

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

### **REGIME HIDROLÓGICO LOCAL E REGIONAL INFLUENCIAM OS PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DA QUALIDADE DA ÁGUA NO RESERVATÓRIO DE ITAIPU**

*Felipe Martins Pineroli<sup>1</sup>; Daniel Bartiko<sup>2</sup>; Diego Alberto Tavares<sup>3</sup>; Vinícius Bogo Portal*

*Chagas<sup>4</sup> & Pedro Luiz Borges Chaffe<sup>5</sup>*

**Abstract:** Water quality of large reservoirs is mainly driven by the conditions of the main river, while small-scale inputs from tributaries can affect water quality in the reservoir branches. However, the relative importance of local-scale drivers on reservoir water quality remains poorly understood, mainly because of the lack of systematic water quality data. Here we leverage four decades of a unique water quality dataset of the Itaipu Reservoir to examine how local and regional conditions affect water quality and eutrophication risk in the reservoir. In addition to contributions from the vast Paraná River Basin (880,000 km<sup>2</sup>), we consider the influence of local inputs from tributary basins. Surprisingly, despite the main river's dominant inflow, we find that eutrophication risk and nutrient concentrations in the reservoir branches are driven by local-scale floods combined with runoff of nutrient accumulation. Our results suggest that local land management outweighs Paraná River inflows in shaping water quality patterns in the reservoir branches. We highlight the importance of local management and the need to anticipate water quality risks in these areas through monitoring of water quality and hydrological conditions.

**Resumo:** A qualidade da água em grandes reservatórios é controlada pelas condições do rio principal e, em escala local, aportes de tributários podem afetar a qualidade da água nos braços do reservatório. Porém, a importância relativa de fatores locais para a qualidade da água de reservatórios ainda é pouco compreendida devido à escassez de dados sistemáticos. Neste estudo, analisamos quatro décadas de monitoramento da qualidade da água no Reservatório de Itaipu para investigar como condições locais e regionais afetam a qualidade da água e o risco de eutrofização no reservatório. Além de contribuições da extensa Bacia do Rio Paraná (880.000 km<sup>2</sup>), avaliamos os efeitos de sub-bacias locais. Surpreendentemente, apesar da dominância do rio principal, verificamos que o risco de eutrofização e a concentração de nutrientes nos braços do reservatório é impulsionado por cheias locais associadas ao escoamento de nutrientes acumulados no solo. Nossos resultados indicam que o manejo em escala local exerce maior influência sobre a qualidade da água nos braços do reservatório do que os aportes do rio principal. Destacamos a importância da gestão local e de esforços para antecipar riscos à qualidade da água por meio do monitoramento das condições hidrológicas e da qualidade da água.

**Palavras-Chave** – Reservatórios; Qualidade da Água; Efeitos do Regime Hidrológico.

1) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, (48) 991889812, felipe.pineroli55@gmail.com

2) Itaipu Binacional, bartiko@itaipu.gov.br;

3) Itaipu Parquetec, diego.tavares@itaipuparquetec.org.br;

4) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, vbchagas@gmail.com

5) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, pedro.chaffe@ufsc.br

## INTRODUÇÃO

Reservatórios desempenham papel fundamental na geração de energia, irrigação agrícola, proteção contra extremos climáticos e segurança hídrica. Cerca de 40% da água de irrigação e 17% da energia elétrica são providas por reservatórios (Maavara et al., 2020). Atualmente, 60% dos rios com extensão superior a 500 km são represados (He et al., 2024). A regulação em grande escala muda a dinâmica dos rios e reduz o fluxo natural de sedimentos, nutrientes e seres vivos (Dethier; Renshaw; Magilligan, 2022), alterando a quantidade e a qualidade da água. Dado seu papel na segurança hídrica, é importante compreender como a qualidade da água dos reservatórios varia no espaço e no tempo, especialmente em um contexto de problemas globais de escassez hídrica, agravados pela deterioração da qualidade da água (Jones; Bierkens; Van-Vliet, 2024) e pelas mudanças climáticas (Li et al., 2024).

Os usos da terra e manejo da bacia hidrográfica impactam a qualidade da água e fontes de poluição podem ser difusas, predominantes no meio rural, ou pontuais, no meio urbano (Graham; Bierkens; Van Vliet, 2024). Ao longo do ano, as relações entre qualidade da água e fatores hidroclimáticos variam dependendo da ocupação da bacia (Guo et al., 2018) e aumentos na vazão ou precipitação podem transportar ou diluir poluentes, a depender de sua fonte (Lintern et al., 2017, Zhi et al., 2019). Por exemplo, com o aumento da vazão, aportes pontuais de nutrientes, geralmente próximos do corpo hídrico, são diluídos; por outro lado, a poluição difusa, espalhada por toda a bacia hidrográfica, é intensificada (Granger et al. 2010). Enquanto mudanças sazonais nas vazões afluentes influenciam a qualidade da água dos reservatórios, em rios com alto grau de regulação, a vazão é menos dependente do clima, tornando a qualidade da água pouco sensível a sazonalidade.

Em rios com alto grau de regulação, a retenção em reservatórios reduz o fluxo de nutrientes e sedimentos, alterando a qualidade da água a jusante (Nogueira et al., 2021). Devido ao funcionamento hidráulico dos reservatórios, espera-se que a vazão do rio principal forme gradientes de nutrientes, turbidez e luz no seu sentido longitudinal (Thornton, 1990). Nos braços dos reservatórios, onde há menor mistura com o canal principal, as contribuições locais de rios tributários podem se tornar mais relevantes para a qualidade da água e processos de eutrofização são favorecidos (Nogueira; Pomari, 2018; Pompeo et al., 2024). Entretanto, a importância relativa de fatores locais para a qualidade da água nos braços de reservatório ainda não é completamente compreendida, devido à falta de séries longas de dados sistemáticos de qualidade da água.

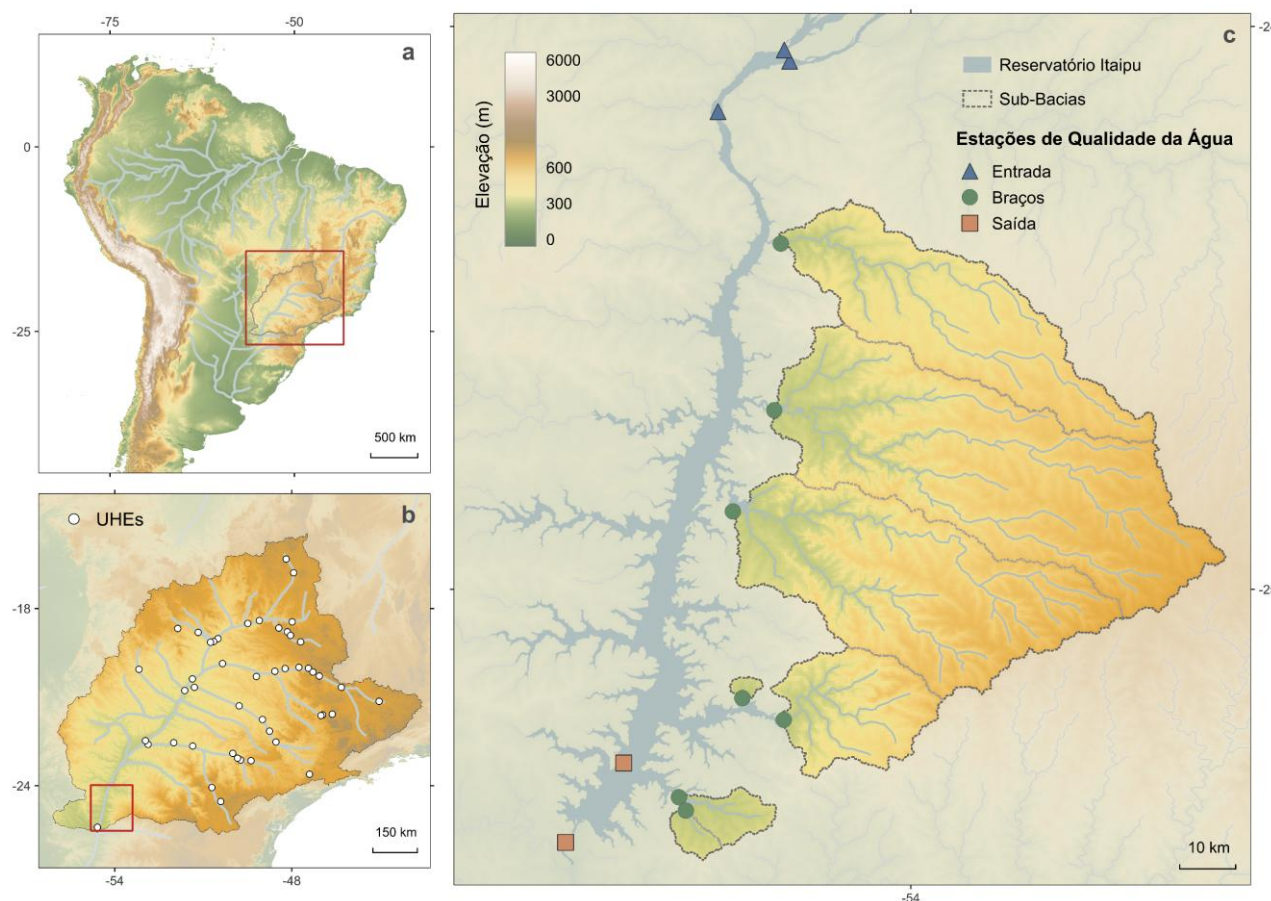
A compreensão de como a qualidade da água nos braços do reservatório é afetada pelas sub-bacias afluentes pode possibilitar a identificação de fontes de poluição e esclarecer os processos que moldam a qualidade da água em reservatórios. Dada a interação complexa entre o clima e as características da bacia, compreender como esses fatores afetam a qualidade da água em reservatórios requer análise de séries de longo prazo que considerem contribuições de escala local e regional. O reservatório de Itaipu é um excelente estudo de caso pois a qualidade da água é monitorada em sua entrada, saída e principais braços há quase 40 anos. O reservatório recebe contribuições regionais de uma área com alta regulação de vazão; e contribuições locais de sub-bacias rurais. Este trabalho analisa como as condições hidrológicas locais e regionais das últimas quatro décadas influenciaram os padrões espaciais e temporais da qualidade da água no Reservatório de Itaipu.

## ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Rio Paraná, é uma das maiores e mais relevantes da América do Sul. No Brasil, cobre partes de sete estados, com cerca de 32 % da população nacional e responsável por mais de 50 % do PIB (IBGE, 2021; 2022). O clima da região é tropical a subtropical, com precipitação predominantemente concentrada entre outubro e abril (Chagas et al., 2020). A bacia constitui a principal região hidrelétrica do Brasil, responsável por aproximadamente 60 % da geração hidroelétrica nacional (Fig. 1b) (ANA, 2021; ONS, 2023). Seu papel na segurança energética e

desenvolvimento econômico resulta em pressões como alterações nos regimes de fluxo, desafios na qualidade da água e modificações nas bacias hidrográficas (Tucci, 2008; Nogueira et al., 2021).

Figura 1 – Localização da Bacia do Rio Paraná, do Reservatório de Itaipu e das estações de qualidade da água.



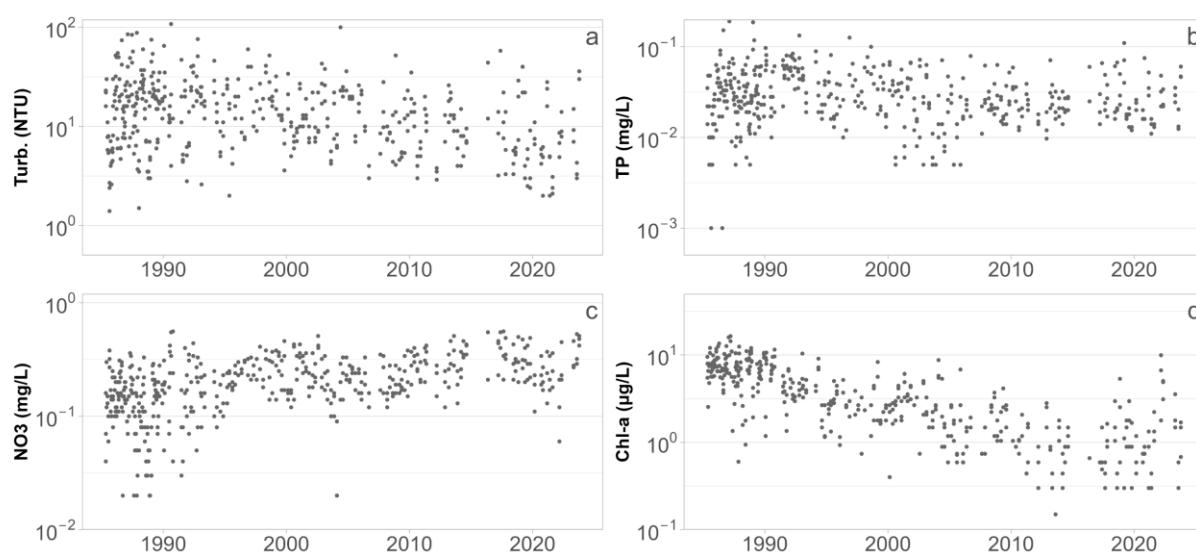
Na fronteira Brasil–Paraguai encontra-se o Reservatório de Itaipu. Com área de 1.350 km<sup>2</sup> e capacidade instalada de ~14 GW, é a segunda maior usina hidrelétrica do mundo, operando a fio d'água, em regime de mistura contínua, fluxo intenso e baixo tempo de retenção hidráulica (Nogueira et al., 2012; Itaipu Binacional, 2023). Além da geração de energia, o reservatório é utilizado para abastecimento público, recreação, navegação, piscicultura, irrigação e assimilação de efluentes — atividades concentradas nos braços do reservatório e essenciais à população local. Este estudo enfoca os braços da margem esquerda do reservatório, que recebem aportes de sub-bacias situadas no oeste do Paraná (Brasil). O clima na região é temperado chuvoso (tipo Cfa), com temperaturas moderadas e chuvas bem distribuídas durante o ano, sem estação seca definida (Chagas; Chaffe, 2018). Solos férteis favorecem agricultura mecanizada intensiva, cobrindo 52 % da área, enquanto floresta, uso misto, pastagens e áreas urbanas ocupam 18 %, 16 %, 11 % e 3 %, respectivamente (Souza et al., 2021). A Itaipu Binacional promove a conservação dos recursos hídricos na região com programas de gestão que incentivam a pesquisa, projetos comunitários e práticas sustentáveis de conservação do solo, saneamento, proteção de cursos d'água e restauração florestal (Itaipu Binacional, 2014).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Dados de qualidade da água

A base de dados de qualidade da água consiste em 38 anos (período de 1985 – 2023) de monitoramento sazonal em pontos na entrada (I1, I2 e I3), saída (O1, O2) e nos braços do reservatório (B1 – B7). Foram estudados quatro parâmetros de qualidade da água: Turbidez (Turb.), Fósforo Total (TP), Nitrato ( $\text{NO}_3$ ) e Clorofila-a (Chl-a) (Fig. 2). Não há outro reservatório no Brasil que tenha sua qualidade de água monitorada com tal extensão espacial e temporal, tornando o estudo valioso para a gestão de outros reservatórios.

Figura 2 – Séries de dados de (a) Turbidez, (b) Fósforo Total, (c) Nitrato e (d) Clorofila-a nos pontos da entrada do reservatório (I1 – I3), como exemplo.



### Dados de Vazão

As séries de vazões diárias utilizadas nesse estudo foram obtidas na base de dados CAMELS-BR (Chagas et al., 2020). A escolha de estações fluviométricas considerou a disponibilidade de medições no período de monitoramento da qualidade da água e a localização em rios com pontos de afluência ao reservatório onde houvesse o monitoramento de qualidade da água. Assim, foram selecionadas três estações fluviométricas na área de estudo: uma no Rio Paraná, na entrada do reservatório, e duas em rios tributários que contribuem para dois braços monitorados. Os dados de vazão foram vinculados aos pontos de monitoramento de qualidade da água. Nos tributários, as estações fluviométricas estão localizadas a montante dos pontos de monitoramento nos braços do reservatório e as bacias hidrográficas contribuintes às estações fluviométricas não correspondem às respectivas sub-bacias. Isso também ocorre para os pontos da saída do reservatório para a Bacia do Rio Paraná, porém, em função das dimensões da bacia, a diferença de áreas é desprezível.

### Análise dos Padrões Espaciais

Para avaliar a variabilidade espacial da qualidade da água nas regiões de entrada, saída e braços do reservatório, realizamos análises exploratórias para cada estação de monitoramento, utilizando todo o histórico de observações disponível. A literatura clássica de limnologia de reservatórios destaca o papel central do rio represado no controle da variação longitudinal da qualidade da água (Wetzel, 2001). Assim, para verificar a influência de aportes em escala regional provenientes do Rio Paraná, investigamos a presença de gradientes nas concentrações de nutrientes



e turbidez ao longo do eixo entrada-saída do reservatório. Além da dimensão longitudinal, consideramos que as contribuições laterais dos tributários exercem um forte efeito sobre a qualidade da água nos braços do reservatório. Para compreender a influência desses fatores locais, comparamos os padrões de qualidade da água entre as estações de monitoramento, considerando critérios como geográfica e influência urbana contrastante. Essa abordagem nos permite avaliar como diferenças no uso do solo, densidade populacional e acesso a tratamento de esgoto contribuem para a formação de condições distintas de qualidade da água ao longo do reservatório.

### **Análise do Efeito das Condições Hidrológicas**

Para aprofundar a análise sobre os efeitos que fatores regionais e locais exercem na qualidade da água, analisamos a variação dos parâmetros de qualidade da água em condições hidrológicas secas e úmidas, tanto para o Rio Paraná quanto para os rios tributários. Para cada série de vazão, os meses foram classificados como "Secos" ou "Úmidos" com base em limiares de vazão. Meses com vazões acumuladas abaixo do 1º quartil (percentil 25 — Q1) foram classificados como "Secos", e aqueles acima do 3º quartil (percentil 75 — Q3) como "Úmidos". Relacionamos o comportamento dos parâmetros de qualidade da água com as fontes de poluição disponíveis nas bacias hidrográficas.

Essas análises foram conduzidas apenas em estações de monitoramento de qualidade da água cujas bacias de drenagem possuíam dados de vazão representativos, sendo elas as estações na entrada (I1, I2, I3), duas estações nos braços (B2, B3) e as estações na saída (O1, O2). Para as estações de entrada e saída, utilizamos dados da vazão do Rio Paraná na entrada do reservatório. Para as estações nos braços, utilizamos dados das estações de monitoramento dentro das sub-bacias e analisamos os efeitos produzidos por condições do Rio. Aplicamos o teste de Wilcoxon (Mann-Whitney) para detectar diferenças significativas nas distribuições das amostras de qualidade da água em meses secos e úmidos, considerando um nível de significância de 5% e hipótese nula assumindo distribuições iguais. Esta abordagem é adequada para dados ambientais, nos quais as premissas dos testes paramétricos frequentemente não são atendidas (Helsel; Hirsch, 2002).

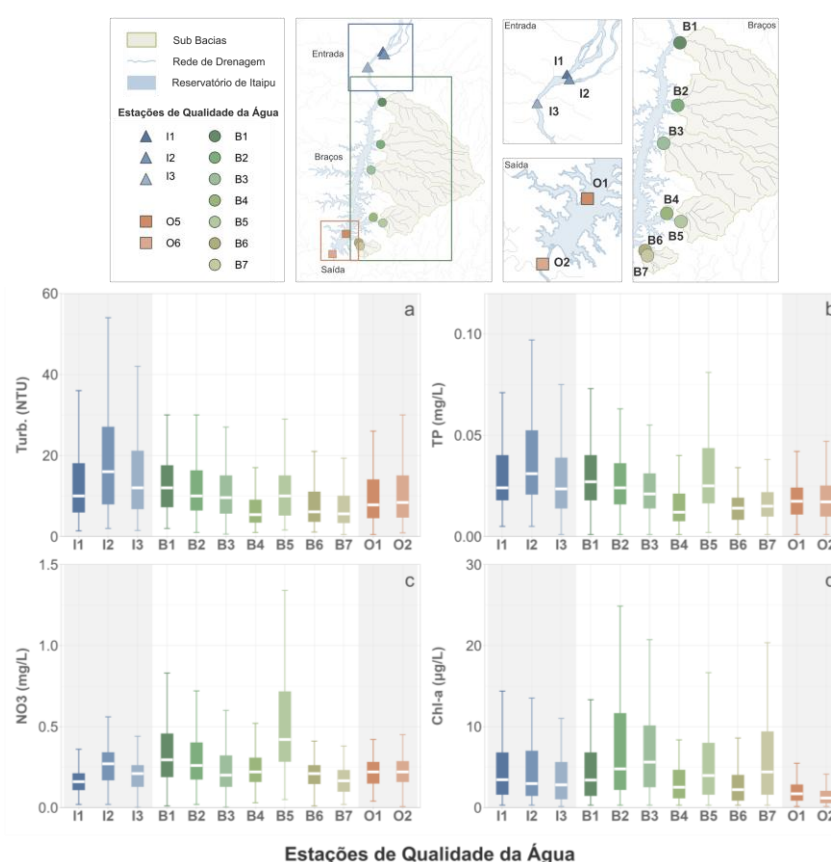
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Padrões Espaciais da Qualidade da Água**

É observado que, para Turb. e TP, formam-se gradientes longitudinais ao longo do reservatório, com níveis decrescendo em direção à barragem devido ao acúmulo e decaimento de sedimentos transportados pelo rio principal (Fig. 3a,b). O padrão não é uniforme em todos os trechos do reservatório e sofre rupturas locais associadas às características das sub-bacias contribuintes. Com concentrações mais elevadas nos braços, NO<sub>3</sub> mostra menor dependência da entrada principal e sugere que suas principais fontes estão localizadas dentro das sub-bacias (Fig. 3c). Sabe-se que o aumento populacional intensifica as cargas de nutrientes nos corpos hídricos por meio de lançamentos de esgoto, mesmo onde os níveis de tratamento são elevados (Powers et al., 2016). Como todas as sub-bacias estudadas passaram por significativa expansão urbana e crescimento populacional nas últimas décadas (Souza et al., 2021; IBGE, 2022), isso se alinha com achados globais que colocam a densidade populacional como o componente mais importante do impacto humano nas concentrações de NO<sub>3</sub> (McDowell et al., 2020). Para Chl-a há um padrão homogêneo na entrada e da saída do reservatório e grande variabilidade entre nos braços (Fig. 3d). Sub-bacias com maior densidade populacional refletem em padrões mais altos de Chl-a (B2, B3, B5 e B7), sugerindo a relação entre o risco de eutrofização com aportes de origem humana. Isso é mais evidente em estações localizadas no mesmo braço, (e.g. B4-B5 e B6-B7), onde, apesar da proximidade geográfica, os níveis de Chl-a são significativamente menores onde há menores pressões antrópicas (B4 e B6).

Em B5, os resultados exemplificam o potencial de degradação da qualidade da água por atividades nas sub-bacias, com clara ruptura dos padrões longitudinais para Turbidez e TP, além dos maiores valores de  $\text{NO}_3$  e altas concentrações de Chl-a. Essa estação recebe contribuições do Rio Ocoí, cujos tributários já apresentaram florações de algas e os maiores índices de estado trófico entre os analisados na região por Andrade et al. (2023), com tendências de longo prazo apontando para piora nas condições. No mesmo braço, B4 apresentam padrões de qualidade da água que indicam menor degradação. Além de estar mais próximo da junção com o corpo principal do reservatório, sua sub-bacia é a menor entre as estudadas, com pouca urbanização e baixa taxa de áreas de pastagem.

Figura 3 – Variação espacial de (a) Turbidez, (b) Fósforo Total, (c) Nitrato e (d) Clorofila-a nos pontos da entrada (I1 – I3), braços (B1 – B7) e saída do reservatório (O1 e O2).



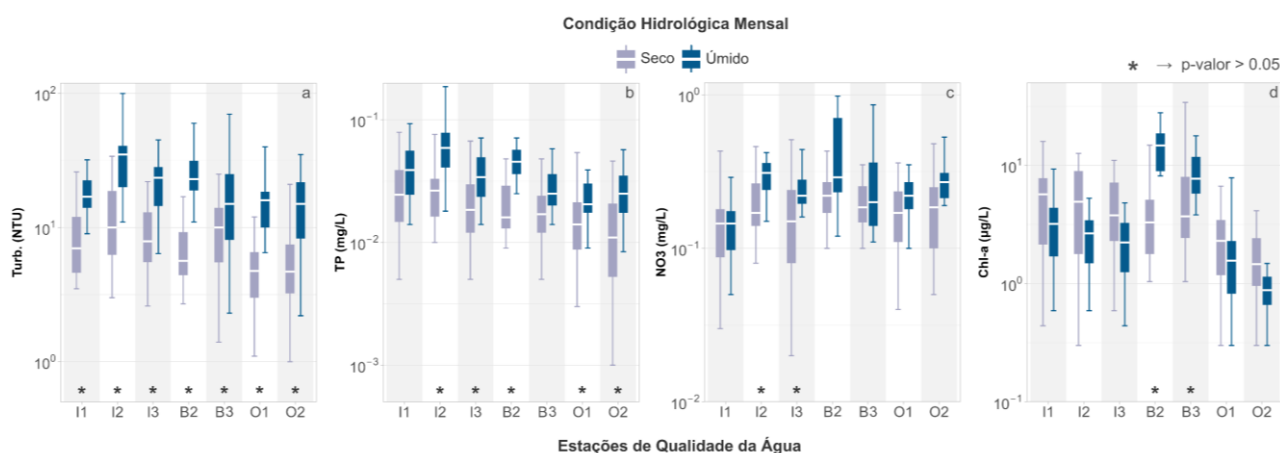
### Efeitos das Condições Hidrológicas na Qualidade da Água

A variação sazonal da qualidade da água na entrada e saída do reservatório indica que os meses com maiores vazões no Rio Paraná induzem maiores concentrações Turb., TP e  $\text{NO}_3$  na maioria dos pontos de monitoramento. Turb. é o parâmetro mais afetado por períodos de alta vazão, com valores medianos entre 58% e 71% superiores aos observados em meses secos e diferenças significativas entre meses secos e úmidos em todos os pontos (Fig. 4a). TP tem um padrão semelhante, com medianas entre 32% e 56% superiores em meses úmidos (Fig. 4b). Para o  $\text{NO}_3$ , apenas os pontos de entrada I2 e I3 mostraram diferença estatística significativa, mas em todos os pontos as menores concentrações ocorreram durante os períodos secos (Fig. 4c). Apesar da menor renovação da água e o aumento da transparência e do tempo de residência durante as secas, as concentrações de Chl-a não apresentam diferenças significativas entre meses secos e úmidos (Fig. 4d).

Nos braços do reservatório, os meses de alta vazão nos tributários resultam em níveis elevados de TP e Turb., de forma semelhante aos resultados observados nas regiões de entrada e saída do

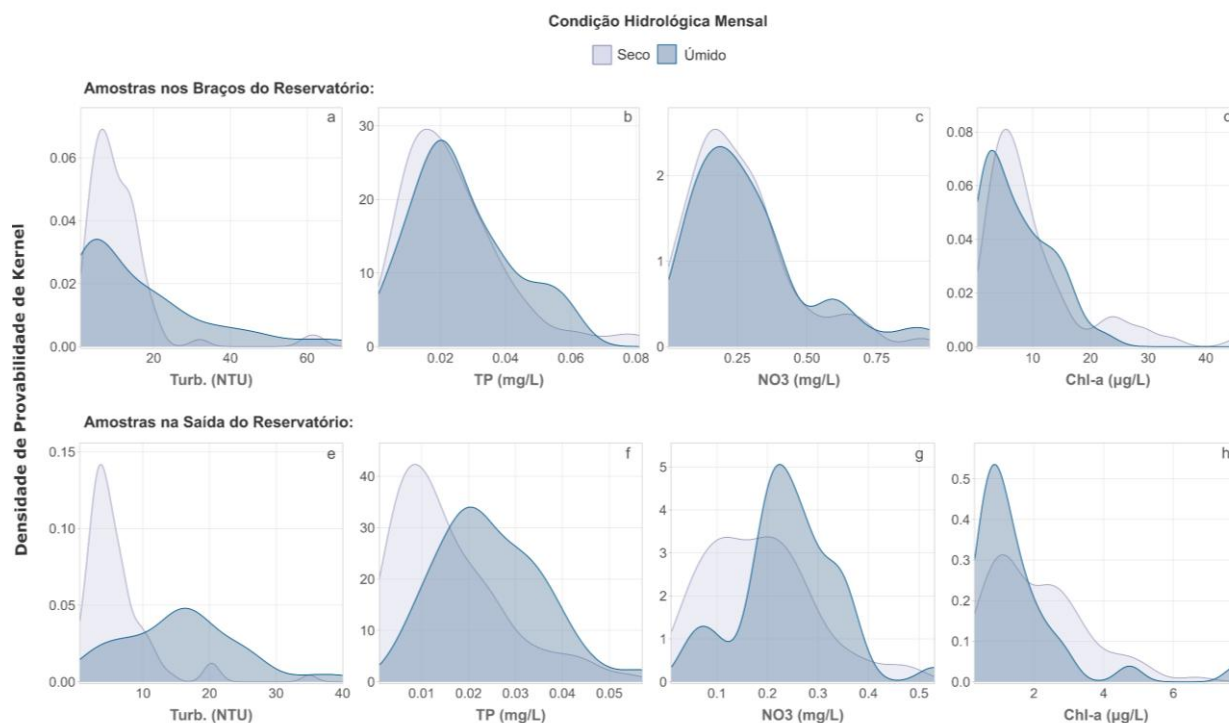
reservatório. O escoamento superficial e a maior conectividade hidrológica em períodos mais úmidos impulsionam a mobilização e o transporte de sedimentos e nutrientes acumulados no solo (Granger et al., 2010; McDowell et al., 2025). As concentrações de  $\text{NO}_3$  permanecem mais estáveis do que as de TP durante períodos de alta vazão, sugerindo o domínio de fontes antrópicas. De forma inesperada, as concentrações de Chl-a são significativamente maiores nos meses úmidos, mostrando uma dinâmica diferente do observado nas outras regiões do reservatório e sugerindo que as contribuições locais têm efeitos significativos no risco de eutrofização nos braços do reservatório. Supõe-se que, durante cheias nos tributários, o escoamento rico em nutrientes impulsiona a biomassa algal nos tributários – já suscetíveis à eutrofização segundo Andrade et al. (2023) – o que, combinado com maiores tempos de retenção nos braços do reservatório, eleva as concentrações de Chl-a e aumenta o risco de eutrofização. Os contrastes entre as condições úmidas e secas dos tributários são mais evidentes na estação B2 do que na B3. Com grandes centros urbanos e maiores taxas de cobertura por agropecuária, a bacia contribuinte de B2 sofre maiores pressões antrópicas e seus rios apresentam maior ocorrência de eutrofização do que os de B3 (Andrade et al., 2023).

Figura 4 –Efeito de condições hidrológicas mensais secas e úmidas na (a) Turbidez, (b) Fósforo Total, (c) Nitrato e (d) Clorofila-a nos pontos da entrada (I1 – I3), braços (B2 e B3) e saída do reservatório (O1 e O2).



Na região de saída (Fig. 5e–h), a qualidade da água responde às condições hidrológicas do Rio Paraná, apresentando aumentos de Turb., TP e  $\text{NO}_3$  durante os períodos de cheia, de forma semelhante ao que ocorre na entrada do reservatório, apesar da distância de mais de 150 km. Dada a vazão dominante do rio principal e distância relativamente curta dos pontos B2 e B3 da entrada do reservatório, esperava-se que esse seria o maior responsável pela variação da qualidade da água nesses braços. Em contraste, quando comparamos a qualidade da água nos braços do reservatório em meio a condições úmidas e secas do Rio Paraná (Fig. 5a–d), percebe-se que a influência de eventos hidrológicos do rio principal é relevante somente para os níveis de Turb. Para TP,  $\text{NO}_3$  e Chl-a, o efeito é mínimo, sem alterar significativamente a distribuição de probabilidade das amostras entre meses secos e úmidos. Assim, pode-se entender que os aportes difusos predominam no controle a qualidade da água nos braços, com efeitos relevantes após períodos de cheias, reforçando o papel determinante das sub-bacias na dinâmica espacial e sazonal de nutrientes e do potencial de eutrofização.

Figura 5 – Densidade de probabilidade de Kernel em meses secos e úmidos do Rio Paraná para Turbidez, Fósforo Total, Nitrato e Clorofila-a em pontos da saída (a – d) e dos braços do reservatório (e – h).



## CONCLUSÕES

*A qualidade da água nos braços do reservatório é também controlada pela escala local*

Apesar do papel dominante do rio principal e da formação de gradientes ao longo do reservatório, atribuir variações na qualidade da água nos braços do reservatório apenas às entradas do canal principal ignora a influência crítica dos tributários. Nossos resultados evidenciam o potencial de degradação pelas sub bacias, sobretudo após eventos hidrológicos extremos. Destacamos a importância da gestão local e de esforços para antecipar riscos à qualidade da água por meio do monitoramento da qualidade da água e condições hidrológicas.

*Ocupação agropecuária e urbana têm impactos particulares na qualidade da água do reservatório*

A intensificação do escoamento superficial mobiliza sedimentos e nutrientes, elevando a turbidez e as concentrações de fósforo total no reservatório, podendo contribuir para o potencial de eutrofização. Em contrapartida, as concentrações de nitrato, pouco afetadas por eventos de cheia, sugerem maior influência de fontes pontuais associadas ao uso urbano, como o lançamento de efluentes. Esses padrões destacam como formas de ocupação da bacia geram impactos distintos sobre a qualidade da água e exigem estratégias específicas de controle e mitigação.

*Cheias nos tributários aumentam o risco de eutrofização nos braços do reservatório*

Durante cheias nos tributários, o escoamento rico em nutrientes proveniente impulsiona a biomassa algal nos tributários que, combinada com maiores tempos de retenção nos braços do reservatório, eleva as concentrações de Chl-a e aumenta o risco de eutrofização. Assim, eventos extremos levantam alerta para a segurança hídrica local, podendo comprometer temporariamente o abastecimento hídrico e atividades econômicas.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio fomentado pela Itaipu Binacional e Itaipu Parquetec (convênio nº 4500071550/2023), por meio do acesso aos dados disponibilizados para o desenvolvimento das atividades de pesquisa e ao apoio financeiro proveniente do Projeto Núcleo de Inteligência Territorial – Fase II. Agradecemos o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPQ).

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANAMENTO BÁSICO. ANA. *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*. Brasília: ANA/MMA, 2017. 265 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANAMENTO BÁSICO. ANA. *Capacidade de Armazenamento dos Reservatórios*. 2023. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/67199519-c5f4-497b-baf8-b00e057e8da>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANAMENTO BÁSICO. *Metadados georreferenciados: Bacia do Rio Paraná*. 2021.

ANDRADE, N. P. et al. *Avaliação e projeções temporal do índice de estado trófico dos afluentes que abastecem o reservatório de Itaipu ao longo de série histórica de 1995 a 2019..* In: SBRH - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2023, [S.I.]. Anais XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos . Sergipe: Abrhidro, 2023. p. 1-10.

CHAGAS, V. B. P. et al. *CAMELS-BR: hydrometeorological time series and landscape attributes for 897 catchments in brazil*. Earth System Science Data, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 2075-2096, 8 set. 2020. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/essd-12-2075-2020>.

CHAGAS, V. B. P. et al. *The Role of Land Cover in the Propagation of Rainfall Into Streamflow Trends*. Water Resources Research, [S.L.], v. 54, n. 9, p. 5986-6004, set. 2018. American Geophysical Union (AGU).

DETHIER, E. N.; RENSHAW, C. E.; MAGILLIGAN, F. J.. *Rapid changes to global river suspended sediment flux by humans*. Science, [S.L.], v. 376, n. 6600, p. 1447-1452, 24 jun. 2022. American Association for the Advancement of Science (AAAS).

GRAHAM, Duncan J.; BIERKENS, Marc F.P.; VAN VLIET, Michelle T.H.. *Impacts of droughts and heatwaves on river water quality worldwide*. Journal Of Hydrology, [S.L.], v. 629, p. 130590, fev. 2024. Elsevier BV.

GRANGER, S. J. et al. *Towards a Holistic Classification of Diffuse Agricultural Water Pollution from Intensively Managed Grasslands on Heavy Soils*. Advances In Agronomy, [S.L.], p. 83-115, 2010. Elsevier.

GUO, D. et al. *Key Factors Affecting Temporal Variability in Stream Water Quality*. Water Resources Research, [S.L.], v. 55, n. 1, p. 112-129, jan. 2019. American Geophysical Union (AGU).

HE, F. et al. *Hydropower impacts on riverine biodiversity*. Nature Reviews Earth & Environment, [S.L.], v. 5, n. 11, p. 755-772, 14 out. 2024. Springer Science and Business Media LLC.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Bacias e divisões hidrográficas do Brasil / IBGE*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. 160 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico*. Rio de Janeiro, [2022].

ITAIPU BINACIONAL. *Cultivando Água Boa: Itaipu Binacional*. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2014.

ITAIPU BINACIONAL. *Itaipu Binacional and the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda*. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2023.

JONES, E. R.; BIERKENS, M. F. P.; VAN VLIET, M. T. H.. *Current and future global water scarcity intensifies when accounting for surface water quality*. Nature Climate Change, [S.L.], v. 14, n. 6, p. 629-635, 23 maio 2024. Springer Science and Business Media LLC.

LI, L. et al. *River water quality shaped by land–river connectivity in a changing climate*. Nature Climate Change, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 225-237, mar. 2024. Springer Science and Business Media LLC.

LINTERN, A. et al. *Key factors influencing differences in stream water quality across space*. Wires Water, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 0-16, 24 out. 2017. Wiley.

MAAVARA, T. et al. *River dam impacts on biogeochemical cycling*. Nature Reviews Earth & Environment, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 103-116, 3 fev. 2020. Springer Science and Business Media.

MCDOWELL, R. W. et al. *Global mapping of freshwater nutrient enrichment and periphyton growth potential*. Scientific Reports, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 2-10, 27 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC.

MCDOWELL, R. W. et al. *High flows contributed a large part of annual contaminant yields in New Zealand's rivers*. Communications Earth & Environment, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1-9, 30 abr. 2025. Springer Science and Business Media LLC.

NOGUEIRA, M. G.; POMARI, J. *Limnological Patterns in a Large Subtropical Reservoir Cascade*. Limnology - Some New Aspects Of Inland Water Ecology, [S.L.], v. 1, n. 6, p. 0-164, 26 jun. 2019. IntechOpen.

NOGUEIRA, M. G. et al. *Limnology and water quality in La Plata basin (South America) – Spatial patterns and major stressors*. Ecological Indicators, [S.L.], v. 120, jan. 2021. Elsevier BV.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Histórico de geração de energia no Sistema Interligado Nacional*. 2023.

POMPÊO, M. et al. *Limnologia de reservatórios: do clássico às novas abordagens*. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2024. 188 p.

POWERS, S. M. et al. *Long-term accumulation and transport of anthropogenic phosphorus in three river basins*. Nature Geoscience, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 353-356, 11 abr. 2016. Springer Science and Business Media LLC.

SOUZA, C. M. et al. *Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine*. Remote Sensing, [S.L.], v. 12, n. 17, p. 2735, 25 ago. 2020. MDPI AG.

THORNTON, K. W., 1990. *Perspectives on reservoir limnology*. In THORTON, KW., KIMMEL, BL. and PAYNE, FE. (Eds.). *Reservoir Limnology: ecological perspectives* New York: A Wiley-Interscience. p. 1-13

TUCCI, C. E. M. *Gestão da Água no Brasil*. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2008.

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. *Statistical methods in water resources*. U.S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources Investigations Book 4, Chapter A3, 2002.

WETZEL, R. G. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2001.