valores. No primeiro ponto, na maior parte do tempo a qualidade da água não se desvia dos padrões da classe enquadrada. A tendência desse ponto é de ter um comportamento constante. No segundo ponto, o resultado do ICE foi "mediano" (entre 45 e 80), ou seja, o enquadramento não é alcançado frequentemente. Nesse trabalho, utilizaram outras

categorias para os valores de ICE. No terceiro ponto, o enquadramento também não é alcançado, apesar de ocorrer a autodepuração no trecho. A indicação é de que há outros lançamentos ao longo desse trajeto. Assim, a tendência dos pontos a jusante é de uma piora da qualidade da água (Sousa e Felizatto, 2018).

Como proposta de revisão de enquadramento, de Sousa *et al* (2019) avaliaram a possibilidade da alteração da Classe IV em pontos do rio Melchior para a Classe III ou até mesmo para a Classe II. Supondo as condições da Classe III, os resultados do ICE variaram entre 44 e 63, ou seja, a maioria se encaixa na faixa “mediana”. Porém, no cenário de Classe II, com os limites dos parâmetros ainda mais exigentes, o ICE variaria entre 37 e 55, isto é, 33% dos valores estariam na faixa de não conforme (Sousa *et al.*, 2019).

Outro estudo aborda a avaliação da qualidade da água por meio do ICE do reservatório Irapé, em Minas Gerais, calculado utilizando-se dados secundários. Além disso, foram utilizadas ferramentas de análise de tendência para uma compreensão maior das dinâmicas temporais dos parâmetros de qualidade da água. Foram utilizados 14 parâmetros, dentre eles a maioria físico-químicos e 1 biológico (Coliformes Termotolerantes). O ICE foi calculado anualmente e sazonalmente, isto é, no período seco e de chuva da área semi-árida e resultou em respostas de conformidade “Boa” em sua maioria (61%). Os parâmetros que apresentaram desconformidades ao enquadramento em todas as estações do ano foram DBO e Fósforo Total, indicando a presença de cargas de matéria orgânica possivelmente originadas de atividades humanas, o último parâmetro sendo associado à poluição difusa proveniente das atividades agrícolas no período de chuva (Oliveira, *et al.*, 2021).

Um estudo de Lopes *et al* (2020) analisou vários índices de qualidade da água ao comparar os seus resultados entre si. No caso, dentre os índices analisados estão o IQA adaptado pela Cetesb e o ICE, índice canadense de qualidade da água adaptado aos padrões de qualidade do Brasil. Os dados utilizados nos cálculos eram secundários. Tanto o IQA quanto o ICE apontaram para condições ruins das águas de uma bacia hidrográfica na Bahia. Essa situação foi associada ao lançamento de efluentes tratados ou não tratados nas áreas urbanas com alta densidade populacional e às atividades agropastoris, as quais são relacionadas à poluição difusa (Lopes, *et al.*, 2020).

Os resultados desses e outros estudos foram produzidos no intuito de auxiliar na gestão dos recursos hídricos dessas áreas do Brasil. Dessa forma, o IQA está mais atrelado às condições atuais de qualidade da água, enquanto o ICE está mais relacionado à conformidade à meta que se quer alcançar de padrões de qualidade da água em relação ao enquadramento estabelecido.

### **3.5 ENQUADRAMENTO DE CORPO D'ÁGUA EM RIOS DE DOMÍNIO DA UNIÃO**

Na América do Sul, o Brasil forma fronteira com a Guiana Francesa e os países Suriname, Guiana, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai. Em relação às bacias hidrográficas transfronteiriças, há dois casos especiais: a do rio Amazonas e a do rio da Prata.

O compartilhamento hídrico é um tema em discussão entre vários países no mundo e depende de negociações longas e complexas (Carvalho, 2020). A gestão compartilhada da água é um desafio entre os países da América do Sul, notadamente entre o Brasil e Uruguai na bacia Mirim São-Gonçalo. Esse é um caso em que a visão de cooperação em águas transfronteiriças entre Estados se sobressaiu à visão competitiva (Fernandes, Collares e Corteletti, 2021).

A montante da bacia hidrográfica do rio Amazonas, há a concentração de produção de grãos, contribuindo para a poluição por meio das cargas de nitrogênio, de fósforo e de sólidos em suspensão dos trechos de rio a jusante, no Brasil, podendo ocasionar no assoreamento das águas nesse território. Já na bacia do rio da Prata, o Brasil está a montante e por consequência das formas de uso e ocupação nessa área, age como exportador de água e de cargas poluidoras nela contidas (Steinke e Saito, 2010).

Dentre os enquadramentos de bacias interestaduais no País, foram definidos o da bacia do rio São Francisco, baseado na Resolução CONAMA nº 20/1986, e os da Bacia do rio Paraíba do Sul e da Bacia do rio Paranapanema, que foram fundamentados em um sistema de classificação ainda mais antiga, na Resolução Ministério do Interior nº 13/1976. Logo, todos os enquadramentos de rios de bacias interestaduais estão defasados e necessitam de revisão para que estejam baseadas nas exigências da Resolução CONAMA 357/05 e da Resolução CNRH 91/08 (ANA, 2020a).

No Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2016-2025) não há novas propostas de enquadramento. No entanto, destacaram que há diversos problemas de qualidade das águas, principalmente porque a qualidade não está de acordo com usos preponderantes, notadamente de abastecimento para consumo humano, preservação dos ambientes aquáticos em Unidades de Conservação de Proteção Integral e de irrigação. Apesar disso, há diversas diretrizes para o enquadramento das águas superficiais e subterrâneas (CBH São Francisco, 2016).

No documento de complementação do Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul existem matrizes preliminares de enquadramento, incluindo dos rios de domínio federal da bacia do rio Paraíba do Sul, representando as informações básicas existentes sobre os trechos de rios da bacia. Destacou-se que há uma boa rede de monitoramento quali-quantitativo da água (mais de 1 ponto por 1000 km<sup>2</sup>) e que apenas 15 corpos hídricos de 39 precisariam da instalação de pontos. Salientou-se também que haveria de se determinar ainda os parâmetros mais relevantes de acordo com os usos da água durante processo de enquadramento, mas que poderiam incluir os parâmetros já mais monitorados na bacia (DBO, OD, Fósforo, Coliformes Termotolerantes e Nitrogênio). Foi sugerido o acompanhamento da conformidade ao enquadramento através do ICE. Em suma, há vários direcionamentos para auxiliar em um futuro processo de enquadramento, porém não há uma nova proposta de enquadramento em si dos trechos do rio (PROFILL, 2019).

No Plano Integrado de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Parapanema foram elaboradas diretrizes e recomendações gerais e de estudos para subsidiar a elaboração da proposta de enquadramento dos rios de domínio da União da bacia. Não há nova proposta de enquadramento no Plano em si, apenas a diretriz de que ela seja feita se adequando às normativas vigentes atualmente relacionados ao processo de enquadramento (PROFILL, 2016).

Quanto ao enquadramento dos rios da bacia do Paranaíba, houve várias alternativas de propostas e debates sobre isso ao longo dos anos, exemplificado pelo conteúdo de planos de gerenciamento, planos de bacias, notas técnicas e resoluções, os quais serão abordados mais adiante no capítulo da Metodologia.

Destaca-se o problema da falta de informações quanto aos efeitos das fontes de poluição difusa, principalmente em relações às atividades agropecuárias, na bacia do rio Paranaíba.

Essa lacuna é evidenciada tanto pelo Comitê da Bacia Hidrográfica (CBH) Paranaíba quanto pela ANA através de respostas dadas a um questionário semiestruturado, que abordou problemas em relação à implementação do enquadramento na bacia (Souza e Pizella, 2021).

A proposta de enquadramento apresentada no Plano de Recursos Hídricos e do Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia do Rio Paranaíba (PRH Paranaíba), aprovada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (CBH Paranaíba) em 2013, não foi validada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH por conter algumas lacunas quanto aos dados quali-quantitativos de monitoramento, utilizados como base para o diagnóstico e prognóstico da situação hídrica da bacia hidrográfica. Assim, houve uma inadequação no que se estabelece na Resolução CNRH nº 91/08, que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos (ANA, 2020a).

Adicionalmente, o Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal – CRH-DF, contribuiu com recomendações ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba – CBH Paranaíba (Federal) e ao CNRH, com sugestões de modificações à proposta de enquadramento apresentada no PRH Paranaíba, incluindo rios de domínio da União que não foram abordadas pelo plano, por meio da Resolução CRH-DF de nº 01 de 2014 (Distrito Federal, 2014a). Assim, atualmente algumas entidades, como a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa), consideram as recomendações no monitoramento das águas e no processo de emissão de outorgas de direito de uso das águas.

Durante a capacitação direcionada aos 9 comitês de bacias com rios afluentes ao rio Paranaíba, realizada em 26 de abril de 2023 pela ANA, sobre “Instrumentos de Gestão - Plano de recursos hídricos e Enquadramento dos corpos de água em classes”, em que a autora esteve presente, foi destacado algumas ações a serem tomadas rumo à aprovação do enquadramento da bacia pela CNRH.

Nesse evento, a ANA destacou que é necessário o alinhamento de critérios para o enquadramento em termos da seleção de parâmetros, a avaliação de cargas pontuais e difusas na qualidade da água em reservatórios, o planejamento do setor de saneamento básico, entre outras tomadas de decisões. O alinhamento deve ocorrer entre os entes do

SINGREH a nível federal, estadual/distrital e municipal, incluindo os comitês afluentes do rio Paranaíba e o CBH Paranaíba. Além disso, é necessário também uma integração entre o CNRH e o CRH-DF para buscar soluções na articulação e na aprovação do enquadramento em classes dos rios de domínio da União da bacia do Paranaíba. Uma atenção especial deve ser direcionada aos impactos quali-quantitativos que os rios de domínio estadual/distrital afluentes estão exercendo sobre os rios de domínio da União.

Até 2020, havia sido realizado o enquadramento dos corpos d'água de alguns rios estaduais/ distritais, cada um segundo o sistema de classificação vigente à época do processo, incluindo o Distrito Federal, cujo ato normativo se baseou na Resolução CONAMA 357/2005. Todos os estados da região Norte ainda não possuem enquadramento dos corpos d'água, enquanto a região Sul está mais avançada, seguida pelas regiões restantes (ANA, 2020b).

No intuito de acompanhar a qualidade das águas, tanto em nível nacional como estadual, alguns índices são aplicados a partir dos dados dos indicadores obtidos com monitoramento, como o Índice de Qualidade da Água (IQA), utilizado no Brasil principalmente em casos em que há lançamento de esgoto doméstico, com ou sem tratamento, em cursos d'água utilizados como mananciais de abastecimento humano ou outros usos que exigem padrões de qualidade de águas mais restritivos.

Além do acompanhamento padrão, os dados de qualidade disponíveis podem ser utilizados com o intuito de analisar a conformidade da situação dos corpos aquáticos frente ao enquadramento de corpos d'água em classes, a exemplo do Índice de Conformidade de Enquadramento (ICE), contribuindo para o controle da qualidade das águas.

Ademais, o instrumento de Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos na PNRH permite o acesso a dados de monitoramento de qualidade da água dos corpos d'água superficiais, fornecendo informações para estudos, inclusive para este.

Os rios Descoberto, ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e ribeirão Santa Maria são rios de domínio da União que cortam o a região do sudoeste do Distrito Federal e chegam ao estado de Goiás. O ribeirão Santa Maria deságua no reservatório de Corumbá III, tendo como um dos seus usos a produção de energia hidrelétrica. O rio Descoberto, o ribeirão Ponte Alta e o rio Alagado desembocam no reservatório de Corumbá IV, que também é

um produtor de energia hidrelétrica, mas também um manancial de abastecimento humano de parte do DF e GO. Assim, o DF é exportador de água e os componentes nela contidos, especialmente poluentes advindos das atividades humanas.

Entre os órgãos gestores da área de estudo no Distrito Federal estão a Secretaria do Meio Ambiente (SEMA), a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Adasa) e o Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Brasília Ambiental (IBRAM) (Brasil, 2020). Um ator importante, no que tange a arbitragem de conflitos relacionados aos recursos hídricos da área de estudo no DF, é o Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes do Rio Paranaíba no Distrito Federal – CBH Paranaíba-DF (Brasil, 1997). Cabe à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba – CBH Paranaíba a gestão das águas a nível federal na bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Já na área de estudo em Goiás, o órgão gestor é a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) (Brasil, 2020). O Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Corumbá, Veríssimo e porção Goiana do São Marcos – CBH Corumbá também é importante para a gestão das águas em Goiás na área de estudo deste estudo. Em Goiás não há enquadramento dos rios estaduais nem dos rios de domínio da União (ANA, 2020b).

Em 2022, O CBH Paranaíba iniciou as atividades para a atualização do Plano de Recursos Hídricos. Para tal, no mesmo ano a Associação Multissetorial de Usuários de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari - ABHA Gestão de Águas iniciou os procedimentos para a revisão da PRH Paranaíba. Após isso, houve a elaboração do Termo de Referência, que incluiu a integração com os planos das bacias de rios afluentes, a atuação focada em áreas críticas e a formação de Grupos de Trabalho que incluam membros do CBH Paranaíba e dos 9 comitês de bacia que compõem a bacia (CBH Paranaíba, 2022).

Em 03/08/2023 foi lançado pela ABHA o Ato Convocatório ABHA/PN nº 005/2023 com a chamada “Atualização do PIRH Paranaíba e Elaboração de Proposta de Enquadramento para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba” (ABHA, 2023). Assim, futuramente o CNRH terá a oportunidade de realizar uma nova deliberação pelo CNRH quanto a aprovação do enquadramento dos rios de domínio da União da bacia.

Pretende-se com este trabalho produzir resultados de qualidade da água referentes aos anos entre 2015 e 2023 que possam contribuir para a aplicação de ferramentas auxiliares na definição e na implementação do enquadramento nos rios baixo rio Descoberto, ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e ribeirão Santa Maria.

Assim, é importante que haja a realização de uma avaliação do estado dessas águas a partir dos dados já monitorados, da necessidade de melhor aproveitamento desses dados acumulados e da necessidade de geração de uma análise integrada da situação da qualidade das águas desses rios como forma de fornecer melhores informações para a gestão de recursos hídricos, especificamente de qualidade de água e para uma análise de possíveis ameaças à situação da qualidade das águas no futuro. Por fim, é relevante a indicação de formas para o aprimoramento da gestão da qualidade das águas na região com vistas à minimização dos conflitos.

## 4 METODOLOGIA

Esta seção abordará, primeiramente, o fluxograma metodológico, contendo uma visão da sequência em que foram realizadas as etapas metodológicas. Em seguida serão apresentadas algumas definições e características da área de estudo, a fonte dos dados necessários para a pesquisa, a documentação (planos de recursos hídricos e resolução) que evidenciou os problemas nas sub-bacias, e, por fim, as definições para a análise da qualidade da água, por meio IQA e para a análise da conformidade ao enquadramento, por meio do ICE.

O passo a passo da metodologia de pesquisa está representado no fluxograma da Figura 4.1:

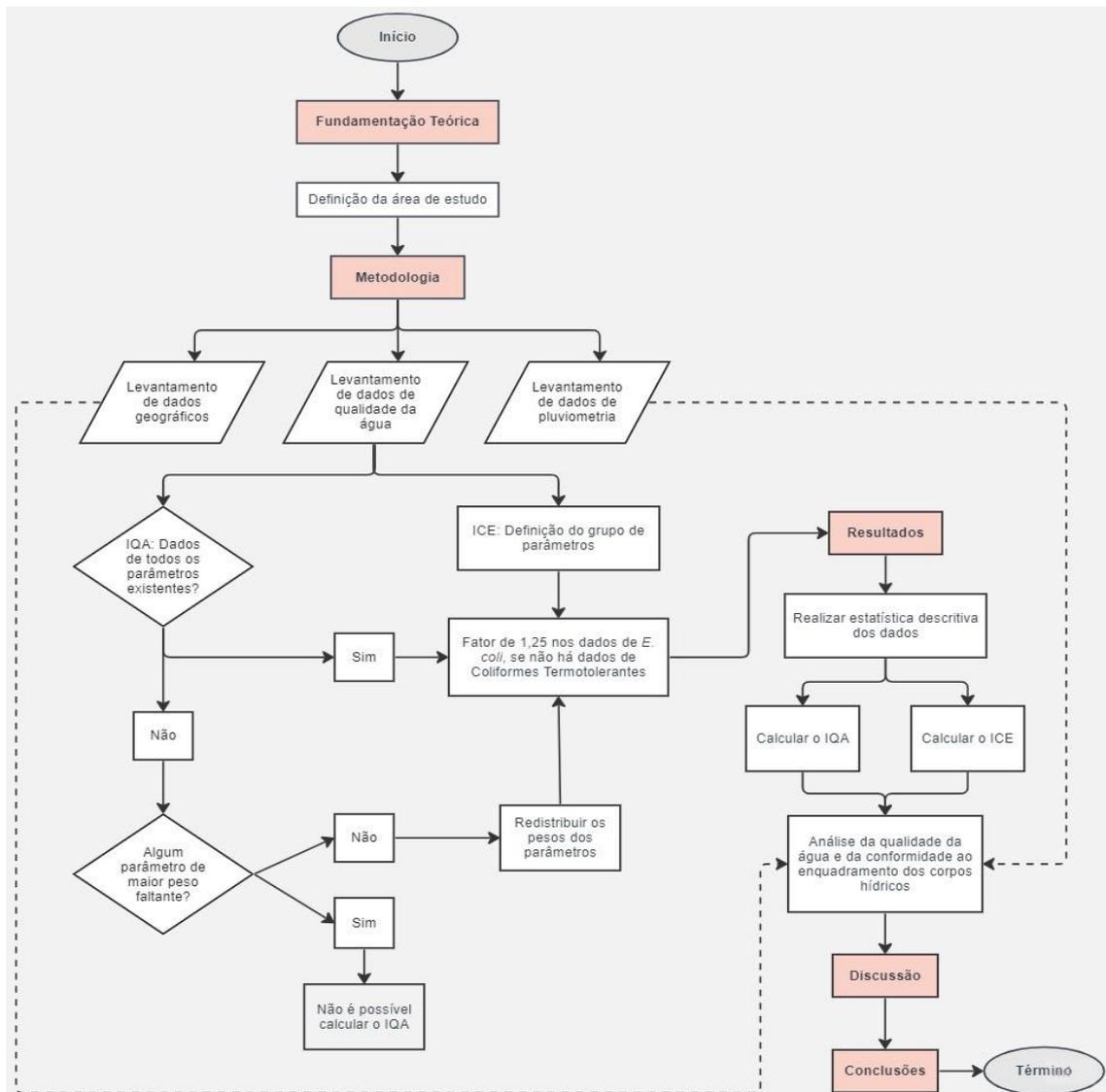


Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia implementada na pesquisa.

#### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O rio Descoberto, o ribeirão Ponte Alta e o rio Alagado desaguam nos reservatórios do Corumbá IV, o novo manancial de regiões administrativas do Distrito Federal e municípios de Goiás desde 2022 e produtor de energia hidrelétrica. O ribeirão Santa Maria é afluente Corumbá III, também um reservatório para produção de energia hidrelétrica.

Os trechos dos rios que serão avaliados são os monitorados pelas últimas estações de monitoramento da qualidade da água superficial nas saídas do DF e pelas estações existentes logo a montante dos reservatórios.

O Distrito Federal faz parte do Centro-Oeste brasileiro e está cercado pelo estado de Goiás, em exceção a um “ponto” no Sudeste do DF, cuja fronteira é com Minas Gerais. Existe então uma forte relação entre essas unidades federativas. Essa relação pode ser representada pela implementação da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno – RIDE. A RIDE foi criada com fins de desenvolvimento econômico e social da região e é composta pelo Distrito Federal e por alguns municípios de Goiás e Minas Gerais.

O mapa da localização dos corpos d’água, das estações de monitoramento da qualidade da água e dos pontos de lançamento de esgotos tratados que serão mencionados estão apresentados na Figura 4.2.

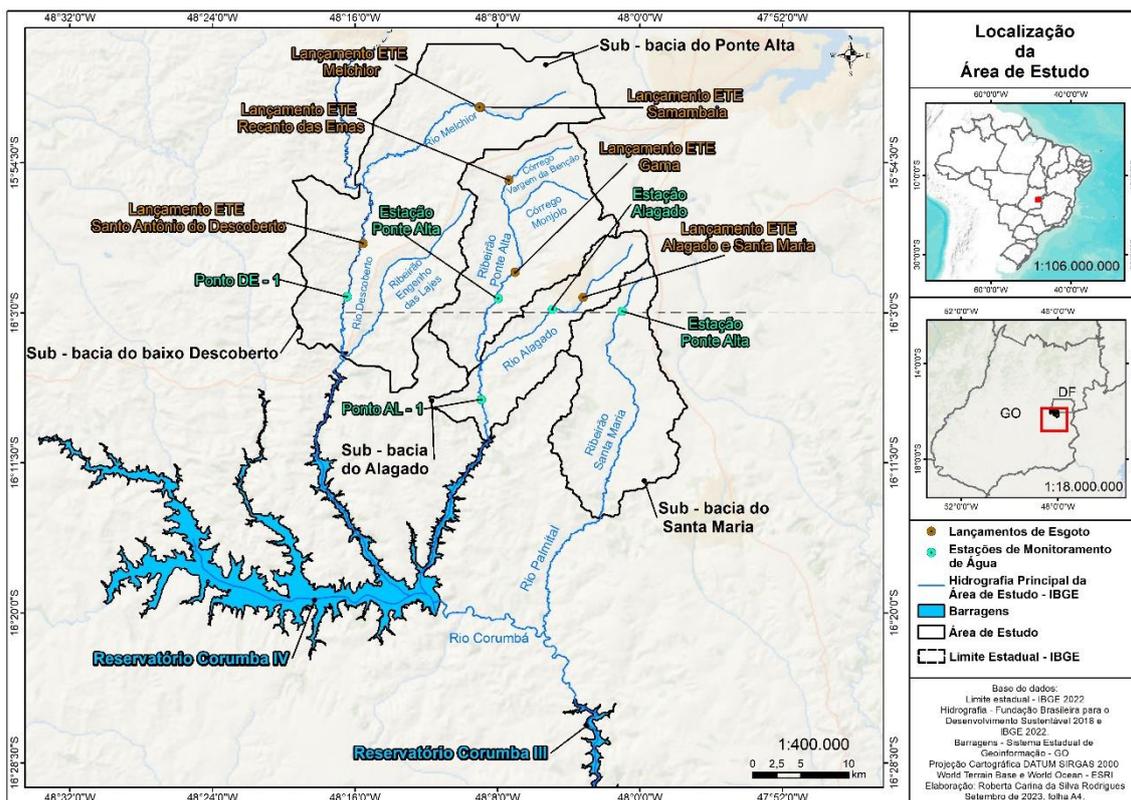


Figura 4.2 – Corpos d’água lóticos (rio Alagado, ribeirão Ponte lata, rio Alagado e ribeirão Santa Maria) e lânticos (Corumbá IV e Corumbá III). Estações de monitoramento de qualidade da água das sub-bacias. Pontos de lançamento de esgoto tratado das ETEs presentes nas sub-bacias.

A área de estudo, que se encontra na RIDE, está contida, em parte, no DF, compreendendo várias Regiões Administrativas (RAs) e municípios de Goiás, como apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Regiões administrativas e municípios que compreender as sub-bacias da área de estudo.

Território	Baixo rio Descoberto	Ribeirão Ponte Alta	Rio Alagado	Ribeirão Santa Maria
<b>Regiões administrativas do DF</b>	Samambaia, Água Quente, Recanto das Emas e Gama	Recanto das Emas e Gama	Gama e Santa Maria	Santa Maria
<b>Municípios de GO</b>	Santo Antônio do Descoberto	Santo Antônio do Descoberto	Santo Antônio do Descoberto e Novo Gama	Novo Gama, Valparaíso de Goiás e Luziânia

As áreas das RAs do DF Samambaia, Recanto das Emas, Santa Maria e Gama e ainda as cidades de Santo Antônio do Descoberto (GO) vêm se expandindo rapidamente ao longo dos anos. Além disso, há ainda os impactos da atividade agrícola do tipo extensivo e intensivo, podendo acarretar a intensificação dos problemas da chegada de cargas de poluentes nos rios.

O Distrito Federal possui uma população de 2,8 milhões de habitantes e 90,9% desse montante é contemplado pelo serviço de coleta de esgoto. Dessa porcentagem de esgoto coletado, 90% dele é tratado (Instituto Trata Brasil, 2023). Esses números referentes ao saneamento básico diferem do restante do país, pois a média nacional da população urbana atendida com sistema coletivo de tratamento de esgoto é de 46.5% (ANA, 2020).

Para manter e melhorar a qualidade dos rios competentes ao DF, o trabalho da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) é estratégico. Apesar disso, ocorrem interligações de esgoto nas redes de drenagem urbana e vice-versa, corroborando para a degradação das águas.

As ETEs com lançamentos nos rios em estudo são: a ETE de Santo Antônio do Descoberto, a ETE Gama, ETE Alagado, ETE Santa Maria e ETE de Santo Antônio do Descoberto. Todas as ETEs da Caesb possuem tratamento terciário, exceto a ETE de Santo Antônio do Descoberto que possui Lagoas aeradas, ou seja, tratamento secundário. Os municípios e R.A.s atendidos por essas ETEs, os corpos d'água receptores dos efluentes delas e os seus operadores estão especificados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Estações de tratamento localizados nos rios da área de estudo. Os municípios e R.A.S atendidos por essas ETEs e os corpos receptores dos seus efluentes tratados. Os operadores de cada ETE

<b>Estações de Tratamento de Esgoto</b>	<b>Municípios/ R.A.s atendidos</b>	<b>Corpo d'água receptor dos efluentes tratados</b>	<b>Operador</b>
ETE de Sto. Antônio do Descoberto	Sto. Antônio do Descoberto	baixo rio Descoberto	Saneago
ETE Gama	R.A. Gama	ribeirão Ponte Alta	Caesb
ETE Alagado	R.A. Santa Maria	rio Alagado	Caesb
ETE Santa Maria	R.A. Santa Maria	rio Alagado	Caesb

Há ainda as ETEs que lançam seus efluentes em rios afluentes aos trechos em estudo, como a ETE Melchior, a ETE Samambaia e a ETE Recanto das Emas. As R.A.S atendidas, os corpos receptores e o operador dessas ETEs estão descritos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Estações de tratamento localizados nos afluentes dos rios da área de estudo. Os municípios e R.A.s atendidos por essas ETEs e os corpos receptores dos seus efluentes tratados. Os operadores de cada ETE.

<b>Estações de Tratamento de Esgoto</b>	<b>Municípios/ R.A.s atendidos</b>	<b>Corpo d'água receptor dos efluentes tratados</b>	<b>Operador</b>
ETE Melchior	R.A. Taguatinga, Ceilândia e parcialmente Águas Claras e Samambaia	rio Melchior, afluente do baixo rio Descoberto	Caesb
ETE Samambaia	R.A. Samambaia	rio Melchior, afluente do baixo rio Descoberto	Caesb
ETE Recanto das Emas	R.A. Recanto das Emas e Riacho Fundo II	córrego Vargem da Benção/Estiva, afluente do ribeirão Ponte Alta	Caesb

Assim, é de grande importância conhecer os aspectos físicos, hidrológicos e sociais das bacias, pois são informações determinantes que explicam a qualidade da água dos rios. Para melhor compreensão dos usos e cobertura do solo, foi feito o mapa apresentado pela Figura 4.3.

Com as informações de uso e cobertura do solo, observou-se que as sub-bacias são mais urbanizadas nas áreas mais a montante dos rios principais e do rio afluente ao rio Descoberto, o rio Melchior. A área urbanizada da sub-bacia denominada baixo rio Descoberto é de 18,97% da área total dessa sub-bacia, da sub-bacia do ribeirão Ponte Alta é de 21,59%, da sub-bacia do rio Alagado é de 16,98% e da sub-bacia do ribeirão Santa Maria é de 29%. As áreas de agricultura, pastagem e áreas dúbias em que não houve distinção entre as duas atividades (mosaico de usos) somam 35,82% na sub-bacia do baixo rio Descoberto, 44,62% do ribeirão Ponte Alta, 34,75% do rio Alagado e 35,11% do ribeirão Santa Maria. O restante da cobertura do solo é caracterizado principalmente por áreas vegetadas preservadas.

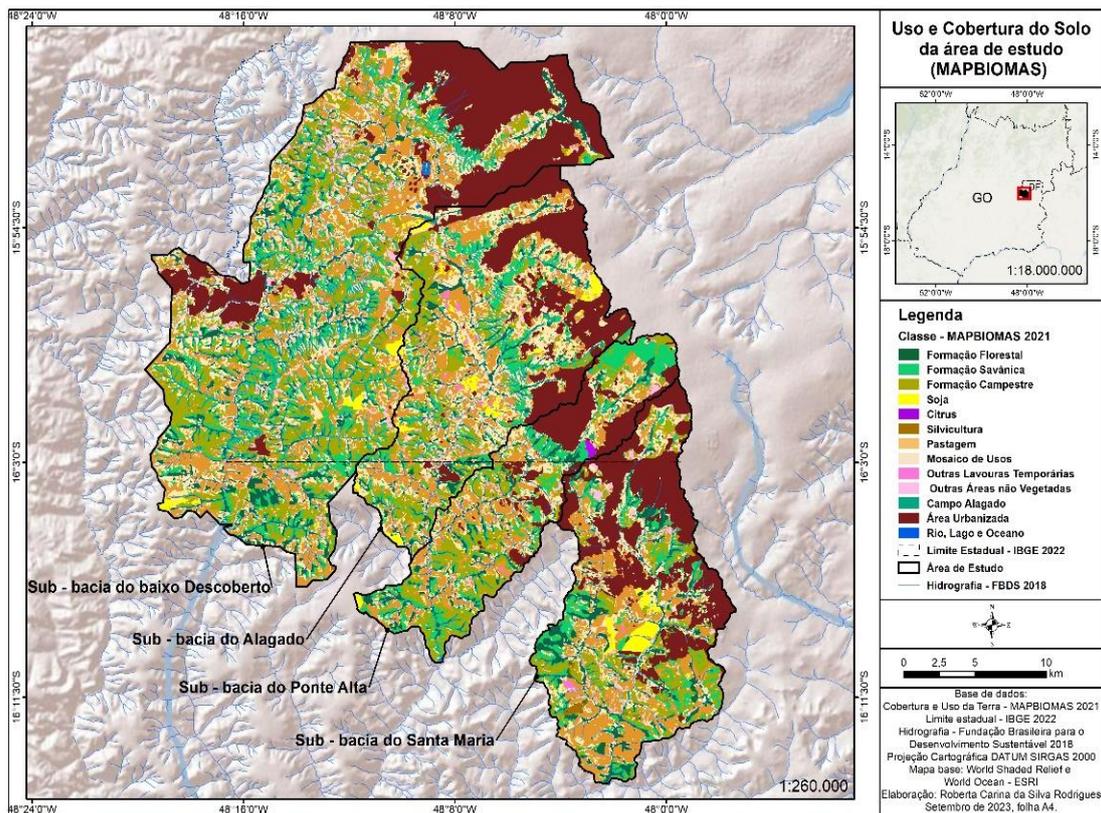


Figura 4.3 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo das bacias hidrográficas analisadas (DF e GO).

Essa região possui características geofísicas que favorecem o surgimento de nascentes, ou seja, é uma área de rios de baixa vazão. Outra característica física, que interfere na qualidade da água, é a declividade do terreno. Se a declividade for alta, mesmo que o rio seja de baixa vazão, ele poderá ser favorecido e terá uma reaeração mais importante. O mapa de declividade está apresentado na Figura 4.4.

Os rios principais que possuem uma parte em declividade forte ondulada são a região mais a montante das sub-bacias do rio Alagado e do ribeirão Santa Maria. Nas sub-bacias do rio Descoberto e do ribeirão Ponte Alta, são os afluentes deles que possuem uma declividade mais forte, os rios principais em si pertencem à uma área mais plana, suave ondulada ou ondulada

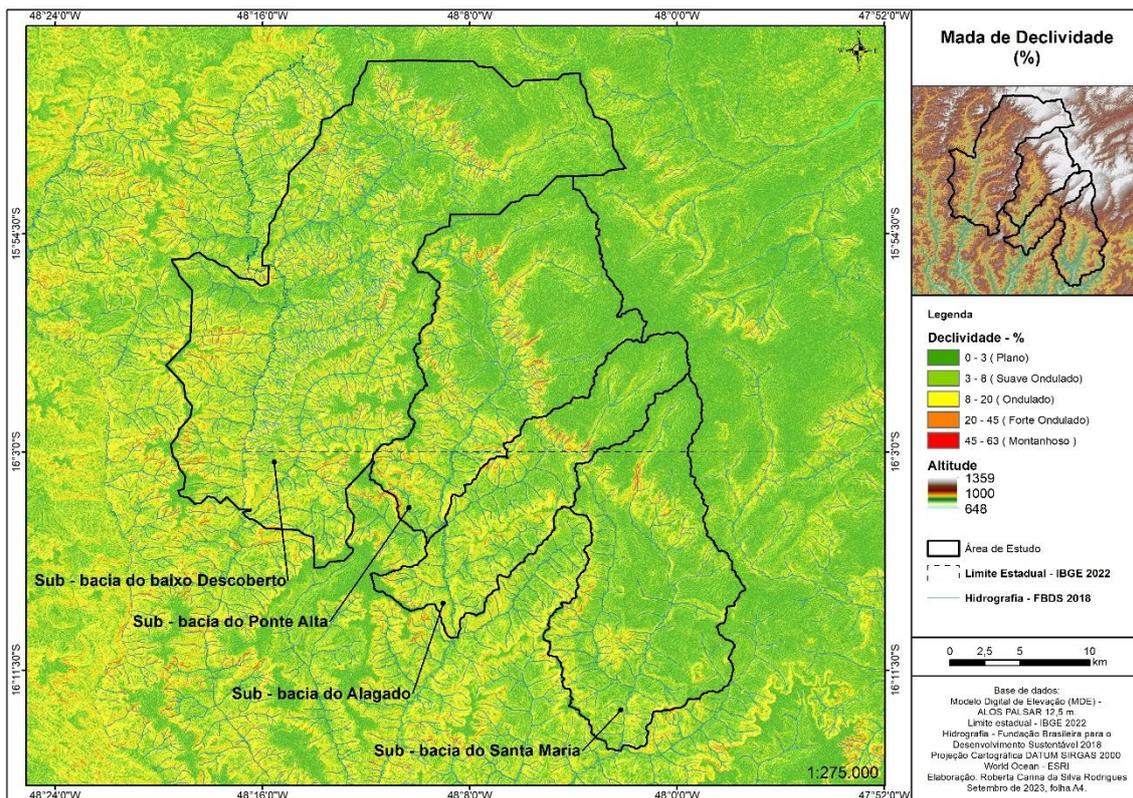


Figura 4.4 – Mapa de declividade da área de estudo e entorno (DF e GO).

As concentrações dos componentes poluidores da água podem se alterar com o aumento da vazão pelas chuvas ou na época da estiagem, a depender do parâmetro. Por isso, as precipitações médias da área de estudo foram caracterizadas e estão apresentadas na Figura 4.5 e Figura 4.6. Para o cálculo, foram obtidos dados de pluviometria pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Os dados utilizados do baixo rio Descoberto para a precipitação média (Figura 4.5) são referentes a um período curto, entre novembro de 2012 e junho de 2023.

Já a precipitação média relativa ao ribeirão Ponte Alta (Figura 4.6) e ao rio Alagado foi realizada para dados robustos, entre novembro de 1970 e fevereiro de 2023.

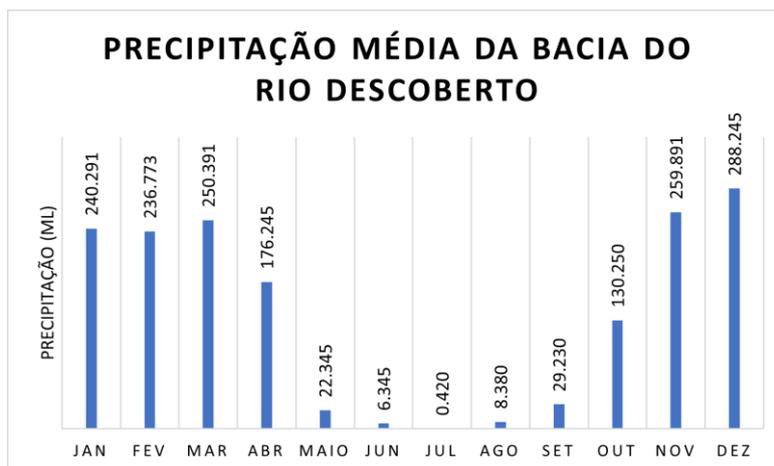


Figura 4.5 – Precipitação média entre 2012 e 2022 na bacia do baixo rio Descoberto calculada com os dados da estação pluviométrica Sítio das Neves/DF (Código: 1648020).

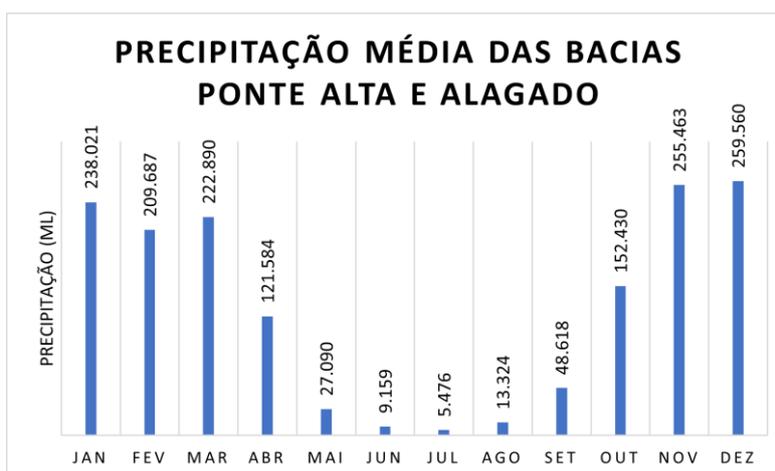


Figura 4.6 - Precipitação média entre 1970 e 2023 nas bacias do ribeirão Ponte Alta e rio Alagado, calculada com os dados da estação pluviométrica Gama ETE Alagado/DF (Código: 1548005).

Não foram encontrados dados nas proximidades do ribeirão Santa Maria, porém o clima na região se assemelha aos das outras sub-bacias em estudo.

Em resumo aos dados buscados para a realização deste trabalho estão os apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Dados secundários levantados.

<b>Dados</b>	<b>Fonte</b>	<b>Período de dados</b>
Qualidade da água dos rios transfronteiriços	Adasa e Corumbá Concessões	2015-2022
Recomendações de modificações às propostas de Enquadramento dos rios de domínio da União no Distrito Federal	Resolução CRH-DF nº 01	2014
Recomendações de modificações às propostas de Enquadramento dos rios de domínio da União em Goiás	Nota Técnica nº 04/2014 – CTPA/CRH-DF	2014
Série histórica da precipitação	SNIRH	1970 - 2023 para as médias do ribeirão Ponte Alta e rio Alagado 2012-2023 para a média do rio Descoberto
Outorgas	SNIRH	

Além disso, para a criação dos mapas, foram utilizadas as bases de dados mencionadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Lista das fontes de dados utilizados nos mapas.

<b>Base de dados para os mapas</b>	<b>Fonte</b>
Hidrografia	SNIRH e Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável
Divisão geopolítica	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e Geoportal
Ottobacias	SNIRH e HydroSHEDS
Pontos de monitoramento da qualidade de água	Adasa e Corumbá Concessões
Pontos de lançamento dos efluentes das ETEs	Caesb e Corumbá Concessões
Uso e ocupação do solo	Mapbiomas
Curvas de nível para mapa de declividade	Alos Palsar

## **4.2 GEOPROCESSAMENTO**

Para as etapas iniciais de caracterização da área de estudo, foram utilizados os aplicativos de SIG ArcGIS na versão 10.1 e o livre e de código aberto, o *Quantum Geographical Information System* (QGIS) de versão 3.22.

Por meio desses programas foi possível, após a obtenção dos dados, localizar os rios em análise, as 4 sub-bacias e produzir os mapas citados por meio de ferramentas de geoprocessamento.

## **4.3 DOCUMENTOS COM EVIDÊNCIAS DE PROBLEMAS DE QUALIDADE DA ÁGUA NAS BACIAS**

Existe uma série de documentos entre planos de gerenciamento, de bacia e resoluções que contemplam a área de estudo. As informações contidas nesses documentos retratam a realidade ao longo do tempo quanto ao problema de qualidade das águas e do enquadramento de trechos críticos de rios do DF e Goiás.

- Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH/DF) – 2012

No Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH/DF), há quadros síntese com o diagnóstico da qualidade das águas superficiais do rio Descoberto e do rio Corumbá, os quais fazem parte da grande Bacia Hidrográfica do rio Corumbá.

No caso do trecho do ribeirão Ponte Alta em estudo, considerando as concentrações de Coliformes Termotolerantes, DBO, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total, as suas águas atenderiam a Classe IV. Porém, pela Resolução 357/05, não existem valores limites das condições da água para esses parâmetros na Classe IV. Logo, na verdade a referência pode ter sido que os dados ultrapassavam os limites dos padrões estipulados para a Classe III.

O PGIRH explica que a chegada dos afluentes córrego Vargem da Bênção e córrego Monjolo contribuem para o problema no ribeirão Ponte Alta. O primeiro córrego é receptor dos efluentes da ETE Recanto das Emas, o segundo apresenta valores de Coliformes Termotolerantes altos, condizendo com um rio de Classe IV.

No rio Alagado, as amostras retiradas dos pontos de amostragem a jusante das ETES Alagado e Santa Maria resultaram em valores de Nitrogênio Total e Coliformes Termotolerantes acima dos limites estabelecidos para a Classe III. Além disso, nas proximidades dos lançamentos das ETES Alagado e Santa Maria, o Fósforo Total atenderia a Classe IV. Foi previsto que haveria uma melhora nas concentrações de Coliformes Termotolerantes com um futuro (de 2012) aumento da eficiência de sua remoção pela ETE Santa Maria.

- Plano de Recursos Hídricos e do Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (PRH Paranaíba) - 2013

Em 2013, foi lançado o Plano de Recursos Hídricos e do Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (PRH Paranaíba), cujo conteúdo, entre outros, incluiu a proposta de enquadramento dos principais rios da bacia do rio Paranaíba como um todo.

Os parâmetros analisados nas propostas do PRH Paranaíba foram: Coliformes Termotolerantes, DBO, Fósforo Total. Na área de interesse, a vazão de referência adotada foi a de  $Q_{95\%}$  para a análise das cargas. Além disso, outros aspectos importantes para o

enquadramento foram levantados, como os usos preponderantes, as projeções para esses usos no futuro, a existência de áreas especiais (UCs), investimentos previstos e as limitações financeiras e técnicas para a efetivação das metas.

Em se tratando dos rios federais do sudoeste do DF, todo o baixo rio Descoberto seguindo até o reservatório da UHE Corumbá IV tiveram como proposta de classe a de número 2. Contudo, não há menção a propostas de enquadramento do Ribeirão Ponte Alta, Rio Alagado e Ribeirão Santa Maria.

Havia a previsão de revisão da PRH Paranaíba a cada 5 anos, o que seria uma oportunidade para a revisão das propostas de enquadramento, podendo contemplar, por exemplo, questões referentes à poluição difusa da região. Porém, a revisão do Plano nem do enquadramento ocorreu ainda até o momento.

No mês de agosto de 2023 foi lançado o edital pela Associação Multissetorial de Usuários de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (ABHA) para contratação de empresa para realizar os estudos do novo plano integrado de recursos hídricos, com propostas de enquadramento.

- Resolução CRH nº 01, de 22 de outubro de 2014

Com a proposta de enquadramento de cursos d'água de domínio da União no Distrito Federal em mãos, aprovada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba – CBH Paranaíba, o Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal recomendou ao CBH Paranaíba e ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH algumas alternativas de Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba – PRH Paranaíba. Entre elas:

- Enquadrar o trecho do rio Descoberto, entre a confluência dele com o Rio Melchior e o Ribeirão Engenho das Lajes na Classe III. Esse trecho constitui no que se denominou baixo Rio Descoberto;
- Enquadrar um trecho ribeirão ponte Alta, entre a confluência dele com o rio Monjolo e a outra com o rio Alagado mais a jusante, na Classe III;
- Enquadrar o trecho do rio Alagado, entre o ponto de lançamento das ETES Alagado e Santa Maria e a sua confluência com o ribeirão Ponte Alta, na Classe III.

Essas propostas foram baseadas em extensos debates e nas Notas Técnicas 01/2014, 02/2014 e 03/2014 da Câmara Técnica Permanente de Assessoramento (CTPA) do Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal (CRH-DF).

- Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Sistritais do Rio Paranaíba (PRH -Paranaíba- DF) - 2020

Elaborada pela empresa Engeplus em 2020, o Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Distritais do Rio Paranaíba (PRH – Paranaíba - DF) segue o estabelecido pela Adasa no edital de concorrência e apresenta as diretrizes para planejamento e gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas afluentes distritais do rio Paranaíba.

Um problema marcante dessa bacia é a do Unidade Hidrográfica (UH) Rio Melchior, que apresenta resultados altos de certos parâmetros, indicando uma baixa qualidade da água, principalmente por causa dos valores de Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total. Isso ocorre logo a jusante das áreas urbanas das ETEs Melchior e Samambaia. O rio Melchior está classificado na Classe IV, de acordo com a Resolução CRH-DF nº 02, de 17 de dezembro de 2014.

No plano, na BH Rio Corumbá, no ribeirão Ponte Alta, também se observou resultados ruins do parâmetro Coliformes Termotolerantes e Fósforo Total, principalmente a jusante da ETE Recanto das Emas. No rio Alagado, a jusante da ETE Alagado, está numa situação similar, em desacordo com o enquadramento proposto pelo PRH-Paranaíba-DF, que é a Classe III.

Nos cenários da etapa de Prognóstico do Plano em questão, há um cenário de 2040 chamado Cenário de Maior Desenvolvimento, em que haveria uma alta no desenvolvimento econômico, incluindo um futuro com a melhorias e a ampliação de ETEs. Independente das ações tomadas nesse cenário, o baixo rio Descoberto, ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e o ribeirão Santa Maria teriam que estar enquadradas na Classe IV, tendo como base a  $Q_{90}$ . Isso ocorrerá devido à população de 750 mil habitantes estimada que não será contemplada pela rede de coleta e tratamento de esgoto.

- Planos de Bacias dos Afluentes do Paranaíba do Estado de Goiás (PBAPGO) - 2021

Outras informações importantes sobre as sub-bacias podem ser retiradas de alguns produtos do Plano de Bacias dos Afluentes do Paranaíba do Estado de Goiás (PBAPGO). No produto de Proposta de Enquadramento UPGRH dos Rios Corumbá, São Marcos e Veríssimo, é possível observar os dados de qualidade da água de cidades do Goiás que recebem rios advindos do DF.

Entre um dos problemas que é evidenciado é o nível alto de degradação de cursos d'água devido ao lançamento de efluentes, considerando tanto a  $Q_{med}$  quanto a  $Q_{95}$ , nas proximidades da cidade de Santo Antônio do Descoberto. O cenário para 2030 considerando uma estacionariedade de valores de  $DBO_5$  para o futuro, utilizando a  $Q_{95}$  especificamente, apresenta todo o rio Descoberto classificado na classe IV.

O produto também apresenta propostas de enquadramento para as águas da região, sendo a proposta da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) do estado do Goiás a mais restritiva, comparada com a do Grupo de Trabalho Plano do Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Corumbá, Veríssimo e São Marcos, logo demandando maiores investimentos, principalmente em melhorias nas ETEs existentes. A meta do enquadramento nesse Plano seria 2040.

Houve um apelo pela SEMAD - GO para que não houvesse nenhum rio enquadrado na Classe IV, mesmo que isso significasse um aumento dos investimentos para diminuir as cargas poluidoras. Logo, até 2040, o baixo rio Descoberto deve ser de Classe III. Os outros rios de interesse: ribeirão Ponte Alta; rio Alagado; ribeirão Santa Maria seriam considerados de Classe II.

#### **4.4 DEFINIÇÕES PARA OS CÁLCULS DE IQA E ICE**

Para analisar a qualidade da água de forma mais abrangente comparado com outros indicadores existentes, foi calculado o Índice de Qualidade da Água (IQA). Para analisar a conformidade dessas águas ao instrumento de enquadramento dos corpos de água em classes no contexto da revisão iminente do Plano de Recursos Hídricos e do Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (PRH-Paranaíba) de 2013, foi calculado o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE).

Foram escolhidos os dados das estações de monitoramento da qualidade da água presentes nas proximidades do limite entre o Distrito Federal e o Estado de Goiás, bem como das estações na área do estado do Goiás, antes do reservatório de Corumbá IV. Os dados foram cedidos pela ADASA e pela Corumbá Concessões da forma apresentada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Estações de monitoramento cujos dados foram utilizados no estudo referentes ao território do Distrito Federal.

<b>Corpo d'água</b>	<b>Estação de monitoramento</b>	<b>Fonte dos dados</b>	<b>Frequência amostral</b>
Baixo rio Descoberto	DE-1	Corumbá Concessões	Trimestral
Ribeirão Ponte Alta	Estação Ponte Alta	Adasa	Trimestral e semestral
Rio Alagado	Estação Alagado	Adasa	Trimestral e semestral
Ribeirão Santa Maria	Estação Santa Maria	Adasa	Trimestral e semestral

O rio Alagado também é monitorado por outra estação de monitoramento, mas no território de Goiás, a montante de um dos braços do reservatório de Corumbá IV. Isso permitiu analisar a evolução da qualidade da água e da conformidade desse rio ao chegar nesse estado. A estação mencionada é a AL-1, operada pela Corumbá Concessões e está citada na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 Estações de monitoramento cujos dados foram utilizados no estudo referentes ao território de Goiás.

<b>Corpo d'água</b>	<b>Estação de monitoramento</b>	<b>Fonte dos dados</b>	<b>Frequência amostral</b>
Rio Alagado	AL-1	Corumbá Concessões	Trimestral

Estas estações se encontram em trechos específicos dos rios, os quais serão considerados enquadrados de acordo com o que se recomendou na Resolução CRH nº 01 de 2014 e estão apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Classes dos trechos dos corpos d’água da área de estudo.

Trechos de rios onde se localizam as estações de monitoramento	Classes recomendadas na Resolução CRH-DF nº 1 (2014)
Trecho do baixo Rio Descoberto (1)	Classe III
Trecho do ribeirão Ponte Alta (2)	Classe III
Trecho 1 do rio Alagado (3)	Classe III
Trecho 2 do rio Alagado (4)	Classe II
Ribeirão Santa Maria	Classe II

- (1) A partir da confluência do rio Descoberto com o rio Melchior até a confluência do rio Descoberto com o ribeirão Engenho das Lages
- (2) Da confluência do ribeirão Ponte Alta com o córrego Monjolo até a confluência do ribeirão Ponte Alta com o rio Alagado
- (3) Do ponto de lançamento dos efluentes das ETEs Alagado e Santa Maria até a confluência do rio Alagado com o ribeirão Ponte Alta
- (4) Entre a confluência entre o ribeirão Ponte Alta e o rio Alagado e o início do braço do reservatório Corumbá IV a jusante do rio Alagado

Após o acesso aos dados secundários, realizou-se a estatística descritiva dos valores referentes às datas entre 01/02/2015 e 13/02/2023 para o ribeirão Ponte Alta, o trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado e o ribeirão Santa Maria. Foi realizado o mesmo para o baixo rio Descoberto e para o trecho do rio Alagado monitorado por AL-1, porém o período foi de 01/06/2015 a 21/12/2022.

Os parâmetros de Turbidez e Nitrito não são monitorados nas estações de Corumbá Concessões. Nesses casos, optou-se por se desconsiderá-los e se redistribuir os pesos originais igualmente entre os parâmetros restantes. O mesmo não seria possível se o parâmetro faltante fosse OD ou Coliformes Termotolerantes/ *E. coli*. Isto porque possuem maior influência no valor de IQA. Assim, os pesos foram redistribuídos para manter a soma de 1, não interferindo significativamente no resultado (IGAM, 2019).

Os parâmetros utilizados nos cálculos de IQA e de ICE para cada tipo de dados de acordo com as suas fontes estão apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Parâmetros utilizados para os cálculos de IQA e ICE de acordo com os dados disponibilizados.

Parâmetros	IQA		ICE	
	Adasa	Corumbá Concessões	Adasa	Corumbá Concessões
OD	x	x	x	x
Coliformes Termotolerantes	x		x	
<i>Escherichia coli</i>		x		x
pH	x	x	x	x
DBO		x	x	x
Nitrogênio Toal	x	x		
Nitrogênio Amoniacal			x	x
Nitrito			x	
Nitrato			x	x
Fósforo Total	x	x	x	x
Variação da Temperatura	x	x		
Turbidez	x		x	
Sólidos Totais	x	x		
Sólidos Dissolvidos Totais			x	x

Corumbá Concessões não possuíam dados ou os dados eram muito incipientes para o parâmetro de Coliformes Termotolerantes, mas eles monitoram *Escherichia coli*. Para utilizar a curva de qualidade de Coliformes Termotolerantes no cálculo do IQA e para utilizar um valor de referência para o enquadramento, foi utilizado o fator de 1,25 para os valores de *E. coli* citado anteriormente, a fim de alcançar os valores do primeiro parâmetro, tornando- os equivalentes.

Os parâmetros de ICE foram escolhidos de forma a se aproximar ao máximo aos parâmetros já determinados no IQA com fins de considerar ao máximo os mesmos efeitos nos resultados.

Não foi realizado o preenchimento de falhas nos dados dos parâmetros com frequência semestral para manter a fidelidade aos dados originais. Esses parâmetros são o Nitrogênio amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) dos dados disponibilizados pela Adasa.

Os valores limites máximos ou mínimo utilizados fundamentados na Resolução CONAMA 357/05 foram as apresentadas na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Valores de referência para os padrões permitidos aos parâmetros de qualidade da água para as classes dos corpos d'água em estudo.

Parâmetros	Resolução CONAMA 357/05	
	Classe II	Classe III
OD* (mg/L)	5,0	4,0
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	1000	1000
DBO (mg/L)	5	10
pH	6 a 9	6 a 9
Nitrogênio amoniacal total (mg/L) para pH ≤7,5	3,7	13,3
Nitrogênio amoniacal total (mg/L) para pH 7,5-8,0*	2	5,6
Nitrogênio amoniacal total (mg/L) para pH 8,0-8,5*	1	2,2
Nitrogênio amoniacal total (mg/L) para pH>8,5	0,5	1
Fósforo total lóxico (mg/L)	0,1	0,15
Turbidez (UNT)	100	100
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	500	500

Considerando a utilização da metodologia do ICE modificado, foi utilizado intervalos móveis de 4 amostras, pois essa é a média anual de dados na maioria dos parâmetros. A escolha ao ICE modificado foi para fins de se retratar de forma mais precisa as mudanças sazonais ao longo das séries históricas (Sousa, *et al.*, 2019).

Após a plotagem dos gráficos de IQA e ICE foi realizada uma análise de tendência simplificada para compreender o comportamento geral das séries históricas desses índices e comparados esses resultados com as informações dos mapas para compreensão maior das fontes de poluição.

## 5 RESULTADOS

Nesta seção dos resultados serão apresentados a estatística descritiva dos dados e as análises dos dados de qualidade da água em relação aos critérios da metodologia de IQA e de ICE.

### 5.1 RIO DESCOBERTO – PONTE DE-1

Para o baixo rio Descoberto, os dados obtidos dos parâmetros de qualidade da água foram medidos na estação de monitoramento DE-1 e são referentes ao período entre 01/06/2015 e 21/12/2022. Todos os parâmetros possuem um tamanho amostral de 29. Os resultados da estatística descritiva dos parâmetros utilizados nos cálculos do IQA ou do ICE do baixo rio Descoberto estão apresentados na Tabela 5.1.

Os valores de *Escherichia coli* foram transformados em Coliformes Termotolerantes pelo fator mencionado anteriormente de 1,25.

Tabela 5.1 - Estatística descritiva dos dados dos parâmetros de qualidade da água do baixo rio Descoberto considerando o período 2015-2022.

Parâmetros	OD (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	pH	DBO (mg/L)	N total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal* (mg/L)	NO3- (mg/L)	P total (mg/L)	ST (mg/L)	SDT (mg/L)	Temperatura (°C)
Média	5.55	675.99	7.04	9.84	12.30	10.04	1.64	3.20	236.03	112.40	25.03
Mediana	5.29	1.25	6.95	4.28	14.30	11.21	1.44	1.16	157.00	102.00	25.10
Moda	5.15	0.00	6.10	2.00	0.10	0.10	0.01	0.01	157.00	94.00	24.50
Desvio padrão	1.31	3241.35	0.43	11.57	9.51	8.27	1.81	5.00	253.07	88.02	2.24
Curtose	0.79	28.78	0.96	0.51	-0.87	-0.54	-0.55	6.26	2.80	5.51	0.81
Assimetria	-0.42	5.36	-0.05	1.43	0.23	0.34	0.85	2.41	2.00	1.88	-0.81
Intervalo	5.93	17500.00	2.04	38.39	31.55	30.59	5.69	21.39	921.60	425.70	9.60
Mínimo	1.92	0.00	6.10	0.51	0.02	0.01	0.01	0.01	21.40	9.80	19.10
Máximo	7.85	17500.00	8.14	38.90	31.57	30.60	5.70	21.40	943.00	435.50	28.70
Contagem	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

\* Nos dados disponíveis de nitrogênio amoniacal do trecho do rio Descoberto, não se define a forma deste parâmetro.

#N/D: Não Disponível

#### 5.1.1 Qualidade da água do baixo rio Descoberto

Com os dados, calculou-se o IQA do baixo rio Descoberto e foram plotados os resultados, os quais estão apresentados na Figura 5.1.

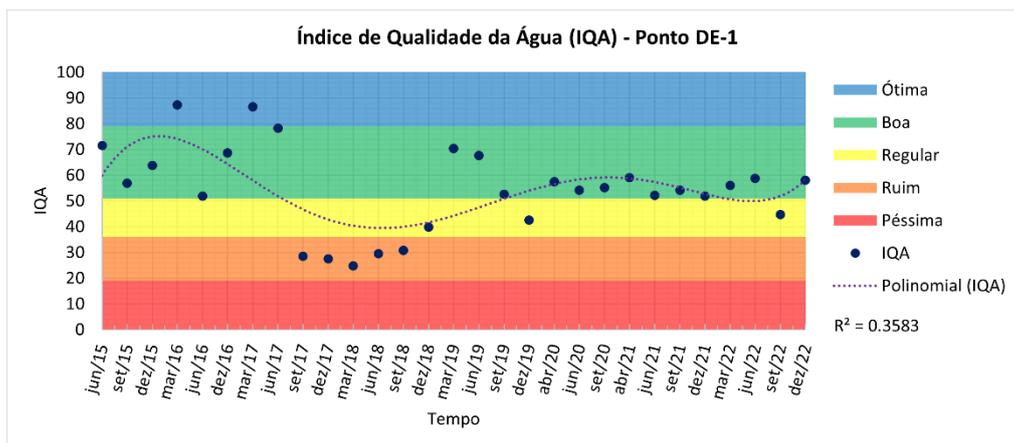


Figura 5.1 – Índice de Qualidade da Água (IQA) do baixo rio Descoberto entre 2015 e 2022.

Observou-se pela Figura 5.1 que a qualidade da água permaneceu entre Boa (21% do total) e Ótima (7% do total) até o início de 2017. Ao chegar no período de estiagem do mesmo ano, os resultados representaram uma qualidade Ruim (17% do total) durante um ano, até dezembro de 2018. Esse período foi marcado pela crise hídrica que se estabeleceu em várias Unidades Federativas.

No período mais crítico, em que os IQA resultaram numa água de qualidade na categoria Ruim, de acordo com os critérios desse método, os valores de  $q_i$  (qualidade do parâmetro) de Coliformes Termotolerantes, de DBO, de Nitrogênio Total, de Fósforo Total e Sólidos Totais resultaram em alguns valores baixos, da forma apresentada na Tabela 5.2.

O baixo rio Descoberto se localiza a jusante do maior manancial do Distrito Federal, o Lago do Descoberto, e é responsável pelo abastecimento de 60% da população dessa UF. Não foi realizada a análise em conjunto com a observação das vazões do rio, sendo esta ação uma recomendação para trabalhos futuros. No entanto, os resultados desfavoráveis podem ser associados às baixas vazões e, por consequência, às altas concentrações dos parâmetros da Tabela 5.2.

A partir de então, o comportamento do IQA se ascendeu e se manteve entre Boa (45% do total) e Regular (10% do total). Tomando como referência a linha de tendência, o comportamento mais recente, do último semestre de 2022, ocorre o início de uma ascensão.

Considerando que o qi pode alcançar valores entre 0 e 100 em função da concentração dos parâmetros, DBO (Peso 0,1), Nitrogênio Total (Peso 0,1) e Fósforo Total (Peso 0,1) possuem valores baixíssimos de qualidade no período em que o IQA foi Ruim.

Os outros resultados de IQA (Regular, Boa e Ótima) do rio Descoberto, de outras datas, também apresentaram valores de qi baixo dos mesmos parâmetros, porém não tão baixos quanto nos IQA Ruim e nem sempre de forma simultânea.

Tabela 5.2 – Valores mais baixos de qi (qualidade do parâmetro) dos parâmetros de Coliformes Termotolerantes, DBO, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Sólidos Totais, no período em que o IQA do baixo Descoberto resultou na classe Ruim.

Data	qi (qualidade do parâmetro)				
	CT	DBO	N total	P total	ST
01/09/2017	56.295	<u>2.00</u>	<u>1.85</u>	<u>34.70</u>	72.58
01/12/2017	<u>21.781</u>	<u>2.00</u>	<u>1.85</u>	50.90	79.12
01/03/2018	96.754	<u>2.00</u>	<u>1.85</u>	<u>5.00</u>	<u>32.00</u>
01/06/2018	60.245	<u>5.33</u>	<u>5.22</u>	<u>5.27</u>	<u>32.00</u>
01/09/2018	100.000	<u>4.92</u>	<u>4.67</u>	<u>5.72</u>	<u>32.00</u>

### 5.1.2 Conformidade ao enquadramento do baixo rio Descoberto (Classe III)

Para analisar a conformidade ao enquadramento do baixo rio Descoberto, considerou-se o enquadramento do rio na Classe III, como recomendado pela Resolução CRH nº 01 de 2014. Com os resultados dos cálculos do ICE do baixo rio Descoberto da Figura 5.2., observou-se que os valores tiveram um comportamento descendente aproximadamente entre junho de 2015 e dezembro de 2021. A partir da inclusão dos dados de março de 2022 no cálculo, a curva de tendência apresenta uma pequena ascendência.

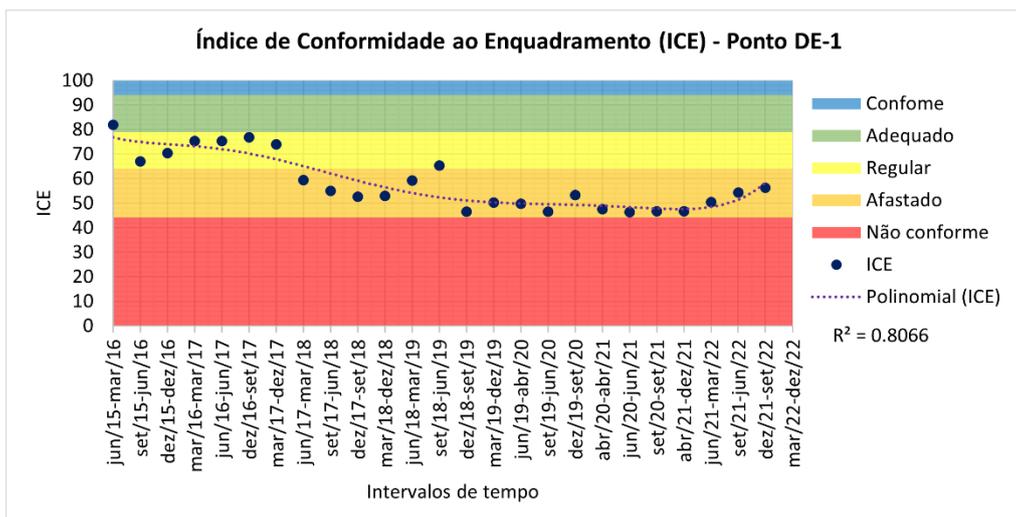


Figura 5.2 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) modificado do baixo rio Descoberto entre 2015 e 2022.

Os dados referentes às amostras entre junho de 2015 e dezembro de 2017 produziram valores de ICE de Adequado (8% do total) e Regular (19% do total), até que, a partir dos dados de março de 2018, a maioria dos valores daí em diante permaneceram na categoria Afastado (69% do total).

No período em que o ICE se mantém na categoria Afastado, os aspectos que prejudicam os resultados são os referentes à alta frequência ( $F_2$ ) das desconformidades dos parâmetros de DBO, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total e às grandes amplitudes ( $F_3$ ) dos desacordos deste último.

De forma simultânea, em 01/05/2016 o parâmetro de Coliformes Termotolerantes e de Fósforo Total estão em desacordo com os valores máximos indicados à Classe III. A Variação (Equação 3.5 e 3.6) de cada um foi de 16,5 e 0,33 respectivamente.

Como há dessedentação de animais por causa da atividade agropastoril, o limite é de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante um ano, com frequência bimestral. Porém, há apenas amostras trimestrais, então considerou-se o limite para 100% das amostras em um ano.

Os valores de Variação dos parâmetros de DBO, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total, entre 01/09/2017 e 01/12/2018, quando há simultaneidade de desconformidade, estão apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Valores da Variação de DBO, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total no período em que houve uma simultaneidade de desconformidades no baixo rio Descoberto.

Datas	Variação		
	DBO	N amoniacal	P total
01/09/2017	2.89	0.27	1.87
01/12/2017	2.02	2.82	0.60
01/03/2018	2.21	0.42	33.67
01/06/2018	1.88	0.37	19.67
01/09/2018	2.00	1.12	18.33
01/12/2018	1.70	-	1.73

Entre as datas de 01/06/2019 e 21/06/22 também houve simultaneidade de desconformidade com os parâmetros de OD, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total. Os valores das Variações desses parâmetros estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Casos de simultaneidade de desconformidades de Oxigênio Dissolvido, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total no baixo rio Descoberto.

Datas	Variação		
	OD	N amoniacal	P Total
01/06/2019	-	0.29	2.27
01/09/2019	0.08	4.46	102.33
19/06/2020	-	0.36	59.67
07/04/2021	-	0.17	141.67
30/06/2021	-	0.25	51.33
22/09/2021	-	0.11	43.20
21/06/2022	-	0.10	2.33

De forma isolada em relação ao conjunto de parâmetros analisados, o P total ainda foi desconforme ao enquadramento seis outras vezes, possuindo valores altos de Variação, o que também significa altas amplitudes de desacordo com os valores máximos permitidos. Outros dois parâmetros que apresentam desconformidade de forma isolada são o OD e DBO, ocorrendo uma vez cada.

## 5.2 RIBEIRÃO PONTE ALTA – ESTAÇÃO PONTE ALTA

Foi realizada a estatística descritiva dos dados disponibilizados de qualidade da água do ribeirão Ponte Alta, apresentada na Tabela 5.5. Os dados são referentes ao período entre 2015 e 2023.

Tabela 5.5 – Estatística descritiva dos dados dos parâmetros de monitoramento de qualidade da água do ribeirão Ponte Alta.

Parâmetros	OD (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	pH	DBO (mg/L)	N total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal* (mg/L)	NO <sub>2</sub> - (mg/L)	NO <sub>3</sub> - (mg/L)	P(tot) mg/L	Turbidez (UNT)	ST (mg/L)	SDT (mg/L)	Temperatura (°C)
Média	6.70	3342.23	6.87	2.49	4.48	1.71	0.27	1.90	0.08	41.31	149.15	92.15	21.84
Mediana	6.70	1400.00	6.80	2.10	3.29	0.80	0.04	1.65	0.04	16.60	101.00	82.39	22.00
Moda	6.10	16000.00	6.80	2.10	9.35	#N/D	0.01	1.00	0.02	24.00	78.00	#N/D	22.00
Desvio padrão	0.84	5125.29	0.74	1.71	3.52	2.62	0.57	0.98	0.08	111.05	146.57	39.47	1.84
Curtose	3.04	2.42	1.91	0.72	2.46	8.78	3.09	0.10	4.46	28.78	11.60	0.59	2.88
Assimetria	-1.13	1.92	-0.66	1.23	1.53	2.93	2.13	0.99	2.15	5.24	3.32	0.87	0.82
Intervalo	4.27	15998.20	3.75	6.50	15.50	11.04	1.76	3.30	0.35	639.27	741.00	156.70	10.00
Mínimo	3.80	1.80	4.50	0.30	0.60	0.06	0.00	0.90	0.00	1.73	25.00	21.50	18.00
Máximo	8.07	16000.00	8.25	6.80	16.10	11.10	1.76	4.20	0.36	641.00	766.00	178.20	28.00
Contagem	33	33	33	33	33	21	20	20	33	33	33	21	33

\*Nos dados disponibilizados de nitrogênio amoniacal do trecho do ribeirão Ponte Alta, a forma é NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

#N/D: Não disponível

Os parâmetros de OD, Coliformes Termotolerantes, pH, Nitrogênio Total (N total), Fósforo Total (P total), Turbidez, Sólidos Totais (ST) e Temperatura possuem frequência trimestral de amostragem. Já Nitrogênio Amoniacal, Nitrito (NO<sub>2</sub>-), Nitrato (NO<sub>3</sub>-) e Sólidos Dissolvidos Totais (SD) têm frequência semestral de monitoramento. Assim os dados possuem tamanhos amostrais diferentes.

O cálculo do IQA não inclui os parâmetros que são medidos a cada semestre, o ICE sim. Porém, o último índice ainda considera todos os parâmetros por incluir amostras de um ano.

### 5.2.1 Qualidade da água do ribeirão Ponte Alta

O IQA dos dados monitorados para o ribeirão Ponte Alta teve o comportamento indicado pelo gráfico da Figura 5.3. Observa-se que a maioria dos valores de IQA retratam uma qualidade Boa do corpo d'água (76%). Apenas 12% das amostras da série histórica estão Regulares e a mesma quantidade, Ótimas.

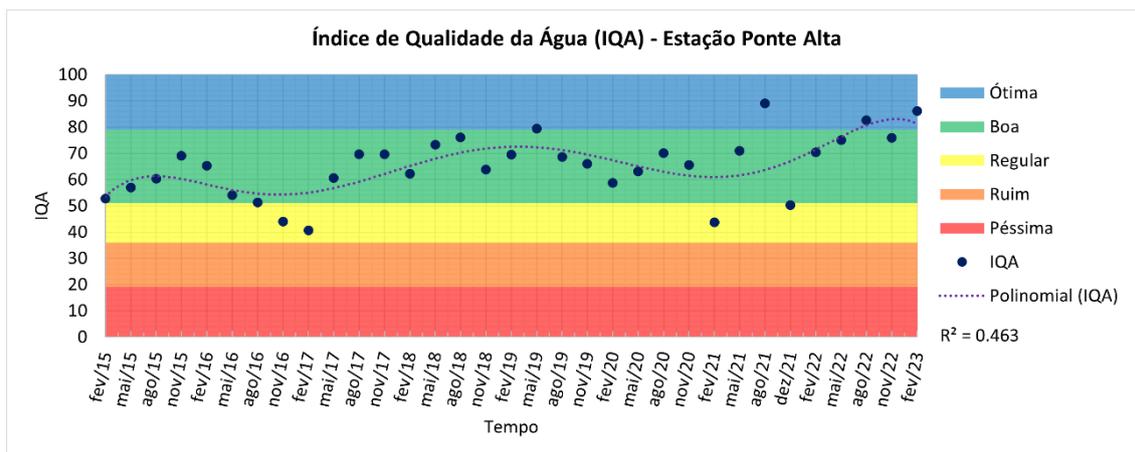


Figura 5.3 – Índice de Qualidade da Água (IQA) do ribeirão Ponte Alta.

Os valores de qi (Qualidade do Parâmetro entre 0 e 100) que interferiram na redução do valor do IQA estão apresentadas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Valores de qi das amostras de Turbidez em que o IQA resultou em uma qualidade Regular da água do ribeirão Ponte Alta.

Datas	qi (Qualidade do Parâmetro)					IQA
	OD	CT	pH	Turbidez	ST	
24/11/2016	73.38	<u>13.47</u>	84.00	<u>5.00</u>	<u>32.00</u>	44
21/02/2017	<u>37.44</u>	<u>19.14</u>	<u>14.90</u>	66.25	85.78	41
22/02/2021	92.40	<u>7.37</u>	76.96	<u>5.00</u>	<u>32.00</u>	44
07/12/2021	83.80	<u>15.47</u>	63.05	<u>5.00</u>	62.70	50

Os parâmetros que alcançaram valores de qi baixos e que influenciaram no valor “Regular” de IQA de forma simultânea foram Sólidos Totais, Turbidez e Coliformes Termotolerantes. No resultado de novembro de 2016, o aumento das concentrações de Turbidez e Sólidos Totais pode ser justificado também porque é um dos meses do início da estação chuvosa na região. Esses dois parâmetros podem chegar a altos valores pelo carreamento pela chuva de sedimentos acumulados. O aumento de Turbidez em período de chuvas também foi observado em Rocha *et al.* (2019) na bacia hidrográfica do rio Paraíso, em Jataí-GO.

### 5.2.2 Conformidade ao enquadramento do ribeirão Ponte Alta (Classe III)

O cálculo do ICE foi realizado do ribeirão Ponte Alta considerando a Classe III resultou no comportamento indicado pela Figura 5.4.

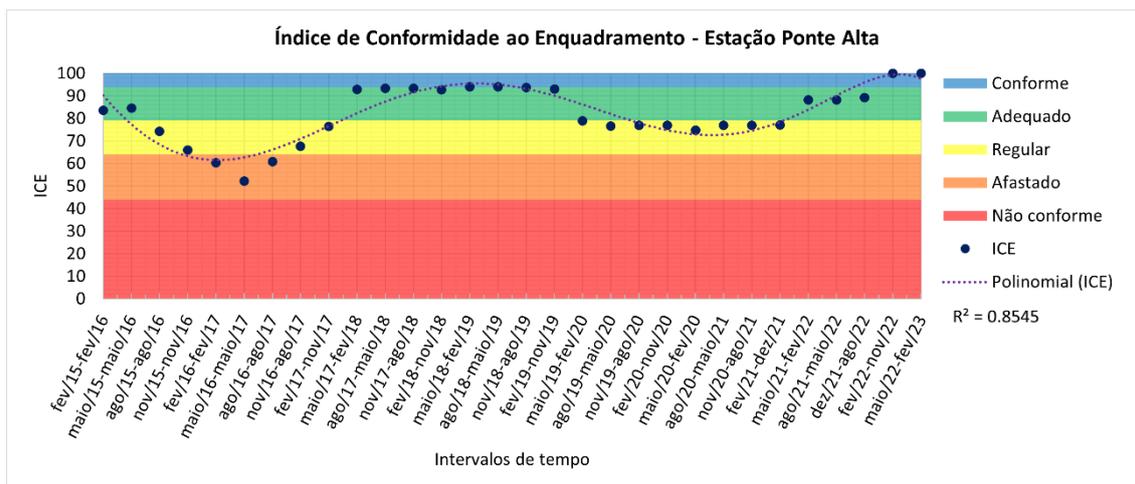


Figura 5.4 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) do ribeirão Ponte Alta.

Constatou-se uma piora dos valores de ICE relacionados aos intervalos móveis de fev/16-fev/17 a ago/16-ago/2017, quando há casos de valores “Afastado”. Nesse período, ocorreram principalmente, de forma simultânea, uma frequência e uma amplitude altas de desconformidades de Coliformes Termotolerantes e uma alta frequência de desacordo com o Fósforo Total, os quais podem ser observados na Tabela 5.7. Além disso, também houve desconformidade com os parâmetros de OD na data de 21/02/2017, com variação de 0,05; de pH em 21/02/2017, com variação de 0,33; e de  $\text{NH}_4^+$  na data de 11/05/2016, com variação de 0,26.

Na data 21/02/2017 houve uma alteração incomum de pH no ribeirão Ponte Alta. O valor chegou a diminuir para 4,5. Este valor, sendo abaixo de 5,5 já seria prejudicial para os peixes, podendo causar a sua mortandade. Não foi encontrado nenhum registro de possíveis fontes que pudessem corroborar esse resultado de pH de fevereiro de 2017. Assim, é possível que este valor seja um erro.

Tabela 5.7 - Valores da Variação, representando a amplitude da desconformidade dos parâmetros de OD, Coliformes Termotolerantes, pH e Fósforo Total no período entre fevereiro de 2015 e maio de 2017 no ribeirão Ponte Alta.

Datas	OD	Variação			
		Coliformes Termotolerantes	pH	NH4+	Fósforo Total
01/02/2015	-	6.90	-	-	-
01/05/2015	-	5.80	-	-	-
01/08/2015	-	0.65	-	-	-
19/11/2015	-	0.70	-	-	-
23/02/2016	-	-	-	-	0.33
11/05/2016	-	15.00	-	0.26	0.17
24/08/2016	-	15.00	-	-	1.11
24/11/2016	-	2.50	-	-	0.16
21/02/2017	0.053	0.30	0.33	-	1.38
18/05/2017	-	0.60	-	-	-

A partir de ago/16-ago/17 há um aumento do ICE seguindo de uma relativa constância nos valores em Adequado. Outra redução dos valores ocorre em maio de 2019, a partir de quando o ICE permanece na classe Regular até dezembro de 2021. Os valores de ICE Regular correspondem aos casos de desconformidade de Coliformes Termotolerantes apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Valores da Variação dos casos de desconformidades aos padrões da classe do ribeirão Ponte Alta do parâmetro de Coliformes Termotolerantes, representando a amplitude do desacordo.

Datas	Variação de CT
07/08/2019	0.4
27/11/2019	1.8
21/02/2020	15
27/05/2020	3.3
27/11/2020	1.8
22/02/2021	15
07/12/2021	1.4

Pela linha de tendência, é possível observar que há novamente uma melhora a partir dos dados de maio de 2021.

### 5.3 RIO ALAGADO – ESTAÇÃO ALAGADO

Após acesso aos dados secundários da estação de monitoramento da qualidade da água do rio Alagado monitorada pela Estação Alagado, realizou-se a estatística descritiva dos valores referentes às datas entre 01/02/2015 e 13/02/2023, com frequência trimestral ou semestral apresentada pela Tabela 5.9.

Tabela 5.9 Estatística descritiva dos dados dos parâmetros de monitoramento de qualidade da água do trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado.

Parâmetros	OD (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	pH	DBO (mg/L)	N total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal* (mg/L)	NO <sub>2</sub> - (mg/L)	NO <sub>3</sub> - (mg/L)	P total (mg/L)	Turbidez (UNT)	ST (mg/L)	SDT (mg/L)	Temperatura (°C)
Média	6.84	4006.18	6.56	2.11	5.03	2.38	0.34	2.39	0.11	4.85	143.19	115.58	21.71
Mediana	6.90	1950.00	6.57	2.00	3.55	0.95	0.09	2.10	0.03	4.28	132.00	114.00	22.00
Moda	7.00	16000.00	6.10	2.20	#N/D	#N/D	0.01	2.00	0.01	2.20	115.00	#N/D	22.00
Desvio padrão	0.62	5271.42	0.58	1.05	3.91	2.96	0.49	0.98	0.23	3.19	66.20	51.81	1.82
Curtose	-0.01	1.00	2.52	0.95	3.32	4.51	0.37	-0.80	22.01	0.80	0.91	-0.44	-0.28
Assimetria	0.38	1.48	-0.89	0.84	1.81	2.24	1.35	0.16	4.41	1.18	0.92	-0.26	-0.84
Intervalo	2.57	15998.20	2.89	4.20	16.99	10.79	1.47	3.20	1.30	12.60	281.00	191.15	6.63
Mínimo	5.87	1.80	4.60	0.50	1.36	0.31	0.00	1.00	0.00	1.20	23.00	14.85	17.47
Máximo	8.44	16000.00	7.49	4.70	18.35	11.10	1.47	4.20	1.30	13.80	304.00	206.00	24.10
Contagem	33	33	33	33	33	20	19	19	33	33	33	21	33

\* Os dados disponíveis de nitrogênio amoniacal no trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado são da forma NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

#N/D: Não Disponível

Os parâmetros de Nitrogênio amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) possuem falhas em relação aos outros, porque possuem uma frequência semestral de medições e não trimestral.

#### 5.3.1 Qualidade da água do ribeirão Alagado monitorado pela Estação Alagado

O IQA do rio Alagado, no trecho a montante da sua congruência com o Ponte Alta, foi calculado por meio dos dados trimestrais. O seu comportamento ao longo do período entre 2015 e 2023 está retratado na Figura 5.5.

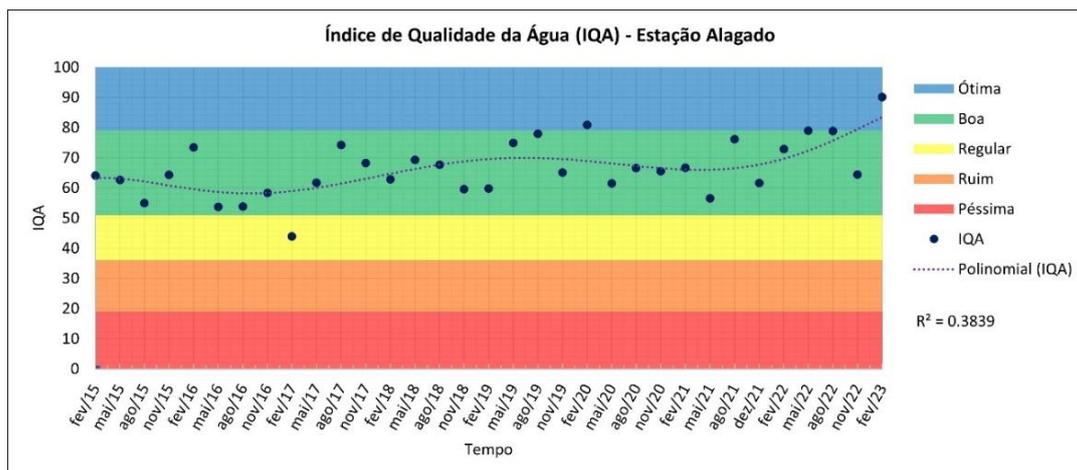


Figura 5.5 – Índice de Qualidade da Água (IQA) do trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado entre 2015 e 2023.

Observa-se pelo comportamento dos pontos de IQA que a grande maioria dos valores estão na categoria Boa (91%) de qualidade da água. Um valor, referente à data de 21/02/2017, representa uma qualidade Regular (3%) da água e dois valores, de 21/02/2020 e 13/02/2023, estão classificados com qualidade Ótima (6%). Além disso, pelo comportamento da linha de tendência entre 2021 e 2023, os valores de IQA vêm aumentando.

Os parâmetros que tiveram os valores mais baixos (considerados aqui abaixo de 50) de qi foram Coliformes Termotolerantes (85%), Nitrogênio Total (15%) e Fósforo Total (6%), todas coincidindo com os casos em que o IQA foi Regular e Boa, e não Ótima.

O valor do qi de Coliformes Termotolerantes apenas foram acima de 50 quando as concentrações desse parâmetro estavam abaixo de 40 NMP/100mL, valor muito destoante do que o valor máximo que a Resolução CONAMA 357/05 admite para a Classe III quando se há dessedentação de animais (1000 NMP/100mL). Logo, os critérios do que se é ambientalmente seguro podem ser bem diferentes na metodologia do IQA e nos padrões do enquadramento.

### 5.3.2 Conformidade ao enquadramento trecho do ribeirão Alagado monitorado pela Estação Alagado (Classe III)

Esse trecho de rio teve como proposta de enquadramento a Classe III. Pela Figura 5.6, é possível observar o comportamento dos resultados de ICE, indicando os níveis de conformidade ou desconformidade com os padrões de qualidade.

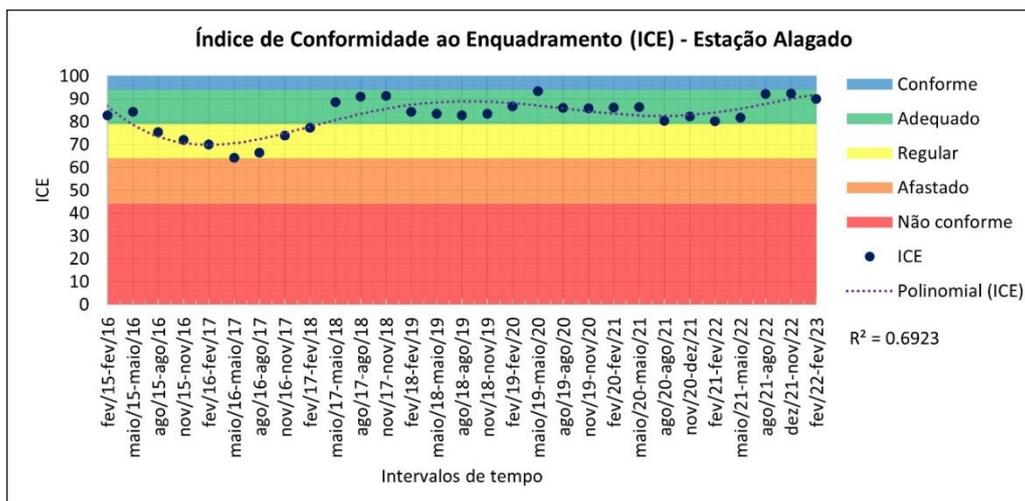


Figura 5.6 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) modificado do trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado.

Observa-se uma piora dos resultados no início da série histórica até os intervalos de maio/2016-maio/2017. Após esse período, há uma ascendência dos valores de ICE expressando melhora das condições de conformidade nesse trecho.

Considerando os padrões de qualidade das águas de corpos de água doce enquadradas na Classe III, observou-se que os parâmetros de OD, DBO, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais possuem valores conformes com o enquadramento durante toda a série histórica monitorada.

Por outro lado, os Coliformes Termotolerantes possuem valores acima do que se espera para um rio de Classe III. O parâmetro de Coliformes Termotolerantes superara o limite em 19 de 33 amostras, ou seja, 58% do total e elas ocorrem de forma variada tanto nas estações de chuva quanto nas de seca entre 2015 e 2022. É possível que a origem desse poluente advenha da atividade agropastoril que existe nas proximidades do trecho.

Outro parâmetro que apresentou desconformidade foi o pH, com o valor de 4,6 ocorrendo na data de 21/02/2017. Mesmo que haja outra alteração na mesma data, de Coliformes Termotolerantes, há outras datas em que há essa desconformidade e o pH se manteve dentro dos padrões. Logo, há a possibilidade de que esse único valor seja um erro de digitação ou outro. Além disso, como os dados possuem frequência trimestral, há uma limitação para compreender o que influenciou o comportamento desse dado.

O Fósforo Total também passou dos limites preconizados para a Classe III de forma consecutiva entre as datas de 01/08/2015 e 24/11/2016, ou seja, 6% das 33 amostras. Os valores da Variação de cada amostra estão apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Valores da Variação de Fósforo Total

Datas	Variação de P total
01/08/2015	7.67
19/11/2015	0.71
23/02/2016	0.63
11/05/2016	0.25
24/08/2016	0.59
24/11/2016	0.27

As datas em que coincidem as desconformidades estão destacadas na Tabela 5.11:

Tabela 5.11 – Valores da Variação de Coliformes Termotolerantes e pH de quando houve simultaneidade de desconformidades no trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado.

Data	Variação	
	CT	pH
21/02/2017	15.000	0.304

#### 5.4 RIO ALAGADO – PONTO AL-1

Os dados de qualidade da água do rio Alagado monitorados pela estação AL-1 foram obtidos e com eles foi realizada uma estatística descritiva, apresentada na Tabela 5.12. Os dados possuem frequência trimestral e são referentes ao período de 2015 a 2022. Aqui, os dados de *Escherichia coli* também foram transformados em Coliformes Termotolerantes para serem utilizados no cálculo do IQA e ICE.

Tabela 5.12 – Estatística descritiva dos dados dos parâmetros de monitoramento de qualidade da água do trecho do rio Alagado monitorado pela estação AL-1.

Parâmetros	OD (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	pH	DBO (mg/L)	N total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal* (mg/L)	NO3- (mg/L)	P total (mg/L)	ST (mg/L)	SDT (mg/L)	Temperatura (°C)
Média	5.87	132.69	7.08	3.69	2.61	2.17	0.47	1.09	102.95	57.49	24.91
Mediana	5.74	1.63	7.10	2.80	2.18	1.05	0.07	0.01	77.00	50.00	24.85
Moda	#N/D	0.00	7.35	2.80	0.10	0.10	0.01	0.01	60.00	38.00	24.30
Desvio padrão	1.00	422.52	0.45	3.08	2.47	2.28	0.85	3.71	78.12	26.10	2.63
Curtose	1.16	14.93	-0.16	6.50	1.17	0.38	6.40	12.62	4.08	-0.62	0.97
Assimetria	0.80	3.85	-0.23	2.50	1.15	1.12	2.56	3.66	2.04	0.76	-0.78
Intervalo	4.72	2000.00	1.82	13.68	9.69	7.83	3.45	16.10	329.60	86.60	11.09
Mínimo	4.10	0.00	6.10	0.90	0.01	0.01	0.01	0.00	33.40	22.10	18.51
Máximo	8.82	2000.00	7.92	14.58	9.70	7.84	3.46	16.10	363.00	108.70	29.60
Contagem	29	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

\* Nos dados disponíveis de nitrogênio amoniacal no trecho do Ponto AL-1, não se define a forma deste parâmetro.

#N/D: Não Disponível

#### 5.4.1 Qualidade da água do trecho do rio Alagado monitorado pelo ponto AL-1

Esse segundo trecho se refere à parte após a congruência com o Ponte Alta, onde a estação do ponto AL-1 se localiza logo a montante do braço do reservatório Corumbá IV. O IQA foi calculado e o seu comportamento está apresentado na Figura 5.7.

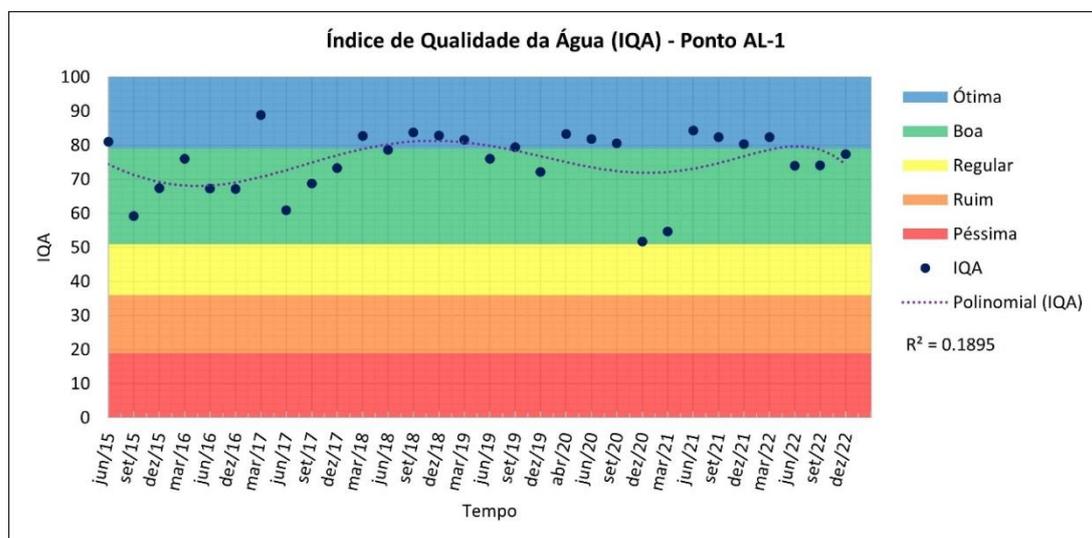


Figura 5.7 – Índice de Qualidade da Água (IQA) do trecho do rio Alagado monitorado pela estação AL-1 entre 2015 e 2022.

Com a análise dos valores de IQA, 50% desses estão classificados com qualidade Boa e a outra metade com a qualidade Ótima. Pela linha de tendência, há um comportamento de redução dos últimos valores, de junho de 2022 a dezembro de 2022, apesar de os resultados da série histórica do IQA serem favoráveis, no geral.

Os parâmetros que tiveram os valores mais baixos (abaixo de 50) de  $q_i$  foram Coliformes Termotolerantes (17%), DBO (13%), Nitrogênio Total (3%) e Fósforo Total (7%), todas coincidindo com os casos em que o IQA foi Boa e não Ótima.

#### 5.4.2 Conformidade ao enquadramento no trecho do rio Alagado monitorado pelo ponto AL-1 (Classe II)

O trecho do rio Alagado após a congruência com o ribeirão Ponte Alta tece como proposta de enquadramento a Classe II, diferentemente do trecho a montante. Os resultados do cálculo do ICE com os dados de qualidade da água estão indicados na Figura 5.8.

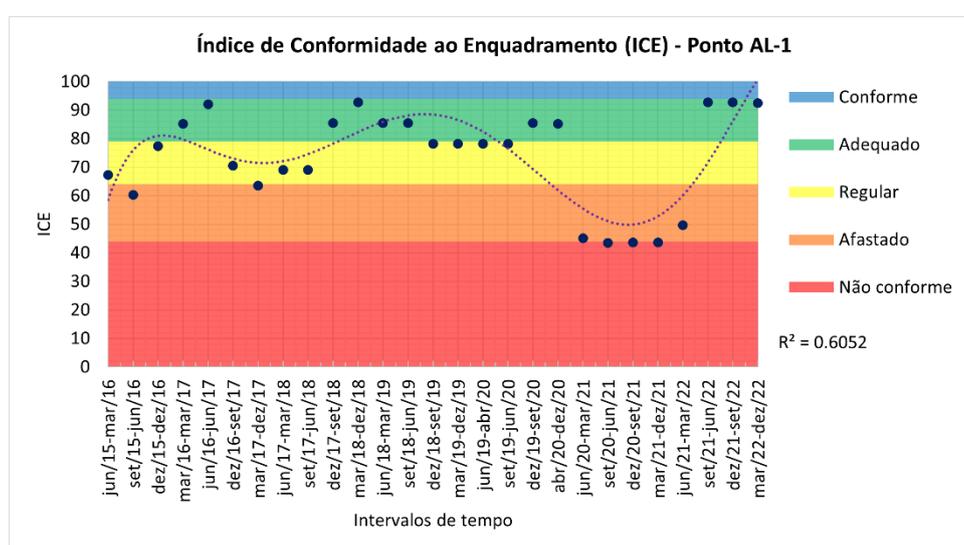


Figura 5.8 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) do trecho do rio Alagado monitorado pela estação AL-1 entre 2015 e 2022.

Comparando os dados de qualidade com os valores limites determinados pela Resolução CONAMA 357/05 para a Classe II, apenas os parâmetros de pH, Nitrito e Sólidos Dissolvidos Totais não possuem desconformidades na série histórica entre 2015 e 2022.

Já os Coliformes Termotolerantes apresentaram valores acima do limite de forma subsequente em 01/06/2016, com Variação igual a 1 e 01/12/2016, com Variação igual a 0,25, somando desconformidade em 6,7% das amostras.

Houve também desconformidade com o DBO em datas mais dispersas, como em 01/12/2015, com variação igual a 1,92 em 01/09/2017, com Variação igual a 0,6 e em 01/06/2019, com Variação 0,144, resultando em 10% do total.

Ocorreram desconformidades também com o Nitrogênio Amoniacal da maneira indicada na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Valores da Variação nas desconformidades que ocorreram com o parâmetro de Nitrogênio amoniacal.

<b>Datas</b>	<b>Variação de N amoniacal</b>
<b>01/09/2015</b>	1.01
<b>01/09/2017</b>	0.16
<b>01/09/2018</b>	0.22
<b>01/06/2019</b>	0.03
<b>10/06/2020</b>	0.66

O Fósforo Total apresentou valores acima do valor máximo permitido em 01/09/2015, com Variação de 8,56 e em 01/06/2017, com Variação de 19, ou seja em 6,7% das amostras.

No período em que o ICE resultou em Não conforme, os dados dos parâmetros Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal e DBO considerados no cálculo obtiveram os valores de Variação indicados na Tabela 5.14. É possível observar que o Fósforo Total passa em 130 e 160 vezes o valor máximo permitido para a Classe II.

Tabela 5.14 – Valores de Variação dos parâmetros em desconformidade no período em que o ICE resultou em Não conforme.

<b>Datas</b>	<b>Variação</b>		
	<b>P total</b>	<b>N amoniacal</b>	<b>DBO</b>
<b>16/09/2020</b>	-	1.12	-
<b>23/12/2020</b>	130.00	0.33	1.52
<b>30/03/2021</b>	160.00	0.37	0.00

## **5.5 RIBEIRÃO SANTA MARIA**

Na análise dos dados de qualidade da água do ribeirão Santa Maria também foi realizada a estatística descritiva, apresentada pela Tabela 5.15. Nota-se que os parâmetros de Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato e Sólidos Dissolvidos Totais são monitorados com uma frequência menor (semestralmente) do que os outros (trimestralmente).

Tabela 5.15 – Estatística descritiva dos dados dos parâmetros de monitoramento de qualidade da água do ribeirão Santa Maria.

	OD (mg/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	pH	DBO (mg/L)	N total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal* (mg/L)	NO2- (mg/L)	NO3- (mg/L)	P(tot) mg/L	Turbidez (UNT)	ST (mg/L)	SDT (mg/L)	Temperatura (°C)
Média	7.13	2102.52	6.90	1.43	3.28	2.24	0.18	1.63	0.03	5.31	52.51	35.96	21.57
Mediana	7.22	295.00	6.86	1.30	2.03	0.60	0.03	1.50	0.02	3.80	36.00	29.00	21.50
Moda	7.00	18.00	6.90	1.40	2.19	0.60	0.01	1.30	0.00	3.80	42.00	#N/D	21.00
Desvio padrão	0.66	4148.57	0.48	0.96	4.76	5.32	0.55	0.94	0.04	6.48	48.78	24.60	1.72
Curtose	0.20	6.59	-0.33	1.15	16.88	12.24	16.76	2.10	6.30	20.37	5.54	0.41	0.17
Assimetria	-0.63	2.63	0.49	1.11	4.01	3.46	4.04	1.49	2.39	4.16	2.36	1.21	-0.24
Intervalo	2.90	15998.00	1.87	3.80	24.64	22.27	2.39	3.80	0.18	37.20	215.00	85.50	7.20
Mínimo	5.39	2.00	6.10	0.30	1.05	0.24	0.00	0.40	0.00	0.50	17.00	2.50	17.80
Máximo	8.29	16000.00	7.97	4.10	25.69	22.50	2.39	4.20	0.18	37.70	232.00	88.00	25.00
Contagem	33	33	33	33	33	20	19	20	33	33	33	21	33

\*Nos dados disponibilizados, o nitrogênio amoniacal do trecho do ribeirão Santa Maria está na forma NH4+.  
#N/D: Não disponível

### 5.5.1 Qualidade da água do ribeirão Santa Maria

O comportamento dos valores de IQA do ribeirão Santa Maria estão indicados na Figura 5.9. Os resultados são referentes ao período entre 2015 e 2023.

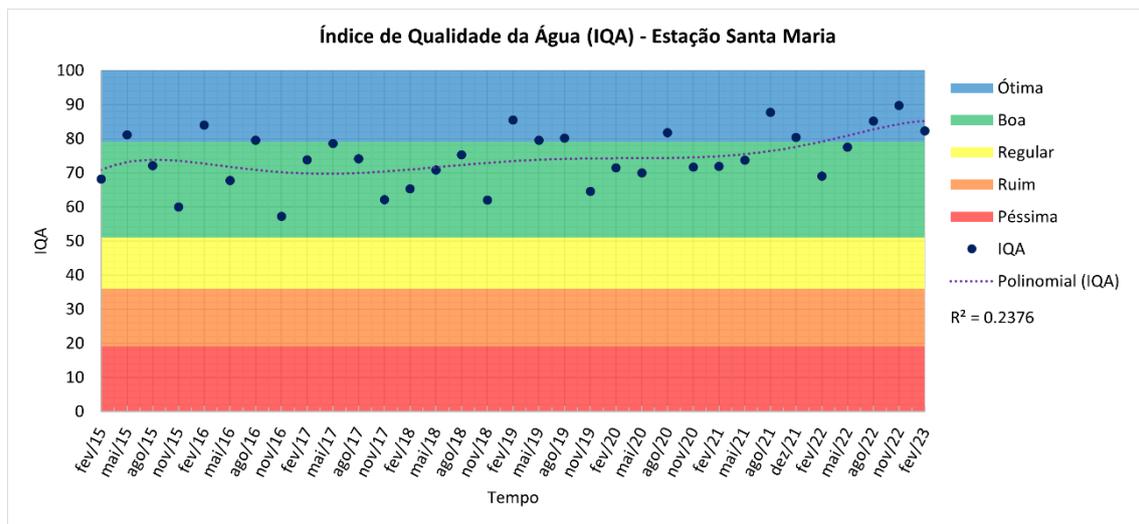


Figura 5.9 – Índice de Qualidade da Água (IQA) do ribeirão Santa Maria entre 2015 e 2023.

O resultado de IQA retratou uma qualidade Boa da água em 61% da série histórica e Ótima em 39%. No período analisado, apesar de ter um peso alto no cálculo do índice, Coliformes Termotolerantes foi o único parâmetro que apresentou valores de qi baixos

(abaixo de 50), totalizando 82% das amostras. Observou-se que nos anos de 2021 e de 2022, houve uma tendência de melhora da qualidade da água.

### 5.5.2 Conformidade ao enquadramento do ribeirão Santa Maria (Classe II)

O enquadramento para o ribeirão Santa Maria indicou a Classe II para o corpo d'água. Os resultados do comportamento do ICE entre 2015 e 2023 em relação a essa classe está apresentada na Figura 5.10.

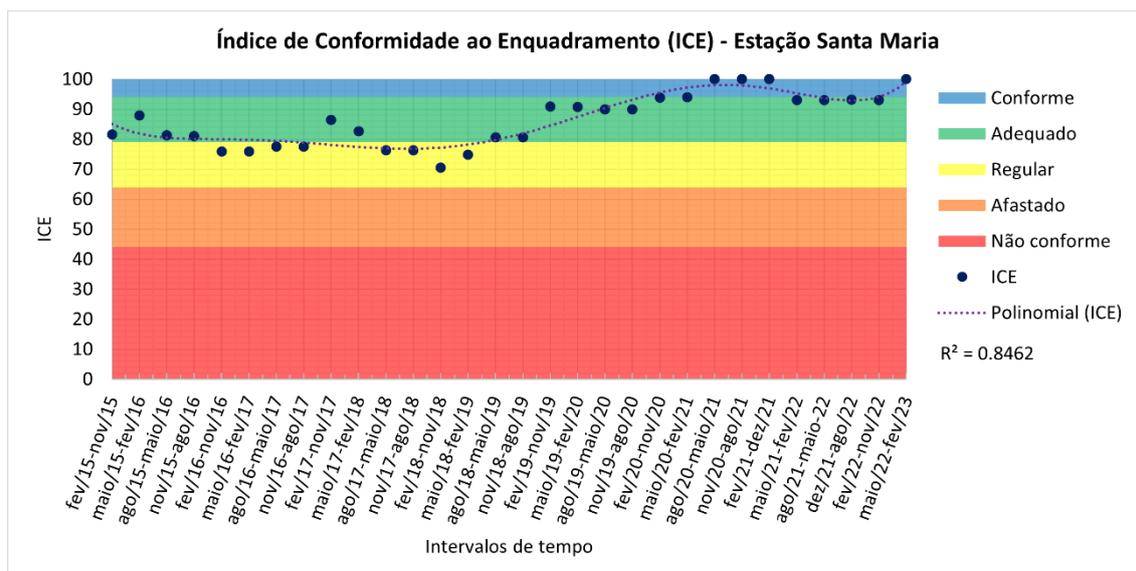


Figura 5.10 – Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) modificado do ribeirão Santa Maria.

Há 4 intervalos de tempo em que não há desconformidade alguma dos parâmetros avaliados, nos períodos de ago/20-maio/21, de nov/20-ago/21, de fev/21-dez/21 e de maio/22-fev/23. Em todos os outros intervalos, há alguma desconformidade, em maior ou menor frequência e amplitude de divergência com os valores mínimos ou máximos determinados pelos padrões de qualidade. O parâmetro com maior frequência de desconformidade foi o de Coliformes Termotolerantes (27% de 33 amostras), depois Nitrogênio Amoniacal (10% de 33 amostras) e, por fim, Fósforo Total (9% de 20 amostras). As desconformidades e os valores da Variação de cada amostra dos parâmetros estão apresentados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Valores da Variação dos parâmetros de Fósforo Total, Coliformes Termotolerantes e Nitrogênio Amoniacal

<b>Datas</b>	<b>Variação</b>		
	<b>CT</b>	<b>NH4+</b>	<b>P Total</b>
<b>01/02/2015</b>	2.4	-	-
<b>19/11/2015</b>	-	1.97	0.22
<b>11/05/2016</b>	2.5	-	-
<b>24/11/2016</b>	15	-	0.83
<b>21/02/2017</b>	-	-	0.05
<b>28/11/2017</b>	4.4	-	-
<b>20/02/2018</b>	8.2	-	-
<b>23/05/2018</b>	-	5.08	-
<b>27/11/2018</b>	15	-	-
<b>27/11/2019</b>	4.4	-	-
<b>21/02/2020</b>	0.1	-	-
<b>27/05/2020</b>	0.7	-	-
<b>02/02/2022</b>	2.5	-	-

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em resumo, os parâmetros com qualidades mais baixas ou em mais desacordo com o enquadramento são:

- Rio baixo Descoberto (Estação DE-1)  
IQA: CT, DBO, N total, P total e ST  
ICE: CT, OD, DBO, N amoniacal, P total
- Ribeirão Ponte Alta (Estação Ponte Alta)  
IQA: OD, CT, pH, Turbidez, ST  
ICE: CT e P total
- Rio Alagado (Estação Alagado)  
IQA: CT, N total, P total  
ICE: CT, P total
- Rio Alagado (Estação AL-1)  
IQA: CT, DBO, N total e P total  
ICE: CT, DBO, N amoniacal, P total
- Ribeirão Santa Maria (Estação Santa Maria)  
IQA: CT  
ICE: CT, N amoniacal, P total

Observando os parâmetros que influenciaram negativamente os valores de IQA e ICE em cada trecho de rio, apesar de ter uma alta coincidência, conclui-se que nem sempre os mesmos parâmetros causaram os mesmos efeitos nos resultados em se tratando dos níveis de qualidade no IQA e de conformidade no ICE. Além dos cálculos serem diferentes, as curvas de qualidade de cada parâmetro e os valores de referência da Resolução CONAMA 357/05 para o enquadramento das diferentes classes seguiram critérios diferentes de valoração do que seria um ambiente aquático saudável.

### 6.1 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DO BAIXO RIO DESCOBERTO

Pelo mapa de uso e ocupação do baixo rio Descoberto, há bastante vegetação nativa, mas também há pastagem a montante do ponto DE-1. Além disso, há também o lançamento dos efluentes da ETE Santo Antônio Descoberto e a chegada do afluente rio Melchior, receptor dos efluentes tratados das ETES Melchior e Samambaia. Essas atividades podem

explicar os problemas com Coliformes Termotolerantes, OD, DBO, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total e Sólidos Totais.

De acordo com a ANA (2011), as maiores cargas de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) ao longo de todo o rio eram observadas mais a jusante, no trecho mais próximo ao início do reservatório Corumbá IV, nas proximidades da estação de monitoramento DE-1. No braço do reservatório que se inicia próximo ao ponto de monitoramento DE-1, há registros de alta cobertura do espelho d'água por plantas aquáticas. Assim, o problema de qualidade vem sendo identificado há bastante tempo. Pelas imagens do Google Earth, é possível perceber a permanência da cobertura em imagens de maio de 2023.

Os parâmetros de OD e Sólidos Totais também receberam destaque no estudo da ANA. Os problemas nos dois foram associados ao lançamento de esgoto tratado, mas a presença exacerbada do último foi relacionada ao assoreamento do rio que ocorre na bacia. Naquele período de coleta (agosto de 2011) do estudo, o IQA resultou em um valor Regular e o resultado é comparável, pois utilizaram os mesmos intervalos, sendo o nível Regular definido pelo intervalo de valores entre 36-51.

No cálculo do IQA, o representante do nitrogênio analisado foi o parâmetro de Nitrogênio Total. Pelo cálculo do ICE, considerando os critérios do instrumento do enquadramento, a forma do nitrogênio que foi problemático foi a forma reduzida de Nitrogênio Amoniacal. Isso indica a possibilidade de lançamento próximo de esgoto sanitário.

## **6.2 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DO RIBEIRÃO PONTE ALTA**

Considerando os problemas mencionados no PGIRH (2012) e no PRH-Paranaíba-DF (2020), os parâmetros de Coliformes Termotolerantes e de Fósforo Total continuam sendo um desafio para o trecho do ribeirão Ponte Alta em questão. É necessário que haja estudos nos afluentes desse corpo d'água para compreender se ainda influenciam na qualidade das suas águas ou se há outras fontes de poluentes chegando ao rio principal.

Pelo mapa de uso e ocupação do solo, observa-se a influência de atividades de pastagem e, mais a montante, das áreas urbanas da bacia. É possível que as desconformidades e as baixas qualidades estejam associadas às fontes de poluição pontual, já que Coliformes Termotolerantes são provenientes de esgoto bruto de origem animal ou humano, ou

ineficientemente tratado. Fósforo Total também pode advir de esgoto, mas também de fontes de poluição difusa, como de fertilizantes e pesticidas usados na agricultura.

Outros parâmetros com problema, indicados pela Qualidade do parâmetro (qi) foram OD, pH, Turbidez e Sólidos Totais. Esses dois últimos tiveram uma maior frequência de baixa qualidade (aqui considerada menor que 50). Por terem ocorrido em meses de chuva, é possível que o problema tenha ocorrido pelo carreamento de sedimentos na bacia. Porém, esses parâmetros também podem se alterar com algum lançamento de outros poluentes nas proximidades, como o esgoto doméstico.

Os resultados de IQA publicados no SIRH do DF do ribeirão Ponte Alta no trecho monitorado pela Estação Ponte Alta são similares aos deste trabalho, pois foram utilizados os mesmos dados. O ICE já foi diferente, pois os resultados publicados são anuais e não referentes a intervalos móveis. Além disso, o grupo de parâmetros utilizado é outro, com a quantidade reduzida a apenas OD, Coliformes Termotolerantes, pH, DBO, Fósforo Total e Turbidez.

### **6.3 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DO RIO ALAGADO (ESTAÇÃO ALAGADO)**

Já em relação à água do trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado, as desconformidades de Coliformes Termotolerantes presentes nela indicam a continuidade do problema de se alinhar com os padrões determinados da Classe III, assim como evidenciou o PGIRH de 2012 e o PRH-Paranaíba-DF de 2020. É preciso considerar o impacto disso em usos permitidos à classe, como a dessedentação de animais.

As ETEs Alagado e Santa Maria possuem um único ponto de lançamento de efluentes, pois o efluente da última etapa de tratamento da ETE Santa Maria é transportado para o da ETE Alagado para que também receba um polimento final, o qual visa complementar o tratamento convencional de esgoto ao remover nutrientes, patógenos e outros. Dessa maneira, as ETEs deveriam evitar problemas com o parâmetro de Coliformes Termotolerantes.

Apesar disso, os dados desconformes não interferiram nos valores de IQA nem de ICE de forma a produzirem resultados desfavoráveis no trecho antes da congruência com o ribeirão Ponte Alta. É possível que as desconformidades não tenham afetado muito o ICE

especificamente, pois os aspectos de quantidade de parâmetros com ao menos uma desconformidade na série histórica, a frequência das desconformidades e a amplitude delas não foram tão significativos para a produção de um resultado desfavorável (Afastado e Não Conforme). Apesar disso, há espaço para melhora até 2030, meta considerada razoável pela CTPA do CRH-DF para ser o ano do prazo para cumprimento do enquadramento.

Os resultados de IQA publicados no SIRH do DF do rio Alagado no primeiro trecho são similares, pois foram utilizados dados da mesma estação de monitoramento. O ICE já foi diferente, pois os resultados publicados são anuais e não referentes a intervalos móveis. Além disso, o grupo de parâmetros utilizado é outro, com a quantidade reduzida a apenas OD, Coliformes Termotolerantes, DBO e Turbidez.

#### **6.4 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DO RIO ALAGADO (AL-1)**

Em se tratando ainda de Coliformes Termotolerantes, há uma melhora significativa ao longo do rio, a jusante do ponto de lançamento, comparando a proporção de 58% de desconformidade nas amostras da Estação Alagado (Classe III) com a de 6,6% das amostras desconformes do ponto AL-1, trecho enquadrado na Classe II, indicando que o rio possui uma capacidade biológica ou física de depurar esse componente.

Porém, no trecho do rio Alagado monitorado pelo ponto AL-1, há diversos casos de desconformidade de Nitrogênio Amoniacal (33%), principalmente em períodos da estação de estiagem. A presença da forma reduzida do nitrogênio indica que há possíveis descargas de esgoto que se encontram próximas do ponto de amostragem, já que essa forma está presente em esgotos de menor idade. Isso indica que há problemas locais no estado de Goiás, não necessariamente relacionados com a água que sai do DF.

Não foi encontrada outorga de direito de uso para lançamento de esgoto nesse trecho, apenas de captação para fins de aquicultura em tanque escavado. Conclui-se que é possível que haja lançamento clandestino de esgoto nas proximidades de AL-1, corroborado pelo fato de que por vezes a desconformidade de Nitrogênio Amoniacal coincide com a desconformidade de DBO ou Fósforo Total.

O ICE desse trecho alcançou níveis de “não conforme” por 3 intervalos móveis consecutivos, entre intervalos de 2020 e de 2021, com um resultado de Afastado antes e

um depois. Nesses períodos, há ocorrências de amplitude significativas de desconformidade para o Fósforo Total e DBO, e de altas frequências de desconformidade de Nitrogênio Amoniacal. Logo, é necessária a implementação de ações focando nesses aspectos para que se evite que isso aconteça novamente.

Pelo mapa de uso e cobertura do solo, observa-se que o rio Alagado é acompanhado pela atividade de pastagem ao longo da sua margem em boa parte da sua extensão. Essas atividades também podem contribuir para o aumento nas concentrações dos parâmetros do Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Amoniacal, DBO e Fósforo Total.

## **6.5 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DO RIBEIRÃO SANTA MARIA**

Pelo mapa de uso e ocupação do solo, a montante da Estação Santa Maria há influência de atividades como pastagem e da área urbanizada, o que pode explicar a baixa qualidade (qi) do parâmetro e as desconformidades de Coliformes Termotolerantes, pois é possível que haja o lançamento clandestino de esgoto sanitário bruto. Lembrando que também houve desconformidade com Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total em menores medidas.

Não há lançamento de esgoto tratado na área, pois os efluentes da ETE Santa Maria são transferidos para a ETE Alagado e lançados no rio Alagado após tratamento terciário. Foram verificadas as outorgas nas proximidades e há apenas de captação para abastecimento público a jusante da estação.

Apesar de os valores de IQA e de ICE resultarem em valores no geral favoráveis, nas áreas mais a jusante à estação de monitoramento, onde há uma ainda maior influência da área urbana, foram verificadas algumas condições ainda piores de parâmetros de qualidade da água, como de Nitrato, *E.coli*, Coliformes Totais (que pode ser associado ou não a bactérias fecais) acima do permitido à Classe II por meio de coletas em 2017. Isso reforça que é preciso aumentar a rede de monitoramento na bacia para que haja uma maior cobertura de dados (SEMRAU, 2017).

Os resultados de IQA publicados no SIRH do DF do ribeirão Santa Maria e os deste trabalho são similares, pois foram utilizados dados da mesma estação de monitoramento. O ICE já foi diferente, pois os resultados publicados são anuais e não referentes a

intervalos móveis. Além disso, o grupo de parâmetros utilizado é outro, com a quantidade reduzida a apenas OD, Coliformes Termotolerantes, DBO, Fósforo Total e Turbidez.

## **6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os rios que apresentaram os piores valores de IQA e ICE no período analisado foram o rio Descoberto e o ribeirão Ponte Alta. O baixo rio Descoberto tem como afluente o rio Melchior, que apresenta o enquadramento na Classe IV (até 2030) pela Resolução CRH/DF nº 02, de 17 de dezembro de 2014, e é a provável principal fonte de cargas de poluição. Já o ribeirão Ponte Alta possui um afluente também provável fonte poluidor, que é o ribeirão Vargem da Benção, que assim como rio Melchior, também possui um trecho enquadrado na Classe IV.

O trecho do rio Alagado no território de Goiás possuiu resultados desfavoráveis de ICE, associados principalmente aos desacordos em relação ao Nitrogênio Amoniacal (33%), indicando que há possíveis descargas de esgoto nas proximidades.

O ribeirão Santa Maria apresentou as melhores condições em todo o período analisado. Os resultados de IQA foram importantes para a compreensão geral da qualidade da água dos corpos d'água em questão. Porém, é preciso ter cuidado com os resultados favoráveis, pois não significam necessariamente que não há algo de errado com a qualidade da água em estudo.

Logo, continua sendo necessário avaliar em paralelo os dados dos parâmetros. Constatou-se que para os resultados de IQA produzirem valores desfavoráveis, é preciso que os “qi” sejam muito baixos (mais próximos de 0) e, além disso, se apresentarem geralmente de forma simultânea com outros parâmetros também com “qis” baixo.

Notadamente, nos resultados do IQA do trecho do rio Alagado monitorado pela Estação Alagado, a maioria foram valores favoráveis, o que mascarou que 85% das 33 amostras tiveram Coliformes Termotolerantes tinham qualidade (qi) baixa – abaixo de 50. Isso também ocorreu no ribeirão Santa Maria, em que 82% das amostras tiveram valores de qi baixos, apesar de os resultados de IQA estarem apenas no nível Boa e Ótima.

Também seria de interesse revisar os intervalos dos níveis de IQA. Um intervalo entre começando em 51 (51-79) pode ser um valor muito baixo, ou seja, é preciso ser mais exigente e considerar uma água de IQA Boa em valores mais altos. Além disso, o

intervalo é muito amplo, entre 51 e 79 há um range de 28 números, perdendo o potencial de caracterizar de forma mais detalhada a qualidade da água.

Ademais, percebeu-se diferenças nos critérios do que é se é considerado ambientalmente saudável, principalmente em se tratando de Coliformes Termotolerantes. Testando diferentes concentrações nas equações da sua curva de qualidade, observou-se que valores de 50 nmp/100mL refletem em valores baixos de “qi” (qualidade do parâmetro). Isso difere bastante nos níveis de CT permitidos nas várias classes do enquadramento, estipulados pela Resolução 357/05.

O ICE também foi importante para uma compreensão geral da conformidade ao enquadramento dos cursos hídricos. Contudo os valores desfavoráveis apenas aparecendo mais geralmente quando havia uma simultaneidade de alta frequência e “Variação” grande de desconformidade. Assim, também continua sendo importante avaliar, de acordo com os critérios do enquadramento, a parte as concentrações dos parâmetros durante a série histórica. Cada parâmetro tem a sua particularidade e, dependendo da concentração ou da carga, possui efeitos em vários níveis e devem receber atenção.

É preciso conferir as eficiências de remoção pelas ETEs presentes nas bacias dos parâmetros mais problemáticos. Além disso, em muitos pontos característicos não há registros de outorgas de direito de uso de recursos hídricos no SNIRH, então é preciso que haja fiscalização e cadastramento dos usos, principalmente de lançamento de efluentes.

Os resultados aqui poderão ser utilizados como subsídio para a revisão do Plano do Paranaíba, e em outros estudos, pois foi possível analisar a qualidade da água desses rios estratégicos para o DF e GO, de domínio da União por meio do IQA e o quando houve maiores frequências de conformidade ou desconformidade ao enquadramento desde a publicação da Resolução nº 1 de 2014 por meio do ICE.

Deve-se considerar também o aumento da população e planejar as medidas de saneamento que devem acompanhar esse comportamento. É preciso cumprir o enquadramento proposto, porque senão, a cada revisão as classes irão aumentar e a qualidade da água irá se deteriorar a cada vez mais.

## 7 CONCLUSÃO

Com os resultados de IQA e ICE e em conjunto com o mapa de uso e cobertura do solo principalmente, foi analisada a qualidade das águas e a implementação do enquadramento de corpos d'água do baixo rio Descoberto, ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e ribeirão Santa Maria, rios transfronteiriços entre da região sudoeste do Distrito Federal, afluentes aos reservatórios Corumbá III e Corumbá IV, em Goiás.

Com a ideia geral da qualidade da água que o IQA proporciona, com o nível de conformação ao enquadramento que o ICE proporciona e com a análise dos parâmetros que influenciaram em seus valores foi possível avaliar a evolução desses aspectos nos corpos d'água entre 2015 e 2022. Essas são informações que podem ser utilizadas na gestão das águas do baixo rio Descoberto, ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e ribeirão Santa Maria no DF e GO.

Destaca-se que, mesmo com o aumento das eficiências de remoção nos últimos anos das ETEs presentes na área de estudo, os parâmetros de Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Total e Fósforo Total ainda continuam sendo um problema na maioria das sub-bacias estudadas. Isso reforça que é preciso considerar também o lançamento clandestino de efluentes, inclusive dos afluentes dos rios principais. As ETEs operadas pela Caesb e pela Saneago precisam trabalhar com a eficiência máxima de remoção de nutrientes e patógenos.

É preciso que haja uma integração entre as unidades da federação em vistas à garantia dos múltiplos usos da água, principalmente a jusante das áreas urbanizadas tanto no DF quanto em GO. Além disso, é preciso que seja pactuado as melhores opções de enquadramento dos 4 rios estudados frente a importância da manutenção da qualidade das águas, especialmente para o uso de abastecimento dos municípios goianos e dos reservatórios situados a jusante.

O Comitê do Paranaíba terá um papel importante na manutenção da articulação entre este e os outros comitês de bacia da região, principalmente durante a atualização e revisão do Plano de Bacias Hidrográficas do Paranaíba (PRH – Paranaíba). Além disso, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos também deve participar dessa articulação e deliberar sobre as questões que forem encaminhadas, como a aprovação do enquadramento proposto novamente.

Para trabalhos futuros, o estudo de análise de tendências tem o potencial de indicar melhor o comportamento dos dados de qualidade a médio e longo prazo. Além disso, também seria interessante um estudo incluindo a análise dos valores de vazão para que haja uma maior compreensão dos efeitos das vazões na qualidade das águas. Ademais, uma conduta relevante recomendada também seria a de coleta de amostras para a análise de qualidade da água e das vazões para verificar o comportamento desses rios.

Para a revisão do Plano de Bacias Hidrográficas do Paranaíba (PBH- Paranaíba), recomenda-se a análise da escolha de pelo menos os parâmetros aqui citados como os mais críticos, principalmente Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes. Além disso, são necessários estudos contínuos dos focos das fontes poluidoras pontuais e difusas.

Também se chama a atenção dos órgãos gestores para a fiscalização da falta de outorgas de direito de uso da água, a regularização dos usuários da água, principalmente em se tratando de lançamento de esgoto, o aumento da frequência de monitoramento da qualidade da água pelos órgãos competentes e da rede de monitoramento, o manejo de poluição difusa urbana e rural, e a para o planejamento urbano em conjunto com a expansão de infraestrutura de saneamento básico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABHA. ABHA Gestão de Águas, 2023. Disponível em: <<https://www.agenciaabha.com.br/doc/2025/ato-convocatorio-abha/pn-n%EF%BF%BD-005/2023-atualizacao-do-pirh-paranaiba-e-elaboracao-de-proposta-de-enquadramento-para-a-bacia-hidrografica-do-rio-paranaiba.html>>. Acesso em: Setembro 2023.

ANA. **Enquadramento dos corpos d'água em classes**. Brasília, p 60. 2020a.

ANA. **Atlas Esgotos: Atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil**. ANA (Agência Nacional de Águas). Brasília - DF, p. 47. 2020b.

ANA; ENAP, 2022. Disponível em: <<https://www.escolavirtual.gov.br/curso/822>>. Acesso em: dezembro 2022.

Adasa. (2012). **PGIRH/DF (Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal)**. Adasa, Brasília.

Adasa. (2020). **Elaboração do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Distritais do Rio Paranaíba**. Relatório final.

BELO, I. C. B. et al. Microplásticos, seus Impactos no Ambiente e Maneiras Biodegradáveis de Substituição. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, 31 Agosto 2021. 15.

BITENCOURT, C.; FERNANDES, C. V. S.; GALLEGO, C. E. Panorama do enquadramento no Brasil: Uma reflexão crítica. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 2019.

BRASIL. Lei n. 9.433, 8 janeiro 1997.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 357, 17 março 2005.

BRASIL. Resolução CNRH n. 91, 5 novembro 2008.

BRASIL. Resolução CNRH n. 48, de 21 de março de 2005. **Critérios gerais para a cobrança pelo uso de recursos hídricos nas bacias hidrográficas.**, Brasília, 21 março 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA no 430, de 13 de maio de 2011. **Dispões sobre as condições e padrões de lanlamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005**, Brasília, 13 Maio 2011.

BRASIL. Decreto n 10.000, de 3 de setembro de 2019. **Dispõe sobre o Conselho Nacional de Recursos Hídricos**, Brasília, 3 setembro 2019.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh/orgaos-gestores/lista-de-orgaos-gestores-estaduais>>. Acesso em: Julho 2023.

BRITES, A. P. Z. **Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica**. Escola Politécnica, USP. São Paulo. 2010.

BRITES, C. R. *et al.* **Autodepuração de esgotos domésticos tratados em cursos d'águas de altiplano**. 30o Congresso the f ABES. 2019.

BROWN, R. *et al.* **A water quality index-do we dare?** National Sanitation Foundation (NSF). Ann Arbor, p. 5. 1970.

CARNEIRO, F. M. F. *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**, Recife, 2020. 12.

CARVALHO, F. L. D. A água como um fator polemológico. **Coleção Meira Mattos**, Rio de Janeiro, Outubro 2020. 105/129.

CBH PARANAÍBA. **Boletim Informativo nº 80**, 2022. Disponível em: <<https://cbhparanaiba.org.br/comunicacao/informativos>>. Acesso em: Agosto 2023.

CBH PARANAÍBA. **Boletim Informativo no 80**, 2022. Disponível em: <<https://cbhparanaiba.org.br/comunicacao/informativos>>. Acesso em: Agosto 2023.

CBH SÃO FRANCISCO. **Resumo Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025**. Maceió - AL, p. 327. 2016.

CCME. (2017). **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. CCM Water Quality Index User's Manual 2017 Update**.

CETESB. **Monitoramento de Escherichia coli e coliformes termotolerantes em pontos da rede de avaliação da qualidade de águas interiores do Estado de São Paulo**. Diretoria de Tecnologia, Qualidade e Avaliação Ambiental. Departamento de Análises Ambientais. CETESB. São Paulo, p. 22. 2008.

CETESB. **Apêndice E. Índices de Qualidade das Águas, Critérios de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos e Indicador de Controle de Fontes**. São Paulo, p. 36. 2021.

Chin, D. (2013). **Water-Quality Engineering in Natural Systems. Fate and Transport Processes in the Water Environment.** (2a ed.). New Jersey: WILEY.

CODEPLAN. **Um Panorama das Águas no Distrito Federal.** Companhia de Planejamento do Distrito Federal - CODEPLAN. Brasília - DF, p. 31. 2020.

DISTRITO FEDERAL. **Governo do Distrito Federal,** 2022. Disponível em: <<https://www.df.gov.br/333/>>. Acesso em: Setembro 2023.

COSTA, D., ASSUMPÇÃO, R., *et al.* **Dos instrumentos de gestão de recursos hídricos - o Enquadramento - como ferramenta para reabilitação de rios.** Saúde Debate, 43, dezembro 2019.

COSTA, M.; CONEJO, J. G. A implementação do enquadramento dos corpos d'água em bacias hidrográficas: conceitos e procedimentos. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,** 2009.

COSTA, M. **A regulação dos recursos hídricos e a gestão da água: o caso da bacia do rio São Francisco.** Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 187. 2005.

COSTA, M.; DE OLIVEIRA, R.; DE SOUZA, M. L. Análise da tendência do índice de qualidade das águas na região hidrográfica do Paraná no período 2000-2009. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,** 2011.

DISTRITO FEDERAL. (2014a). Resolução no 01, de 22 de outubro de 2014. *Dispões sobre a proposta de enquadramento de cursos d'água de domínio da União no Distrito Federal originada no Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba - CBH Paranaíba,* p. 1.

DISTRITO FEDERAL. (2014b). Resolução no 02, de 17 de dezembro de 2014. *Aprova o enquadramento dos corpos de água superficiais do Distrito Federal em classes, segundo os usos preponderantes, e dá encaminhamentos,* p. 7.

DISTRITO FEDERAL. **Governo do Distrito Federal,** 2022. Disponível em: <<https://www.df.gov.br/333/>>. Acesso em: Setembro 2023.

ENGEORPS ENGENHARIA S.A. **PP06 - Proposta de Enquadramento e Programa de Efetivação da Bacia do Rio Doce. Tomo I – Texto,** p. 336. 2023.

FERNANDES, F. D. M.; COLLARES, G. L.; CORTELETTI, R. A água como elemento de integração transfronteiriça: o caso da Bacia Hidrográfica Mirim- São Gonçalo. **Estudos Avançados** 35, 2021. 20.

FERREIRA, I. **Geoprocessamento na gestão de recursos hídricos: a análise espacial na proposta de enquadramento dos corpos de água**. Monografia (Monografia em Especialização em Geoprocessamento) - UFMG. Belo Horizonte, p. 59. 2011.

FIELD, B. C.; FIELD, M. **Introdução À Economia do Meio Ambiente**. Amgh Editora, 2014.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7a. ed. 2014.

IGAM. **Resumo Executivo Anual. Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais em Minas Gerais**. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte, p. 327. 2019.

LOPES, O. F. et al. Comparison between water quality indices in watersheds of the Southern Bahia (Brazil) with different land use. **Environmental Science and Pollution Research**, Outubro 2020. 16.

MACHADO, E. S.; KNAPIK, H. G.; BITENCOURT, C. D. C. A. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. **Eng Sanit Ambient**, Mar/Abr 2019. 9.

MAGALHÃES MENEZES, J. et al. Índices de qualidade da água no Brasil: uma avaliação crítica. **Workshop internacional sobre planejamento e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas**, Uberlândia, 2017. 312-316.

OLIVEIRA, K. L. D. et al. Water quality index and spatio-temporal perspective of a large Brazilian water reservoir. **Water Supply**, London, UK, Maio 2021.

ONU. **Transforming our world: the 2023 Agenda for Sustainable Development**. Organização das Nações Unidas. [S.l.], p. 35. 2015.

PASSOS, A. L. L.; MUNIZ, D. H. D. F.; OLIVEIRA FILHO, E. C. Critérios para Avaliação da Qualidade de Água no Brasil: Um Questionamento sobre os Parâmetros Utilizados. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**, Mai-Ago 2018. 14.

PIVELI, R.; KATO, M. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo. 2006.

PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paranapanema**. ANA. p. 335. 2016.

PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE S.A. **Produto Parcial 04-2: Diretrizes para os Instrumentos de Gestão**. AGEVAP. p. 282. 2019.

RIBEIRO, N. U. F. et al. **Qualidade da água do rio Paraná em região de balneabilidade: discussão sobre os impactos potenciais do lançamento de efluentes provenientes de tratamento secundário**. Eng Sanit Ambient. p. 11. 2020.

RIBEIRO, P. E. A. M.; HORA, M. D. A. G. M. D. Perspectiva dos 20 anos da Lei no 9.433/97: Percepções os Comitês de Bacia Hidrográfica e dos Órgãos Gestores de Recursos Hídricos acerca do Enquadramento de Corpos d'Água. **Demandas Essenciais para o Avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental 4**, 2020. 11.

RIZZO, F. A. et al. Índice de Qualidade da Água e do Estado Trófico da bacia hidrográfica do córrego Pequiá - MA. **Geoambiente On-line**, Jataí-GO, Maio-Agos 2022. 26.

ROCHA, H. M. et al. Avaliação físico-química e microbiológica das águas da bacia hidrográfica do rio Paraíso Jataí-GO. **Geosul**, Florianópolis, 24 Mai-Ago 2019.

RODRIGUES GOMES, M. H.; PEREIRA, R. Estimativa final da produção de lodo em estação de tratamento de água. **XI Simpósio de recursos hídricos do Nordeste**, João Pessoa, 2012.

SANTOS DE SOUSA, D.; FELIZATTO, M. Análise de tendência de ICE (WQI) modificado em corpos receptores - Estudo de caso no DF. **Silubesa**, Porto, 2018.

SANTOS DE SOUSA, D. et al. Utilização de índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) Modificado na Avaliação de Propostas de Alteração de Enquadramento de Corpos Receptores (Estudo de Caso). **30º CONGRESSO ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, Natal, p. 7, 2019.

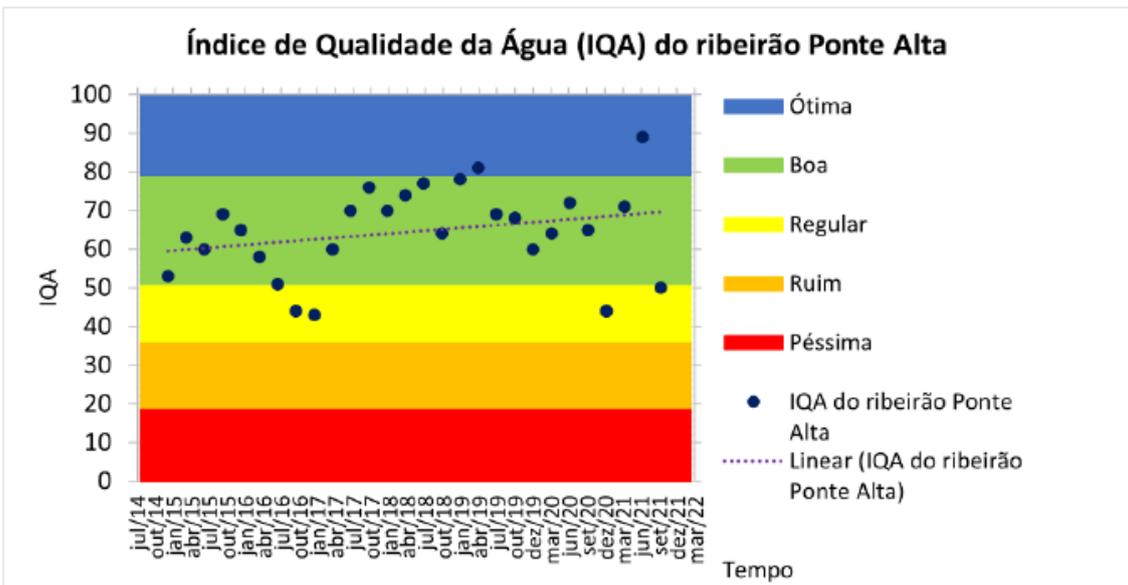
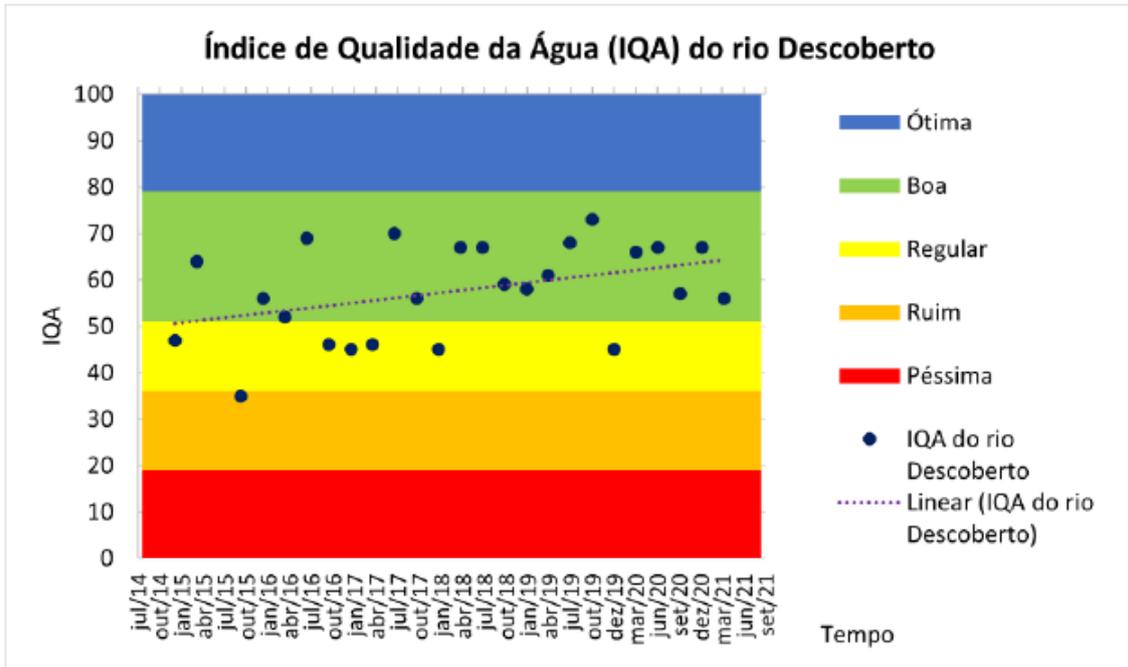
SEMRAU, C. **Monitoramento da Qualidade da Água com o Enfoque Ciência Cidadã, Estudo de Caso no Ribeirão Santa Maria, Novo Gama/GO**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 106. 2017.

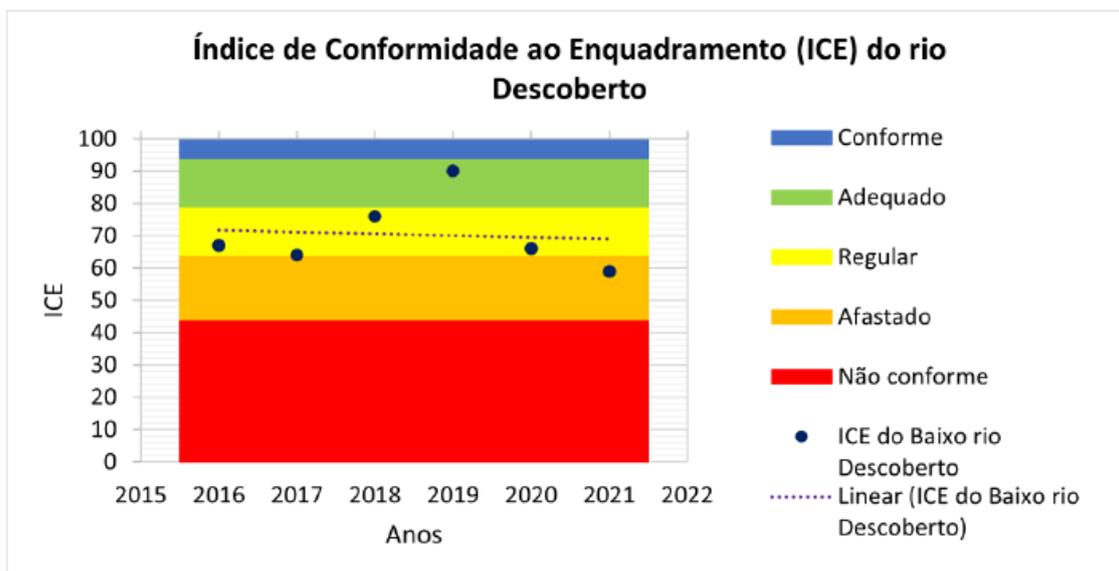
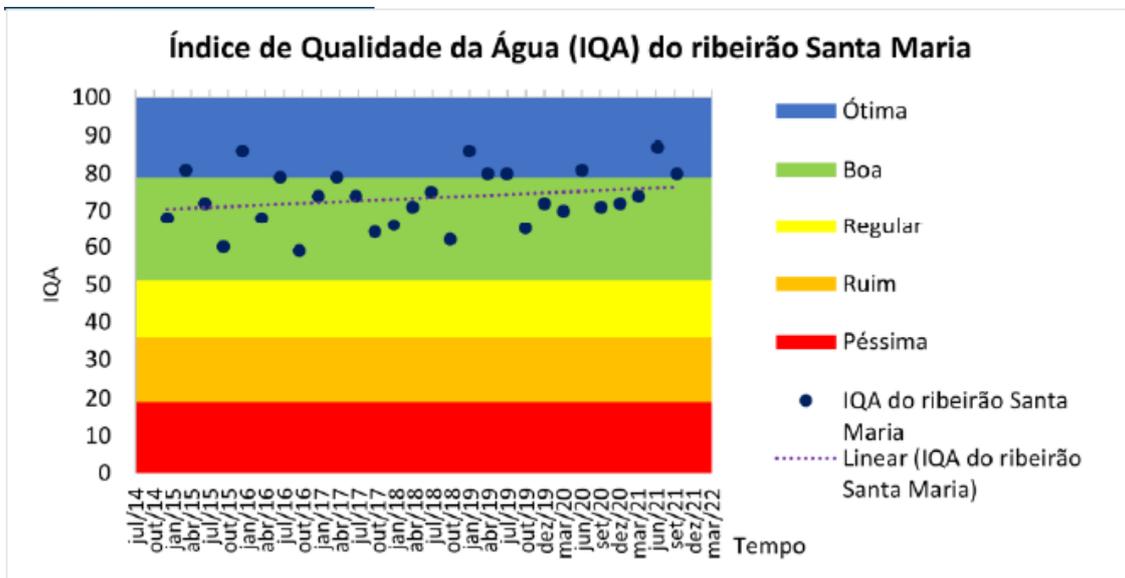
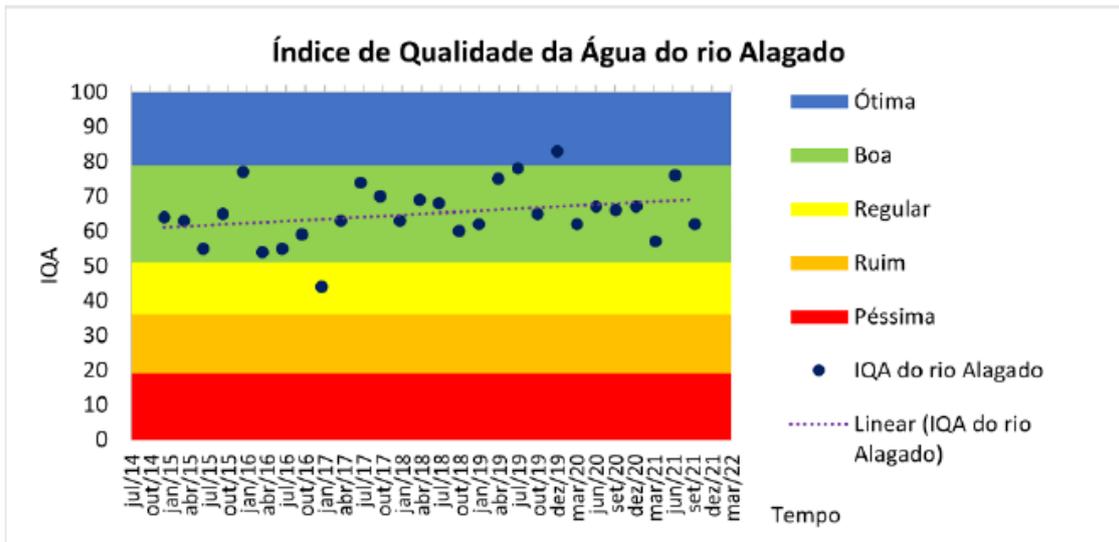
SILVA, L. M.; MONTEIRO, R. **Outorga de direito de usos de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens**. Gestão de águas doces, Rio de Janeiro, 2004.

- SILVA, N.; ALBUQUERQUE, T. Enquadramento de Corpos de Água: Um Instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos. **Geoambiente on-line**, Jataí, dezembro 2018. 13.
- SIVA, L. P. **Hidrologia: engenharia e meio ambiente**. 1<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- SOUSA, D. S. D. et al. Utilização de Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) Modificado na Avaliação de Propostas de Alteração de Enquadramento de Corpos Receptores (Estudo de caso). **30 Congresso ABES 2019**, 2019. 7.
- SOUZA MACHADO, E.; GARCIA KNAPIL, H.; DE CARVALHO ALMEIDA DE BITENCOURT, C. Considerações sobre o Processo de Enquadramento de Corpos de Água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Curitiba, 24, abril 2019. 261-269.
- SOUZA, V. A. A. D.; PIZELLA, D. G. The Brazilian surface freshwater framework in union-dominated rivers: challenges and prospects for water quality management. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Mar 2021. 15.
- SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**.
- STEINKE, V. A.; SAITO, C. Avaliação Geoambiental do Território Brasileiro nas Bacias Hidrográficas Transfronteiriças. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, SP, 6, 12 Dezembro 2010. 189-222.
- SUTADIAN, A. D. et al. Development of river water quality indices - a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, Melbourne, 28 dezembro 2015. 29.
- TRATA BRASIL. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/conheca-os-indicadores-de-saneamento-basico-da-capital-federal-do-brasil/>>. Acesso em: 5 Dezembro 2022.
- USBERCO, J.; SALVADOR, E. **Química, volume 2: físico-química**. 12<sup>a</sup>. ed. São Paulo. 2011.

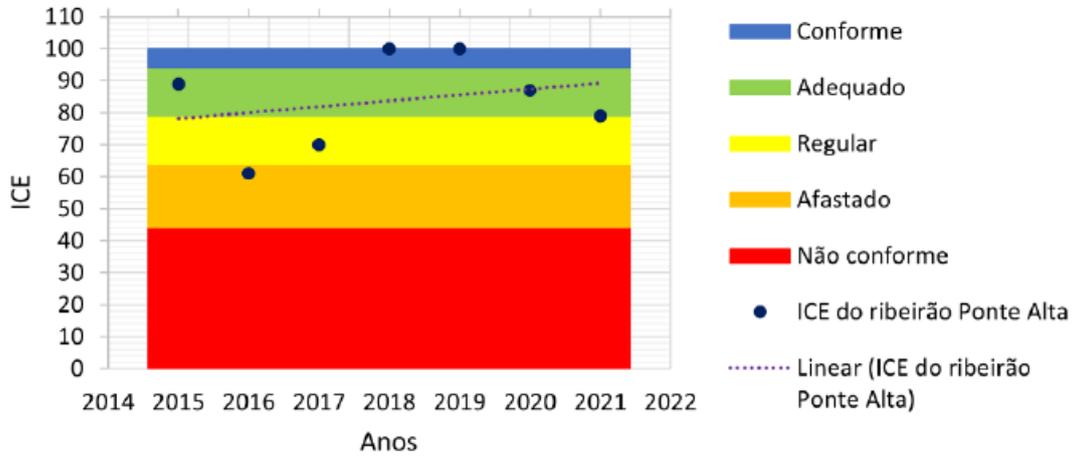
## ANEXO I

### IQA E ICE PUBLICADOS PELA ADASA (SIRH-DF)

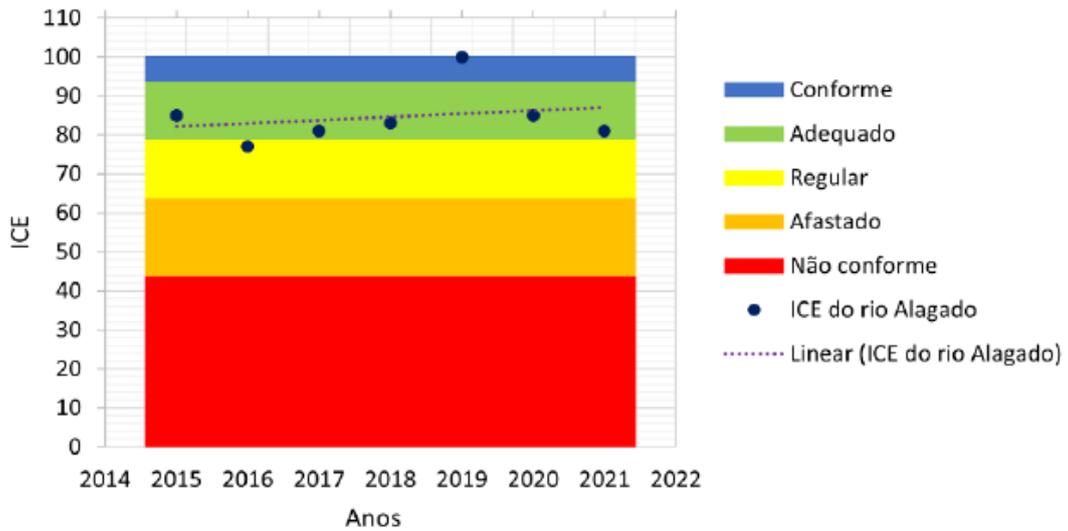




### Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) do ribeirão Ponte Alta



### Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) do rio Alagado



### Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) do ribeirão Santa Maria

