

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS**

### **CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ - RS**

*Milena Rosa de Sousa<sup>1,2</sup>; Jainé Ribeiro da Silva<sup>1,3</sup>; Daniele Feitoza Silva<sup>1</sup>; Bruna Baggio Giordani<sup>1,4</sup> & Carlos Eduardo Morelli Tucci<sup>1</sup>*

**Abstract:** Water quality in river basins is influenced by both natural and anthropogenic factors, such as urban occupation and deficiencies in basic sanitation. The Tramandaí River Basin (RS), composed of rivers, lagoons, and canals with multiple uses, has been facing increasing pressure on its water bodies. This study analyzed water quality data from 12 monitoring stations operated by FEPAM between 2016 and 2025, focusing on the parameters Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD), *Escherichia coli*, Total Phosphorus (TP), and Ammoniacal Nitrogen (NH<sub>4</sub>). The analysis included descriptive statistics and trend tests (Mann-Kendall, both simple and seasonal). The results showed that DO and NH<sub>4</sub> values were mostly within legal limits at the majority of stations. In contrast, total phosphorus levels were elevated in almost all lagoon stations, indicating a risk of eutrophication. *E. coli* levels were generally within the proposed Class limits, with occasional exceptions considered as outliers. Negative trends for DO and positive trends for NH<sub>4</sub> were identified at specific points, suggesting local degradation of water quality.

**Resumo:** A qualidade da água em bacias hidrográficas é influenciada por fatores naturais e antrópicos, como ocupação urbana e deficiências no saneamento básico. A Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (RS), composta por rios, lagoas e canais com múltiplos usos, vem sofrendo pressões crescentes sobre seus corpos d'água. Este estudo analisou dados de qualidade da água de 12 estações de monitoramento da FEPAM no período de 2016 a 2025, com foco nos parâmetros Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), *Escherichia coli*, Fósforo Total (FT) e Nitrogênio Ammoniacal (NH<sub>4</sub>). As análises incluíram estatísticas descritivas e testes de tendência (Mann-Kendall simples e sazonal). Os resultados indicaram que OD e NH<sub>4</sub> apresentaram, na maioria das estações, valores dentro dos limites legais. Em contraste, o fósforo total mostrou-se elevado em quase todas as lagoas, indicando risco de eutrofização. Os níveis de *E. coli* se apresentaram, no geral, dentro das Classes propostas, com exceções esporádicas consideradas *outliers*. Foram identificadas tendências negativas para OD e positivas para NH<sub>4</sub> em alguns pontos, sugerindo piora local da qualidade da água.

**Palavras-Chave** – Monitoramento, Bacia do rio Tramandaí, Mann-Kendall.

### **1 INTRODUÇÃO**

A qualidade da água em corpos hídricos é determinada por uma complexa interação entre processos naturais e ações antrópicas exercidas na bacia hidrográfica (ANA, 2024). Especialmente

1) Rhama Analysis, Av. Cristóvão Colombo, 3084/702 Floresta, 90540-072

2) Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São Carlense, 13556-590

3) Engenharia Ambiental e Sanitária, CTEC/UFAL, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, s/n, 57072-900

4) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), Avenida Bento Gonçalves, 9500, 91501-970

em função da urbanização crescente e das deficiências no saneamento básico, que afetam o equilíbrio ecológico e comprometem a disponibilidade e qualidade da água no Brasil (Soares e Ferreira, 2017). Nesse contexto, o monitoramento da qualidade da água é uma ferramenta essencial para compreender os efeitos dessas pressões e subsidiar ações de gestão e recuperação ambiental.

Os parâmetros que compõem a qualidade da água podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos. Os parâmetros físicos incluem temperatura, turbidez, série de sólidos e condutividade, enquanto os químicos abrangem pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nutrientes como nitrogênio e fósforo, e compostos orgânicos. Já os parâmetros biológicos englobam, principalmente, indicadores como *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes, diretamente associados à contaminação fecal e riscos à saúde pública (Von Sperling, 2014). Para a análise desses parâmetros, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece padrões de qualidade e limites máximos para cada classe de corpo hídrico de acordo com seus usos preponderantes, o que orienta medidas de controle e enquadramento legal.

Na bacia hidrográfica do rio Tramandaí, localizada no litoral norte do Rio Grande do Sul, os desafios relacionados à conservação da qualidade da água tornam-se ainda mais relevantes. A bacia é composta por uma rede interconectada de rios, lagoas que desaguam no oceano Atlântico (Castro e Rocha, 2016). A região apresenta conflitos de uso da água, com destaque para o abastecimento público, atividades de pesca, agropecuária e aumento da população para aproximadamente o triplo devido ao turismo sazonal (FEPAM, 2025). Estudos recentes conduzidos pela FEPAM (2022) apontaram pontos críticos de qualidade da água na bacia do rio Tramandaí, especialmente em áreas urbanas como Tramandaí e Imbé, com concentrações de DBO, coliformes termotolerantes e fósforo total frequentemente acima dos limites da Classe 2. Além disso, a bacia apresenta marcante variação sazonal, pois no verão, as temperaturas mais elevadas, associadas ao aumento da evaporação, elevam a concentração de nutrientes como fósforo e favorecem o desenvolvimento de cianobactérias e bactérias (Pimentel *et al.*, 2023). Apesar da existência de estudos mais recentes, como Rocha *et al.* (2025), que aborda projetos de monitoramento da qualidade da água em rios e lagoas costeiras da bacia, e Ávila (2023), que trata do monitoramento do rio Tramandaí por meio de sensoriamento remoto — ambos com potencial para subsidiar novas análises —, a última atualização oficial do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tramandaí data de 2016 (SEMA/STE S.A., 2019).

No que se refere às necessidades atuais, a Nota Técnica publicada pelo CECLIMAR (2024) reforça a urgência de ampliar o monitoramento da qualidade da água e avaliar os impactos das intervenções propostas, como o lançamento de efluentes tratados na rede hídrica da bacia. O documento também destaca a importância de intensificar as fiscalizações e promover revisões na legislação brasileira, especialmente no que diz respeito aos parâmetros e limites de controle aplicados ao lançamento de efluentes. Logo, considerando a relevância ambiental, social e econômica da bacia e a ausência de análises atualizadas, este trabalho tem como objetivo geral a análise da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Tramandaí com base em dados recentes, avaliando os parâmetros ambientais Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), *Escherichia coli*, Nitrogênio Ammoniacal e Fósforo Total, com o intuito de identificar padrões e tendências temporais.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (BHT), localizada no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, possui área de drenagem de 2.978,11 km<sup>2</sup> e uma faixa costeira de 150 km, abrangendo desde a lagoa de Itapeva, ao norte, até a lagoa do Bacopari (ou dos Barros), ao sul. A BHT se destaca pela abundância de corpos d'água (17% da área) e dunas (7%), além de importantes remanescentes de

Mata Atlântica, que ocupam cerca de 32% da bacia (SEMA/STE S.A., 2019; Castro, 2019). A dinâmica hidrológica da bacia é dividida em dois subsistemas: o subsistema norte corresponde a cerca de 80% da bacia e direciona o fluxo das águas do norte até a foz do rio Tramandaí, passando por um complexo sistema de lagoas interligadas, como Itapeva, Quadros, Malvas, Palmital, Pinguela, Passo e o rio Tramandaí, até o Sistema Estuarino Lagunar Tramandaí-Armazém; o Subsistema Sul tem menor contribuição (cerca de 20%), iniciando na lagoa do Retiro (ao sul da lagoa dos Barros), e conectando várias lagoas menores como Quintão, Porteira, Cerquinha, Cidreira, Fortaleza, Manuel Nunes, Gentil e Custódias, também desaguando no estuário Tramandaí-Armazém.

Os menores índices pluviométricos ocorrem entre o outono e o início do inverno (abril a junho), enquanto os maiores volumes são observados no verão. As temperaturas médias anuais são amenas, mas se elevam significativamente no verão, especialmente durante o período de veraneio (dezembro a março), quando há aumento da ocupação populacional nas cidades costeiras (SEMA/STE S.A., 2019). A dinâmica das lagoas é fortemente influenciada pelas vazões que aportam no sistema e variação do nível do mar. Durante marés altas, ocorre refluxo nos cursos d'água. Apesar da pequena amplitude de maré, esse efeito é mais perceptível próximo à foz, no rio Tramandaí. Períodos prolongados de estiagem podem reduzir o nível das lagoas, aumentando o risco de intrusão salina, o que é preocupante para o abastecimento e a irrigação.

As lagoas da região são classificadas como ambientes lênticos, enquanto os rios e canais são ambientes lóticos. Segundo a Resolução CRH-RS n. 50/2008, a maioria dos corpos d'água é enquadrada como Classe 1. Exceções incluem o baixo rio Tramandaí e a lagoa Itapeva, classificados como Classe 2. Os rios e córregos urbanos de pequenas dimensões, ainda sem enquadramento específico, seguem a classificação padrão da CONAMA 357/2005 como Classe 2. O enquadramento detalhado por corpo d'água pode ser visto na Figura 1. A Tabela 1 apresenta as 12 (doze) estações de monitoramento de qualidade da água na BHT e sua localização pode ser vista também na Figura 1.

## 2 Organização e análise estatística dos dados

Uma vez identificadas as estações na bacia, os dados foram obtidos por meio do sistema RS Água disponibilizado pela FEPAM (2022) e organizados em planilhas de forma sequencial, de norte a sul da bacia. Dessa forma, foi composto um banco de dados para os tratamentos estatísticos necessários à análise descritiva e de tendência sobre a qualidade das águas superficiais da bacia. O período considerado para a análise foi de 2016 a 2025, conforme a disponibilidade de dados no sistema, que apresenta frequência irregular de coleta. Entre 2016 e 2019, observou-se maior frequência, com 3 a 4 coletas por ano. No entanto, durante e após o período da pandemia de COVID-19, as coletas passaram a ocorrer de 1 a 2 vezes por ano, com lacunas em alguns anos, como 2024, no qual não foram registrados dados.

Figura 1 – Localização da bacia do rio Tramandaí e suas estações de qualidade da água por ID.

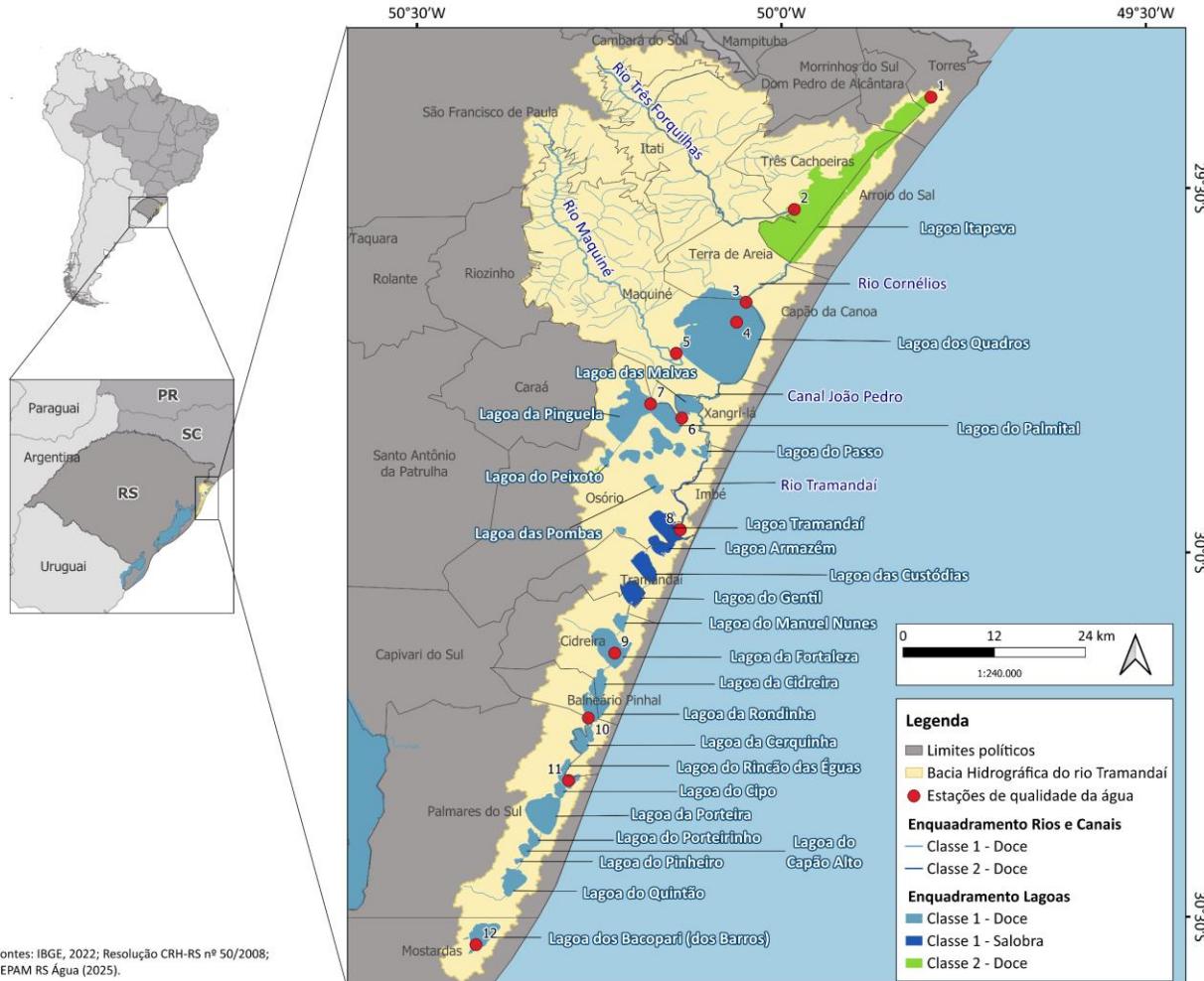


Tabela 1 - Estações de monitoramento de qualidade da água na Bacia hidrográfica do rio Tramandaí.

ID	Código	Nome	Corpo hídrico	Lat (°)	Long (°)	Período	Nº de coletas
1	87311000	Torres	Lagoa Itapeva	-29,38	-49,79	2016-2025	22
2	87311200	Três Cachoeiras	Rio Três Forquilhas	-29,53	-49,98	2017-2023	15
3	87317010	Maquiné	Lagoa dos Quadros	-29,66	-50,05	2016-2025	22
4	87317015	Maquiné	Lagoa dos Quadros	-29,68	-50,06	2016-2025	21
5	87317040	Maquiné	Rio Maquiné	-29,73	-50,14	2016-2023	21
6	87317080	Osório	Lagoa Palmital	-29,82	-50,14	2016-2023	21
7	87317600	Osório	Lagoa da Pinguela	-29,8	-50,18	2016-2025	21
8	87317160	Imbé	Lagoa Tramandaí	-29,97	-50,14	2016-2025	22
9	87317035	Cidreira	Lagoa Fortaleza	-30,14	-50,23	2016-2025	22
10	87510030	Balneário Pinhal	Canal entre Lagoas Cerquinha e Rondinha	-30,23	-50,26	2016-2025	22
11	87510045	Palmares do Sul	Lagoa Rincão das Éguas	-30,31	-50,29	2016-2023	21
12	87420450	Mostardas	Lagoa dos Barros	-30,54	-50,42	2016-2025	21

Os parâmetros analisados foram Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), *Escherichia coli* (*E. Coli*), Fósforo Total (FT) e Nitrogênio Amoniacal (NH<sub>4</sub>), escolhidos por apresentarem maior regularidade e menor número de lacunas nos dados, bem como por sua relevância como indicadores de poluição orgânica e por nutrientes (Von Sperling, 2014). Após a organização e sistematização dos dados de monitoramento, foi realizada uma análise estatística descritiva utilizando a linguagem Python, por meio da plataforma Google Colab (<https://colab.google/>), possibilitando a geração de gráficos *boxplot* para os parâmetros. Os valores foram comparados com os respectivos limites de classe estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. Os limites de classe variam de acordo com o parâmetro analisado e consideram fatores do corpo hídrico como salinidade, tipo de ambiente (lêntico, intermediário ou lótico), pH, entre outros.

As análises estatísticas de tendência foram conduzidas individualmente para cada parâmetro de qualidade da água e para cada estação de monitoramento, com o objetivo de avaliar a distribuição dos dados, a influência da sazonalidade e a existência de tendências temporais. A sequência das análises seguiu a estrutura dos estudos de Trindade *et al.* (2016) e Piazi e Lopes (2018), com adaptações feitas de acordo com o conjunto de dados. A sequência estruturada foi: verificação de normalidade, comparação entre os períodos sazonais, avaliação da existência de diferença significativa, seleção do teste de tendência adequado (sazonal ou simples) e, por fim, interpretação da direção e significância da tendência identificada.

Inicialmente, aplicou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para cada conjunto de dados, considerando-se um mínimo de três observações válidas por estação e parâmetro, requisito cumprido para todas as estações. O nível de significância adotado foi de 5%. O teste de normalidade foi essencial para definir os procedimentos estatísticos subsequentes. Em seguida, os dados foram organizados em dois períodos sazonais: primavera-verão (veraneio), compreendendo os meses de outubro a março, e outono-inverno (fara do veraneio), abrangendo os meses de abril a setembro. Para verificar a existência de diferenças significativas entre os dois períodos, foi realizada uma análise de comparação entre grupos. Quando os dados apresentaram distribuição normal, utilizou-se o teste t de Student para amostras independentes. Quando não foi constatada normalidade, aplicou-se o teste de Mann-Whitney U, adequado para dados não paramétricos.

Nos casos em que a comparação entre os períodos apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), foi aplicado o teste sazonal de Mann-Kendall, o qual considera a estrutura sazonal das séries temporais, avaliando tendências separadamente dentro de cada período e integrando os resultados. Antes da aplicação deste teste, foi verificada a quantidade mínima de dados mensais (mínimo de duas medições por mês) para garantir a adequação estatística da análise sazonal. Quando os dados mensais eram insuficientes ou quando o teste sazonal retornava p-valor igual a 1, foi aplicada a versão simples do teste de Mann-Kendall, que avalia a tendência monotônica ao longo do tempo sem considerar a sazonalidade. Para os casos em que não houve diferença significativa entre os períodos sazonais ( $p > 0,05$ ), o teste de Mann-Kendall simples foi diretamente aplicado. A escolha dos testes de Mann-Kendall se deu por serem testes não paramétricos que não necessitam de medições em períodos regulares.

Os resultados de cada etapa foram registrados, incluindo o p-valor dos testes de normalidade e comparação entre períodos, o tipo de teste utilizado, o teste de tendência aplicado e a direção da tendência (crescente, decrescente ou ausência de tendência). Então, os resultados obtidos neste estudo foram discutidos em conjunto com os resultados de estudos anteriores, como os do próprio plano da BHT (SEMA/STE S.A., 2019) e o estudo de Castro (2019).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise descritiva e por Classe

O primeiro parâmetro analisado foi a OD (Figura 2). De forma geral, as concentrações de OD nas estações analisadas atenderam aos limites estabelecidos para as respectivas classes. As lagoas Quadros (IDs 3 e 4), Palmital, Pinguela, Fortaleza, Rincão e dos Barros apresentaram médias e medianas elevadas (entre 7,7 e 9,2 mg/L), todas dentro da Classe 1, com eventuais exceções isoladas (duas medições no Canal Cerquinha e uma no Rio Maquiné e Lagoa Itapeva). O Canal Cerquinha, apesar de apresentar os menores valores médios da bacia (mínimo de 3,68 mg/L), teve a maioria das medições dentro da classe. A Lagoa Itapeva, classificada como Classe 2 de água doce, apresentou apenas uma medição (em novembro de 2016) fora dos limites estabelecidos.

Em relação à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (Figura 3), a maioria das estações apresentou resultados compatíveis com as respectivas classes. No Rio Três Forquilhas (Classe 1), os valores variaram entre 1,0 e 2,0 mg/L, com apenas uma medição fora da classe, de 4,0 mg/L, classificada como um *outlier* no gráfico. Nas lagoas Pinguela, Palmital e Rincão, todas de Classe 1, foi observada, também, uma medição de 4,0 mg/L em cada uma, excedendo os limites estabelecidos para suas respectivas classes. No entanto, assim como nos demais casos, essas ocorrências foram isoladas. É importante destacar que a Lagoa Tramandaí, por ser um corpo hídrico salobro, não possui limites de classe específicos para concentrações de DBO.

Para o parâmetro de *Escherichia coli* (Figura 4) as estações da Lagoa dos Quadros (ID 4), Palmital, Fortaleza e Rincão, apresentaram todas as medições dentro dos limites de Classe. Já as estações da Lagoa Itapeva, Rio Três Forquilhas, Lagoa Quadros (ID 3), Lagoa Pinguela, Lagoa Tramandaí, Canal Cerquinha e Lagoa dos Barros apresentaram a maioria das medições dentro da classe, com exceções esporádicas consideradas *outliers*. Por último, o Rio Maquiné apresentou as piores condições para o parâmetro, com aproximadamente 30% das medições acima dos limites de classe propostos para o rio.

As concentrações de nitrogênio amoniacal (Figura 5) estiveram dentro dos limites das classes para todas as estações analisadas, incluindo as águas doces e a lagoa Tramandaí, com exceção de duas medições consideradas *outliers* nesta lagoa (0,52 e 0,73 mg/L). No restante da bacia, o parâmetro NH<sub>4</sub> não se apresentou preocupante em relação as concentrações nas respectivas classes. O pH médio das estações variou entre 6,8 e 7,6. Já as concentrações de fósforo total foram o parâmetro com pior desempenho geral (Figura 6). Em todas as lagoas analisadas, a maioria das amostras esteve acima dos limites de classe, com destaque para a Lagoa Pinguela, onde 100% das medições excederam os limites da Classe 1 e mais da metade ultrapassou o limite da Classe 3. Nas lagoas Itapeva, Quadros ID 3 e ID 4, Palmital, Fortaleza, Rincão, Canal Cerquinha e Lagoa dos Barros, entre 71% e 90% das amostras excederam os limites de classe, sugerindo um problema generalizado de excesso de fósforo nas águas lênticas da bacia. Os rios Três Forquilhas e Maquiné apresentaram concentrações predominantemente dentro das classes, com exceções pontuais.

Após a avaliação dos dados deste estudo, os resultados foram comparados com os apresentados por Castro (2019), que analisou as tendências da qualidade da água na bacia entre 2009 e 2019. Para OD, Castro (2019) identificou que entre 2009 e 2019 ocorre uma tendência de redução no cenário geral da bacia, com as médias caindo de aproximadamente 6,78 para 5,69 mg/L. Nos rios, a média de OD diminuiu de 9,85 para 8,75 mg/L. Já para as lagoas, o estudo apontou uma queda de 7,69 para 6,60 mg/L, enquanto os dados analisados no presente estudo indicaram médias superiores, variando de 7,7 mg/L na Lagoa Itapeva a 9,2 mg/L na Lagoa dos Barros.

Figura 2 – Análise descritiva OD.

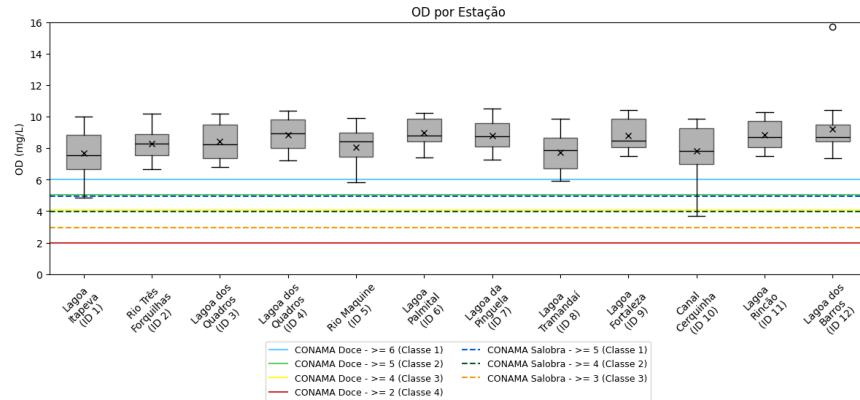


Figura 3 – Análise descritiva DBO.

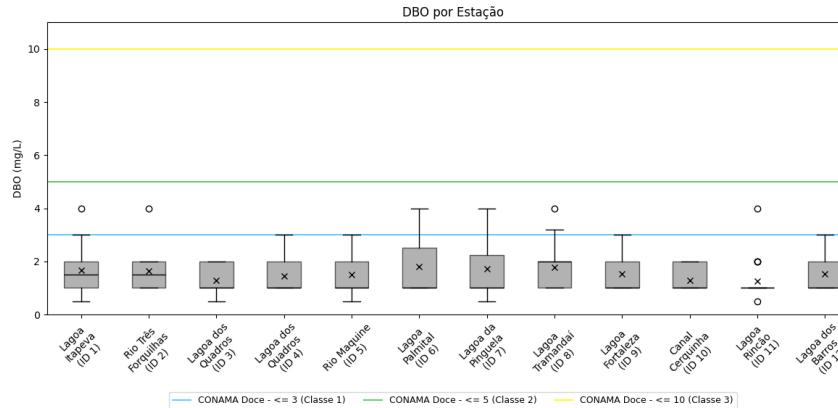


Figura 4 – Análise descritiva *Escherichia coli*.

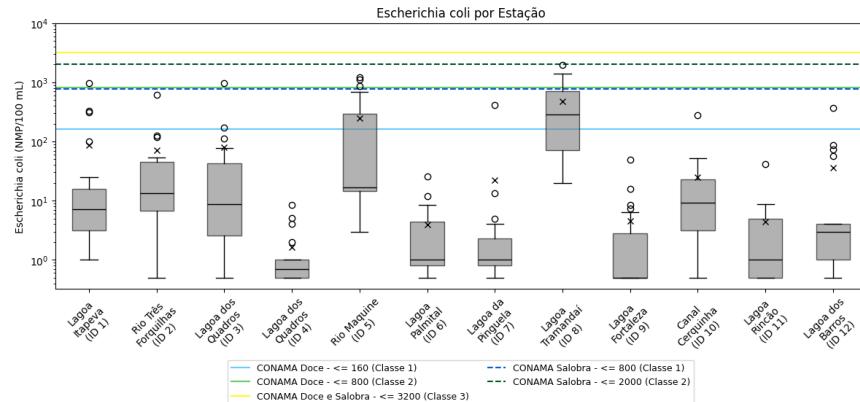


Figura 5 – Análise descritiva Nitrogênio amoniacal.

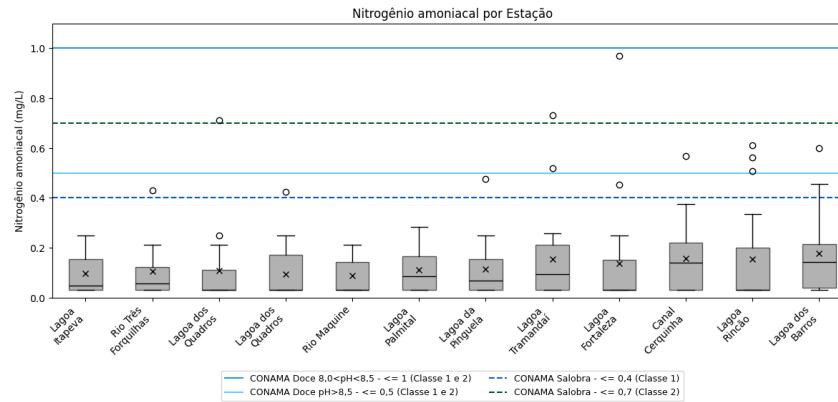
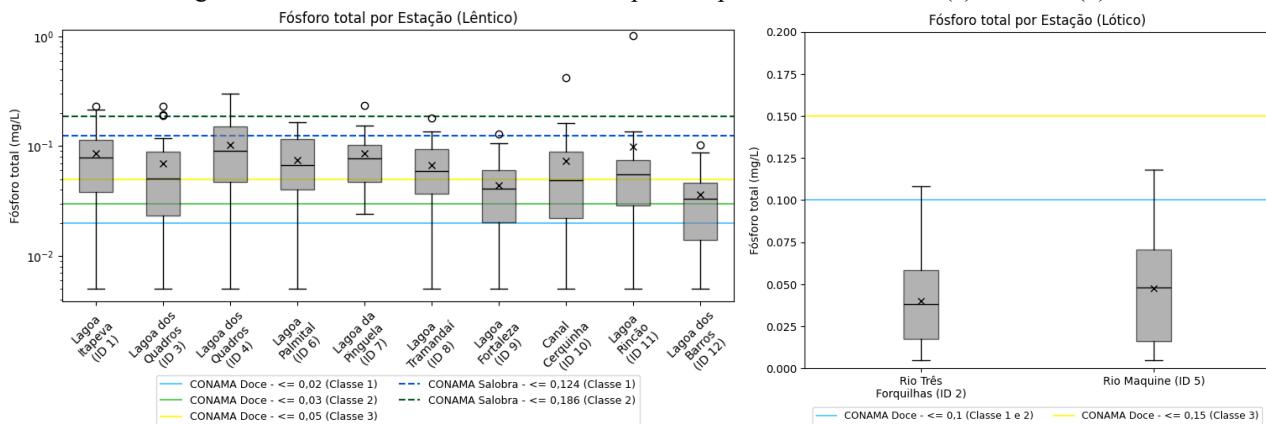


Figura 6 – Análise descritiva Fósforo total para corpos hídricos lênticos (a) e lóticos (b).



Em relação ao nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4$ ), Castro (2019) apontou um aumento na bacia, passando de concentrações não detectáveis para uma média de 0,03 mg/L, com destaque para os rios, onde os valores subiram de 0,07 para 0,14 mg/L. Os dados atuais corroboram essa tendência, com médias de 0,09 mg/L no Rio Maquiné e 0,10 mg/L no Rio Três Forquilhas. Nas lagoas, as concentrações variaram entre 0,095 mg/L (Lagoa dos Quadros) e 0,18 mg/L (Lagoa dos Barros), com destaque para a Lagoa Fortaleza, que apresentou o valor máximo registrado, de 0,97 mg/L.

Para o fósforo total (FT), o estudo anterior sugeriu uma tendência de redução entre 2009 e 2019, passando de 0,05 para 0,02 mg/L. No entanto, os resultados atuais indicam que as concentrações permanecem elevadas em relação aos limites de classe estabelecidos para os corpos hídricos da bacia, com médias que variaram de 0,036 mg/L na Lagoa dos Barros a 0,102 mg/L na Lagoa dos Quadros.

Por fim, Castro (2019) relatou um aumento expressivo na concentração de *Escherichia coli*, com uma elevação de 4,5 vezes nas médias gerais da bacia, passando de 35 para 162 UFC/100 mL, com destaque para a Laguna de Tramandaí (estuário). Apesar da diferença nas unidades entre os dois estudos, os dados atuais mostram variações significativas entre as estações: algumas lagoas, como Palmital, Fortaleza e Rincão, apresentaram médias inferiores a 10 NMP/100 mL, enquanto pontos próximos a centros urbanos, como o Rio Maquiné e a Lagoa Tramandaí, atingiram médias de 246,4 e 474,1 NMP/100 mL, respectivamente.

### 3.2 Normalidade, sazonalidade e tendência dos dados

Foram realizadas análises para 60 conjunto de dados, considerando cinco parâmetros de qualidade da água avaliados em 12 estações de monitoramento. Dos conjuntos analisados, aproximadamente 28% apresentaram distribuição normal, enquanto a maioria dos dados (72%) não seguiu uma distribuição normal, evidenciando a necessidade de aplicação de métodos estatísticos não paramétricos para a maior parte das séries temporais. Quanto à influência da sazonalidade, verificou-se que todas as estações apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os períodos de veraneio e fora do veraneio para o parâmetro de OD, o que destaca a forte influência das variações sazonais sobre a disponibilidade de oxigênio nos corpos hídricos da bacia. Além disso, a estação ID 5 (Rio Maquiné) apresentou sazonalidade significativa para *Escherichia coli*. Os demais parâmetros e estações não apresentaram influência sazonal, sugerindo que as concentrações desses parâmetros não variam de forma consistente entre os períodos sazonais analisados.

No total, das 13 séries que apresentaram diferença sazonal (as 12 estações para OD e a estação do Rio Maquiné para *Escherichia coli*), apenas duas cumpriram os critérios necessários para a aplicação do teste sazonal de Mann-Kendall, que exige pelo menos duas medições por mês ao longo

dos períodos de análise e resultados estatísticos consistentes. Dessa forma, o teste sazonal de Mann-Kendall foi aplicado exclusivamente para OD nas estações ID 5 (Rio Maquiné) e ID 11 (Lagoa Rincão das Éguas). Com isso, aproximadamente 97% das séries temporais foram avaliadas por meio do teste simples. Ao final das análises, foram identificadas tendências estatisticamente significativas para diferentes parâmetros e estações, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Análises que apresentaram tendência estatisticamente significativa e seus respectivos parâmetros, corpos hídricos, IDs e resultados estatísticos de acordo com os testes utilizados.

Parâmetro	ID	Corpo hídrico	Distribuição	Influência sazonalidade	Teste de Tendência	Tendência
OD	5	Rio Maquiné	Normal	Sim	Sazonal	Negativa
	6	Lagoa Palmital	Normal	Sim	Simples	Negativa
	7	Lagoa da Pinguela	Normal	Sim	Simples	Negativa
	9	Lagoa Fortaleza	Não Normal	Sim	Simples	Negativa
$\text{NH}_4$	7	Lagoa da Pinguela	Não Normal	Não	Simples	Positiva
	9	Lagoa Fortaleza	Não Normal	Não	Simples	Positiva
<i>E. coli</i>	4	Lagoa dos Quadros	Não Normal	Não	Simples	Negativa
Fósforo total	3	Lagoa dos Quadros	Não Normal	Não	Simples	Negativa
	4	Lagoa dos Quadros	Normal	Não	Simples	Negativa
	6	Lagoa Palmital	Normal	Não	Simples	Negativa
	7	Lagoa da Pinguela	Não Normal	Não	Simples	Negativa
	8	Lagoa Tramandaí	Normal	Não	Simples	Negativa
	9	Lagoa Fortaleza	Normal	Não	Simples	Negativa

Observou-se tendência negativa para OD em quatro estações, incluindo o rio Maquiné, as lagoas Palmital, Pinguela e Fortaleza, indicando possível degradação das condições de oxigenação nestes corpos hídricos ao longo do tempo. Para o parâmetro de  $\text{NH}_4$ , foram identificadas tendências positivas nas estações Lagoa da Pinguela e Lagoa Fortaleza, sugerindo um aumento nas concentrações deste composto. Para *E. coli*, a Lagoa dos Quadros (ID 4) apresentou tendência de redução das concentrações. Por fim, o fósforo total apresentou tendência negativa em seis estações, entretanto, deve-se considerar que os valores ainda podem estar acima dos limites estabelecidos e essa tendência pode também ser resultado de oscilações locais. Destaca-se que algumas limitações podem introduzir incertezas nas análises realizadas, incluindo possíveis erros de medição durante as campanhas de campo e, especialmente, a baixa frequência e a irregularidade temporal das coletas. Essas limitações reduziram a robustez estatística de parte das séries e restringiram a aplicação de testes mais específicos, como o Mann-Kendall sazonal, que exige maior quantidade de dados distribuídos de forma consistente ao longo do tempo.

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados descritivos indicaram que os parâmetros de OD,  $\text{NH}_4$  e DBO, em geral, mantêm-se dentro dos padrões legais. Para a *E. coli* os resultados se apresentaram, no geral, dentro das Classes propostas, com exceções esporádicas consideradas *outliers* nos gráficos *boxplot*. Por outro lado, o fósforo total destacou-se como o contaminante mais crítico, apresentando elevada frequência de excedência dos limites de classe, especialmente nas lagoas. Essa situação já havia sido apontada no Plano de Bacia (SEMA/STE S.A., 2019), que identificou o fósforo total e a *E. coli* como os principais parâmetros responsáveis pela degradação da qualidade da água.

As análises de sazonalidade indicaram que o parâmetro de OD é o mais influenciado pelas alterações entre o período de primeira-verão e o outono-inverno. As análises de tendência não

indicaram tendências estatisticamente relevantes para a maioria dos parâmetros, mas indicam possível piora na qualidade da água da bacia em relação à OD e NH<sub>4</sub>, especialmente nos corpos hídricos rio Maquiné, lagoa Palmital, lagoa da Pinguela e lagoa Fortaleza. Para *E. coli*, a Lagoa dos Quadros (ID 4) apresentou tendência de redução das concentrações, o que pode indicar melhorias locais no controle da contaminação fecal ou uma variabilidade natural da série. Por fim, o fósforo total apresentou tendência negativa em seis estações, o que pode refletir uma redução nos aportes externos ou melhorias pontuais no manejo da bacia. Dada a análise, reforça-se a necessidade de ampliar o monitoramento ambiental, com foco no aumento da frequência e regularidade das coletas nas estações já existentes, além da expansão da rede de monitoramento da FEPAM na bacia. Coletas mais frequentes e regulares permitiriam a aplicação de testes estatísticos mais robustos, enquanto a inclusão de novas estações é essencial para abranger áreas críticas ainda não monitoradas.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. (2024). *Qualidade da Água*. Disponível em: <https://qualidadedaagua.ana.gov.br/>. Acesso em: 19 mai. 2025.
- ÁVILA, L.S. (2023). *Monitoramento das águas do Rio Tramandaí através do sensoriamento remoto*.
- CASTRO, D. (2019) *Ciclo das águas na bacia hidrográfica do Rio Tramandaí*. Via Sapiens, Porto Alegre - RS, 176 p.
- CASTRO, D.; ROCHA, C. M. (2016). *Qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Tramandaí*. Via Sapiens, Porto Alegre - RS, 173p.
- CENTRO DE ESTUDOS COSTEIROS, LIMNOLÓGICOS E MARINHOS - CECLIMAR. (2024). *Contribuição do Laboratório de Águas Superficiais e Subterrâneas (LASS) sobre a qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (BHRT)*.
- CONAMA. (2005). *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de esfluentes, e dá outras providências*. Conselho Nacional de Meio Ambiente, Brasília.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER/RS – FEPAM/RS. (2022). *Qualidade Ambiental: Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais-Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais no Litoral Norte / RS*.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER/RS – FEPAM/RS. (2025). *L10 - Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí*.
- PIAZI, J.; LOPES, F. A. (2018). *Análise de tendência da qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do Paraíba do sul*. Anais III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, Juiz de Fora, Minas Gerais.
- PIMENTEL, V.T; LOITZENBAUER, E. W; ROCHA, C.M. (2023). *Variabilidade climática e qualidade da água em três lagoas da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí*, RS, Brasil. v. 20, n.15, pp. 1-15(1-15).
- ROCHA, C.M; MILANI, G. B; ZANONA, Q.K. (2021). *Monitoramento de qualidade de águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí: Relatório de dados brutos - Período 2018-2020*.
- SEMA/STE S.A. (2019). *Diagnóstico consolidado da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí*. Relatório Técnico 3 (RT3) Atividades A.3, A.4, A.5. Canoas - RS. 1064 p.
- SOARES, E.M.; FERREIRA, R. L. (2017). *Avaliação da qualidade da água e a importância do saneamento básico no Brasil*. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade. v. 13, n.6, pp. 50-76(1-16).
- TRINDADE, A. L. C.; ALMEIDA, K. C. D. B.; BARBOSA, P. E.; OLIVEIRA, S. M. A. C. (2016). *Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais*. Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, 13-24.
- VON SPERLING, M. (2014). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* (Vol. 1). Editora UFMG, Belo Horizonte – MG, 470 p.