

Detectando o potencial de retenção de um reservatório influenciado por aportes de áreas metropolitanas**Fabio Leandro da Silva**Pós-Doutorando em Engenharia Urbana
Universidade Federal de São Carlos, Brasil.
fabioleandro@alumni.usp.brORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6002-9030>**Ângela Terumi Fushita**Professora Doutora em Ecologia e Recursos Naturais
Universidade Federal do ABC, Brasil.
angela.fushita@ufabc.edu.br
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6595-708X>**Marcela Bianchessi da Cunha-Santino**Professora Doutora em Ecologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de São Carlos, Brasil.
cunha_santino@ufscar.br
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6048-0745>**Irineu Bianchini Júnior**Professor Doutor em Ecologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de São Carlos, Brasil.
irineu@ufscar.br
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9121-3794>

1

Submissão: 15/03/2025

Aceite 22/08/2025

SILVA, Fabio Leandro da; FUSHITA, Ângela Terumi; CUNHA-SANTINO, Marcela Bianchessi da; BIANCHINI JÚNIOR, Irineu. Detectando o potencial de retenção de um reservatório influenciado por aportes de áreas metropolitanas. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S. I.], v. 14, n. 91, p. e2507, 2026.DOI: [10.17271/23188472149120266215](https://doi.org/10.17271/23188472149120266215). Disponívelem: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/6215Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Detectando o potencial de retenção de um reservatório influenciado por aportes de áreas metropolitanas

RESUMO

Objetivo - avaliar a capacidade de retenção de um reservatório hipereutrófico (Reservatório de Barra Bonita - RBB, Estado de São Paulo, Brasil), influenciado por afluentes fortemente impactados por ações antropogênicas em regiões metropolitanas.

Metodologia – emprego de um modelo de zero dimensional, utilizando dados limnológicos de 2010 a 2019, considerando duas estações a montante (rios Piracicaba e Tietê) e um ponto a jusante. As seguintes variáveis da água foram analisadas: nitrogênio amoniacial, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, coliformes termotolerantes, cloreto total, nitrato, nitrito, pH, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Para cada variável, foi verificada a capacidade de retenção (parâmetro alfa), resultando em 649 determinações. Uma correlação de Spearman (p -valor: 0,05) foi realizada para explorar as relações entre os aspectos físicos do reservatório, as retenções e a precipitação.

Originalidade/relevância - neste estudo empregamos um modelo zero dimensional considerando a capacidade de retenção de um reservatório, considerando a variação temporal.

Resultados - O tempo de retenção variou de 16 a 321 dias, bem como o sistema demonstrou uma grande capacidade de retenção devido aos coeficientes alfa positivos para todas as variáveis analisadas.

Contribuições teóricas/metodológicas - os achados fornecem subsídios importantes para a promoção da gestão da água e a formulação de políticas públicas, visando os usos múltiplos da água.

Contribuições sociais e ambientais - apesar dos impactos antropogênicos, o RBB fornece um serviço ecossistêmico essencial ao melhorar a qualidade da água a jusante, visto a atenuação de cargas poluentes.

PALAVRAS-CHAVE: Serviços Ecossistêmicos. Lagos Artificiais. Modelagem Matemática.

Detecting the retention potential of a reservoir influenced by upstream inputs from metropolitan areas

2

ABSTRACT

Objective – To evaluate the retention capacity of a hypereutrophic reservoir (Barra Bonita Reservoir – BBR, São Paulo State, Brazil), influenced by tributaries strongly impacted by anthropogenic activities in metropolitan regions.

Methodology – Application of a zero-dimensional model using limnological data from 2010 to 2019, considering two upstream monitoring stations (Piracicaba and Tietê rivers) and one downstream station. The following water quality variables were analyzed: ammoniacal nitrogen, biochemical oxygen demand, dissolved oxygen, electrical conductivity, thermotolerant coliforms, total chloride, nitrate, nitrite, pH, total phosphorus, total solids, and turbidity. For each variable, retention capacity (alpha parameter) was assessed, resulting in 649 determinations. A Spearman correlation analysis (p -value: 0.05) was performed to explore relationships among reservoir physical characteristics, retention processes, and precipitation.

Originality/Relevance – This study applies a zero-dimensional model to assess reservoir retention capacity while explicitly considering temporal variability.

Results – Retention time ranged from 16 to 321 days, and the system exhibited a high retention capacity, as indicated by positive alpha coefficients for all analyzed variables.

Theoretical/Methodological Contributions – The findings provide important support for advancing water management strategies and informing public policy formulation aimed at multiple water uses.

Social and Environmental Contributions – Despite anthropogenic pressures, the BBR provides an essential ecosystem service by improving downstream water quality through the attenuation of pollutant loads.

KEYWORDS: Ecosystem Goods. Man-made Lake. Mathematical Modeling.

Detectando el potencial de retención de un lago artificiale influenciado por aportes de áreas metropolitanas

RESUMEN

Objetivo – Evaluar la capacidad de retención de un lago artificiale hipereutrófico (Barra Bonita – RBB, Estado de São Paulo, Brasil), influenciado por afluentes fuertemente impactados por acciones antropogénicas en regiones metropolitanas.

Metodología – Empleamos un modelo de cero dimensiones, utilizando un estudio limnológico de 2010 a 2019, considerando dos estaciones aguas arriba (ríos Piracicaba y Tietê) y un punto aguas abajo. Se analizaron las siguientes variables del agua: nitrógeno amoniacal, demanda biológica de oxígeno, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, coliformes termotolerantes, cloruro total, nitrato, nitrito, pH, fósforo total, sólidos totales y turbidez. Para cada variable, se calculó la capacidad de retención (parámetro alfa), resultando en 649 determinaciones. Se realizó una correlación de Spearman (valor p: 0.05) para explorar las relaciones entre los aspectos físicos del RBB, las retenciones y la precipitación.

Originalidad/Relevancia – En este estudio se emplea un modelo de cero dimensiones para evaluar la capacidad de retención de un embalse, considerando la variación temporal.

Resultados – El tiempo de retención varió entre 16 y 321 días, y el sistema mostró una elevada capacidad de retención, evidenciada por coeficientes alfa positivos para todas las variables analizadas

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – Los hallazgos proporcionan insumos relevantes para el fortalecimiento de la gestión del agua y la formulación de políticas públicas orientadas a los usos múltiples del recurso hídrico.

Contribuciones Sociales y Ambientales – A pesar de las presiones antropogénicas, el RBB proporciona un servicio ecosistémico esencial al mejorar la calidad del agua abajo mediante la atenuación de las cargas contaminantes.

PALABRAS CLAVE: Servicios Ecosistémicos. Lagos Artificiales. Modelado Matemático.

RESUMO GRÁFICO

3

Região Metropolitana



Rios Piracicaba
e Tietê

Água poluída
DBO, OD,
CE, CT, CHL,
NO₃, NH₄, NO₂,
pH, ST, TURB
Input

**RESERVATÓRIO DE
BARRA BONITA**



Tempo de retenção:
16 a 320 dias

$$\alpha = \frac{Q}{V} + k_1 \text{ (Equação 1)}$$

$$C = \frac{W}{\alpha V} (1 - e^{-\alpha t}) \text{ (Equação 2)}$$

Valores α positivos



Correlação com
a chuva



**Melhoria da Qualidade
da água**

1 INTRODUÇÃO

Os reservatórios artificiais fazem parte da reserva de água doce global, são influenciados pelo ciclo da água e estão conectados com os mares e oceanos (Stephens et al., 2020). O represamento de ambientes lóticos e a operação de plantas hidrelétricas alteram o regime hidrológico, influenciando o fluxo a jusante, o que demanda ações de intervenção (Ciria; Labat; Chiogna, 2019; Bravo-Linares et al., 2024). Devido às suas características específicas (e.g., heterogeneidade, morfometria, gradiente longitudinal, tempo de retenção), os reservatórios acabam reduzindo o fluxo de elementos após o represamento, dados os processos bioquímicos que ocorrem nestes ambientes (Akbarzadeh et al., 2019).

As comunidades biológicas (e.g., fitoplâncton, zooplâncton, macroinvertebrados, peixes) participam ativamente desses processos nos reservatórios, entretanto, elas acabam sendo influenciadas pelas condições ambientais e eventuais mudanças que ocorrem no ambiente (Santos et al., 2018; Berberich et al., 2019; Bortolini et al., 2019; Yan et al., 2020). Por outro lado, os reservatórios são elementos integrantes de sistemas socioecológicos e são fortemente influenciados por aspectos de ordem política, pela interação com os seres humanos (Kellner, 2021; Santos et al., 2025) e alterações da paisagem.

Sendo assim, o metabolismo e o funcionamento destes sistemas acabam sofrendo alterações em decorrência das ações antropogênicas, alterando as variáveis limnológicas a jusante. É necessário que ocorra a avaliação destes ambientes, o que favorece a verificação de seu funcionamento, situação necessária para o manejo (Tundisi, 2018). Tal situação é ainda mais urgente em um cenário de crises de escassez hídrica e mudanças climáticas, que tende a se agravar. Os usos da terra e o desenvolvimento de atividades antropogênicas alteram a qualidade dos afluentes que formam os reservatórios, trazendo prejuízos para a sociedade e efeitos adversos para a biota, bem como para a provisão de serviços ecossistêmicos. Em áreas metropolitanas, os reservatórios sofrem grande pressão devido à entrada de substâncias e alterações ocasionadas pelo desenvolvimento de atividades antropogênicas (Pires et al., 2015; Godoy et al., 2023), visto que estes espaços são marcados por uma alta densidade populacional e selamento do solo.

Considerando as perdas quali-quantitativas da água, o emprego de indicadores fornece bases para a tomada de decisão e favorecem o monitoramento ambiental, refletindo a qualidade dos recursos hídricos (Filippis et al., 2020). A modelagem matemática pode ser uma ferramenta que favorece o manejo de reservatórios, elucidando eventuais padrões e apontando situações que demandam estratégias de manejo (Tundisi, 2018) para que os usos múltiplos da água sejam possibilidades.

De fato, os reservatórios são caracterizados por vários impactos negativos (sociais, econômicos e ambientais) e externalidades durante sua construção, por outro lado, podem ser provedores de serviços ecossistêmicos, apesar de alguns serviços serem de difícil estimativa (Intralawan et al., 2018; Xie et al., 2024). O tempo de residência destes sistemas pode ser utilizado para o estabelecimento de relações entre a redução ou aumento da concentração de variáveis limnológicas (Maavara et al., 2020), um importante serviço ecossistêmico.

Diante do exposto, o presente trabalho buscou avaliar a capacidade de retenção de elementos do Reservatório de Barra Bonita - RBB (São Paulo, Brasil), um dos reservatórios mais

impactados na América Latina, devido ao recebimento de altas cargas orgânicas e industriais de regiões metropolitanas do estado de São Paulo. Para tanto, foi utilizado um modelo zero-dimensional para verificar o balanço de massa de 12 variáveis limnológicas, entre os anos de 2010 e 2019. Acredita-se que, devido suas propriedades hidráulicas e processos predominantes, RBB consegue reter grande parte das concentrações das variáveis limnológicas, marcadas pela grande interferência antropogênica nos rios Tietê e Piracicaba.

2 OBJETIVO

Avaliar a capacidade de retenção de elementos do RBB (São Paulo, Brasil), devido ao recebimento de altas cargas orgânicas e industriais da região metropolitana de Campinas, Piracicaba e de São Paulo, entre os anos de 2010 e 2019.

3 MÉTODO DE ANÁLISE

3.1. Área de Estudo

O RBB foi construído na década de 1960, sendo o primeiro reservatório da cascata existente no Rio Tietê (seu maior afluente), suas propriedades podem ser observadas na Tabela 1. Além disso, o lago artificial também é formado pelo rio Piracicaba (afluente superior) (Rotta et al., 2021). O reservatório está localizado nas bacias Sorocaba-Médio Tietê e Piracicaba-Capivari-Jundiaí (Estado de São Paulo, Brasil), como demonstrado na Figura 1. O RBB desempenha funções importantes para múltiplos usos da água, como a navegação e geração de energia elétrica (Bernardo et al., 2016). A área de drenagem é uma das regiões mais densamente povoadas do Brasil, assim como é caracterizada por altos níveis de interferência antropogênica, especialmente pelo uso intenso da terra, atividades industriais e problemas de saneamento ambiental (Prado; Novo, 2007; Silva et al., 2022). Este reservatório é classificado como hipereutrófico (Novaes; Carvalho, 2013; Alcântara et al., 2017; Oliveira; Ferragut; Bicudo, 2020). Segundo Tundisi, Matsumura-Tundisi e Abe (2008), a região possui um clima marcado por: uma estação seca (de março a outubro) e uma estação chuvosa (de outubro a março), resultado da transição entre os climas subtropical e tropical na área. Neste estudo, duas estações de amostragem foram selecionadas a montante (correspondendo aos rios Tietê e Piracicaba), e uma a jusante, localizada próxima ao RBB (Figura 1).

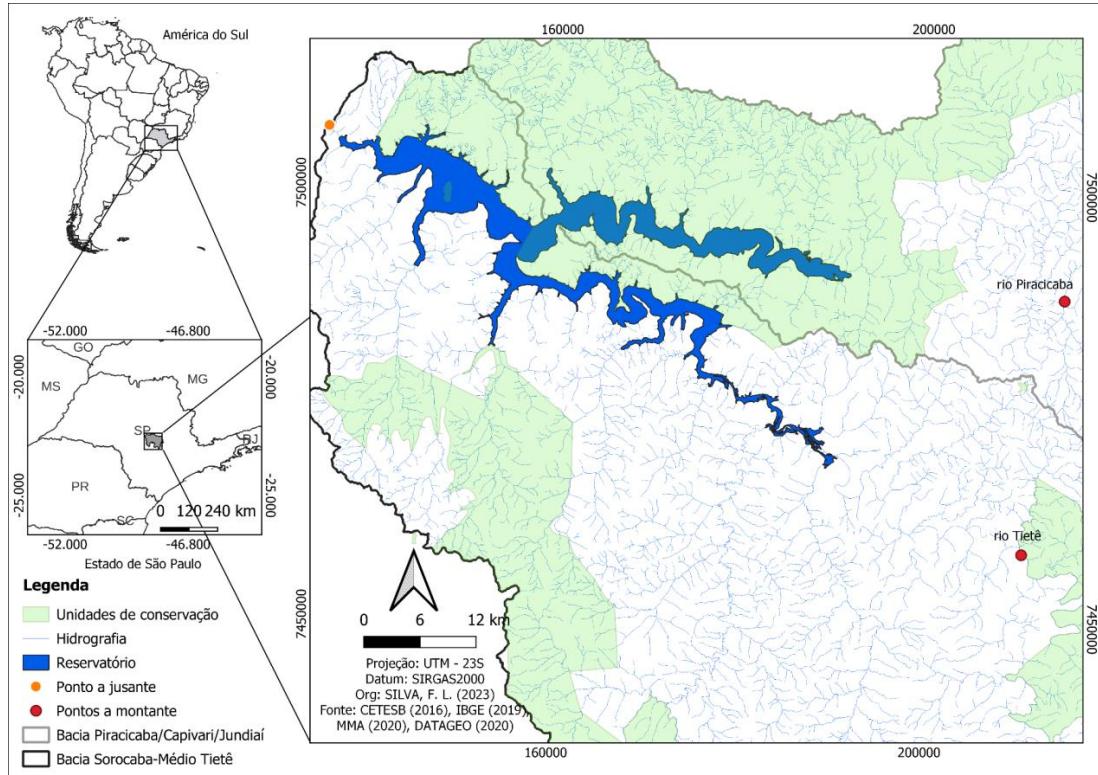
5

Tabela 1 – Principais características do RBB

Características	Informações
Ano de operação	1960
Nível máximo operacional (m)	452,50
Área de drenagem (km ²)	32.330
Área do reservatório (km ²)	324,84
Perímetro (km)	525
Comprimento (km)	788
Volume (m ³)	3.160x10 ⁶
Profundidade máxima (m)	25
Profundidade média (m)	10,2
Tempo de retenção (dias)	30 – 90

Fonte: Tundisi, Matsumura-Tundisi e Abe (2008), Gibertoni et al. (2011).

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo e os pontos de amostragem



Fonte: Os autores.

6

3.2. Procedimentos Metodológicos

As variáveis limnológicas empregadas neste trabalho são oriundas do monitoramento realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) entre 2010 e 2019, nas estações de amostragem mencionadas, disponibilizadas em relatórios eletrônicos (Cetesb, 2022). Em cada ano, foram coletadas e analisadas seis amostras de água de acordo com os procedimentos padrão (Apha-Awwa-Wef, 2012; Usepa, 2020). As seguintes variáveis foram analisadas: nitrogênio amoniacal (NH_4), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), coliformes termotolerantes (CT), cloreto total (CHL), nitrito (NO_3), nitrito (NO_2), pH, fósforo total (FT), sólidos totais (ST) e turbidez (TURB).

A abordagem matemática utilizada nesta pesquisa teve como base estudos prévios conduzidos, que consideraram a capacidade de retenção de reservatórios em cascata e/ou a variação temporal do balanço de massa das variáveis limnológicas (Cunha-Santino; Fushita; Bianchini Jr., 2017; Bianchini Jr.; Fushita; Cunha Santino, 2019; Bottino et al., 2023). Com base nas Equações 1 e 2, realizou-se a descrição dos balanços de massa das variáveis limnológicas. Para tanto, assumiu-se como premissa que o reservatório é um sistema caracterizado por uma mistura completa com entrada constante de fluxo (Chapra; Reckhow, 1983).

$$\alpha = \frac{Q}{V} + k_1 \quad (\text{Equação 1})$$

$$C = \frac{W}{\alpha V} (1 - e^{-\alpha t}) \text{ (Equação 2)}$$

Em que: α = fator de assimilação, d^{-1} (Σ sink); k = constante da taxa de reação de primeira ordem; d^1 ; Q/V = fluxo hidráulico (HF = taxa de diluição), d^1 ; Q = vazão a montante; V = volume do reservatório; C = valor da variável em estado estacionário; W = o termo de carregamento (e.g. a carga diária da substância); $kg\ d^{-1}$; t = o tempo necessário para atingir a concentração de equilíbrio.

As seguintes premissas básicas foram assumidas: (i) os reservatórios são passíveis de serem representados por um modelo zero dimensional (i.e. reator contínuo de tanque completamente misturado), e (ii) o tempo de retenção hidráulica é suficiente para que o reservatório atinja o equilíbrio (Jørgensen; Bendoricchio, 2001; Cunha-Santino; Fushita; Bianchini Jr., 2017). As variáveis limnológicas à jusante dos reservatórios derivam dos valores à montante, exceto pelos elementos gerados ou assimilados no reservatório durante o tempo de retenção (Søndergaard; Jensen; Jepesen, 2003; Teodoru; Wehrli, 2005).

Os coeficientes de alfa (α) foram obtidos através de uma padronização dos valores de perdas (e.g. adsorção, sedimentação, absorção biológica) ou ganhos dos elementos no reservatório, comparados com os valores iniciais, derivados dos principais afluentes do reservatório em análise (RBB). Conforme Bianchini Jr., Fushita e Cunha-Santino (2019), pode-se observar o seguinte: (i) se o valor de alfa é positivo e maior que a taxa de diluição (FH), é um indicativo de que o elemento é retido no reservatório, bem como a retenção do elemento é maior do que a adução; (ii) se o valor de alpha é igual a FH , a retenção é nula, logo a concentração a jusante é a mesma a montante; e (iii) se o valor de alpha é negativo ou menor que FH , é um indicativo de que a retenção é nula, como também o reservatório é uma fonte do elemento, dado que a concentração a jusante é superior que a montante. A categorização dos valores de alpha se baseou no seguinte: (i) valores > 0 e $< 0,5$ = moderada capacidade de retenção; (ii) valores $> 0,5 - 1,0$ = boa capacidade de retenção; (iii) valores $> 1,0$ = alta capacidade de retenção.

A parametrização do modelo se baseou na obtenção do coeficiente alpha para a variáveis limnológicas (CF, DBO, CE, CHL, PT, NO₂, NO₃, NH₄, OD, pH, TURB e ST), obtidas durante seis campanhas anuais entre o período de 2010 e 2019. Para esse propósito, foi utilizada na Equação 2: (i) a média dos valores de cada ponto de entrada (W), (ii) a média da adução do fluxo, (iii) o tempo de retenção e (iv) o volume. Através da substituição do valor de alfa (método iterativo), os valores das variáveis calculadas (parâmetro C) foram comparados com a média dos valores obtidos nas campanhas amostrais. Os valores de alpha foram calculados com base no algoritmo iterativo não linear GRG (*Generalized Reduced Gradient*; Fylstra et al., 1998), utilizando o método dos mínimos quadrados.

Os dados de vazão e volume foram obtidos através da base de dados sobre reservatórios da ANA (Ana, 2022). Já os dados das variáveis limnológicas e precipitação (Prec), são oriundos da Cetesb (2022). Para o estabelecimento dos valores de entrada das variáveis limnológicas e precipitação, foram consideradas às vazões históricas dos rios Tietê (1981-2019, média = 230,80 m³) e Piracicaba (1994-2019, média = 135,59 m³), obtidas em bases oficiais (Daee, 2022; Sinrh, 2022). Considerando que o reservatório é formado por dois grandes afluentes, os valores de entrada das variáveis foram determinados mediante uma média ponderada, considerando o fluxo médio de cada rio, seguido de sua somatória ao longo do

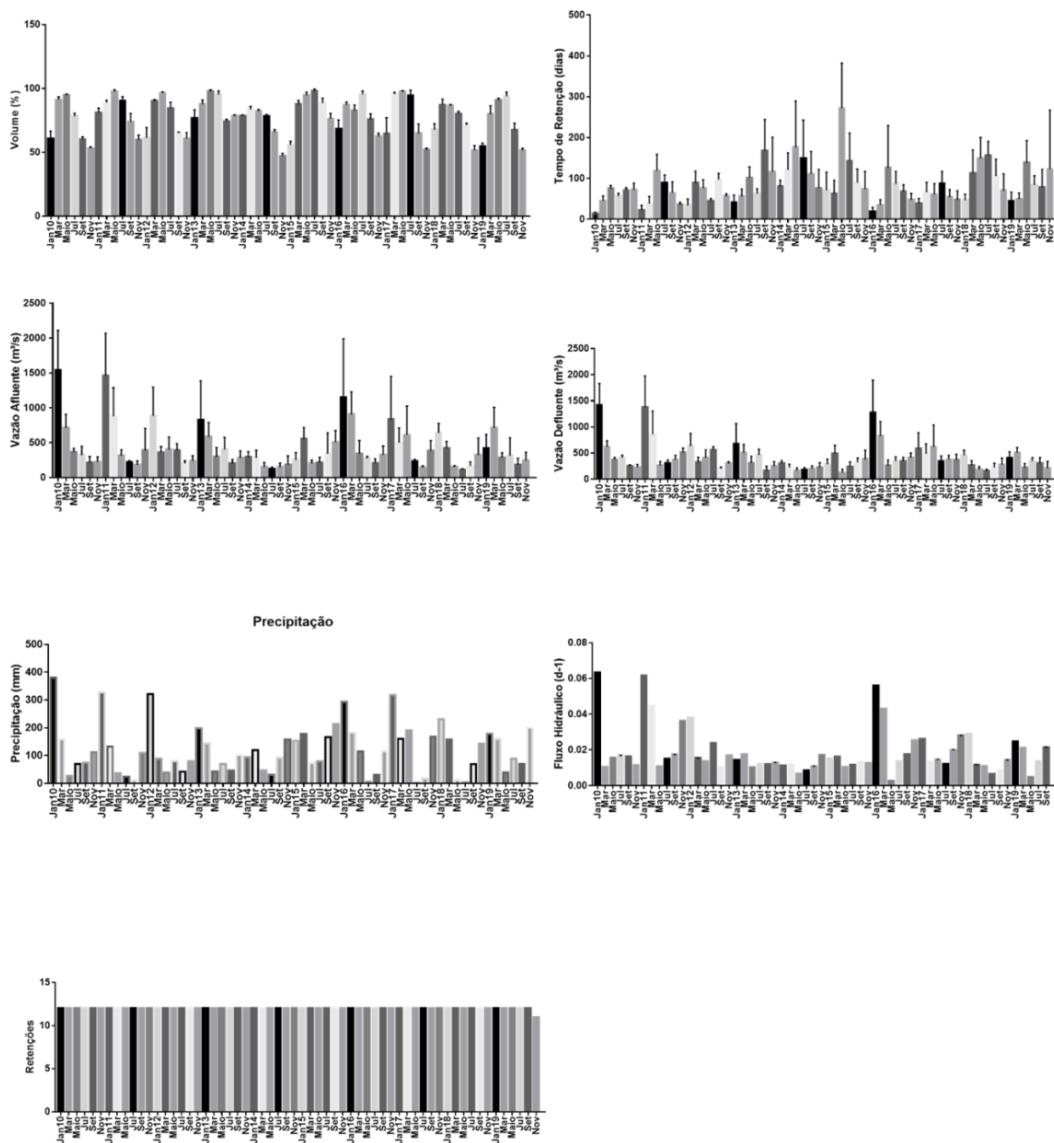
período avaliado. Por fim, buscando evidenciar se existem relações entre o número de retenções das variáveis limnológicas, precipitação e aspectos físicos do reservatório (volume, vazão afluente - Vaf, vazão defluente - Vdef, FH, tempo de retenção - TR), foi conduzida uma análise de correlação de Spearman (p -valor: 0,05) em linguagem R.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

RBB é um reservatório dendrítico, formado por dois tributários principais. Durante o período de análise, o tempo de retenção do reservatório variou de 16 a 321 dias, apresentando um tempo médio de 84 dias (± 65 dias). Desta forma, o reservatório se renovou várias vezes durante o período analisado. O volume médio girou em torno de 77% ($\pm 15,35\%$) da capacidade do sistema. Conforme evidenciado, os coeficientes de alpha foram positivos e maiores que FH, indicando que a variável foi retida pelo sistema. Baixos valores foram observados para FH (média = $0,018765 \text{ d}^{-1} \pm 0,012786 \text{ d}^{-1}$) no intervalo selecionado.

Se tratando do período de análise, algumas variáveis são apresentadas na Figura 2. O volume apresentou flutuações entre os anos de 2010 e 2019, variando principalmente em função da sazonalidade e do regime de precipitação, que apresentou maiores valores durante os meses iniciais de 2010, 2012, 2016 e 2017.

Figura 2 – Variações temporais da vazão, volume, vazão afluente, vazão defluente, fluxo hidráulico, precipitação e retenções das variáveis limnológicas do RBB



Fonte: Os autores.

Entre os anos de 2013 e 2015, observa-se o aumento do tempo de retenção do RBB, assim como menores vazões (afluente e defluente). Os maiores valores de FH foram observados nos anos de 2010 e 2016. Quanto a retenção das variáveis, 649 determinações foram realizadas, considerando as 12 variáveis. Os valores obtidos para alpha e FH, por meio das Equações 1 e 2, são detalhados por Silva (2022, p. 132 - 139).

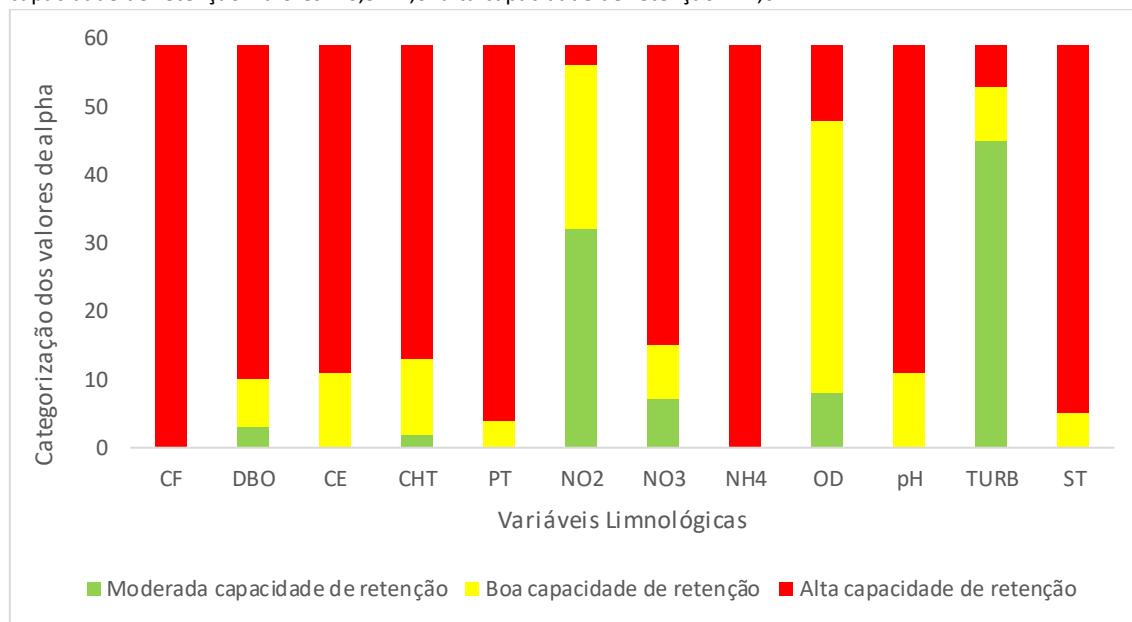
Nenhum valor negativo de alpha foi obtido durante a análise. Quanto aos valores de alpha menores que FH, tal situação foi observada durante uma determinação de TURB, no mês de setembro de 2019. Já nas demais determinações ($n = 648$), os valores de alpha foram positivos e superiores aos valores de FH (mais de uma ordem de grandeza). O cenário encontrado indica que o sistema aquático possui uma boa capacidade de retenção das variáveis limnológicas. Quanto aos eventos de retenção, salvo TURB ($n = 58$), as demais

variáveis apresentaram 59 eventos de retenção cada. Basicamente, todas as variáveis foram retidas pelo RBB.

A retenção das variáveis foi observada de maneira semelhante, no período de estiagem (maio, julho e setembro) e de cheia (janeiro, março e novembro), já que praticamente o mesmo número de determinações foram realizadas nestes períodos.

Na Figura 3, é evidenciada a categorização dos valores de alpha. Os valores da categorização de CF e NH₄ demonstram que o reservatório possui uma alta capacidade de retenção. Por outro lado, se tratando das variáveis NO₂ e TURB, a capacidade de retenção é moderada, dado o predomínio dos valores de alpha entre 0 e 0,5. Por sua vez, no caso de PT, os valores indicam uma alta capacidade de retenção, salvo algumas situações que demonstram uma boa capacidade. Já em relação ao OD, é claro o predomínio de valores indicativos de uma boa capacidade de retenção. No caso das demais variáveis (DBO, CE, CHT, NO₃, pH e ST), uma alta capacidade de retenção é indicada na maior parcela dos valores.

Figura 3 – Categorização dos valores de alpha. Onde: CE= condutividade elétrica; CF = coliformes termotolerantes; DBO = demanda bioquímica de oxigênio; NH4 = nitrogênio amoniacal; NO2 = nitrito; OD = oxigênio dissolvido; PT = fósforo total; TURB = turbidez; ST = sólidos totais; moderada capacidade de retenção: valores > 0 e < 0,5; boa capacidade de retenção: valores > 0,5 - 1,0; alta capacidade de retenção: > 1,0.



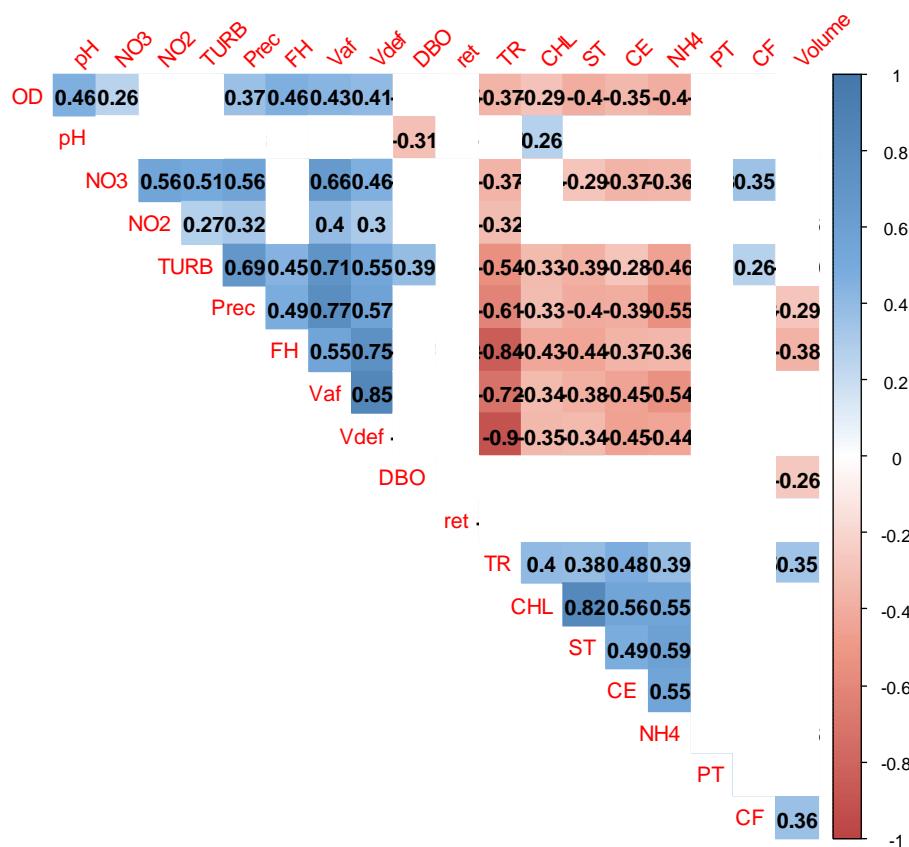
Fonte: Os autores.

As correlações significativas de Spearman (*p*-valor: 0,05) entre as variáveis analisadas são apresentadas na Figura 4. Observam-se correlações positivas e negativas. Quanto aquelas que são positivas entre os valores de alpha e outras variáveis, destacam-se: OD e pH, NO₃ e OD; OD e Prec; OD e FH; OD e Vaf; Vdef e OD; NO₃ e NO₂, NO₃ e TURB; NO₃ e Prec; NO₃ e FH; NO₃ e Vaf; NO₃ e Vdef; NO₂ e TURB; NO₂ e Prec, NO₂ e Vaf; NO₂ e Vdef; TURB e Prec; TURB e FH; TURB e Vaf; TURB e Vdef; TURB e CF, Prec e FH; Vaf e Prec; Prec e Vdef; FH e Vaf; FH e Vdef; Vaf e Vdef; TR e CHL; TR e CE; TR e ST, TR e TURB, TR e Volume, NH₄ e CHL; NH₄ e CE; NH₄ e ST, e CHL e CE. Por outro lado, correlações negativas foram observadas: OD e TR; OD e CHL, OD e NH₄; OD e ST, OD e CHL; OD e CE; pH e DBO, NO₃ e TR; NO₃ e NH₄; NO₃ e ST, NO₃ e CHL;

NO₃ e CE; TURB e TR; TURB e NH₄; TURB e CHL; TURB e ST, Prec e TR; Prec e NH₄; Prec e CE; Prec e ST, FH e TR; FH e NH₄; FH e CHL; FH e ST; FH e Volume; Prec e Volume; Vaf e TR; Vaf e NH₄; Vaf e CHL; Vaf e CE; Vaf e ST; Vdef e TR; Vdef e NH₄; Vdef e ST; Vdef e CHL; Vdef e CE; Prec e Volume; e FH e Volume. Algumas correlações fortes foram constatadas, principalmente envolvendo TURB, Vaf, Vdef, CHL e volume.

Os resultados evidenciam possíveis relações entre os fatores físicos e a precipitação do reservatório influenciam nos valores de alpha, o que pode estar associado com a ocorrência de processos biogeoquímicos.

Figura 4 – Matriz da correlação de Spearman. Onde: CE= condutividade elétrica; CF = coliformes termotolerantes; DBO = demanda bioquímica de oxigênio; NH4 = nitrogênio amoniacal; NO2 = nitrito; OD = oxigênio dissolvido; PT = fósforo total; TURB = turbidez; ST = sólidos totais; FH = taxa de diluição (d-1), Prec = precipitação (mm); Vaf = vazão afluente; Vdef = vazão defluente; TR = tempo de retenção; ret = número de retenções. Os espaços em branco indicam correlações não significativas (p-valor: 0,05).



11

Fonte: Os autores.

O RBB pode ser considerado um dos sistemas aquáticos mais degradados da bacia hidrográfica do Prata, situação decorrente principalmente da poluição advinda de regiões metropolitanas e pelo desenvolvimento de atividades agrícolas (Nogueira et al., 2021). O comprometimento da qualidade da água do reservatório se associa principalmente com a interferência antropogênica nos seus principais tributários, os rios Tietê e Piracicaba. Sabe-se que, a criação de reservatórios ocasiona impactos ambientais adversos, que afetam a área de

contribuição direta e a jusante do empreendimento, visto a sua influência direta na disponibilidade de água (Zaniolo et al., 2021) e os processos ecológicos que ali ocorrem.

Os reservatórios são sistemas que possuem uma série de processos bioquímicos, que contribuem para a ciclagem da matéria e transformação de elementos (Cunha-Santino; Bitar; Bianchini Jr., 2013). Destaca-se que, os processos longitudinais e as características dos reservatórios (e.g. trofia, morfometria, heterogeneidade) se associam com os processos metabólicos, como produção primária, degradação da matéria orgânica e ciclos biogeoquímicos (Tundisi, 2018; Hasanzadeh et al., 2020). Nestes sistemas, são observados os mesmos processos que estruturam e regem o funcionamento dos lagos naturais (Tundisi, 2018).

O volume de água acumulado nos reservatórios e os processos que ali ocorrem, como as taxas de sedimentação de frações do carbono e retenção de nutrientes, contribuem para a diferenciação das variáveis limnológicas a jusante e a montante do ecossistema (Santos et al., 2018). Estes sistemas artificiais funcionam como reatores biogeoquímicos, deste modo, acabam retendo substâncias e ocasionando diferenças nas concentrações de entrada e saída ao longo do tempo (Akbarzadeh et al., 2019).

No caso do RBB, ficou evidente como suas propriedades hidráulicas e processos biogeoquímicos predominantes contribuem para a retenção de grande parcela dos valores das variáveis selecionadas, o que resulta na melhoria da qualidade da água a jusante. A assimilação de compostos pelos reservatórios pode ser compreendida como um serviço ecossistêmico (Intralawan et al., 2018), mas é importante enfatizar todos os impactos socioambientais e externalidades relacionadas à construção destes ambientes, tanto os positivos como os negativos.

12

Todavia, quando estabilizados, estes sistemas exercem influência direta na retenção de elementos e devem ser considerados no manejo dos impactos adversos, como eutrofização (Akbarzadeh et al., 2019). Entre os anos de 2013 e 2015, uma grave crise hídrica ocorreu no estado de São Paulo (Jacobi; Buckeridge; Ribeiro, 2021). Deste modo, as variações observadas no caso de RBB podem estar associadas com as variações que ocorreram no volume e vazão, dada a forte influência do regime pluviométrico e da sazonalidade.

Outros estudos evidenciaram que estes ecossistemas artificiais conseguem sequestrar diversas variáveis limnológicas devido ao seu funcionamento e metabolismo (Smith; Espíndola; Rocha, 2014; Cunha-Santino; Fushita; Bianchini Jr., 2017; Bianchini, Fushita; Cunha-Santino, 2019; Maavara et al., 2020). No presente estudo, as retenções observadas podem estar principalmente ligadas a sedimentação e assimilação biológica.

As condições de operação dos reservatórios influenciam diretamente no fluxo, bem como as alterações antropogênicas nas áreas de contribuição direta interferem nestes sistemas (Gonçalves et al., 2013; Ciria; Labat; Chiogna, 2019), especialmente em áreas metropolitanas. Modelos matemáticos voltados para a avaliação de reservatórios contribuem para a elaboração de diretrizes de manejo (Zhou et al., 2016). O balanço de massa acaba sendo um método utilizado para a quantificação da retenção de substâncias, como o nitrogênio (Akbarzadeh et al., 2019).

A heterogeneidade espacial dos reservatórios está ligada a fatores como morfologia, fluxo e tempo de residência; logo alterações podem ocorrer na absorção e mineralização de compostos oriundos do sistema aquático e terrestre (Berberich et al., 2019).

Fatores como temperatura e volume pluviométrico influenciam diretamente o funcionamento dos reservatórios (Yan et al., 2020). O manejo de reservatórios demanda a implementação de processos institucionais e de governança, dado o seu papel na provisão de água em situações de estiagem e escassez (Kellner, 2021). Logo, o disciplinamento do uso da terra em áreas metropolitanas, o emprego de práticas agrícolas sustentáveis e a implementação de soluções baseadas na natureza contribuem para a melhoria da qualidade desses sistemas aquáticos.

Reservatórios são sistemas complexos que fazem parte de ecossistemas socioecológicos, são influenciados pelas ações antropogênicas, processos naturais e político-institucionais (Kellner, 2021). O caso do RBB, não é diferente, medidas de manejo são necessárias para a sua manutenção a longo prazo, é preciso conduzir investimentos para a melhoria da qualidade da água de seus tributários. A abordagem adotada demonstrou-se útil para a verificação da capacidade de retenção de reservatórios em áreas antropizadas. Os achados podem contribuir para a tomada de decisão.

5 CONCLUSÃO

A modelagem matemática demonstrou ser uma ferramenta útil para a avaliação da qualidade da água de reservatórios. De fato, o RBB consegue reter grande parte das variáveis dos rios Piracicaba e Tietê, devido a suas propriedades hidráulicas e processos biogeoquímicos. A melhoria da qualidade da água ocorre a jusante do reservatório. Apesar de estar inserido em uma região subtropical e sofrer forte influência da sazonalidade, variações não ocorreram na capacidade de retenção. Todavia, ao se deparar com a categorização dos valores de alpha, nota-se que a retenção pode ser considerada boa ou muito alta, na maior parte dos casos. Mesmo sendo um dos reservatórios mais poluídos do estado de São Paulo e sofrer forte influência antropogênica de três regiões metropolitanas (Campinas, Piracicaba e São Paulo), RBB fornece um importante serviço ecossistêmico, dada a sua capacidade de retenção.

13

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro fornecido pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico - CNPq (Processo: 830728/1999-6) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. **Dados de operação dos reservatórios SIN**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar0/MedicaoSin?dropdownListEstados=26&dropdownListReservatorios=19040&dataIncial=05%2F01%2F2010&dataFinal=05%2F01%2F2010&button=Buscar>. Acesso em: 25 jan. 2022.

AKBARZADEH, Z.; MAAVARA, T.; SLOWINSKI, S.; VAN CAPPELLEN, P. Effects of damming on river nitrogen fluxes: a global analysis. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 33, n. 11, p. 1339-1357, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2019GB006222>

ALBERTI, M. Cities of the Anthropocene: urban sustainability in an eco-evolutionary perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 379, n. 1893, p. 20220264, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0264>

ALCÂNTARA, BERNARDO, N.; RODRIGUES, T.; WATANABE, F. Modeling the spatio-temporal dissolved organic carbon concentration in Barra Bonita reservoir using OLI/Landsat-8 images. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 3, p. 1-6, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0275-2>

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater 22^a Edition**. Washington, DC, january 2012. Disponível em: <http://www.standardmethods.org>. Acesso em: 27 maio 2021.

BERBERICH, M. E.; BEAULIEU, J. J.; HAMILTON, T. L.; WALDO, S.; BUFFAM, I. Spatial variability of sediment methane production and methanogen communities within a eutrophic reservoir: Importance of organic matter source and quantity. *Limnology and Oceanography*, v. 65, n. 6, p. 1336-1358, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/lno.11392>

BERNARDO, N.; WATANABE, F.; RODRIGUES, T.; ALCÂNTARA, E. Evaluation of the suitability of MODIS, OLCI and OLI for mapping the distribution of total suspended matter in the Barra Bonita Reservoir (Tietê River, Brazil). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 4, p. 68-82, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2016.06.002>

BIANCHINI, I.; FUSHITA, Â. T.; CUNHA-SANTINO, M. B. Evaluating the retention capacity of a new subtropical run-of-river reservoir. *Environmental Monitoring Assessment*, v. 191, n. 3, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7295-5>

14

BOTTINO, F.; CASALI, S. P.; CUNHA-SANTINO, M. B.; CALIJURI, M. D. C.; BIANCHINI JÚNIOR, I. Potential of the retention capability of a Neotropical reservoir (São Paulo State, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensis*, v. 35, p. e4, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X6922>

BORTOLINI, J. C.; SILVA, P. R. L.; BAUMGARTNER, G.; BUENO, N. C. Response to environmental, spatial, and temporal mechanisms of the phytoplankton metacommunity: comparing ecological approaches in subtropical reservoirs. *Hydrobiologia*, v. 830, n. 1, p. 45-61, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3849-8>

BRAVO-LINARES, C.; OVANDO-FUENTEALBA, L.; MUÑOZ-ARCOS, E.; KITCH, J. L.; MILLWARD, G. E.; LÓPEZ-GAJARDO, R.; MARCELA CAÑOLES-ZAMBRANO, M.; DEL VALLE, A.; KELLY, C.; BLAKE, W. H. Basin scale sources of siltation in a contaminated hydropower reservoir. *Science of the Total Environment*, v. 914, p. 169952, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169952>

CHAPRA, S. C.; RECKHOW, K. H. **Engineering Approaches for Lake Management: Mechanistic Modelling**. Butterworth Publishers, Worburn, 1983.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Publicações e Relatórios**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 17 mar. 2022.

CIRIA, T. P.; LABAT, D.; CHIOGNA, G. Detection and interpretation of recent and historical streamflow alterations caused by river damming and hydropower production in the Adige and Inn river basins using continuous, discrete and multiresolution wavelet analysis. *Journal of Hydrology*, v. 578, p. 124021, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124021>

CUNHA-SANTINO, M. B.; BITAR, A. L.; BIANCHINI JR., I. Chemical constraints on new man-made lakes.

Environmental Monitoring and Assessment, v. 185, n. 12, p. 10177–10190, 2013. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s10661-013-3322-0>

CUNHA-SANTINO, M. B.; FUSHITA, A. T.; BIANCHINI JR, I. A modeling approach for a cascade of reservoirs in the Juquiá-Guaçu River (Atlantic Forest, Brazil). **Ecological Modelling**, v. 356, p. 48 - 58, 2017. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.04.008>

Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. **Hidrologia - Banco de dados hidrológicos**. Disponível em:
<http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/Default.aspx?dadosorigem=Fluviométricos&ugrhi=UGRHI&cidadeugrhi=PIRA CICABA%2FCAPIVARI%2FJUNDIAI&prefixoposto=4D-007>. Acesso: 25 jan. 2022.

FLIPPIS, G. et al. Water Quality Assessment: A Quali-Quantitative Method for Evaluation of Environmental Pressures Potentially Impacting on Groundwater, Developed under the MINO Re. Project. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 6, p. 1835, 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/ijerph17061835>

FYLSTRA, D.; LASDON, L.; WATSON, J.; WAREN, A. Design and use of the Microsoft Excel solver. **INTERFACES**, v. 28, n. 5, p. 29-55, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/inte.28.5.29>

GIBERTONI, R. F. C.; PINTO, R. B.; REBUTINI, I. F. **Avaliação da estabilidade de bordas de reservatório**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1 - 19, 2011. Disponível em:
https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/153/5fc110af5ffc3a0918ea9eb9ef066e1_f37bd4f91b09f3881866218eb898ee89.pdf. Acesso em: 27 out. 2024.

GODOY, R. F. B.; TREVISAN, E.; BATTISTELLI, A. A.; CRISIGIOVANNI, E. L.; NASCIMENTO, E. A.; FONSECA MACHADO, A. L. Does water temperature influence in microcystin production? A case study of Billings Reservoir, São Paulo, Brazil. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 255, p. 104164, 2023. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104164>

GONÇALVES, S. C.; MARTINS, C. R. B.; ROMERO, D. C. G.; OKIMOTO, F. S. Análise das condições ambientais no Ribeirão Baixotes, na bacia hidrográfica do baixo Tietê, em Birigui (São Paulo, Brasil). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 13, n. 89, p. 12-19, 2013. Disponível em:
<https://doi.org/10.17271/23188472138920256171>.

HASANZADEH, S. K.; SAADATPOUR, M.; AFSHAR, A. A fuzzy equilibrium strategy for sustainable water quality management in river-reservoir system. **Journal of Hydrology**, v. 586, p. 124892, 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124892>

INTRALAWAN, A.; WOOD, D.; FRANKEL, R.; COSTANZA, R.; KUBISZEWSKI, I. Tradeoff analysis between electricity generation and ecosystem services in the Lower Mekong Basin. **Ecosystem Services**, v. 30, p. 27-35, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.007>

JØRGENSEN, S. E.; BENDORICCHIO, G. **Fundamental of Ecological Modelling**, 3 rd ed. Elsevier, Amsterdam, 2001.

KELLNER, E. The controversial debate on the role of water reservoirs in reducing water scarcity. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 8, n. 3, p. e1514, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wat2.1514>

JACOBI, P. R.; BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. C. Governança da água na Região Metropolitana de São Paulo-desafios à luz das mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 209-226, 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.013>

MAAVARA, T.; CHEN, Q.; VAN METER, K.; BROWN, L. E.; ZHANG, J.; NI, J.; ZARFL, C. River dam impacts on biogeochemical cycling. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 1, n. 2, p. 103-116, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43017-019-0019-0>

NOGUEIRA, M. G.; PERCHIBE-NEVES, G.; NALIATO, D. O.; CASANOVA, S. M. C.; DEBASTIANI-JÚNIOR, J. R.; ESPÍNDOLA, E. G. Limnology and water quality in La Plata basin (South America)–Spatial patterns and major stressors. *Ecological Indicators*, v. 120, p. 106968, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106968>

NOVAES, J. L. C.; CARVALHO, E. D. Analysis of artisanal fisheries in two reservoirs of the upper Paraná River basin (Southeastern Brazil). *Neotropical Ichthyology*, v. 11, p. 403-412, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252013005000002>

OLIVEIRA, S. A.; FERRAGUT, C.; BICUDO, C. E. M. Relationship between phytoplankton structure and environmental variables in tropical reservoirs with different trophic states. *Acta Botanica Brasílica*, v. 34, n. 1, p. 83-93, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-33062019abb0207>

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M. Avaliação espaço-temporal da relação entre o estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) e o potencial poluidor de sua bacia hidrográfica. *Sociedade & Natureza*, v. 19, n. 2, p. 5 – 19, 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/339088/1/a01v19n2.pdf>. Acesso: 26 out. 2024.

PIRES, D. A.; TUCCI, A.; CARVALHO, M. D. C.; LAMPARELLI, M. C. Water quality in four reservoirs of the metropolitan region of São Paulo, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, v. 27, n. 4, p. 370-380, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X4914>

16

ROTTA, ALCÂNTARA, E.; PARK, E.; BERNARDO, N.; WATANABE, F. A single semi-analytical algorithm to retrieve chlorophyll-a concentration in oligo-to-hypereutrophic waters of a tropical reservoir cascade. *Ecological Indicators*, v. 120, p. 106913, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106913>.

SANTOS, N. C. L.; GARCIA-BERTHOU, E.; DIAS, J. D.; LOPES, T. M.; AFFONSO, I. D. P.; SEVERI, W.; GOMES, L. C.; AGOSTINHO, A. A. Cumulative ecological effects of a Neotropical reservoir cascade across multiple assemblages. *Hydrobiologia*, v. 819, n. 1, p. 77-91, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3630-z>

SANTOS, F. S. R.; RIBEIRO, A. P.; OLIVEIRA, A.; GALLEGOS, J. L. Indicadores de Eutrofização na Represa Billings, São Paulo: Apoio ao Planejamento Urbano e à Gestão de Mananciais. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 13, n. 89, p. 141-163, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/23188472138920255957>.

SILVA, F. L. **Modelagem matemática, serviços ecossistêmicos e análise da paisagem como ferramentas no manejo de reservatórios inseridos em áreas antropizadas**. 2022. 149 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15796>

SILVA, F. L.; FUSHITA, Â. T.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JR, I. Adopting basic quality tools and landscape analysis for applied limnology: an approach for freshwater reservoir management. *Sustainable Water Resources Management*, v. 8, n. 3, p. 65, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00655-8>

Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH. **Séries Históricas de Estações - HIDROWEB**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br>. Acesso: 25 jan. 2022.

SMITH, W. S.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; ROCHA, O. Environmental gradient in reservoirs of the medium and low Tietê River: limnological differences through the habitat sequence. *Acta Limnologica Brasiliensis*, v. 26, p. 73-88, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2014000100009>

STEPHENS, G. L.; SLINGO, J. M.; RIGNOT, E.; REAGER, J. T.; HAKUBA, M. Z.; DURACK, P. J.; WORDEN, J.; ROCCA, R. Earth's water reservoirs in a changing climate. *Proceedings of the Royal Society A*, v. 476, n. 2236, p. 20190458, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0458>

SØNDERGAARD, M.; JENSEN, J. P.; JEPPESEN, E. Role of sedimentation and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, v. 505, p. 135 - 145, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008611.12704.dd>

TEODORU, C.; WEHRLI, B. Retention of sediments and nutrients in the Iron Gate I Reservoir on the Danube River. *Biogeochemistry*, v. 76, n. 3, p. 539-565, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-005-0230-6>

TUNDISI, J. G. Reservoirs: new challenges for ecosystem studies and environmental management. *Water Security*, v. 4, p. 1-7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2018.09.001>

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ABE, D. S. The ecological dynamics of Barra Bonita (Tietê River, SP, Brazil) reservoir: implications for its biodiversity. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, p. 1079-1098, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500015>

USEPA. **SW 846 - Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods – Environment Protection Agency, USA**. Disponível em: <http://www.epa.gov/waste/hazard/testmethods/sw846/online/index.htm>. Acesso em: 27 mar 2021.

XIE, Y.; WANG, S.; XIANG, S.; WANG, Z.; LI, Y.; WANG, Z.; ZHOU, M.; WANG, Y.; GAO, M. Ecological zoning and dynamic assessment of effectiveness in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Ecological Modelling*, v. 487, p. 110563, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110563>

17

YAN, M.; Chen, S.; Huang, T.; Li, B.; Li, N.; Liu, K.; ZONG, R.; MIAO, Y.; Huang, X. Community compositions of phytoplankton and eukaryotes during the mixing periods of a drinking water reservoir: dynamics and interactions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 4, p. 1128, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph17041128>

ZANIOLO, M.; GIULIANI, M.; SINCLAIR, S.; BURLANDO, P.; CASTELLETTI, A. When timing matters—misdesigned dam filling impacts hydropower sustainability. *Nature Communications*, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23323-5>

ZHOU, B.; XU, Y.; VOGT, R. D.; LU, X.; LI, X.; DENG, X.; YUE, A.; ZHU, L. Effects of Land Use Change on Phosphorus Levels in Surface Waters-a Case Study of a Watershed Strongly Influenced by Agriculture. *Water Air and Soil Pollution*, v. 227, n. 5, p. 1-14, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2855-6>

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Fabio Leandro da Silva e Marcela Bianchessi da Cunha-Santino.
- **Curadoria de Dados:** Fabio Leandro da Silva.
- **Análise Formal:** Fabio Leandro da Silva, Ângela Terumi Fushita, Marcela Bianchessi da Cunha-Santino e Irineu Bianchini Júnior.
- **Aquisição de Financiamento:** Fabio Leandro da Silva.
- **Investigação:** Fabio Leandro da Silva, Marcela Bianchessi da Cunha-Santino e Irineu Bianchini Júnior.
- **Metodologia:** Fabio Leandro da Silva, Marcela Bianchessi da Cunha-Santino e Irineu Bianchini Júnior.
- **Redação - Rascunho Inicial:** Fabio Leandro da Silva.
- **Redação - Revisão Crítica:** Ângela Terumi Fushita, Marcela Bianchessi da Cunha-Santino e Irineu Bianchini Júnior.
- **Revisão e Edição Final:** Fabio Leandro da Silva, Ângela Terumi Fushita, Marcela Bianchessi da Cunha-Santino e Irineu Bianchini Júnior.
- **Supervisão:** Ângela Terumi Fushita e Marcela Bianchessi da Cunha-Santino.

18

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Fabio Leandro da Silva, Ângela Terumi Fushita, Marcela Bianchessi da Cunha-Santino e Irineu Bianchini Júnior, declaro(amos) que o manuscrito intitulado "**Detectando o potencial de retenção de um reservatório influenciado por aportes de áreas metropolitanas**":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho
 2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.
-