

Article

# Avaliação da Qualidade da Água e da Contaminação por Microplásticos em Lagos Urbanos de Guarulhos, SP, Brasil

João Alexandre Saviolo Osti<sup>1</sup>, Brenda Basilio de Arruda<sup>2</sup>, Luís Henrique Nunes de Souza<sup>3</sup>, Ighor Fernandes Moreno de Carvalho<sup>4</sup>, Fabrício Bau Dalmas<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Doutorado em Aquicultura. Docente na Universidade Guarulhos. ORCID: 0000-0002-2154-2453. E-mail: jale.osti@gmail.com

<sup>2</sup> Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Enfermagem. Universidade Guarulhos. ORCID: 0009-0001-6403-2242. E-mail: brenda.arruda.basilio@gmail.com

<sup>3</sup> Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Enfermagem. Universidade Guarulhos. ORCID: 0000-0003-4544-9701. E-mail: nunessouzalh@gmail.com

<sup>4</sup> Mestre em Ciências Ambientais. Docente na Universidade Guarulhos. ORCID: 0000-0002-3499-8839. E-mail: ighorfmc@gmail.com

<sup>5</sup> Doutor em Geociências. Docente na Universidade Guarulhos. ORCID: 0000-0001-7547-6642. E-mail: fdalmas@prof.ung.br

## RESUMO

Lagos urbanos constituem importantes prestadores de serviços ecossistêmicos culturais, promovendo a integração entre a natureza e os centros urbanos. Contudo, esses ambientes estão sujeitos a diversos impactos antrópicos, especialmente a poluição decorrente do lançamento de esgotos domésticos e o descarte inadequado de resíduos sólidos. Neste contexto, o diagnóstico e o monitoramento ambiental são ferramentas essenciais para a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental. O presente estudo teve por objetivo caracterizar a distribuição espaço-horizontal da qualidade da água e da presença de microplásticos (MPs) em três áreas de lazer localizadas no município de Guarulhos, Região Metropolitana de São Paulo. Coletas foram realizadas durante o período chuvoso (fevereiro a março de 2022) e seco (agosto a outubro de 2022), em locais com diferentes graus de influência antrópica. Foram analisadas variáveis físico-químicas, microbiológicas e relacionadas à presença de MPs, além do cálculo do Índice de Estado Trófico. Os lagos estudados apresentaram turbidez e concentrações de fósforo total, clorofila-*a* e *Escherichia coli* superiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, e foram classificados desde oligotrófico a hipereutrófico, indicando ampla heterogeneidade na trofia dos lagos. Microplásticos foram detectados em todas as áreas estudadas, com densidades de até 1.654 MP L<sup>-1</sup>. Os resultados evidenciam o processo de degradação ambiental nos lagos urbanos avaliados, fortemente influenciado pelas atividades humanas no entorno e condições de acesso e uso público. A presença de MPs, em especial, destaca-se como um indicador emergente de poluição difusa. Diante disso, recomenda-se a intensificação do monitoramento ambiental desses ecossistemas, com a inclusão sistemática da análise de MPs, bem como a implementação de ações de restauração ecológica e programas de educação ambiental. Tais medidas devem ser promovidas por *stakeholders*, visando à proteção dos recursos hídricos e à segurança da população que usufrui desses espaços de lazer urbano.

**Palavras-chave:** diagnóstico ambiental; recurso hídrico; eutrofização; microplástico; região metropolitana de São Paulo.

## ABSTRACT

Urban lakes are important providers of cultural ecosystem services, fostering the integration of nature within urban centers. However, these environments are subject to various environmental impacts, notably pollution stemming from domestic sewage discharge, improper solid waste disposal, and other anthropogenic factors. Environmental diagnosis and monitoring are essential tools for safeguarding public health and environmental quality. This study aimed to characterize the spatial-horizontal distribution of water quality and microplastics (MPs) in three recreational areas in the municipality of Guarulhos, São Paulo Metropolitan Region. Samples were collected during the rainy season (February–March 2022) and dry season (August–October 2022) at locations



Submissão: 02/10/2025



Aceite: 03/03/2026



Publicação: 18/06/2026



with varying degrees of anthropogenic influence. It analyzed physical-chemical, microbiological, and MP-related variables, and calculated the Trophic State Index. The studied lakes exhibited concentrations of turbidity, total phosphorus, chlorophyll-*a*, and *Escherichia coli* exceeding the limits established by CONAMA Resolution No. 357/2005. They were classified from oligotrophic to hypereutrophic, indicating wide heterogeneity in lake trophic. Microplastics were detected in all areas, with densities up to 1,654 MP L<sup>-1</sup>. The results underscore the environmental degradation occurring in these urban lakes, which is strongly influenced by surrounding human activities and the degree of public access and use. The presence of MPs emerges as a key indicator of diffuse pollution. We therefore recommend intensifying the environmental monitoring of these ecosystems to systematically including MP analysis, alongside implementing ecological restoration efforts and environmental education programs. Such measures must be promoted by stakeholders to protect water resources and ensure the safety of the population utilizing these urban leisure spaces.

**Keywords:** environmental diagnosis; water resources; eutrophication; microplastic; São Paulo metropolitan region.

## Introdução

Espaços verdes urbanos, como parques e lagos, frequentemente localizados em regiões metropolitanas ou em áreas contíguas de fácil acesso à população, são caracterizados pela presença de vegetação nativa ou exótica e infraestrutura voltada à recreação, cultura, esporte, educação e arte. Esses espaços integram a paisagem urbana e destacam-se pela prestação de serviços ecossistêmicos, como a contenção de cheias em eventos de alta precipitação e a mitigação do efeito de “ilhas de calor” (Tucci 2010; Chen et al. 2020; Costa et al. 2021; Régis et al. 2023).

Adicionalmente, os espaços verdes urbanos desempenham papel relevante na promoção da saúde física e mental das populações, contribuindo para a redução do estresse, a melhoria do bem-estar geral e a diminuição dos níveis de ansiedade e depressão (Régis et al. 2023; Capucho & Neves 2025). No entanto, esses ambientes estão sujeitos a intensas pressões antrópicas, que acarretam a perda de diversidade de habitats e micro habitats, além de favorecerem o processo de eutrofização artificial dos lagos urbanos (Goular & Castelo 2003; Régis et al. 2023).

Dada sua relevância socioambiental e paisagística, os lagos urbanos devem manter sua integridade ecológica e estética, sendo imprescindível o monitoramento contínuo da qualidade da água para garantir sua utilização segura pela população (Silva et al. 2017). Apesar disso, esses ambientes ainda recebem pouca atenção científica, com a maioria dos estudos em sistemas de água doce concentrando-se em ambientes naturais, seminaturais (Moldoveanu et al. 2025; Oliveira & Bortolini 2025) ou voltados ao abastecimento público (Soares & Calijuri 2021; Peixoto-Chamizo et al. 2025).

O município de Guarulhos, localizado no Estado de São Paulo e com aproximadamente 1,3 milhão de habitantes (IBGE 2023), é o segundo maior do estado, atrás apenas da capital. Assim como outras grandes metrópoles, apresenta déficit de áreas verdes em regiões urbanizadas, o que reforça a importância da preservação e manutenção dos parques e áreas verdes locais.

A urbanização de Guarulhos intensificou-se a partir da década de 1960, em meio a um período de elevado fluxo migratório no Brasil. Desde então, o crescimento populacional ocorreu de forma acelerada e desordenada, sem o devido planejamento da infraestrutura urbana, resultando em sérios problemas ambientais, especialmente relacionados à gestão da qualidade da água, com lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento em rios e córregos (Guarulhos [s.d.]).

A hidrografia do município é composta por cinco principais bacias hidrográficas: Baquirivu-Guaçu, Central, Cabuçu de Cima, Tietê-Sena e Jaguari (Andrade 2009). Estudos ambientais sobre esses ambientes lóticos foram realizados por Oliveira et al. (2018), Silva et al. (2019), Vargas et al. (2017; 2018; 2019) e Pelisson et al. (2024), os quais evidenciaram os impactos do uso e ocupação do solo e os efeitos da urbanização sobre a qualidade da água. Em particular, Oliveira et al. (2018), Vargas et al. (2019) e Pelisson et al. (2024) investigaram a sub-bacia Cachoeirinha-Invernada; Silva et al. (2019) estudou a sub-bacia Cabuçu; e Vargas et al. (2018) analisou a bacia



do Ribeirão Guaraçau. Os resultados convergem para um cenário de degradação ambiental, marcado pela ocupação irregular de áreas de mata ciliares e pela precariedade ou ausência do saneamento básico.

Em contraste, os ambientes lênticos do município têm sido menos explorados cientificamente. Destacam-se os trabalhos de Azevedo et al. (2016), Souza et al. (2019), Pontes et al. (2020), Osti et al. (2022) e Silva et al. (2024), além de algumas monografias. Os estudos de Souza et al. (2019) e Pontes et al. (2020) avaliaram a comunidade fitoplanctônica de lagos urbanos de Guarulhos e Silva et al. (2024) descreve uma nova espécie de diatomácea para uma unidade de conservação municipal, onde apenas Azevedo et al. (2016) que aprofundaram as discussões sobre características físico-químicas e microbiológicas da água, trazendo considerações sobre os aspectos sanitários do lago Água Azul. Esses estudos apontam para uma relação entre o processo de urbanização, o aumento populacional no entorno dos lagos e a intensificação do processo de eutrofização.

Assim, a realização de diagnósticos ambientais sistemáticos nesses ecossistemas, integrando a coleta e interpretação de dados físicos, químicos e biológicos, é peça fundamental para a gestão eficiente dos recursos hídricos urbanos, pois permite identificar fontes de contaminação, alterações nos padrões ecológicos e impactos da urbanização. Adicionalmente, tais fatores são modulados pela sazonalidade, sobretudo em função de variações climáticas e hidrológicas, características morfológicas dos lagos e interferências antrópicas, que influenciam a disponibilidade anual de nutrientes (Zheng et al. 2024). Conforme argumentado por esses autores, o efeito cumulativo das mudanças climáticas não pode ser negligenciado, visto que é acentuado em regiões com elevado grau de impermeabilização e adensamento urbano.

O monitoramento da qualidade da água em lagos urbanos pode ser realizado por meio da análise de variáveis físicas, químicas e microbiológicas. Entre os indicadores microbiológicos mais utilizados, destaca-se a presença de *Escherichia coli*, microrganismo integrante da microbiota intestinal de humanos e de outros animais homeotérmicos (Barbosa et al. 2009). A detecção de *E. coli* nos ecossistemas aquáticos de água doce é amplamente utilizada como um indicador de contaminação fecal, dada a sua forte correlação com a presença de outros patógenos de origem entérica (bactérias, vírus e protozoários). Assim, sua ocorrência sinaliza riscos à saúde pública, uma vez que a ingestão dessa água ou o contato primário podem causar diversas enfermidades, como infecções gastrointestinais, febre, vômitos e, em casos mais graves, quadros de meningite ou septicemia (Nataro 1998; Croxen et al. 2013; Frias et al. 2020; ANA 2023).

Outro fator emergente de preocupação ambiental é a poluição hídrica por plásticos. A elevada geração diária desses resíduos, aliada ao descarte inadequado, contribui para sua presença em corpos d'água, afetando toda a cadeia alimentar (Montagner et al. 2021). Os microplásticos (MPs), originados da degradação de materiais plásticos por processos físicos, químicos e biológicos, estão presentes em reservatórios, lagos, rios e mares (Aliabad et al. 2019; Badea et al. 2023). Segundo a norma ISO/TR 21960:2020, os MPs são definidos como partículas sólidas insolúveis em água com dimensões entre 1 e 1.000  $\mu\text{m}$ . Partículas entre 1.000 e 5.000  $\mu\text{m}$  são classificadas como “microplásticos grandes”, e acima disso como “macroplásticos” (Montagner et al. 2021). Os principais riscos associados aos MPs incluem sua persistência ambiental, capacidade de adsorver poluentes orgânicos persistentes, ingestão pela biota aquática e transferência ao longo da teia trófica (Badea et al. 2023).

Considerando a importância dos lagos urbanos e a carência de dados sobre microplásticos em tais sistemas, este estudo teve como objetivo analisar a dinâmica espaço-horizontal e a variação temporal de variáveis físicas, químicas e microbiológicas (*E. coli*) e da ocorrência de microplásticos. A pesquisa foi conduzida em três ambientes urbanos com lagos no município de Guarulhos/SP, visando compreender as implicações desses fatores para os usos preponderantes desses ecossistemas.



## Material e Métodos

### *Área de estudo*

O município de Guarulhos localiza-se na porção nordeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Em termos hidrográficos, o território está inserido nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) do Alto Tietê (UGRHI-06) e do Paraíba do Sul (UGRHI-02), subdividindo-se em cinco bacias principais: Baquirivu-Guaçu, Central, Cabuçu de Cima, Tietê-Sena e Jaguari. O clima da região é o subtropical úmido, classificado como Cwb (temperado quente) de acordo com o sistema de Köppen (Alvares et al. 2013). A temperatura média anual entre 18°C e 19°C, sendo a média do mês mais frio abaixo de 15°C e nos meses mais quentes (verão) a média varia entre 23°C e 24°C. O índice pluviométrico está entre 1.250 e 1.500 mm/ano (Andrade et al. 2008).

O município de Guarulhos limita-se com Arujá (leste), Itaquaquecetuba (sudeste), Mairiporã (noroeste), Nazaré Paulista (norte), São Paulo (sul, sudoeste e oeste) e Santa Isabel (nordeste). As áreas de maior densidade demográfica concentram-se na região central e seu entorno, onde localizam-se os três sistemas límnicos selecionados para este estudo (Figura 1):

Lago dos Patos (LP): Localizado no bairro de Vila Galvão, é um dos espelhos d'água mais tradicionais do município. Possui área aproximada de 20.5 mil m<sup>2</sup> (Guarulhos, [s.d.]) e apresenta um avançado processo de assoreamento, com profundidade raramente superior a 1 m. Por estar inserido em ambiente intensamente urbanizado e cercado por vias pavimentadas, o corpo hídrico está sujeito ao aporte contínuo de resíduos sólidos e escoamento superficial urbano.

Parque Municipal Bosque Maia (BM): Situado na região central de Guarulhos, é considerado o maior parque urbano do município com 120 mil m<sup>2</sup> (Guarulhos, [s.d.]). Seus lagos são utilizados predominantemente para fins contemplativos e recreação passiva, contando com a proteção da vegetação arbórea local.

Zoológico Municipal de Guarulhos (ZOO): Os lagos são formados pelo barramento do córrego Ana Rita e apresentam uma dinâmica influenciada pelas atividades desenvolvidas no local e da área urbana limítrofe (Souza et al. 2019).

Em conjunto, esses ecossistemas representam importantes espaços de lazer para a população local, atuando simultaneamente como núcleos de conservação da biodiversidade urbana.

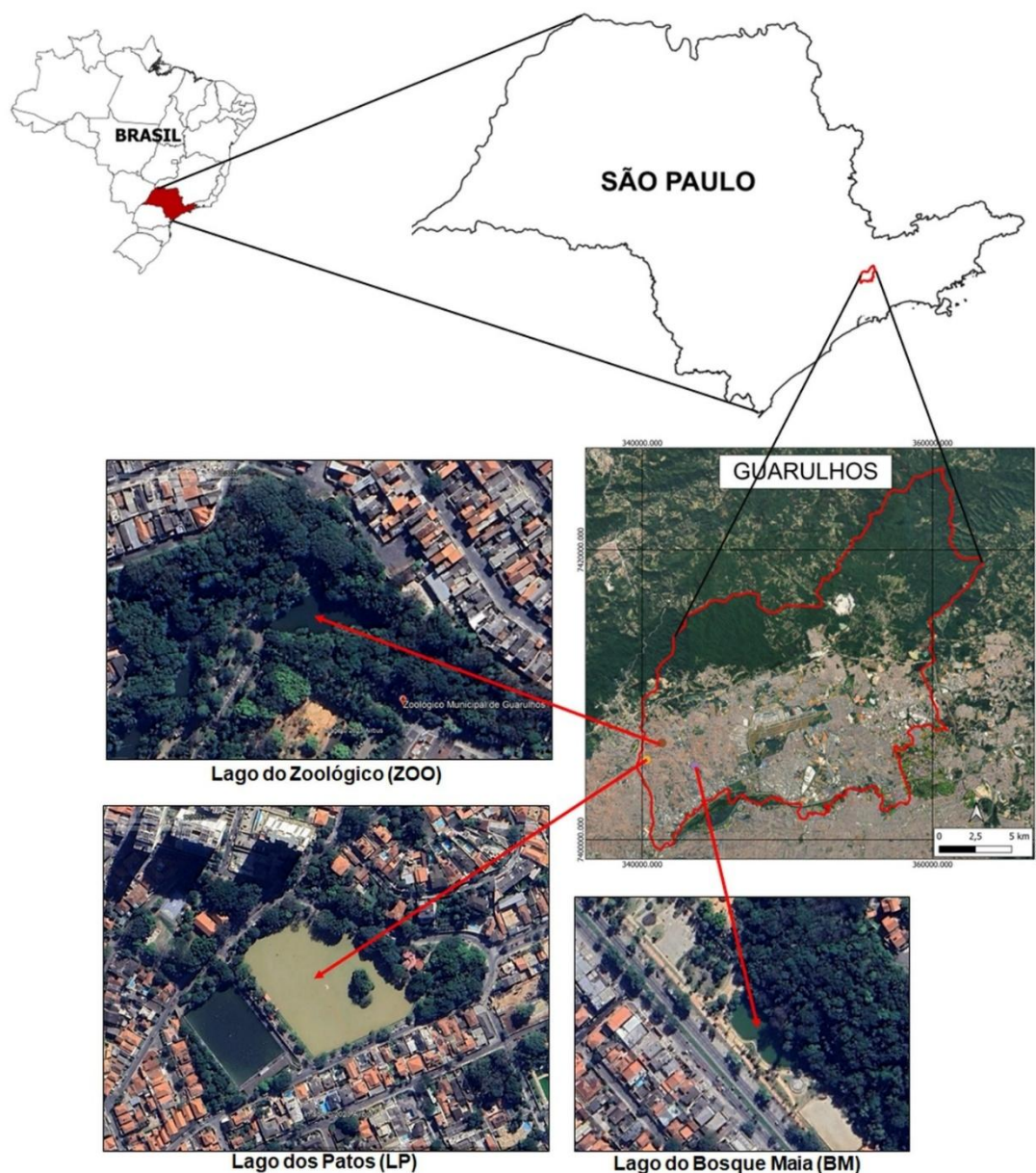


Figura 1. Localização dos lagos estudados localizados no município de Guarulhos. Imagens retiradas do Google Earth (data de voo: 21/02/2022).

Organização: F. Bau Dalmas, 2026. Fonte: Autoria própria (2026).

### ***Delineamento amostral***

As amostras foram coletadas na camada subsuperficial da coluna d'água nos três ambientes selecionados. O delineamento amostral (Figura 1; Tabela 1) foi estruturado da seguinte forma: 1) Lago dos Patos (LP): três estações amostrais, sendo uma no ponto de entrada de água (composta por drenagem e nascente) e duas situadas na região litorânea do lago. 2) Parque Bosque Maia (BM): cinco estações amostrais. A primeira localiza-se em um lago formado a montante por uma nascente; duas estão em lagos dispostos sequencialmente a este, e as outras duas situam-se em lagos formados pelo barramento de drenagem pluvial e de nascentes. 3) Zoológico Municipal de Guarulhos (ZOO): seis estações distribuídas em um sistema de lagos sequenciais, iniciando-se em um corpo hídrico localizado a jusante de uma nascente e seguindo pelo fluxo dos lagos subsequentes. Foram realizadas duas campanhas de amostragem em 2022: uma no período chuvoso (fevereiro e março) e outra no período seco (julho e agosto). Para a análise específica de microplásticos, considerou-se apenas a campanha



amostral referente ao período seco, visando avaliar a concentração desses contaminantes em um cenário de menor diluição pluvial. Adicionalmente, buscou-se caracterizar a ocorrência de micropartículas sintéticas nesses ecossistemas, estabelecendo uma base de dados que possa orientar e subsidiar estudos futuros sobre a dinâmica desse contaminante em ambientes urbanos.

Tabela 1. Código das estações de amostragem, coordenadas geográficas e características do entorno de três lagos urbanos localizados no município de Guarulhos/SP.

Site	Coordenadas Geográficas	Característica do Entorno
Lago dos Patos – LP1	23°27'8.95"S, 46°33'44.47"W	Água de drenagem
Lago dos Patos – LP2	23°27'6.81"S, 46°33'47.38"W	Lago sem acesso*
Lago dos Patos – LP3	23°27'8.98"S, 46°33'50.30"W	Lago sem acesso*
Bosque Maia – BM1	23°27'20.00"S, 46°31'50.33"W	Lago próximo à nascente
Bosque Maia – BM2	23°27'22.96"S, 46°31'51.92"W	Lago com acesso
Bosque Maia – BM3	23°27'25.47"S, 46°31'48.87"W	Lago com acesso
Bosque Maia – BM4	23°27'37.58"S, 46°31'39.98"W	Lago próximo à nascente
Bosque Maia – BM5	23°27'41.19"S, 46°31'37.42"W	Lago próximo à nascente
Zoológico – ZOO1	23°26'33.36"S, 46°33'6.67"W	Lago próximo à nascente
Zoológico – ZOO2	23°26'31.75"S, 46°33'11.66"W	Lago sem acesso
Zoológico – ZOO3	23°26'30.74"S, 46°33'12.96"W	Lago sem acesso
Zoológico – ZOO4	23°26'32.87"S, 46°33'14.10"W	Lago sem acesso
Zoológico – ZOO5	23°26'35.19"S, 46°33'15.89"W	Lago sem acesso
Zoológico – ZOO6	23°26'36.89"S, 46°33'17.28"W	Lago sem acesso

\* passeios de pedalinho aos finais de semana. Fonte: Autoria própria (2025).

### **Análises físico-químicas e microbiológicas da água**

Amostras de água foram coletadas na subsuperfície da coluna d'água com a auxílio de um balde metálico, transportadas e acondicionadas em frascos próprios seguindo os procedimentos do Guia nacional de coleta e preservação de amostras, disponibilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (CETESB; ANA 2023). *In situ* foram realizadas as análises das seguintes variáveis: temperatura da água (T; °C) e oxigênio dissolvido (OD; mg L<sup>-1</sup>) (Oxímetro Hanna HI 9146), pH (pHmetro Digimed DM-2), condutividade elétrica (CE; µS cm<sup>-1</sup>) (Conduvímeter Digimed DM-3) e turbidez (Tur; NTU) (Turbidímetro Quimis Q279P).

No laboratório foram realizadas as análises de fósforo total (PT; µg L<sup>-1</sup>) utilizando a metodologia proposta por Valderrama (1981). Sólidos Totais (ST; mg L<sup>-1</sup>) seguindo a metodologia descrita em APHA (2012). Para a análise da clorofila-*a* (Cl<sub>a</sub>; µg L<sup>-1</sup>) foram utilizados filtros de microfibras de vidro (AP 20) de 47 mm de diâmetro. Após a filtração, os filtros foram envolvidos em papel alumínio e estocados em freezer até a análise em laboratório. A extração por meio do etanol como solvente, bem como a análise, seguiu a técnica proposta por Marker et al. (1980) e Santory e Grobellar (1984). Para a quantificação de *E. coli*, utilizou-se a técnica de filtração por membrana, conforme metodologia descrita em APHA (2012). Os resultados foram expressos em UFC/100 mL, seguindo as recomendações da CETESB (2013). Ressalta-se que, embora a Resolução CONAMA n° 357/2005 estabeleça limites em NMP/100 mL, a literatura técnica e os órgãos fiscalizadores (APHA, 2012; CETESB, 2023) consideram as unidades UFC e NMP como numericamente equivalentes para fins de comparação com os padrões ambientais, garantindo a conformidade dos resultados com a legislação vigente.



### Índice de Estado Trófico

O índice de estado trófico (IET) classifica os corpos d'água quanto ao seu grau de trofia, avaliado quanto ao enriquecimento por nutrientes (variável fósforo total) e seu efeito na produção primária, ou seja, o seu efeito relacionado ao crescimento excessivo do fitoplâncton (variável clorofila-*a*).

A partir dos resultados de fósforo total e clorofila-*a* foram calculados o Índice do Estado Trófico (IET) de Carlson (1977) adaptado por Lamparelli (2004) para ambientes lênticos tropicais. O referido índice é recomendado pela Agência Nacional das Águas (ANA 2023) e utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para a avaliação da trofia dos corpos hídricos do Estado de São Paulo (CETESB 2023), de acordo com as Equações 1, 2 e 3.

$$\text{Equação 1. IET (Chl } a) = 10x\left[6 - \left(\frac{0,92-0,34x \ln \text{Chl } a}{\ln 2}\right)\right]$$

$$\text{Equação 2. IET (TP) = } 10x\left[6 - \left(\frac{1,77-0,42x \ln \text{TP}}{\ln 2}\right)\right]$$

$$\text{Equação 3. IET}_m = \left(\frac{\text{IET(Chl } a)+\text{IET(TP)}}{2}\right)$$

Onde: Chl *a* = concentração de clorofila-*a*, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ;

TP = concentração de fósforo total, em  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

O resultado do IET foi considerado a média aritmética simples (IET<sub>m</sub> – equação 3) dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila-*a*. A classificação do estado trófico utilizado foram: ultraoligotrófico IET  $\leq 47$ ; oligotrófico  $47 < \text{IET} \leq 52$ ; mesotrófico  $52 < \text{IET} \leq 59$ ; eutrófico  $59 < \text{IET} \leq 63$ ; supereutrófico  $63 < \text{IET} \leq 67$  e hipereutrófico IET  $> 67$ .

### Análise do microplástico

A metodologia de coleta, filtração, remoção da matéria orgânica e contagem dos microplásticos seguiram a metodologia proposta pela agência governamental dos Estados Unidos de Administração Nacional Oceânica e Atmosférica – NOAA (NOAA 2015) e protocolo descrito em León-Muez et al. (2020). As amostras de água foram coletadas na subsuperfície da coluna d'água com auxílio de balde metálico e armazenadas em garrafas de vidro com capacidade de 0,6 L, sem redução do volume *in situ* (Hidalgo-Ruz et al. 2012). No laboratório com o auxílio de sistema de filtração de vidro, as amostras foram filtradas com filtro de microfibras de vidro (AP20) com abertura de malha de 0,7  $\mu\text{m}$  e 47 mm de diâmetro, o volume filtrado variou entre 100 e 300 mL, considerando a colmatação do filtro.

Após a filtração, as amostras foram acondicionadas em dessecadores até a secagem e em seguida foram acondicionadas individualmente em placas de petri até a contagem. Para a remoção da matéria orgânica, as amostras foram adicionadas ao banho com peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), aguardando entre 1 a 24 horas para remover a matéria orgânica presente, dada a elevada turbidez em algumas amostras (Prata et al. 2019).

Finalmente, os filtros foram contados e identificados utilizando microscópio óptico da marca Olympus modelo BX51, em aumento de 20x a 100x. Os microplásticos foram contados e divididos em duas categorias, fragmentos e fibras. Os resultados foram expressos em microplásticos por litro ( $\text{MP L}^{-1}$ ), de acordo com a Equação 4.

$$\text{Equação 4. Microplástico (MP) L} = \frac{N \cdot 1000}{\text{Vol. filtrado}}$$



Onde  $N$  é o número de microplástico e vol. filtrado é o volume filtrado por amostra. Assim, foi mantida a quantidade de MP de todas as amostras em litro.

### **Análise estatística dos dados**

Os resultados das variáveis físicas, químicas e microbiológicas foram analisados por meio da estatística descritiva, utilizando a média aritmética como medida de tendência central e desvio padrão como medida de grau de dispersão absoluta dos dados.

De acordo como o preconizado pelo Decreto Estadual 10.755/77 (São Paulo 1977), os lagos estudados estão localizados na bacia hidrográfica do rio Cabuçu de Cima (Lago dos Patos e Zoológico de Guarulhos) e Central (Bosque Maia) e enquadrados como Classe 3 e 4, respectivamente, assim para padronização, os resultados das variáveis físicas, químicas e microbiológicas foram comparados aos valores limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água classe 3 (Brasil 2005), por ser mais restritivo quanto a concentração de oxigênio dissolvido e ao uso preponderante.

Para avaliar possíveis diferenças nas concentrações de *E. coli* entre os lagos urbanos de Guarulhos e entre o período seco e chuvoso, foi utilizado o teste não paramétrico independente de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0,05$ ) (Corder & Foreman 2014). A análise e apresentação gráfica em *box-plot* foi realizada no software estatístico Past 4.01.

Para análise da variabilidade ambiental das variáveis limnológicas em relação à presença de *E. coli*, foi realizada análise de agrupamento por componentes principais (ACP), através da matriz de correlação entre as variáveis limnológicas e a presença de *E. coli* nos lagos urbanos de Guarulhos, no período seco e chuvoso. Para essa análise foi utilizado o Programa PC-ORD versão 6.0 para Windows (McCune & Mefford 2011). Foram consideradas as variáveis com correlação significativa aquelas que apresentaram  $r > 0,5$  com os eixos 1 e 2 da ordenação. Os dados foram transformados aplicando  $[\log(x+1)]$ , exceto para pH.

### **Resultados e Discussão**

Os resultados das variáveis físicas, químicas e microbiológicas monitoradas nos lagos urbanos de Guarulhos (Bosque Maia, Lago dos Patos e Zoológico) estão compilados na Tabela 2. Os dados obtidos nos períodos seco e chuvoso foram confrontados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de Classe 3. Segundo a referida norma, corpos hídricos nesta categoria destinam-se ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, à preservação da biota e à dessedentação de animais. Para fins comparativos, a Classe 4 engloba águas destinadas apenas a usos menos exigentes, como harmonia paisagística, navegação e abastecimento industrial após tratamento avançado (Brasil 2005).

As condições das variáveis físicas, químicas e microbiológica dos Patos e Zoológico, estiveram acima dos padrões de qualidade da água para as variáveis fósforo total, clorofila-*a*, turbidez e *E. coli*, tanto no período seco quanto no chuvoso. Estes valores foram mais pronunciados para turbidez, com 93% das amostras com valores superiores a 100 NTU e *E. coli*, que dentre os lagos estudados, somente duas estações (ou 7%) estiveram de acordo com limite estabelecido na legislação CONAMA 357/05 (até  $2,5 \text{ UFC } 100 \text{ mL}^{-1} * 10^{+4}$ ).

Os elevados valores de turbidez observados no Lago dos Patos (LP), com picos que excederam 300 NTU (Tabela 2), estão associados à baixa profundidade do corpo hídrico, com profundidade raramente superior a 1 m, combinada ao uso de aeradores mecânicos. O funcionamento desses equipamentos em ambientes rasos promove o revolvimento do sedimento de fundo, suspendendo partículas e reduzindo a transparência da água. Tal condição é prejudicial para a ictiofauna local, pois a atenuação luminosa limita a zona eufótica e, conseqüentemente, a produtividade primária do fitoplâncton (Tundisi & Tundisi 2008). Adicionalmente, o



material sólido em suspensão pode aderir às brânquias dos peixes, comprometendo as trocas gasosas e aumentando a vulnerabilidade a patógenos (Moro et al. 2013).

Tabela 2. Valores médios e desvios padrão das variáveis ambientais mensuradas em três sistemas de lagos urbanos no município de Guarulhos/SP. Os dados referem-se aos períodos chuvoso (fevereiro a março de 2022) e seco (agosto a outubro de 2022). Lagos do Parque Bosque Maia (n = 5); Lagos dos Patos (n = 3); Lagos do Zoológico Municipal de Guarulhos (n = 6). Nota: Valores em negrito indicam concentrações que excedem os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 3 em ambientes lênticos. Abreviações ver tabela 3.

	Lago do Bosque Maia		Lago dos Patos		Lago do Zoológico		CONAMA 357/05
	Seco (04/07/2022)	Chuvoso (10/03/2022)	Seco (18/08/2022)	Chuvoso (03/03/2022)	Seco (22/08/2022)	Chuvoso (05/02/2022)	Classe 3
Temp (°C)	19,2±0,6	24,8±1,0	23,1±1,5	30,2±2,15	17,8±0,75	22,3±2,3	n. a.
pH	7,0±1,0	5,1±1,4	7,8±0,5	7,7±0,7	7,2±0,8	6,2±0,9	6,0 a 9,0
Cond. (µS. cm <sup>-1</sup> )	177,6±25,1	182,3±16,4	151,6±13,5	174,4±55,1	156,4±17,1	154,5±6,2	n. a.
Turb. (NTU)	83,5±41,2	67,0±52,2	282,5±155,3	238,4±119,9	105,9±7,4	105,3±3,9	< 100 UNT
OD (mg. L <sup>-1</sup> )	7,4±1,5	4,9±1,8	5,4±2,0	6,2±1,5	8,9±0,2	7,6±0,2	> 2 mg L <sup>-1</sup>
TP (µg. L <sup>-1</sup> )	28,7±24,2	66,5±98,4	30,9±4,0	24,4±3,2	74,3±28,4	54,2±20,3	< 50 µg L <sup>-1</sup>
Cl a (µg. L <sup>-1</sup> )	44,1±58,0	20,5±22,1	77,4±55,1	66,8±56,6	94,0±63,7	84,4±65,1	< 60 µg L <sup>-1</sup>
ST (mg. L <sup>-1</sup> )	0,2±0,0	0,1±0,1	0,4±0,5	0,2±0,0	0,3±0,1	0,2±0,2	< 500 mg L <sup>-1</sup>
<i>E. coli</i> *	2,1±1,3	1,1±0,8	1,8±0,3	0,4±0,2	1,7±0,6	1,4±0,5	< 2.500 NMP 100 mL <sup>-1</sup>
IET	56,2±7,5	56,2±5,3	61,9±4,4	58,8±5,1	64,1±3,4	61,6±5,9	---

\* *E. coli* = UFC/100 \* 10<sup>4</sup>; as unidades UFC e NMP foram consideradas numericamente equivalentes. Fonte: Autoria própria (2025).

No Bosque Maia, durante o período chuvoso, o valor médio do pH foi de 5,1, situando-se abaixo do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 (pH entre 6,0 e 9,0). Este resultado pode estar associado ao maior índice pluviométrico do período, que promove o carreamento de serapilheira e detritos vegetais de áreas adjacentes para o interior dos lagos. A decomposição dessa matéria orgânica, muitas vezes incompleta em sistemas lênticos, resulta na liberação de ácidos húmicos e fúlvicos, conferindo coloração escura e acidez à água. Adicionalmente, o processo de respiração microbiana eleva as concentrações de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), o qual, ao reagir com a água, forma ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), contribuindo para a redução do pH (Buzelli & Cunha-Santino 2013).

Para as variáveis fósforo total e clorofila-*a* foi registrado que 43 e 46%, respectivamente, dos lagos urbanos de Guarulhos estiveram em desacordo com o limite estabelecido pela legislação. Estes resultados evidenciam o processo de eutrofização dos lagos, uma vez que a constante presença de nutrientes (como o fósforo) tem como efeito o aumento excessivo da biomassa algal (clorofila-*a*), as consequências deste processo estão a formação de florações de microalgas e cianobactérias (Boyd 2016).



O relação de causa (aporte de P) e efeito (incremento da produtividade primária) foi evidenciada por meio do Índice de Estado Trófico, onde 64% dos lagos foram classificados como eutróficos (Tabela 2; Figura 2). As condições mais críticas de trofia foram registradas nos lagos do Zoológico, com classificações variando de eutrófico a hipereutrófico. A exceção ocorreu na estação ZOO1 (nascente) durante o período chuvoso, caracterizada como oligotrófica. No Lago dos Patos (LP), as condições de trofia foram mais severas no período seco em comparação ao chuvoso. Nos lagos do Bosque Maia (BM), observou-se uma variação espaço-horizontal e temporal da trofia, variando entre locais caracterizados como ultraoligotróficos até supereutróficos, sendo no período seco estes valores mais pronunciados do que no período chuvoso.

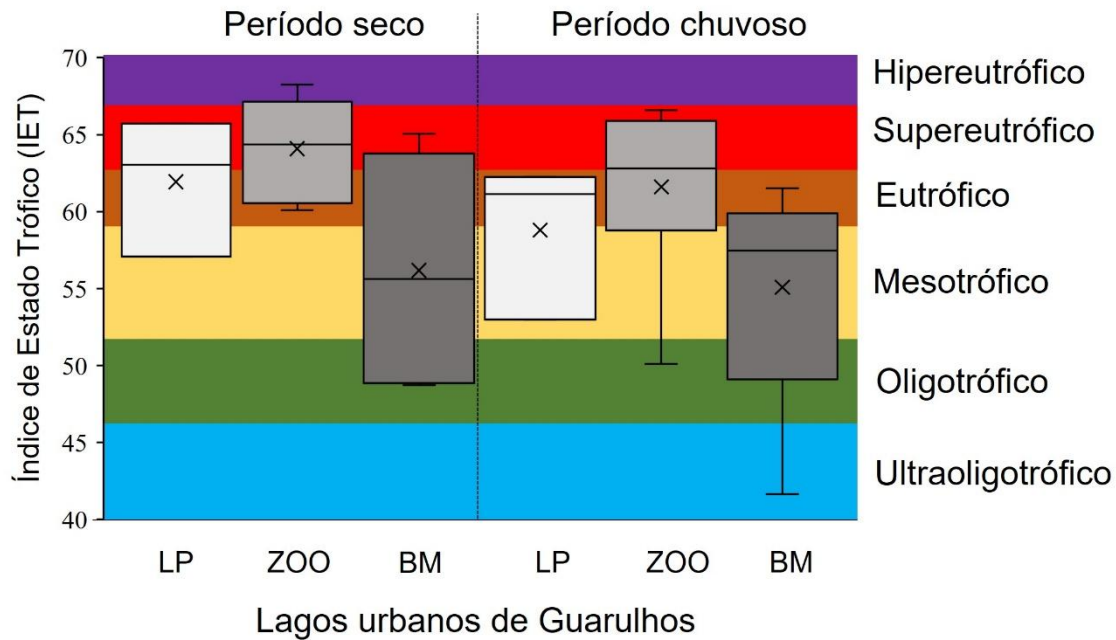


Figura 2. Análise BoxPlot dos valores do Índice de Estado Trófico (IET) de acordo com Índice de Carlson (1977) adaptado por Lamparelli (2004) para ambientes lânticos, em três locais com lagos no município de Guarulhos, durante o período chuvoso (fevereiro a março de 2022) e seco (agosto a outubro de 2022). Legenda: LP = Lago dos Patos; ZOO = Zoológico Municipal de Guarulhos; BM = Bosque Maia. As cores são meramente ilustrativas e correspondem as categorias de estado trófico. Fonte: Autoria própria (2025).

O IET é uma importante ferramenta para o diagnóstico e monitoramento dos ecossistemas aquáticos, uma vez que pode refletir a influência das atividades antrópicas sobre a trofia dos ecossistemas aquáticos (Cunha et al. 2013). Os estudos de Osti et al. (2022) utilizaram essa métrica para avaliar a trofia de cursos d'água de uma unidade de conservação (UC) em Guarulhos e concluem que a metodologia foi sensível em indicar o processo de eutrofização nos cursos d'água localizados na zona de amortecimento desta UC.

A intensificação do grau de trofia nos lagos urbanos representa uma ameaça à fauna aquática. A eutrofização eleva a demanda biológica de oxigênio a níveis que superam a capacidade de reposição natural (difusão atmosférica e fotossíntese diurna). Durante o período noturno, a inversão do balanço gasoso, em que o fitoplâncton e demais organismos (macrófitas, zooplâncton e peixes) consomem oxigênio e liberam CO<sub>2</sub> via respiração, pode resultar em déficits críticos de oxigênio dissolvido. Nessa condição, a ictiofauna torna-se vulnerável a patologias ou ao risco de morte por asfixia (Boyd 2016; Boyd et al. 2018).

A falta de oxigênio associado às florações de algas e cianobactérias devido ao processo de eutrofização é um dos principais fatores que levam as mortandades massivas de peixes. Ocorrências de mortandades de peixes no estado de São Paulo são registradas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB,



podemos verificar que a falta de oxigênio é um fator importante nas causas de mortes de peixes. Tomando como exemplo os registros entre 2020, 2021, 2022 e 2023, se verifica que a porcentagem de mortes de peixes ocasionada por falta de oxigênio e ou associada ao processo de eutrofização levando as florações de algas e cianobactérias corresponderam à 40%, 46%, 50% e 50% respectivamente (Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/>).

A presença de fitoplâncton potencialmente formador de florações já foi documentada em ecossistemas urbanos de Guarulhos, inclusive em corpos hídricos avaliados no presente estudo. Pontes et al. (2020), em levantamento que abrangeu o Lago dos Patos, Zoológico, Bosque Maia, entre outros, registraram cianobactérias como *Microcystis aeruginosa*, *Aphanocapsa annulata* e *Radiocystis fernandoi*. Estas espécies, classificadas como muito frequentes, são conhecidas produtoras de toxinas em ambientes eutrofizados, o que lhes confere elevada importância ecológica e sanitária. Complementarmente, Souza et al. (2019) atribuem a eutrofização dos lagos do Zoológico de Guarulhos tanto a atividades internas quanto a pressões antrópicas no entorno, como o descarte de lixo doméstico e o aporte de esgoto por fontes difusas.

Os lagos urbanos de Guarulhos apresentaram quantidades de *E. coli* acima dos valores recomendados para ambientes Classe 3, de acordo com a resolução CONAMA 357/2005, com valores que variaram entre 1.500 e 30.000 UFC 100 mL<sup>-1</sup> (Figura 3). Dentre as três áreas estudadas, os piores resultados foram observados nos lagos centrais do Bosque Maia (Estações BM 2, 3 e 4), durante o período seco. Já as menores concentrações de *E. coli* foram observadas no Lago dos Patos, durante o período chuvoso, independentemente da estação amostral.

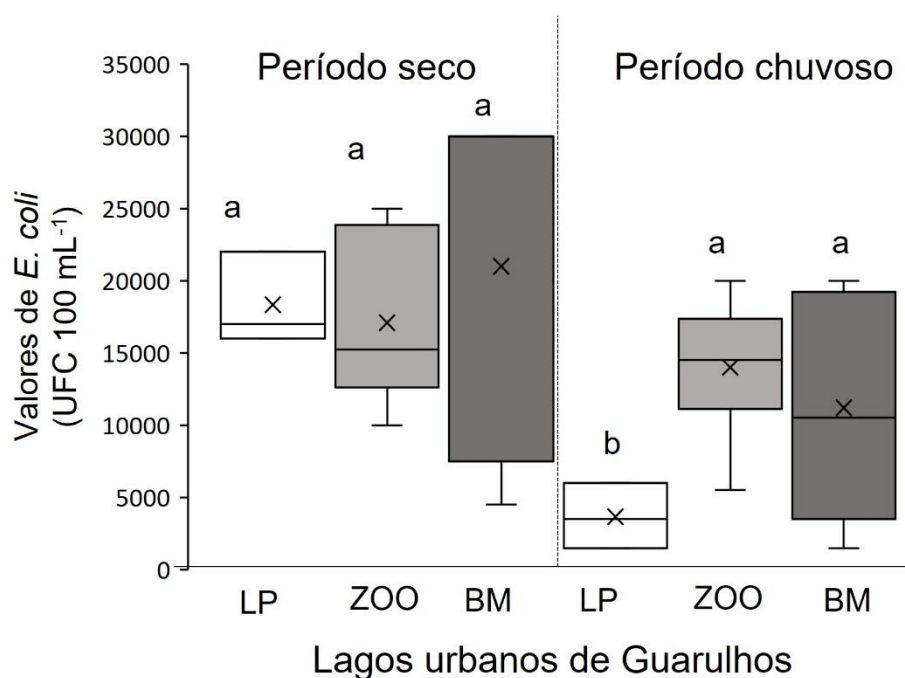


Figura 3. Análise BoxPlot entre os valores de *E. coli* em três locais com lagos no município de Guarulhos, durante o período chuvoso (fevereiro a março de 2022) e seco (agosto a outubro de 2022). Legenda: LP = Lago dos Patos; ZOO = Zoológico Municipal de Guarulhos; BM = Bosque Maia. Grupos (box) seguidos de letras diferentes (a e b) indicam diferenças de significância estatística pelo teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ). Fonte: Autoria própria (2025)

Os elevados valores de *E. coli* registrados nos lagos urbanos são preocupantes do ponto de vista sanitário, uma vez que estas bactérias são indicadoras de contaminantes fecais, e por este motivo são frequentemente monitorados em corpos d'água doce, para avaliar potenciais riscos para a saúde humana devido ao contato com patógenos em águas recreativas, uma vez que aumenta a possibilidade de ocorrência de doenças gastrointestinais (Frias et al. 2020). Cabe destacar que a *E. coli*, cujo habitat é exclusivo do trato digestório de seres humanos e



de animais homeotérmicos (Brasil 2005), pode indicar a contaminação por efluentes domésticos, mas também a presença de animais de “sangue quente” que apresentam a bactéria no seu intestino, fato que pode ser atribuído aos maiores valores de *E. coli* observados nos lagos do Zoológico de Guarulhos. Para Souza et al. (2019) o aporte de nutrientes das áreas internas do Zoológico de Guarulhos está relacionado a sobras de ração e dos dejetos dos animais confinados.

A avaliação conjunta dos dados, por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), resumiu 57% da variabilidade total dos dados nos dois primeiros eixos de ordenação, estes eixos resumiram os gradientes ambientais, ao explicar a dispersão espaço-horizontal dos lagos urbanos e as variáveis limnológicas, esse em conjunto com as variações observadas ao longo do período sazonal (Tabela 3; Figura 4).

O primeiro eixo foi o mais importante por explicar a distribuição espaço-horizontal dos lagos urbanos e das estações amostrais em função das características limnológicas. No lado negativo deste eixo, foram ordenadas as estações amostrais referentes ao Zoológico de Guarulhos (independentemente do período sazonal) e as estações 2, 3 e 4 do Bosque Maia (período seco), associadas com as maiores concentrações de oxigênio dissolvido, fósforo total, clorofila *a* e *E. coli*. Além da área central do Lago dos Patos (estações LP 2 e 3), associadas com os maiores valores de pH, sólidos totais e turbidez, além das maiores concentrações de clorofila-*a*. Já no lado positivo do eixo, foram agrupadas as amostras localizadas próximas as nascentes (ZOO1-R; BM1-R e D; PL1-R e D), além das amostras coletadas no Parque Bosque Maia (período chuvoso), associadas com os menores valores das variáveis limnológicas analisadas. No eixo do 2 é registrado o Lago dos Patos, associado com os maiores valores de temperatura da água e as menores concentrações de *E. coli*, independentemente do período amostrado.

Tabela 3. Matriz do coeficiente de correlação de Pearson, executadas da análise de componentes principais, entre as variáveis ambientais de lagos urbanos localizados no município de Guarulhos.

	<b>Abreviações</b>	<b>PC 1</b>	<b>PC 2</b>
Temperatura (°C)	Temp	0,218	0,691
Potencial Hidrogeniônico	pH	-0,673	0,425
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Cond	0,519	-0,489
Turbidez (NTU)	Turb	-0,679	0,284
Oxigênio dissolvido	OD	-0,548	-0,505
Fósforo total ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	PT	-0,476	-0,502
Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Cl <i>a</i>	-0,882	0,096
Sólidos totais ( $\text{mg L}^{-1}$ )	STS	-0,618	0,083
<i>E. coli</i> (UFC.100mL <sup>-1</sup> )	<i>E. coli</i>	-0,529	-0,622
	Explicabilidade	35,52%	21,82%

Fonte: Autoria própria (2025)

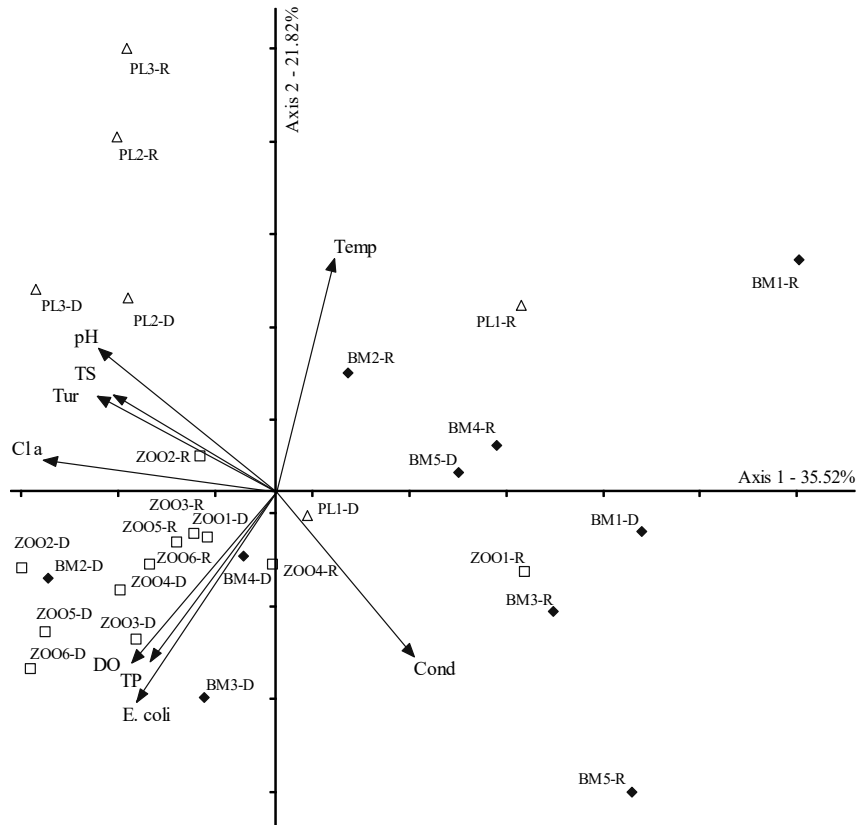


Figura 4. Ordenação biplot para a Análise de Componentes Principais (ACP), entre os valores médios das variáveis ambientais de lagos urbanos localizados no município de Guarulhos, no período seco e chuvoso. Sendo: Bosque Maia (◆), Lago dos Patos (▲) e Zoológico municipal de Guarulhos (□); R = período chuvoso e D = período seco. Para as correlações das variáveis físicas, químicas e microbiológicas da água com os eixos 1 e 2 de ordenação e as respectivas abreviações e unidades, ver tabela 3. Fonte: Autoria própria (2025).

A variação espaço-horizontal merece destaque nesta avaliação da eutrofização nos lagos urbanos de Guarulhos, por meio da ACP foi evidenciado que as áreas de nascentes (BM1 e ZOO1) apresentaram as menores concentrações de nutrientes e foram caracterizadas como oligo-mesotróficas, estes valores podem estar relacionados à maior proteção destas áreas, correspondentes aos usos menos antropizados e com predominância de vegetação, que por vezes apresentam acesso controlado ou até mesmo restrito para o público, como é o caso do ZOO1. Diferentemente do observado no presente estudo, o levantamento de Souza et al. (2019) classificou a região da nascente dos lagos do Zoológico de Guarulhos como supereutrófica. Essa divergência nos resultados pode estar associada não apenas ao maior controle de acesso e à preservação do entorno, mas também a uma otimização no manejo das atividades internas do Zoológico, como a gestão de resíduos e o controle de efluentes provenientes dos recintos. Tais medidas de manejo mitigam o aporte excessivo de nutrientes e matéria orgânica, favorecendo a melhoria do estado trófico desse sistema lântico ao longo do tempo.

Por outro lado, as elevadas concentrações de nutrientes e de *E. coli* registradas nos lagos, podem estar relacionados as atividades humanas desenvolvidas nas bacias hidrográficas. Para Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) as diferentes pressões antrópicas de uso e ocupação do solo, promovem mudanças nos ciclos hidrológicos, ciclos biogeoquímicos e na biodiversidade de ambientes aquáticos. Os achados por Azevedo et al. (2016), Souza et al. (2019) e Pontes et al. (2020), que estudaram diferentes lagos urbanos de Guarulhos corroboram com essa afirmação.



Quanto aos microplásticos, foram quantificados nos lagos urbanos de Guarulhos um total de 1.654 MP L<sup>-1</sup>, sendo 1.297 MP L<sup>-1</sup> formados por fibras e 357 MP L<sup>-1</sup> por fragmentos de MP (Tabela 4; Figura 5). O Bosque Maia foi o local que apresentou a maior quantidade de MPs (956 MP L<sup>-1</sup>), notadamente no Lago 2 (Lago central do parque), onde foram registradas 646 partículas de MP L<sup>-1</sup>

Tabela 4. Quantificação de microplásticos em lagos urbanos de Guarulhos/SP, coletas realizadas no período seco. Data de realização das coletas: Lagos dos Patos – 18/08/2023; Bosque Maia – 04/07/2022; Zoológico municipal de Guarulhos – 22/08/2022.

	Densidades Totais MP L <sup>-1</sup>		
	Fibras	Fragmentos	Total
Lago dos Patos - LP1	25	8	33
Lago dos Patos - LP2	96	0	96
Lago dos Patos - LP3	120	0	120
Bosque Maia - P1	39	8	47
Bosque Maia - P2	375	271	646
Bosque Maia - P3	129	43	171
Bosque Maia - P4	35	20	55
Bosque Maia - P5	30	8	38
Zoológico - P1	10	0	10
Zoológico - P2	71	0	71
Zoológico - P3	222	0	222
Zoológico - P4	72	0	72
Zoológico - P5	35	0	35
Zoológico - P6	38	0	38

Fonte: A autoria própria (2025)

Os valores de abundância e distribuição espaço-horizontal dos microplásticos em lagos urbanos de Guarulhos são apresentadas na Figura 4. O Lago dos Patos teve entre fibras e fragmentos um total de 15 MP L<sup>-1</sup>, também foi encontrado aparentemente um tecido. No Zoológico Municipal de Guarulhos, além de muitas microalgas foram encontrados um total de 38 fibras. O Bosque Maia foi o local que apresentou a maior quantidade de MP (81 MP L<sup>-1</sup>), o maior resultado de resíduos, entre fibras e fragmentos totalizaram 81 MPs. Foi encontrado mais fibras do que fragmentos, por exemplo, nas amostras coletadas no Zoológico de Guarulhos não foi registrado MPs na forma de fragmento.

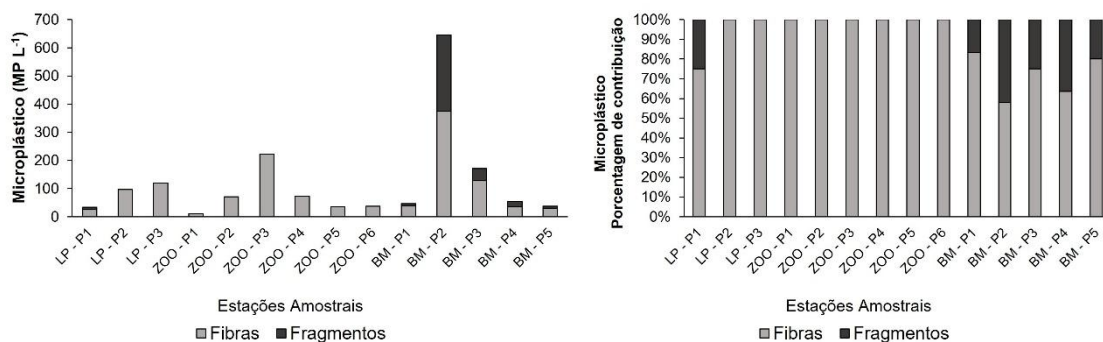


Figura 5. Abundância e distribuição de microplásticos em lagos urbanos de Guarulhos/SP, durante o período seco de 2022. Figura 2A – densidade de microplásticos. Figura 2B – porcentagem de contribuição entre fibras e fragmentos. Legenda: LP = Lago dos Patos; BM = Bosque Maia; ZOO = Zoológico de Guarulhos. Fonte: A autoria própria (2025).



O processo de urbanização e as atividades desenvolvidas no entorno dos lagos de Guarulhos promovem o aumento da carga difusa de nutrientes e contaminantes, que são carregados pelas sub-bacias até esses corpos d'água. Este cenário é alarmante diante das projeções da ONU (2019), que indicam que 70% da população mundial viverá em áreas urbanas até 2050. Nesse contexto, a preservação de lagos urbanos torna-se estratégica, pois eles fornecem serviços ecossistêmicos essenciais, como a mitigação de ilhas de calor, suporte à fauna e proteção contra inundações (Maia et al. 2020; Régis et al. 2023; Granath et al. 2024).

Entretanto, a integridade desses serviços é ameaçada pela poluição difusa, especialmente pelo descarte irregular de resíduos sólidos. O presente estudo verificou que locais com livre acesso de frequentadores apresentaram as maiores concentrações de microplásticos (MP), sendo as fibras a forma predominante. Essa onipresença de fibras pode estar diretamente relacionada à fragmentação de resíduos plásticos descartados inadequadamente, processo que reduz a flutuabilidade das partículas e aumenta sua biodisponibilidade para a biota aquática (Saad & Alamin 2024).

A predominância de fibras é particularmente preocupante para a ictiofauna local. Conforme sugerem Saad e Alamin (2024), espécies como a tilápia, exótica, porém amplamente distribuída no Brasil, demonstram preferência por partículas semelhantes a fibras durante o forrageio. Assim, a abundância dessa forma específica de MP nos lagos de Guarulhos pode potencializar a ingestão acidental e a bioacumulação de contaminantes.

Os resultados do presente estudo reforçam que os microplásticos são poluentes de ampla distribuição nos ecossistemas aquáticos, mas que ainda carecem de padronização metodológica para coleta e análise em águas doces. Este trabalho destaca-se por analisar como a variação espaço-horizontal e temporal e a gestão do uso do solo influenciam diretamente o desequilíbrio ecológico e a degradação química e física de ecossistemas urbanos críticos.

## Conclusão

Este estudo realizou uma análise espaço-horizontal e temporal da qualidade da água e da ocorrência de microplásticos (MP) em três sistemas de lagos urbanos de Guarulhos/SP, revelando um cenário de degradação acentuado pela urbanização e influenciado pela sazonalidade. Os resultados indicam que a maioria dos lagos monitorados (64%) apresenta estado eutrófico ou supereutrófico, e elevados valores de turbidez ( $> 300$  NTU) e condutividade ( $> 100 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), influenciados pelo manejo inadequado e pelo carreamento de matéria orgânica.

A análise microbiológica confirmou a influência de fontes de poluição pontuais e difusas, com concentrações de *E. coli* que desenquadram os corpos hídricos da Classe 3 (CONAMA 357/05) em diversos períodos. Paralelamente, a detecção ubíqua de microplásticos, com predominância de fibras em áreas de livre acesso ao público, evidencia que o descarte irregular de resíduos sólidos é um vetor de contaminação persistente. Tais poluentes não apenas comprometem a beleza cênica, mas representam riscos ecológicos à ictiofauna local e fauna migratória devido ao potencial de bioacumulação e ingestão acidental.

Por fim, a variação espaço-horizontal das variáveis ambientais demonstra que a gestão desses ambientes deve transcender o monitoramento paliativo. É imperativo que os *stakeholders* implementem estratégias de restauração ecológica integradas a projetos de educação ambiental. Tais ações devem focar na conscientização sobre o ciclo dos resíduos sólidos e os impactos invisíveis dos microplásticos, visando assegurar a manutenção dos serviços ecossistêmicos e a sobrevivência da fauna nesses refúgios urbanos.



## Referências

- Aliabad MK, Nassiri M, Kor K 2019. Microplastics in the surface seawaters of Chabahar Bay, Gulf of Oman (Makran coasts). *Marine pollution bulletin*, 143: 125-133.
- Alvares, CA, Stape, JL, Sentelhas, PC, Gonçalves, JLM, Sparoverk, G 2013. Koppen`s climate classification map of Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, 66 (6): 711-728.
- Portal da Qualidade das Águas [homepage on the Internet]. Brasília: Agência Nacional de Águas; [cited 2023 Feb 18]. Available from: <http://portalpnqa.ana.gov.br>
- Andrade MRMD 2009. *Planejamento ambiental da APA Cabuçu-Tanque Grande Guarulhos-SP*. Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo, 137 pp.
- APHA - American Public Health Association, AWWA, WEF 2012. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, v. 22.
- Azevedo FDA, Arruda RDOM, Rosini EF, de Brito Fernandes H, Pereira JA 2016. Aspectos sanitários de um lago urbano utilizado para recreação e lazer. *Revista Geociências-UNG-Ser*, 15(2): 75-93.
- Badea MA, Balas M, Dinischiotu A 2023. Microplastics in freshwater: Implications for aquatic autotrophic organisms and fauna health. *Microplastics 2023*, 2(1): 39–59.
- Barbosa DB, Lage MM, Badaró ACL 2009. Qualidade microbiológica da água dos bebedouros de um Campus universitário de Ipatinga, Minas Gerais. *Nutrir Gerais: Revista Digital de Nutrição*, Ipatinga, 3(5): 505-517.
- Boyd CE 2016 Phytoplankton a crucial component of aquaculture pond ecosystems. *Global Aquaculture Advocate*, 1-4.
- Boyd CE, Torrains EL, Tucker CS 2018. Dissolved oxygen and aeration in ictalurid catfish aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(1), 7-70.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama N° 357, de 17 de março de 2005. Estabelece a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: [https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1977/decreto-10755\\_22.11.1977.html](https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1977/decreto-10755_22.11.1977.html). Acesso em: 31 ago. 2023.
- Buzelli GM, Cunha-Santino MBD 2013. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. *Revista Ambiente & Água*, 8(1): 186-205.
- Capucho M, Neves FM 2025. Espaços Verdes Urbanos e Sua Influência na Saúde e Qualidade de Vida da População Mundial: Uma Revisão Integrativa. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 14(2), 258-270.
- Carlson RE. 1977. A trophic state index for lakes 1. *Limnology and oceanography*, 22(2): 361-369.



CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico 2023. *Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Organizadores: Renan Lourenço de O. Silva ... [et al.]. 2. ed. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 456 p.

CETESB - Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo 2013. Decisão de Diretoria da CETESB nº. 112/2013/E. Dispõe sobre o estabelecimento dos valores limites do parâmetro *Escherichia coli* (*E. coli*), para avaliação da qualidade dos corpos de águas do território do Estado de São Paulo.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice D – Índices de qualidade das águas [Internet]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 14 mai 2023.

Chen Q, Huang M, Tang X 2020. Eutrophication assessment of seasonal urban lakes in China Yangtze River Basin using Landsat 8-derived Forel-Ule index: A six-year (2013–2018) observation. *Science of the Total Environment*, 745.

Corder GW, Foreman DI 2014. *Nonparametric statistics: A step-by-step approach*, 2 ed. Wiley, New Jersey, 283 pp.

Costa KA, Dal Col A, Ventura ACT, Gumy MN, Los Weinert P, de Oliveira Scheffer EW 2021. Influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água em lagos urbanos: um estudo de caso. *Brazilian Journal of Development*, 7(2):19889-19907.

Croxen MA, Law RJ, Scholz R, Keeney KM, Wlodarska M, Finlay BB 2013. Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical microbiology reviews*, 26(4): 822-880.

Cunha DGF, do Carmo Calijuri M, Lamparelli MC 2013. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI<sub>tr</sub>). *Ecological Engineering*, 60: 126-134.

Frias DFR, Pinheiro RSB, Américo-Pinheiro JHP, Buosi ALB 2020. Variação espaço-temporal da concentração de *Escherichia coli* em águas superficiais e a saúde pública. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 8(60):77-86.

Goulart M, Callisto M 2003. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, 2(1): 156-164.

Granath G, Hyseni C, Bini LM, Heino J, Ortega JC, Johansson F 2024. Disentangling drivers of temporal changes in urban pond macroinvertebrate diversity. *Urban Ecosystems*, 27(4): 1027-1039.

Guarulhos. Guarulhos: Prefeitura de Guarulhos. Disponível: <https://www.guarulhos.sp.gov.br/historia>. Acesso em: 30 de abril de 2024. [s.d.].

Guarulhos. Prefeitura Municipal. Parques de Guarulhos. Disponível em: <https://www.guarulhos.sp.gov.br/parques-de-guarulhos>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2026. [s.d.].

Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson RC, Thiel M 2012. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental science & technology*, 46(6), 3060-3075.



IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2022 Disponível em:  
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/guarulhos/panorama> Acesso em: 09/07/2023

Lamparelli MC 2004. *Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 238 pp.

León Muez, D, Peñalver Duque, P, Franco Fuentes, E, Benfatti, E, Comes Aguilar, L, Ciudad Trilla, C, Muñoz, M, Güemes, S, Fernando de Fuentes, A, Serrano Martín, L. Parrilla Giraldez, R 2020. *Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos*. Disponível em:  
[https://proyectolibera.org/wpcontent/uploads/2020/06/Protocolo\\_muestreo\\_análisis\\_microplásticos\\_ríos\\_Proyecto\\_Libera\\_HyTweb.pdf](https://proyectolibera.org/wpcontent/uploads/2020/06/Protocolo_muestreo_análisis_microplásticos_ríos_Proyecto_Libera_HyTweb.pdf)

Maia I, Santos AA, Souza Santos R 2020. A importância das áreas verdes em espaços urbanos: reflexões sobre qualidade de vida e marcos legais. *Produção acadêmica*, 6(1): 02-23. Marker AFH, Nusch EA, Rai H Riemann B 1980. The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods: conclusions and recommendations. *Arch Hydrobiol Beib Ergebn Limnol*, 14: 91-106.

McCune, B, Mefford, MJ 1997. *PC-ORD for Windows: multivariate analysis of ecological data*, version 6.0. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA.

Moldoveanu MM, Florescu LI, Dumitrache CA, Catana RD 2025. Assessing Urban River Health: Phytoplankton as a Proxy for Resource Use Efficiency and Human Impact. *Phycology*, 5(4): 72.

Montagner CC, Dias MA, Paiva EM, Vidal C 2021. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. *Química nova*, 44(10): 1328-1352.

Moro GV, Rezende FP, Alves AL, Hashimoto DT, Varela ES, Torati LS, ... & Santos VRM 2013. *Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos*. Brasília-DF: Embrapa, cap, 4: 97-139

Nataro JP, Kaper JB 1998. Diarrheogenic *Escherichia coli*. *Clinical microbiology reviews*, 11(1): 142-201.

NOAA - National Oceanic and Atmosphere Administration 2015. *Métodos de Laboratorio para el Análisis de Microplásticos en el Medio Marino: Recomendaciones para la cuantificación de partículas sintéticas en aguas y sedimentos*.

Oliveira AKN, Bortolini JC 2025. Environmental, spatial, and land-use determinants as key drivers of phytoplankton in urban lakes. *Urban Ecosystems*, 28(5): 178.

Oliveira DGD, Vargas RR, Saad AR, Arruda RDOM, Dalmas FB, Azevedo FDA 2018. Land use and its impacts on the water quality of the Cachoeirinha Invernada Watershed, Guarulhos (SP). *Revista Ambiente & Água*, 13(1).

ONU News. 2019. *Mudanças climáticas podem aumentar fome e insegurança alimentar no mundo, alerta FAO*. 2 de fevereiro de 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>. Acesso em: 30 de abril de 2023.



Osti JAS, Marquardt GC, Freitas GS, Rosini EF 2022. Water quality indicators in water bodies of Guarulhos State Forest, Southeastern Brazil. In: Ferreira, M.L. (Ed.) *Biogeochemistry and ecosystem services in Urban green-blue systems*. ANAP, Tupã, pp. 98–114.

Peixoto-Chamizo ACP, Mercante, CTJ, Moraes, MAB, do Carmo, CF, de Oliveira, MBH Osti JAS 2025. Morpho-functional groups as an efficient tool for monitoring and management of the Billings reservoir (São Paulo, Brazil). *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 60: e2126.

Pelisson O, Osti JAS, Dalmas FB, Souza LHN, Mesquita MV, Costa RCA, Nakazato RK, Conceição MM, Bulbovas-Hueb P 2024. Análise ambiental integrada, uma ferramenta voltada ao monitoramento e gestão de áreas urbanas: estudo da Bacia Hidrográfica Cachoeirinha Invernada-Guarulhos/SP. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar*, 5(12): e5126110.

Pontes DD, Ferreira JA, Alencar GG, Santo KSE, Rosini EF 2020. Relação de espécies da comunidade fitoplanctônica de lagos urbanos do município de Guarulhos-SP. *Revista Geociências-UNG-Ser*, 19(1): 50-66.

Prata JC, Da Costa JP, Duarte AC, Rocha-Santos T 2019. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150-159.

Régis MM, Côrtes PL 2023. Parques Urbanos na Agenda Política do Município de São Paulo/SP. *Scientific Journal ANAP*, 1(1).

Saad D, Alamin H 2024. The first evidence of microplastic presence in the River Nile in Khartoum, Sudan: Using Nile Tilapia fish as a bio-indicator. *Heliyon*, 10(1).

Santos AA, de Souza Santos R, de Paula Maia I 2020. A importância das áreas verdes em espaços urbanos: reflexões sobre qualidade de vida e marcos legais. *Revista Produção*, 10: 220207880.

São Paulo, decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977, Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. Governo do estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, SP, 23 de novembro de 1977.

Sartory DP, Grobbelaar JU 1984. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia*, 114(3): 177-187.

Silva MA, Vargas RR, Saad AR, Rossini EF, de Queiroz W 2017. Reflexos do uso da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica do córrego Taboão, Guarulhos (SP). *Revista Geociências-UNG*, 16(1): 69-86.

Silva CP, Vargas RR, Arruda RDOM, Rosini EF 2019. Efeitos do uso e ocupação da terra na qualidade da água da sub-bacia hidrográfica Cabosol, Guarulhos/SP. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 10(6): 260-273.

Silva MBA, Osti JAS, Bicudo DC, Marquardt GC 2024. *Achnanthidium guarulhense* sp. nov. (Achnanthidiaceae, Bacillariophyta), a new diatom species from a Conservation Unit in Southeast Brazil. *Phytotaxa* (on-line), 640: 275-283.

Soares LMV, Calijuri MC 2021. Sensitivity and identifiability analyses of parameters for water quality modeling of subtropical reservoirs. *Ecological Modelling*, 458.



Souza LHN, Arruda RDOM, Rosini EF, Pontes DD 2019. Diagnóstico da qualidade ambiental dos lagos e nascentes do zoológico de Guarulhos, município de Guarulhos–SP. *Revista Geociências-UNG-Ser*, 18(1): 12-18.

Tucci CE 2010. *Urbanização e recursos hídricos. Águas do Brasil: Análises Estratégicas*, São Paulo, Instituto de Botânica, 113-128.

Tundisi J, Tundisi TM 2008. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos. 632 p.

Valderrama JC 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine chemistry*, 10(2): 109-122.

Vargas RR, Gonçalves JJ, Dalmas FB, Arruda RO, Ferreira AT 2017. The contribution of the Guarulhos Municipality (São Paulo State) to the water quality of the Alto Tietê System. *Pesquisas em Geociências*, 44(1): 109-121.

Vargas RR, Barros MDS, Saad AR, Arruda RDOM, Azevedo FDA 2018. Assessment of the water quality and trophic state of the Ribeirão Guaraçau Watershed, Guarulhos (SP): a comparative analysis between rural and urban areas. *Revista Ambiente & Água*, 13(2), e2170.

Vargas RR, Saad AR, Dalmas FB, Arruda ROM, Ferreira ATS 2019. Assessment of the environmental quality of the Cachoeirinha-Invernada watershed, Guarulhos municipality (State of São Paulo, Brazil), as an urbanization reflex. *Pesquisas em Geociências (Online)*, 46, e0802.

Zheng Y, Yu J, Wang Q, Yao X, Yue Q, Xu S 2024. What drives the changing characteristics of phytoplankton in urban lakes: Climate, hydrology, or human disturbance? *Journal of Environmental Management*, 351: 119966.