

## AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM CURSOS D'ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA A PARTIR DA ANÁLISE DO IQA E DO ICE

Roberta Carina da Silva **Rodrigues**<sup>1</sup>, Ricardo Tezini **Minoti**<sup>2</sup>, Conceição de Maria Albuquerque **Alves**<sup>3</sup>

(1 – Universidade de Brasília, [roberta.carina@gmail.com](mailto:roberta.carina@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8554-5939>; 2 – Universidade de Brasília, [rtminoti@gmail.com](mailto:rtminoti@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9193-843X>; 3 – Universidade de Brasília, [cmaalves@gmail.com](mailto:cmaalves@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6553-1561>)

**Resumo:** Os rios Descoberto, Ponte Alta, Alagado e Santa Maria são estratégicos para o Distrito Federal (DF) e Goiás (GO), devido à sua importância na depuração de efluentes de estações de tratamento de esgotos e por afluírem aos reservatórios Corumbá IV e Corumbá III, sendo o primeiro um importante manancial de abastecimento urbano de água para o DF e GO, desde 2022. O presente trabalho analisou a evolução da qualidade da água nesses rios a partir da análise do Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), conforme a Resolução CRH-DF nº 01/2014. Os resultados do IQA indicaram melhorias e níveis positivos de qualidade, exceto para o rio Descoberto, que alcançou o nível “Ruim” entre 2017 e 2018. O ICE dos rios Descoberto e Ponte Alta alcançaram o valor “Afastado”, indicando o distanciamento da qualidade almejada. Os parâmetros Coliformes Termotolerantes e Fósforo Total apresentaram valores problemáticos em todos os corpos d’água. Os resultados demonstram a necessidade de ações nas gestões distrital, estadual e federal, para melhoria da qualidade da água e o alcance das metas de enquadramento até 2030, frente ao desafio de expansão urbana e populacional nas respectivas bacias hidrográficas.

**Palavras-chave:** Rios de domínio da União, Índice de Qualidade da Água, Índice de Conformidade ao Enquadramento.

## ASSESSMENT OF THE QUALITY OF SURFACE WATER IN BODIES OF WATER IN THE RIO PARANAÍBA BASIN BASED ON IQA AND ICE ANALYSIS

**Abstract:** The Descoberto, Ponte Alta, Alagado and Santa Maria rivers are strategic for the Federal District (DF) and the state of Goiás (GO), due to their importance in purifying effluents from sewage treatment plants and because they flow into the Corumbá IV and Corumbá III reservoirs, the first being an important source of urban water supply for DF and GO, since 2022. The present work analyzed the evolution of water quality in these rivers based on an analysis of the Water Quality Index (WQI) and Framework Compliance Index (ICE) in accordance with Resolution CRH-DF no. 01/2014. The IQA results indicated improvements and positive levels of quality, except for the Descoberto river, which reached the “Poor” level between 2017 and 2018. The ICE of the Descoberto and Ponte Alta rivers reached the “Distant” value, indicating the distance from the desired quality. The Thermotolerant Coliform and Total Phosphorus parameters presented problematic values for all water bodies. The results demonstrate the need for actions in district, state, and federal management to improve water quality and achieve framework goals by 2030 in the face of the challenge of urban and population expansion in the respective river basins.

**Keywords:** Federal domain rivers, Water Quality Index, Conforming to Framing Index.

## **L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DE SURFACE DANS LES MASSES D'EAU DANS LE BASSIN VERSANT DU RIO PARANAÍBA À PARTIR DE L'ANALYSE DE L'IQA ET DE L'ICE**

**Resumé :** Les rivières Descoberto, Ponte Alta, Alagado et Santa Maria sont stratégiques pour le District Fédéral (DF) et l'état de Goiás (GO) au Brésil, en raison de leur importance pour la purification d'effluents de stations d'épurations des eaux usées et parce qu'elles sont affluentes des réservoirs Corumbá IV et Corumbá III, le premier étant une source d'eau urbaine importante pour le DF et GO, depuis 2022. Cette étude a analysé l'évolution de la qualité de l'eau de ces rivières à partir de l'analyse de l'Indice de Qualité des Eaux (IQE) et l'Indice de Conformité à l'Encadrement (ICE) selon la Résolution CRH-DF n° 01 de 2014. Les résultats de l'IQA ont indiqué des améliorations et ont atteint des niveaux positifs de qualité, à l'exception de la rivière Descoberto, qui a atteint le niveau « Mauvais » entre 2017 et 2018. L'ICE des rivières Descoberto et Ponte Alta ont atteint la valeur « Loin », ce qui indique le décalage de la qualité désirée. Les paramètres Coliformes Thermotolérants et Phosphore Total ont présenté des valeurs problématiques dans toutes les masses d'eau. Les résultats démontrent la nécessité

d'actions de la gestion aux niveaux du district, des états et fédéral pour améliorer la qualité de l'eau de ces rivières et atteindre les objectifs de l'encadrement d'ici 2030, face à l'étalement urbain et de la population dans ces bassins versants.

**Mots-clés:** Rivières domaniales au niveau fédéral, Indice de Qualité de l'Eau, Indice de Conformité à l'Encadrement.

## Introdução

O enquadramento é um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos de planejamento de qualidade da água e visa à classificação de corpos d'água, de acordo com os seus usos preponderantes e a implementação de ações preventivas à poluição hídrica (BRASIL, 1997). A sua efetiva implementação permite a manutenção ou a reabilitação da qualidade dos corpos d'água (COSTA *et al.*, 2019). Mas a implementação desse instrumento pode se tornar uma tarefa de maior complexidade em bacias hidrográficas que apresentam rios de domínio estadual ou distrital, juntamente com rios de domínio da União e corpos hídricos com níveis diferenciados relacionados à implementação do enquadramento.

Para a viabilidade na implementação desse instrumento, torna-se fundamental ampliar a articulação entre as entidades participantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) em nível estadual ou distrital e nacional, especialmente em relação às condições de qualidade da água de rios de domínio estadual/distrital que deságuam em rios de domínio da União, como ocorre em bacias interestaduais e transfronteiriças (ANA, 2019).

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 também 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 *et al.*, 2021)

As mesmas dificuldades identificadas em rios transfronteiriços ocorrem em cursos d'água que cruzam as diferentes unidades da Federação. Apesar de o Brasil contar com a organização de 10 Comitês de Bacias Hidrográficas interestaduais, apenas três apresentam definição de enquadramento de seus corpos hídricos. Ainda assim, esses enquadramentos estão defasados, visto que se baseiam em normativas que estão revogadas (ANA, 2019).

Os desafios para a implementação do enquadramento em bacias hidrográficas brasileiras abrangem questões como a falta de monitoramento quanti-qualitativo das águas, baixa cobertura da rede de monitoramento, baixa frequência amostral dos parâmetros, desatualização dos dados, escolha de grupo incompleto de parâmetros analisados, dentre outros (ANA, 2019). O Brasil também tem enfrentado dificuldades na efetivação do enquadramento por causa dos altos custos do monitoramento, das dificuldades na análise dos dados e pela baixa remoção de cargas nas bacias (Machado *et al.*, 2019).

O Distrito Federal é uma das Unidades da Federação que possui o enquadramento em classes dos corpos d'água definido pela Resolução CRH/DF nº 02, de 17 de dezembro de 2014, e tem como meta a sua implementação até 2030 (CRH/DF, 2014). Já no seu entorno, no estado de Goiás, apesar de ainda não haver a aprovação desse instrumento, existem propostas de enquadramento publicadas nos Planos de Bacias Afluentes do Paranaíba do Estado de Goiás (PBAPGO) (SEMAD, 2021).

A região sudoeste do Distrito Federal, que apresenta fronteira com Goiás, apresenta quatro bacias hidrográficas com rios de domínio da União que estão inseridos na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Estes quatro corpos hídricos, rio Descoberto, ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e do ribeirão Santa Maria, são de grande relevância para a gestão de recursos hídricos na porção sudoeste do DF e parte de Goiás. Nessas bacias hidrográficas, as cargas de poluição da água aportadas nos corpos hídricos provenientes dos lançamentos de efluentes domésticos tratados e, provavelmente, dos esgotos combinados com águas pluviais, lançados de forma irregular em áreas urbanas, são uma ameaça à qualidade de suas águas.

A Lei das Águas, estabelecida pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, também estabeleceu outro instrumento para contribuir com o gerenciamento da qualidade das águas, o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, que compreende o levantamento de dados sobre a situação dos corpos hídricos, incluindo o estabelecimento de estações de monitoramento de qualidade da água, atividade que é replicada nos estados e no Distrito Federal.

A partir da complexidade para a implementação do enquadramento e o controle da qualidade da água em bacias hidrográficas que apresentam rios de domínio da União e rios estaduais ou distritais, buscou-se compreender a situação da qualidade das águas de quatro cursos d'água interestaduais situados na região sudoeste do Distrito Federal e região leste de Goiás, na bacia hidrográfica do rio Corumbá, uma das bacias afluentes ao rio Paranaíba. A

análise foi baseada nos dados disponíveis monitorados pela Adasa (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal) e pela Corumbá Concessões, entre 2015 e 2023.

Destaca-se que, concomitantemente à realização desta pesquisa, encontra-se em desenvolvimento o processo de revisão do Plano de Recursos Hídricos e Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (PRH Paranaíba) e de concepção do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (Pirh Paranaíba), em desenvolvimento no âmbito do CBH Paranaíba (Comitê de Integração), com estudos iniciados em 2022 e com término previsto para 2024.

Com base nessas premissas, o presente estudo propõe avaliar a evolução da qualidade das águas e a conformidade ao enquadramento de quatro rios transfronteiriços (DF e GO) a partir dos dados de qualidade de água monitorados pela Adasa e Corumbá Concessões entre 2015 e 2023, dos cursos d'água que afluem aos reservatórios de Corumbá III e Corumbá IV, no estado de Goiás. A partir dessa avaliação, analisar as dificuldades no controle da qualidade da água frente aos diferentes territórios de gestão e propor medidas para o aprimoramento da gestão da qualidade da água em bacias transfronteiriças brasileiras.

## 2 Materiais e Métodos

### *Área de estudo*

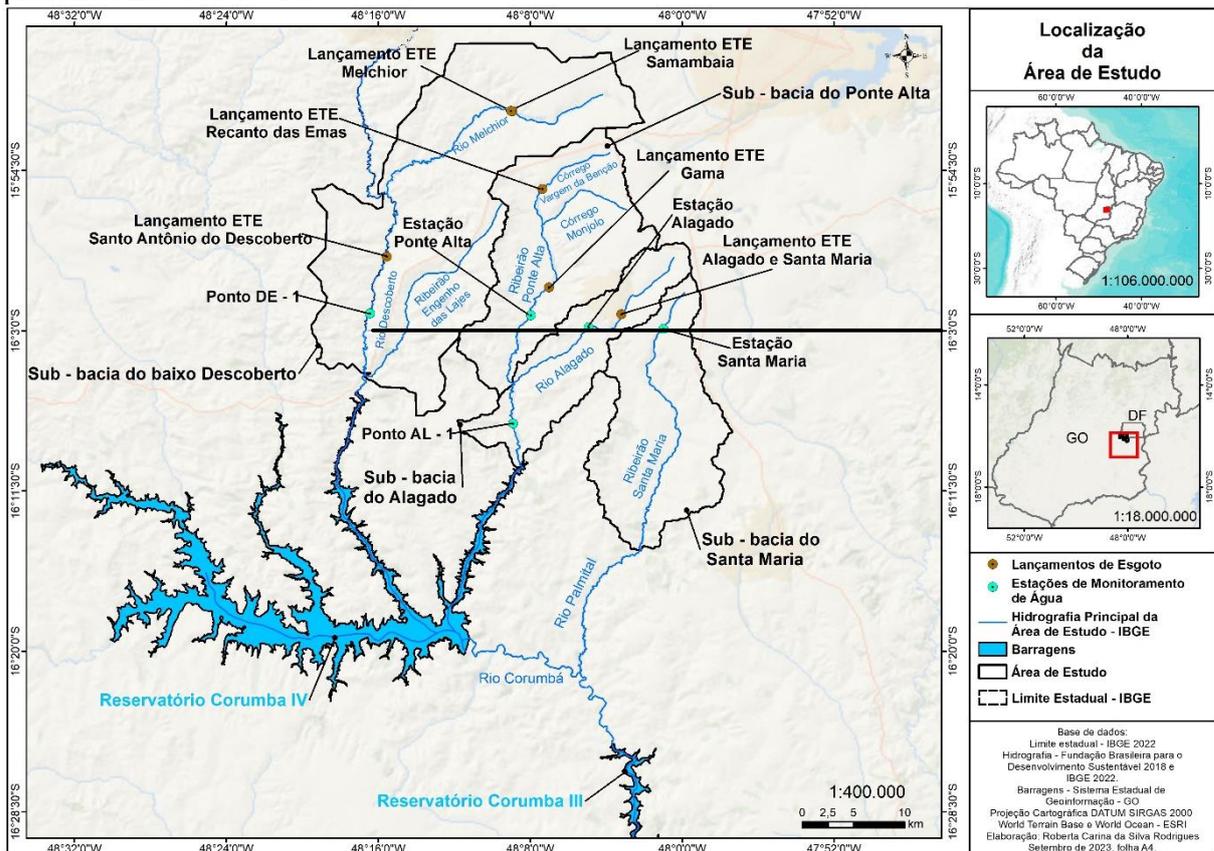
O rio Descoberto, o ribeirão Ponte Alta e o rio Alagado desaguam no reservatório Corumbá IV, usina hidrelétrica inaugurada em 2006 e que a partir de 2022 passou a ser o novo manancial de abastecimento de água para parte do Distrito Federal e alguns municípios de Goiás. O ribeirão Santa Maria é afluente ao reservatório de Corumbá III, usina hidrelétrica inaugurada no ano de 2003. Cabe destacar que esses são rios pertencentes à bacia interestadual do rio Paranaíba.

A área de estudo está contida, em parte, no DF, compreendendo várias regiões administrativas (RAs) distritais, e em municípios de Goiás. As áreas urbanas das RAs do DF, como Samambaia, Recanto das Emas, Gama e Santa Maria, e os municípios de Santo Antônio do Descoberto (GO), Novo Gama (GO) e Valparaíso de Goiás (GO), que fazem parte da área de estudo, vêm se expandindo rapidamente ao longo dos últimos anos.

Além disso, a região também apresenta indícios de aceleração da atividade agrícola do tipo extensivo e intensivo, podendo acarretar a intensificação dos problemas da chegada de cargas de poluentes nos rios. Ambas as tendências intensificam a possibilidade de poluição difusa alcançar os rios na área das bacias estudadas. Destaca-se a falta de informações quanto aos efeitos das fontes de poluição difusa, principalmente em relação às atividades agropecuárias, na bacia do rio Paranaíba (SOUZA & PIZELLA, 2020).

O mapa da localização dos corpos d'água contendo as estações de monitoramento da qualidade da água e os pontos de lançamento de esgotos tratados é apresentado na Figura 1.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo. Corpos d'água: rio Alagado, ribeirão Ponte lata, rio Alagado e ribeirão Santa Maria, Corumbá IV e Corumbá III. Estações de monitoramento de qualidade da água. Pontos de lançamento de esgoto tratado das ETES presentes nas sub-bacias.



As ETES com lançamentos presentes nos rios em estudo com dados disponíveis, que podem interferir na qualidade das suas águas, e as suas características estão especificadas na Tabela 1.

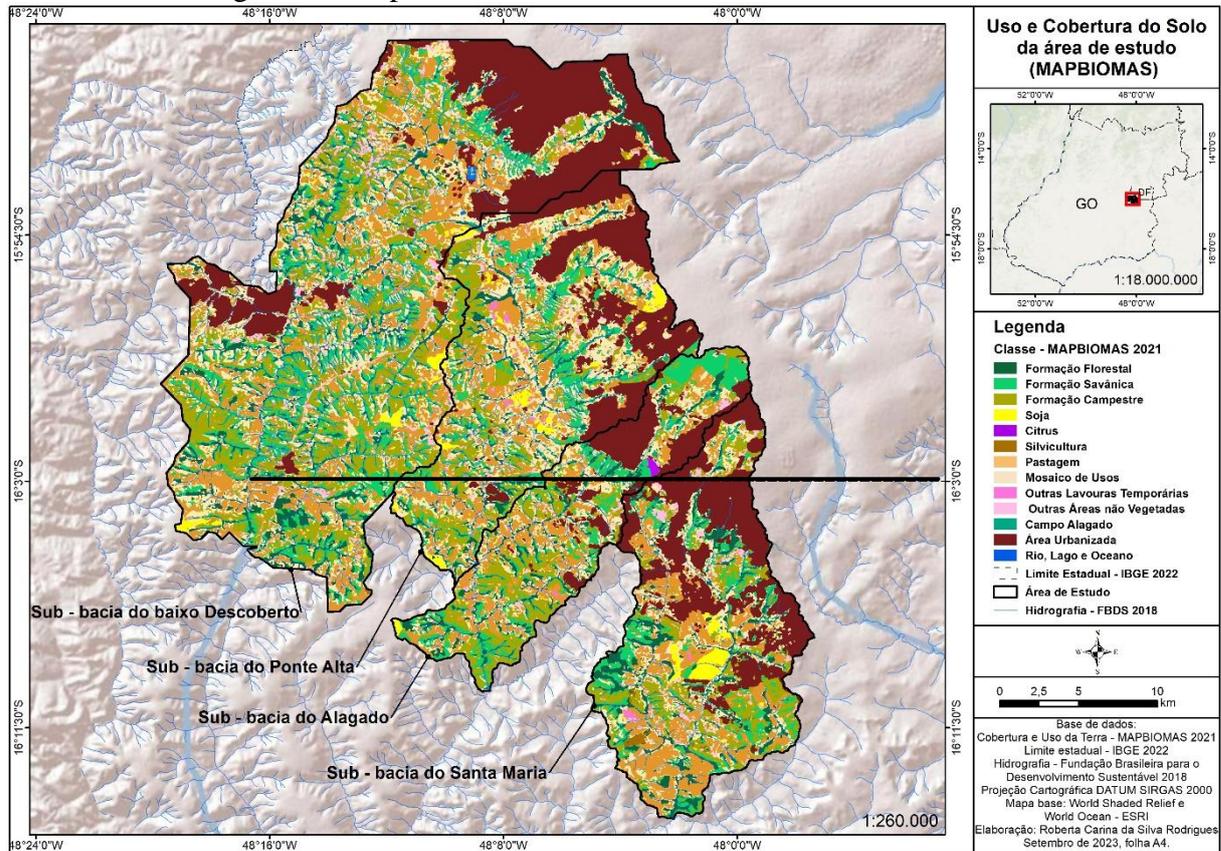
Tabela 1– Estações de tratamento localizados nos rios da área de estudo com dados disponíveis, os municípios e RAs atendidos por essas ETEs, os corpos receptores dos seus efluentes tratados, os operadores de cada ETE e os níveis de tratamento de esgoto.

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

Para a melhor compreensão das possíveis fontes de poluição dos recursos hídricos, foi elaborado o mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo utilizando os dados do Mapbiomas, coleção 8 de 2021, visto que os corpos d'água podem sofrer impactos de acordo com as alterações antrópicas nos usos do solo (SOUZA *et al.*, 2023).

Com as informações de uso e cobertura do solo, apresentadas na Figura 2, 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 2 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo da área de estudo.



Fonte: Mapbiomas (2021).

### *Levantamento de dados*

Com o propósito de analisar a qualidade da água das bacias hidrográficas transfronteiriças inseridas no presente estudo, 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, foi calculado o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE).

Como referência de enquadramento dos rios em questão, tomou-se as sugestões que o Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal – CRH-DF dadas ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba – CBH Paranaíba (Federal) e ao CNRH de modificações à proposta de enquadramento apresentada anteriormente no PRH Paranaíba (CRH/DF, 2014). Para cada trecho, o enquadramento ficou da maneira apresentada na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Enquadramento em classes dos trechos dos corpos d’água da área de estudo proposto pela Resolução CRH nº 01, de 22 de outubro de 2014.

Trechos de rios onde se localizam as estações de monitoramento	Enquadramento em classes recomendado 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) Da confluência entre o ribeirão Ponte Alta e o rio Alagado e o braço do reservatório Corumbá IV.

Os dados avaliados no estudo são procedentes das estações de monitoramento da qualidade da água superficial situadas nas saídas do DF e das estações existentes nos trechos a jusante das bacias hidrográficas, logo a montante dos reservatórios, no território de Goiás. Os dados analisados do baixo rio Descoberto e do trecho 2 do rio Alagado foram disponibilizados pela Corumbá Concessões e possuem frequência trimestral de monitoramento. Já os dados do ribeirão Ponte Alta, do trecho 1 do rio Alagado e do ribeirão Santa Maria foram disponibilizados pela Adasa e possuem parâmetros com frequência trimestral ou semestral de amostragem.

### *Índice de Qualidade da Água (IQA)*

Dentre vários índices de qualidade da água disponíveis, o IQA utilizado nesta análise foi desenvolvido pela Fundação Nacional de Saneamento (*National Sanitation Foundation - NSF*) dos Estados Unidos da América (EUA). O índice foi resultado do trabalho de mais de 100 especialistas estadunidenses, a fim de obter curvas de qualidade da água em função das medições dos parâmetros que julgaram ser mais importantes (**BROWN et al.**, 1970).

No Brasil, é comum utilizar-se versão final do IQA da NSF, o produtório apresentado pela Equação 1:

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

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 considerados no cálculo.

O cálculo consiste no produtório da qualidade dos parâmetros (em função da concentração) elevado ao peso correspondente de cada um. São considerados pesos diferentes de acordo com a sua relevância na qualidade da água.

No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) realizou algumas adaptações ao grupo original de parâmetros, determinando nove parâmetros para o cálculo de IQA: 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. 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 *et al.*, 2018). Contudo, como o IQA é particularmente sensível à presença de esgoto na água bruta, o uso desse índice é adequado para as análises do presente estudo (CETESB, 2021).

No caso das estações de monitoramento DE-1 e o AL-1, não existem dados de Turbidez disponíveis para o cálculo do IQA. Para contornar esse obstáculo, seguiu-se a alternativa apresentada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (IGAM, 2019). A solução proposta, quando há um parâmetro faltando, é a de desconsiderá-lo e redistribuir os pesos originais igualmente entre os parâmetros restantes. Assim, os pesos foram redistribuídos para manter a soma de 1, não interferindo significativamente no resultado.

Além disso, apesar de Coliformes Termotolerantes ser um parâmetro ausente no caso das estações DE-1 e AL-1, foi utilizado o fator de 1,25 nos valores de *Escherichia Coli*, a fim de alcançar os valores do primeiro parâmetro, tornando-os equivalentes (CETESB, 2008).

### *Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) modificado*

Outro índice relevante para a análise situacional da qualidade de cursos d'água é o Índice de Conformidade de Enquadramento (ICE), definido a partir de um método canadense, o Índice Canadense de Qualidade de Água. Foi elaborado para avaliar a “não conformidade” de valores medidos de parâmetros, comparando-os com valores de referência (CCME, 2017). No Brasil, o índice foi adaptado para identificar níveis de conformidade 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, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, pois ela apresenta os valores de referência dos parâmetros de acordo com a classe de qualidade de água estabelecida (CONAMA, 2005). 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 (MOURÃO *et al.*, 2020).

Para o cálculo do ICE, é possível avaliar três aspectos, chamados fatores  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ . O fator  $F_1$  refere-se à quantidade de parâmetros que possuem algum caso de desconformidade. O fator  $F_2$  refere-se à frequência em que ocorre a desconformidade do parâmetro analisado. Por último, o fator  $F_3$  refere-se à amplitude da desconformidade, ou seja, a diferença do valor medido entre cada parâmetro e o valor de conformidade (CCME, 2017).

O ICE é calculado a partir de manipulações dos valores dos três fatores  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  por meio da Equação 2:

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

Nesta pesquisa, buscaram-se parâmetros similares aos utilizados obrigatoriamente no cálculo do IQA a título de comparação entre os dois índices, a fim de buscar considerar os mesmos efeitos. Além disso, os parâmetros escolhidos são relevantes para os usos da área de estudo de depuração de efluentes das áreas urbanas e rurais e das atividades agropastoris.

Assim, os parâmetros analisados no cálculo do ICE foram: Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes termotolerantes/ *E. coli*, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio amoniacal total (N amoniacal total), Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Fósforo total (P total), Turbidez, Sólidos dissolvidos totais (SDT).

Considerando a utilização da metodologia do ICE modificado (SOUSA *et al.*, 2019), foram utilizados intervalos móveis de 4 amostras, pois essa é a média anual da quantidade de dados da 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.

Os resultados do cálculo de IQA e ICE indicam uma das categorias demonstradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Intervalos de valores referentes às condições de qualidade da água de acordo com o valor do IQA e intervalos de valores referentes às condições de conformidade ao enquadramento da água de acordo com o valor do ICE.

Valor de IQA	Condição de qualidade da água	Valor de ICE	Condição de atendimento ao enquadramento
$79 < \text{IQA} \leq 100$	Ótima	$94 < \text{ICE}$	Conforme
$51 < \text{IQA} \leq 79$	Boa	$79 < \text{ICE} \leq 94$	Adequado
$36 < \text{IQA} \leq 51$	Regular	$64 < \text{ICE} \leq 79$	Regular
$19 < \text{IQA} \leq 36$	Ruim	$44 < \text{ICE} \leq 64$	Afastado
$0 < \text{IQA} \leq 19$	Péssima	$0 < \text{ICE} \leq 44$	Não Conforme

Fonte: Adaptado de CETESB (2021), CCME (2017) e Sistema de Informações de Recursos Hídricos-DF.

## Resultados e Discussões

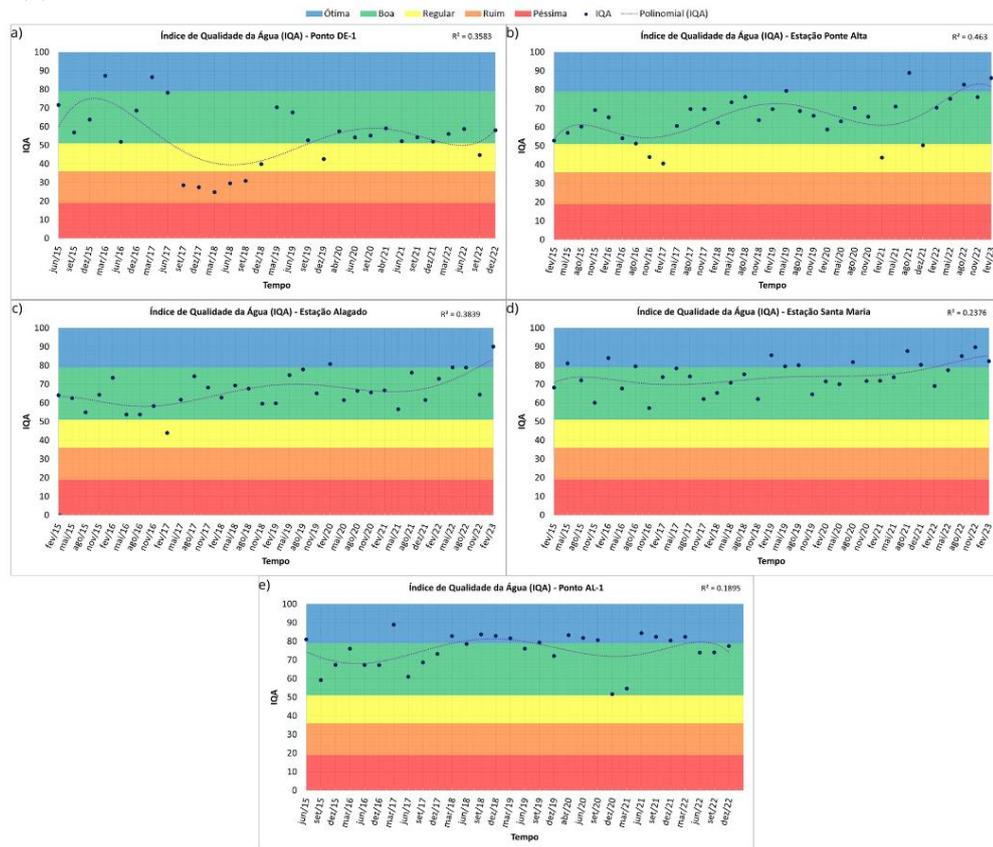
### *Qualidade da água dos corpos hídricos*

Com os dados obtidos dos parâmetros de qualidade da água em cada estação de monitoramento, calculou-se o IQA dos rios de interesse. Os resultados do IQA desses corpos d'água estão apresentados na Figura 3.

De início, foi realizada uma estatística descritiva e notou-se a os grandes intervalos entre os valores mínimos e máximos dos parâmetros Sólidos Totais, Sólidos Dissolvidos Totais e Coliformes Termotolerantes/*Escherichia coli* em todas as bacias e Turbidez especialmente no

ribeirão Ponte Alta. Isso demonstra a grande variação das condições da água em relação a esses parâmetros.

Figura 3 – Comportamento da série histórica do IQA do baixo rio Descoberto (a), do ribeirão Ponte Alta (b), do trecho I do rio Alagado (c), do ribeirão Santa Maria (d) e do trecho II do rio Alagado (e) entre 2015 e 2023.



Observou-se pela Figura 3(a) que a qualidade da água do baixo rio Descoberto apresentou resultados positivos (Regular, Boa e Ótima) em sua maioria (83%). Ao chegar no período de estiagem do mesmo ano, os resultados representaram uma qualidade “Ruim” (17% do total) durante um ano, até setembro de 2018. Nesse período mais crítico, os valores de  $q_i$  (qualidade do parâmetro) de Coliformes Termotolerantes e Sólidos Totais resultaram em níveis baixos (abaixo de 50). Já DBO, Nitrogênio Total e Fósforo Total alcançaram valores baixíssimos de qualidade nesse período. Os outros resultados de IQA (Regular, Boa e Ótima) do rio Descoberto, de outras datas, também apresentaram valores de  $q_i$  baixo para os mesmos parâmetros, porém não tão baixos quanto nos resultados de IQA considerados como “Ruim” e nem sempre de forma simultânea.

O IQA dos dados monitorados para o ribeirão Ponte Alta teve o comportamento indicado pelo gráfico da Figura 3 (b). 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 com qualidade “Regular” e a mesma quantidade, com qualidade “Ótima”.

Os parâmetros que alcançaram valores de  $q_i$  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 isso ocorreu em um dos meses do início da estação chuvosa na região. Nesse sentido, Turbidez e Sólidos Totais podem alcançar altas medições, as quais podem estar associadas à presença de sedimentos acumulados em períodos secos na bacia, que são posteriormente carregados ao corpo d’água por meio do escoamento superficial da água proveniente das primeiras precipitações da estação chuvosa. 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.

O IQA do trecho I do rio Alagado foi calculado por meio dos dados trimestrais. O seu comportamento ao longo do período entre 2015 e 2023 está retratado na Figura 3 (c). Observa-se pelo comportamento dos pontos de IQA que a grande maioria dos valores está na categoria Boa (91%) de qualidade da água. Um valor representa uma qualidade Regular (3%) da água e dois valores estão classificados com qualidade Ótima (6%).

Os parâmetros que tiveram os valores mais baixos de  $q_i$  foram Coliformes Termotolerantes (85%), Nitrogênio Total (15%) e Fósforo Total (6%), todas coincidindo com os casos em que o IQA foi considerado “Regular” e “Boa”, e não “Ótima”.

Com a análise dos valores de IQA do segundo trecho do rio Alagado apresentados na Figura 3 (e), 50% desses estão classificados com qualidade “Boa” e a outra metade com a qualidade “Ótima”.

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”.

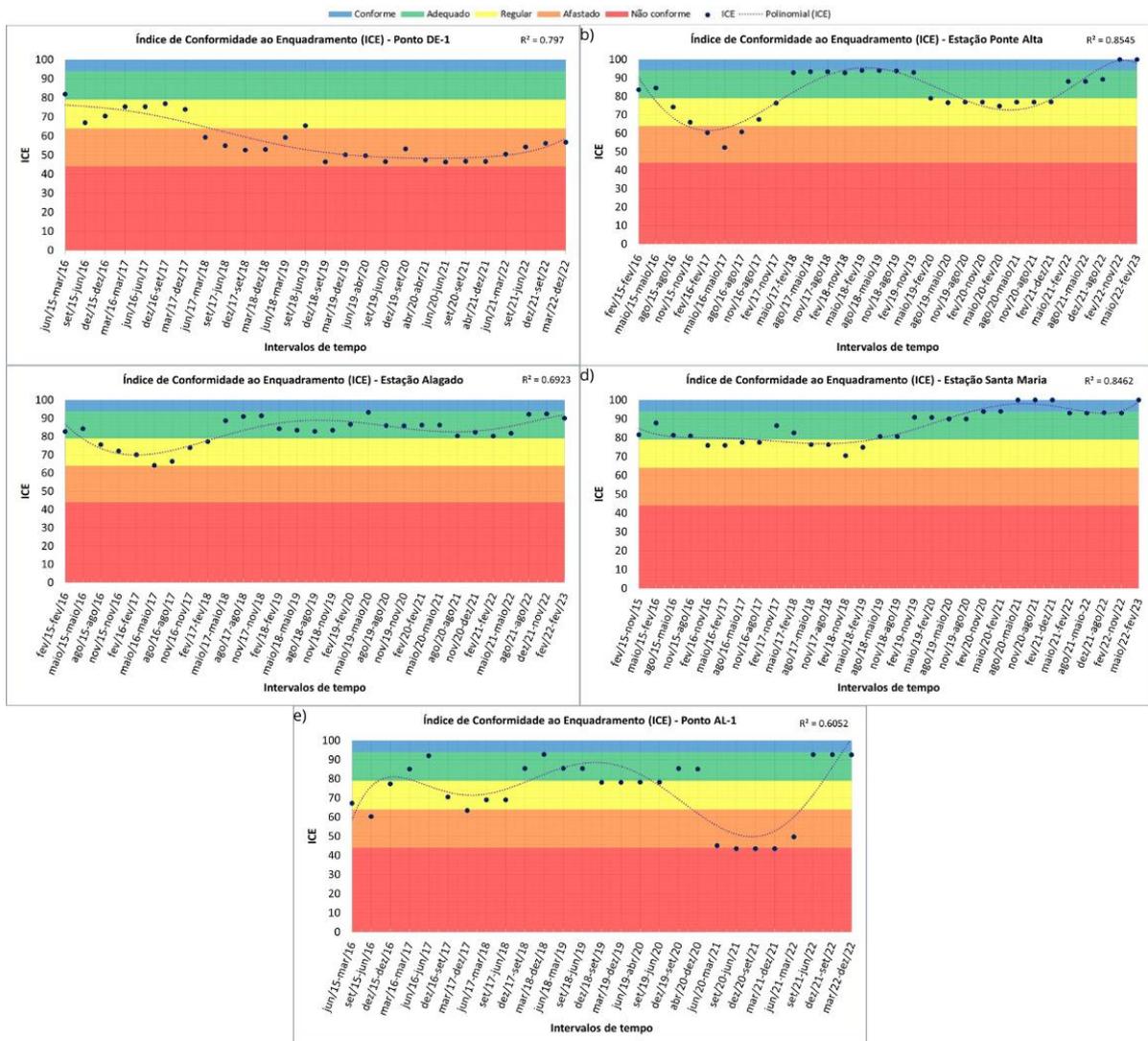
O comportamento dos valores de IQA do ribeirão Santa Maria está indicado na Figura 3 (d). O resultado de IQA retratou uma qualidade “Boa” da água em 61% da série histórica e “Ótima” em 39%. No período analisado, Coliformes Termotolerantes foi o único parâmetro que apresentou valores de  $q_i$  baixos, totalizando 82% das amostras.

*Conformidade ao enquadramento dos corpos d'água*

Primeiramente, as classes de enquadramento tomadas como referência para os padrões utilizados nos critérios do ICE foram as propostas de enquadramento recomendadas pela Resolução CRH/DF nº 01 de 2014.

Com os dados obtidos dos parâmetros medidos de qualidade da água em cada estação de monitoramento, calculou-se o ICE dos rios de interesse. Os resultados dos cálculos do ICE estão apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Comportamento da série histórica do ICE do baixo rio Descoberto (a), do ribeirão Ponte Alta (b), do trecho I do rio Alagado (c), do ribeirão Santa Maria (d) e do trecho II do rio Alagado (e) entre 2015 e 2023.



Para analisar a conformidade ao enquadramento do baixo rio Descoberto, considerou-se o enquadramento do rio na Classe III. Com os resultados dos cálculos do ICE do baixo rio Descoberto da Figura 4 (a), observou-se que os valores tiveram um comportamento descendente a partir de aproximadamente junho de 2015. 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 apresentaram desacordo com os valores máximos indicados à Classe III, assim como os parâmetros de DBO, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total, entre 01/09/2017 e 01/12/2018, e de OD, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total entre as datas de 01/06/2019 e 21/06/22.

De forma isolada em relação ao conjunto de parâmetros analisados, o P total ainda foi desconforme ao enquadramento outras seis vezes, possuindo valores altos das 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.

O cálculo do ICE do ribeirão Ponte Alta foi realizado considerando as referências dos padrões da Classe III e resultou no comportamento indicado pela Figura 4 (b). 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. Além disso, também houve desconformidade com os parâmetros de OD na data de 21/02/2017 e de  $NH_4^+$  (ion amônio) na data de 11/05/2016 com baixas amplitudes.

A partir de ago/16-ago/17 há um aumento do ICE do ribeirão Ponte Alta 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 no valor considerado como “Regular” até dezembro de 2021. Os valores de ICE “Regular” correspondem aos casos de desconformidade de Coliformes Termotolerantes.

Pela Figura 4 (c), observa-se o comportamento dos resultados de ICE do trecho I do rio Alagado. Houve 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.

O parâmetro de Coliformes Termotolerantes superou o limite em 19 de 33 amostras, ou seja, 58% do total entre 2015 e 2022 nesse trecho. Essas desconformidades de Coliformes Termotolerantes 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. 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.

É possível que as desconformidades não tenham afetado muito o ICE do trecho I do rio Alagado, produzindo resultados negativos (Afastado e Não conforme), 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.

O trecho II do rio Alagado teve 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 4 (e).

Os Coliformes Termotolerantes apresentaram valores acima do limite de forma subsequente em 01/06/2016 e em 01/12/2016, somando desconformidade em 6,7% das amostras. Houve também desconformidade com o DBO em datas mais dispersas (jun/2015, set/2017 e jun/2019), resultando em 10% do total. Ocorreram desconformidades também com o Nitrogênio Amoniacal nos meses de setembro em 2015, 2017 e 2018 e nos meses de junho de 2019 e 2020. O Fósforo Total também apresentou valores acima do valor máximo permitido em 6,7% das amostras nos meses de setembro/2015 e junho/2017.

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. Observou-se que o Fósforo Total passa em 130 e 160 vezes o valor máximo permitido para a Classe II em dezembro de 2020 e em março de 2021, respectivamente.

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 4 (d). Há 4 intervalos de tempo em que não há desconformidade alguma dos parâmetros avaliados. Em todos os outros intervalos, há alguma desconformidade, em maior ou menor frequência e amplitude de divergência. Os parâmetros com maior frequência de desconformidade foram o de Coliformes Termotolerantes (27%), depois Nitrogênio Amoniacal (10%) e, por fim, Fósforo Total (9%).

As análises quanto aos problemas de baixa qualidade e de desconformidade ao enquadramento das bacias do baixo rio Descoberto e do ribeirão Ponte Alta das figuras 3 e 4 apontam para possíveis explicações similares. O baixo rio Descoberto tem como afluente o rio Melchior, que apresenta o enquadramento na Classe 4 (até 2030) pela Resolução CRH/DF nº 02, de 17 de dezembro de 2014, e é a provável principal fonte de cargas de poluição. O ribeirão Ponte Alta também possui um afluente provável fonte poluidor, que é o ribeirão Estiva, que também possui um trecho enquadrado na Classe 4.

Além disso, o baixo rio Descoberto e o ribeirão Ponte Alta são receptores dos lançamentos de ETEs instaladas nas suas proximidades. O trecho do rio Descoberto recebe os efluentes da ETE de Santo Antônio do Descoberto (GO), que possui apenas tratamento secundário. O ribeirão Ponte Alta recebe os efluentes da ETE Gama, que possui tratamento terciário, ou seja, no processo de tratamento há a inclusão da remoção de nutrientes e patógenos. Essa ETE alcançou eficiências de 99% de remoção de Coliformes Termotolerantes e 88% de remoção de Fósforo Total em média entre 2015 e junho de 2023, de acordo com os dados fornecidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb).

O primeiro trecho do rio Alagado recebe os efluentes das ETEs Alagado e Santa Maria, que também possuem tratamento terciário. A primeira ETE possui apenas 38% de eficiência de remoção de Nitrogênio, 95,5% de remoção de Fósforo Total e 99,8% de remoção de Coliformes Termotolerantes em média entre 2015-2023. A segunda alcança 40,4% de eficiência de remoção de Nitrogênio, 95,2% de Fósforo Total e 99,8% de Coliformes Termotolerantes em média no mesmo período.

Esses lançamentos de esgotos tratados são possíveis fontes de poluição, pois ainda que algumas eficiências de remoções sejam altas, as concentrações dos poluentes podem ser elevadas, visto que o esgoto tratado advém de grandes populações. Ademais, os rios também possuem baixas vazões para diluir a matéria orgânica advinda das ETEs.

Além disso, todas as bacias possuem o uso de pastagem do solo. Há ainda a possibilidade da utilização de fossas sépticas sem manutenção nas áreas rurais ou até mesmo o

lançamento direto de esgoto doméstico no corpo d'água. Assim, o gado e as atividades humanas podem acarretar a contaminação da água dos rios.

As diferenças observadas entre o comportamento do IQA e do ICE ocorreram devido aos diferentes critérios utilizados em suas metodologias, frente ao que é considerado ambientalmente adequado para os ambientes aquáticos.

Sobre os aspectos de gestão, para a revisão do PRH Paranaíba e para a implementação do Pirh Paranaíba, recomenda-se a análise da escolha de pelo menos os parâmetros aqui citados como os mais críticos. Além disso, são necessários estudos contínuos dos focos na avaliação e no controle das fontes poluidoras pontuais e difusas.

Torna-se necessária, também, uma intensificação da fiscalização por parte dos órgãos gestores distrital, goiano e Federal em relação às outorgas de direito de uso da água; a regularização dos usuários da água, principalmente em se tratando de lançamento de efluentes tratados; o aumento da frequência de monitoramento da qualidade da água pelos órgãos competentes e ampliação da rede de monitoramento.

Por último, torna-se necessária o aprimoramento da gestão integrada de recursos hídricos a partir da integração das instituições responsáveis pela implementação das políticas setoriais, o planejamento do uso e ocupação do solo para redução de eventos de poluição difusa urbana e rural (políticas de planejamento urbano e política ambiental); e a expansão de infraestrutura de saneamento básico (políticas de saneamento). Nesse sentido, destaca-se, mais uma vez, a importância dos colegiados, o papel do Comitê de Bacia do Rio Paranaíba como principal ente articulador entre os comitês afluentes, dos conselhos distrital e estadual (Goiano) de recursos hídricos e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

## Conclusões

- Com os resultados de IQA e ICE e em conjunto com o mapa de uso e cobertura do solo, 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 a região sudoeste do Distrito Federal e Goiás, cursos d'água afluentes aos reservatórios Corumbá III e Corumbá IV (Goiás). Assim, foi possível avaliar a evolução desses aspectos nessas bacias entre 2015 e 2023. A análise integrada

dessas informações apoio é extremamente importante para gestão das águas dessas bacias.

- É preciso que haja uma integração entre as Unidades da Federação, com vistas à garantia dos múltiplos usos da água, principalmente a jusante das áreas urbanizadas tanto no DF quanto em GO. É necessário que sejam pactuadas as melhores opções de enquadramento dos quatro rios estudados frente à importância da manutenção da qualidade das águas, especialmente para o uso de abastecimento humano no DF e em municípios goianos, bem como para o atendimento hídrico aos reservatórios situados a jusante.
- Destaca-se que, mesmo com a melhoria no tratamento e aumento das eficiências de remoção ETEs presentes na área de estudo ao longo dos últimos anos, os parâmetros de Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Total e Fósforo Total ainda continuam sendo um problema em parte das sub-bacias estudadas. Isso reforça que é preciso considerar também o lançamento clandestino de esgotos sem tratamento, inclusive nos afluentes dos rios principais, pois a maioria das ETEs das bacias hidrográficas analisadas possuem altas eficiências de remoção de Carbono, Nitrogênio e Fósforo.
- O Comitê de Bacia do Paranaíba terá um papel importante na integração das instituições de gestão de recursos hídricos, usuários e das representações sociais em toda a área de estudo, inclusive na articulação dos comitês afluentes abrangidos, principalmente durante a revisão do Plano de Recursos Hídricos e Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (PRH Paranaíba) e a implementação do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (Pirh Paranaíba). Além disso, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos também deve participar dessa articulação e deliberar sobre as questões que lhe forem encaminhadas, como a realização de nova análise sobre a proposta de enquadramento que deverá ser finalizada, com sua posterior aprovação. É imprescindível que o enquadramento seja aprovado para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba a fim de que sejam reforçados os esforços para a melhoria sanitária e das condições de qualidade de água de toda a região.

### Referências Bibliográficas

ADASA. (2012). *Plano e Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Relatório Síntese*. (Vol. 1, p. 98). <https://www.adasa.df.gov.br/regulacao/planos>

- ADASA. (2020). *Elaboração do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Distritais do Rio Paranaíba (PRH - Paranaíba-DF). Relatório Final (Produto 7)*. (p. 307).
- ANA. (2019). *Enquadramento dos corpos d'água em classes*. <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/agencia-nacional-de-aguas-e-saneamento-basico-lanca-encarte-sobre-enquadramento-dos-corpos-dagua>
- BRASIL. (1997). *Lei no 9.433, de 8 de Janeiro de 1997*. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm)
- BROWN, R., I. McClelland, N., A. Deininger, R., & G. Tozer, R. (1970). *A water quality index-do we dare?* 117, 339–343.
- CARVALHO, F. L. de. (2020). A Água como um Fator Polemológico. *Coleção Meira Mattos, 14(especial)*, 105–129. <https://doi.org/10.52781/cmm.e006>
- CCME. (2017). CCME Water Quality Index user's manual 2017 Update. *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, 1–23. <https://ccme.ca/en/resources/water-quality>
- CETESB. (2008). *Monitoramento de Escherichia coli e Coliformes Termotolerantes em Pontos da Rede de Avaliação da Qualidade de Águas Interiores do Estado de São Paulo*.
- CETESB. (2021). Índices de Qualidade das Águas, Critérios de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos e Indicador de Controle de Fontes. In *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo* (p. 29). <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/Apendice-E-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>
- CONAMA. (2005). *Resolução CONAMA no 357, de 17 março de 2005*. <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/legislacao/resolucao/233-2005.html>
- COSTA, D. de A., Assumpção, R. dos S. F. V., Azevedo, J. P. S. de, & Santos, M. A. dos. (2019). Dos Instrumentos de Gestão de Recursos Gídricos - o Enquadramento - como Ferramenta para Reabilitação de Rios. *Saúde Em Debate*, 43(spe3), 35–50. <https://doi.org/10.1590/0103-11042019s303>
- CRH/DF. (2014). *Resolução no 01, de 22 de Outubro de 2014*.

CRH/DF. (2014). *Resolução no 02, de 17 de Dezembro de 2014.*

FERNANDES, F. D. M., Collares, G. L., & Corteletti, R. (2021). A Água como Elemento de Integração Transfronteiriça: O Caso da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo. *Estudos Avançados*, 35(102), 59–77. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.004>

IGAM. (2019). *Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais em Minas Gerais* (pp. 1–327).

MACHADO, E. S., Knapik, H. G., & Bitencourt, C. de C. A. (2019). Consideração sobre o Processo de Enquadramento de Corpos de Água. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24(2), 261–269. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019181252>

MOURÃO, F. F. C., Fraga, M. de S., Reis, G. B., Tozi, T., & Silva, D. D. da. (2020). Proposta de Enquadramento dos Corpos Hídricos em Classes de Uso na Bacia Hidrográfica do Rio Piranga Utilizando Geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 06, 758–769. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2491-2502>

PASSOS, A. L. L., Muniz, D. H. F., Cyrino, E., & Oliveira Filho, E. C. (2018). Critérios para Avaliação da Qualidade de Água no Brasil: Um Questionamento sobre os Parâmetros Utilizados. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Sciences.*, 7(2), 290–303. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2018v7i2.p290-303>

ROCHA, H. M., Cabral, J. B. P., Batista, D. F., & Oliveira, L. G. (2019). Avaliação físico-química e microbiológica das águas da bacia hidrográfica do rio Paraíso Jataí-GO. *Geosul*, 34(72), 51–74. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p51>

SEMAD. (2021). *Planos de Bacias dos Afluentes do Paranaíba do Estado de Goiás. Proposta de Enquadramento da UPGRH dos Rios Corumbá, São Marcos e Veríssimo* (pp. 1–125). <http://pbapgo.meioambiente.go.gov.br>

SOUSA, D. S. de, Felizatto, M. R., Brites, C. R. C. de, & Gurgel, L. S. V. (2019). Utilização de Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) Modificado na Avaliação de Propostas de Alteração de Enquadramento de Corpos Receptores (Estudo de caso). *ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 1, 1–7.

SOUZA, D. D. R. de, Oliveira, I. V. A. de, Neto, M. V. B., & Miranda, M. R. B. de. (2023). Análise Espaço-temporal do Uso da Terra e de Áreas de Preservação Permanente de Bacia Hidrográfica na Zona da Mata Pernambucana, Nordeste do Brasil. *Geo Ambiente On-Line*, 56–79. <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/75678>

SOUZA, V. A. A. de, & Pizella, D. G. (2020). The Brazilian surface freshwater framework in union-dominated rivers: challenges and prospects for water quality management. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, 56(1), 1–15. <https://doi.org/10.5327/z2176-947820200707>