

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E PRESENÇA DE ENTEROBACTÉRIAS NA SUB-BACIA BILLINGS-TAMANDUATEÍ E SUA RELAÇÃO COM INDICADORES SOCIAIS: IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS DE SANEAMENTO

Beatriz Guedes-Pereira^{1}; Romeu Randefran Souza Dantas²; Juliana Mendonça Silva de Jesus³; Isabela Gagliardi Ortiz⁴; Gabrielle Segatti Soares Almeida⁵; Rodrigo de Freitas Bueno⁶; Luiz César Schiesari⁸ e Ricardo Hideo Taniwaki⁹*

Abstract: This study evaluates the physical-chemical and microbiological quality of water in the Billings-Tamanduateí sub-basin (São Paulo Metropolitan Region) and investigates its correlation with socioeconomic indicators such as population density, informal settlements, and lack of sewage treatment. Water samples were collected from 14 drainage sub-basins and analyzed for organic and inorganic carbon, total dissolved nitrogen, physical parameters (temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity, ORP, turbidity), and enterobacteria (*Escherichia coli*, *Enterococcus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Salmonella* spp.). Multivariate statistical analyses showed strong associations between poor water quality and social vulnerability, highlighting the urgent need for improved basic sanitation policies. The findings support the implementation of targeted environmental, and health public policies aligned with SDGs 3 and 6.

Resumo: Este estudo avalia a qualidade físico-química e microbiológica da água na sub-bacia Billings-Tamanduateí (Região Metropolitana de São Paulo) e investiga sua correlação com indicadores socioeconômicos, como densidade populacional, aglomerados subnormais e falta de tratamento de esgoto. Foram coletadas amostras em 14 sub-bacias, analisando-se carbono orgânico e inorgânico dissolvido, nitrogênio total dissolvido, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade, ORP, turbidez e a presença de enterobactérias (*Escherichia coli*, *Enterococcus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella* spp.). As análises estatísticas multivariadas revelaram fortes associações entre a degradação da qualidade da água e condições de vulnerabilidade social, reforçando a urgência de políticas públicas voltadas à expansão do saneamento básico. Os resultados subsidiarão decisões e ações em consonância com os ODS 3 e 6.

Palavras-Chave – Qualidade da água; Enterobactérias; Saneamento básico.

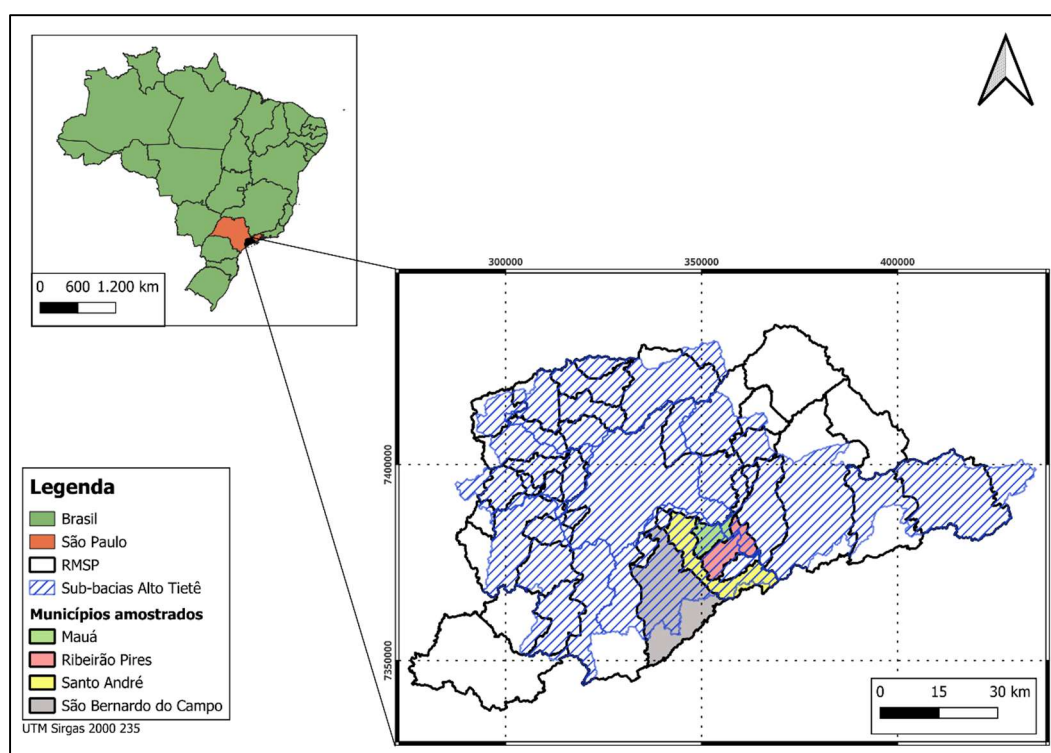
1. INTRODUÇÃO

A região metropolitana de São Paulo, uma das maiores do mundo, enfrenta desafios ambientais severos relacionados ao saneamento básico e à qualidade dos corpos hídricos. [COMITÊ ALTO TIETÊ, (s.d.)]; [CENSO, (2023)]

A sub-bacia Billings-Tamanduateí (**figura 1**) é uma região particularmente afetada pela urbanização desordenada, falta de infraestrutura de esgotamento sanitário e ocupação irregular. O despejo de efluentes não tratados contribui diretamente para a degradação da qualidade da água e proliferação de enterobactérias, comprometendo a saúde pública e os ecossistemas aquáticos. [BRASIL, (s.d.)].

A relação entre desigualdade social e qualidade ambiental é evidente na região. A distribuição desigual de serviços de saneamento básico impacta diretamente a qualidade dos corpos d'água urbanos. Estudos anteriores apontam que a ausência de coleta e tratamento de esgoto não só compromete os recursos hídricos, como também representa uma ameaça direta à saúde das populações locais, gerando doenças de veiculação hídrica e degradação dos ecossistemas aquáticos. [Cabral *et al.*, (2023)]

Figura 1 – Localização da Área de Estudo na Sub-bacia Billings-Tamanduateí.



2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizadas coletas em 14 sub-bacias (**figura 2, tabela1**) durante março de 2024, abrangendo análises físico-químicas (pH, OD, ORP, condutividade, turbidez, carbono orgânico e inorgânico, nitrogênio total dissolvido) e microbiológicas (*E. coli*, *Enterococcus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella* spp.). As amostras foram tratadas conforme protocolos padrões, utilizando kits Colilert, Enterolert, Pseudolert e Compact Dry para microbiologia, e analisadores de carbono e cromatógrafos iônicos para os demais parâmetros.

A escolha dos pontos considerou tanto aspectos geográficos quanto socioeconômicos, buscando representar diferentes realidades dentro da sub-bacia. As análises estatísticas incluíram correlação de

Pearson, para identificar relações lineares entre variáveis, e Análise de Componentes Principais (PCA), que permite visualizar agrupamentos e padrões complexos nos dados.

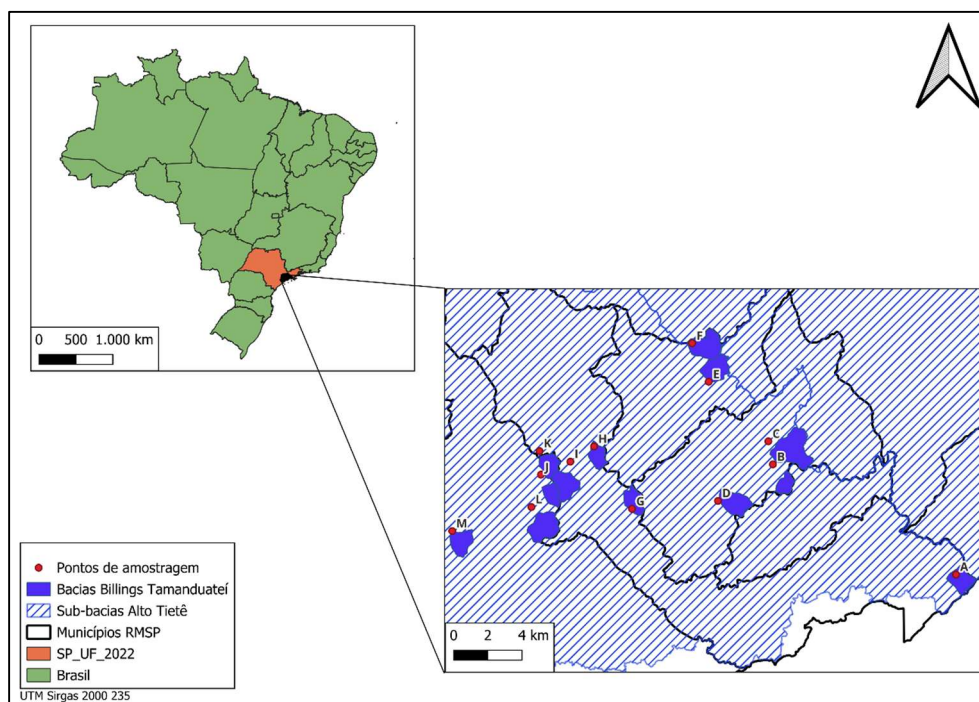
As análises físico-químicas foram realizadas utilizando o medidor multiparâmetro HI9829 da Hanna *Instruments*, garantindo medições em campo de pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica, ORP (potencial de oxirredução), turbidez e temperatura. Para análise laboratorial de carbono (orgânico, inorgânico e total) e nitrogênio total dissolvido, foi utilizado o Analisador de Carbono Total TOC-L, da *Shimadzu*, que aplica combustão catalítica a 680°C, permitindo quantificação precisa.

As análises microbiológicas seguiram o método do Número Mais Provável (NMP) utilizando bandejas Quanti-Tray/2000 (IDEXX) e reagentes específicos. A detecção de *Salmonella* foi feita com placas Compact Dry SL.

Tabela 1 – Coordenadas dos Pontos de Amostragem.

Ponto	Coordenadas
A	-23.708316151703244, -46.39453095615553
B	-23.69610496453302, -46.39700078254179
C	-23.72735956729754, -46.426235741322635
D	-23.65959258433309, -46.43138288262682
E	-23.643845566827636, -46.440161291159164
F	-23.724407883109244, -46.475096604823506
G	-23.69787714678419, -46.497079031407345
H	-23.705806437760955, -46.510734777779625
I	-23.712515461552805, -46.52772120051972
J	-23.700012003204588, -46.528387334658625
K	-23.72959141958858, -46.53338334070041
L	-23.741787163069624, -46.57901352701734
M	-23.754896313941313, -46.585008734267475

Figura 2: Pontos em que foram coletadas as amostras, e em destaque na cor azul, as bacias da Billings-Tamanduateí correspondentes



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

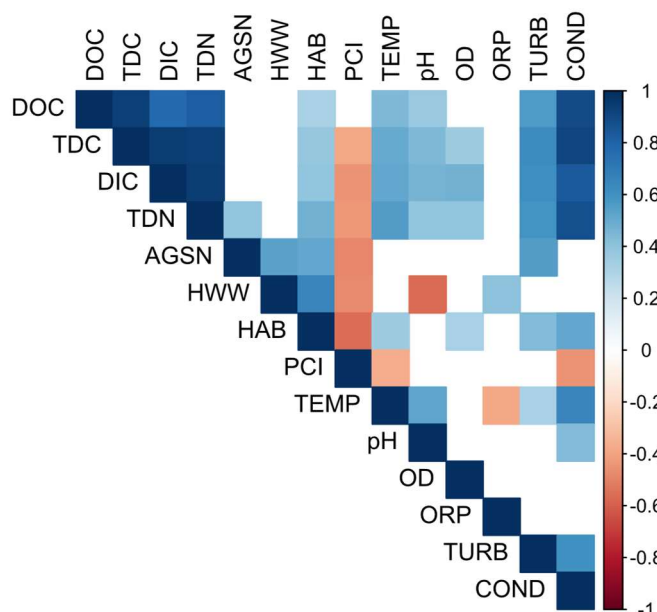
Os resultados apontam forte correlação entre vulnerabilidade social (alta densidade populacional, aglomerados subnormais e falta de esgotamento) (**figura 3, tabela 2**) e degradação da qualidade da água. Parâmetros como carbono orgânico dissolvido, nitrogênio total e condutividade estiveram elevados nas regiões mais carentes. As análises microbiológicas indicaram presença significativa de *E. coli*, *Enterococcus* e *Pseudomonas*, especialmente nas bacias com menor índice de saneamento.

A elevada carga de nutrientes, como nitrogênio e carbono, favorece processos de eutrofização, aumentando a proliferação de algas e consequentemente reduzindo os níveis de oxigênio dissolvido. Esse processo compromete a biodiversidade aquática e agrava o ciclo de degradação ambiental. [Luciano *et al.*, (2024)]

Tabela 2 Valores dos parâmetros físico-químicos, enterobactérias e indicadores sociais nas 13 sub-bacias estudadas da Billings-Tamanduateí.

Ponto	Enterobactérias				Carbono e Nitrogênio				Parâmetros físico-químicos coleta					
	<i>E. coli</i>	<i>Coliformes</i>	<i>Enterococcus</i>	<i>Pseudomonas</i>	DOC (mg/L)	TDC (mg/L)	DIC (mg/L)	TDN (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	ORP (mV)	Turbidez (NTU)	Condutividade (µS/cm)
A	1011,2	1011,2	51,8	2419,6	1,6320	2,4500	0,8187	0,1669	23,89	8,26	5,23	9,69	22,37	111,6
B	104,6	1011,2	75,5	2	2,0490	4,2880	2,2380	0,4563	22,86	8,10	2,10	-70,3	5,9	2
C	1011,2	870,4	2419,6	2419,6	3,6540	14,9200	11,2700	2,6460	23,93	8,17	2,92	15,4	19,9	112
D	1011,2	870,4	2419,6	2419,6	5,0410	24,2200	19,1700	8,0740	22,90	7,93	1,87	-78,09	17,07	183,81
E	1011,2	188	2419,6	2419,6	6,4750	26,6700	20,1900	11,1500	24,80	8,40	5,80	107,2	9,6	222
F	1011,2	1011,2	1	1	0,1184	4,2270	4,1080	12,1200	19,76	6,57	7,40	177,31	41,89	167,67
G	1011,2	285,1	2419,6	2419,6	3,9900	13,3400	9,3480	1,8390	20,77	6,64	7,68	-17,25	7,71	96,47
H	1011,2	3,1	2419,6	2419,6	11,4200	45,9400	34,5200	31,7800	23,27	7,64	5,18	-117,13	32,07	287,5
I	1011,2	3,1	2419,6	2419,6	12,0800	55,6300	43,5500	37,5100	23,75	7,93	6,54	46,06	45,24	358,95
J	290,5	4,1	2419,6	2419,6	18,4600	63,8500	45,3900	36,4200	24,87	7,77	9,17	19,2	111,63	416,79
K	9,7	46	2419,6	2419,6	47,2500	110,2000	62,9700	55,3800	24,43	7,46	7,85	-101,79	243,52	547,67
L	18,9	9,8	2419,6	2419,6	88,3200	188,0000	99,6400	116,1000	27,32	8,76	8,81	48,3	112,8	990,25
M	38,7	20,8	2419,6	2419,6	2,8450	27,1600	24,3200	14,1000	22,91	8,23	5,10	-32,94	6,33	318,55

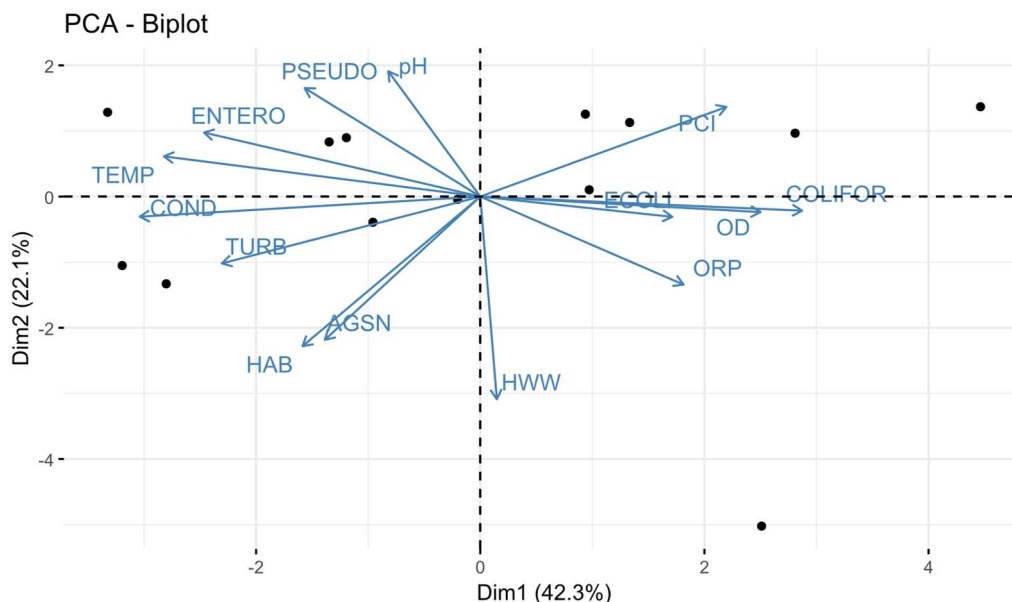
Figura 3: Correlação entre parâmetros físico-químicos da água (DOC – carbono orgânico dissolvido; TDC – carbono total dissolvido; DIC – carbono inorgânico dissolvido; TDN – nitrogênio total dissolvido, pH, OD, ORP e condutividade elétrica) e indicadores socioeconômicos (HAB – número de habitantes, PCI – renda per capita, HWW – casas sem saneamento básico, e AGSN – aglomerados subnormais) nas sub-bacias estudadas. As intensidades e direções das correlações são representadas por um gradiente de cores, indicando relações positivas (azul) ou negativas (vermelho) entre as variáveis.



Embora esperada, uma correlação inesperada foi observada: em algumas áreas de maior renda, houve incidência de coliformes, possivelmente ligada a falhas pontuais na infraestrutura de esgoto ou lançamentos clandestinos. Esse achado evidencia que a problemática do saneamento não é exclusiva de áreas periféricas, mas também reflete a necessidade de manutenção e fiscalização contínua das redes de esgotamento existentes. [Cabral *et al.*, (2023); Galán-relaño *et al.*, (2023)].

Os dados também mostram que os indicadores socioeconômicos, como aglomerados subnormais e percentual de casas sem acesso a saneamento, estão diretamente ligados às maiores concentrações de enterobactérias. Isso reforça a tese de que políticas públicas ineficientes ou inexistentes perpetuam o ciclo de degradação ambiental e exclusão social (**figura 4, tabela 2**).

Figura 4: Análise de componentes principais entre parâmetros físico-químicos da água (pH, OD, ORP e condutividade elétrica), Enterobactérias (*Enterococcus*, *E.coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e coliformes totais) e indicadores socioeconômicos (HAB - número de habitantes, PCI - renda per capita, HWW - casas sem saneamento básico, e AGSN - aglomerados subnormais) nas sub-bacias estudadas.



4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

Este estudo evidencia que a contaminação dos corpos d'água na sub-bacia Billings-Tamanduateí está intrinsecamente ligada às desigualdades sociais e à ausência de saneamento adequado. A persistência desse cenário compromete não apenas os recursos hídricos, mas também os direitos fundamentais à saúde e à dignidade humana.

As principais recomendações incluem:

- Ampliação e aceleração da cobertura de esgotamento sanitário, priorizando regiões com altos índices de vulnerabilidade social. Investimentos em tecnologias descentralizadas, como biodigestores e *wetlands* construídos, podem ser alternativas viáveis em áreas de ocupação consolidada.
- Integração de políticas urbanas, ambientais e sociais, garantindo que programas habitacionais contemplem soluções de saneamento desde sua concepção. A regularização fundiária deve estar associada à implementação de infraestrutura.
- Implantação de programas de monitoramento ambiental participativo, envolvendo comunidades na fiscalização, educação ambiental e promoção da governança local.
- Criação de fundos públicos para intervenções em bacias hidrográficas urbanas, alinhados aos ODS 6 (água potável e saneamento) e ODS 3 (saúde e bem-estar). Esses fundos devem priorizar projetos de infraestrutura verde, soluções baseadas na natureza e educação ambiental.

A adoção dessas medidas é essencial para reverter o quadro de degradação ambiental e garantir o direito humano à água limpa e ao saneamento [ONU, (2015)]. A efetivação de políticas públicas integradas é uma condição indispensável para a promoção da justiça social, da saúde pública e da sustentabilidade dos recursos hídricos na região metropolitana de São Paulo.

REFERÊNCIAS

- INSTITUTO TRATA BRASIL. *Painel Saneamento Brasil*. São Paulo: Instituto Trata Brasil, [s.d.]. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/localidade/compare?id=351>.
- CABRAL, J. J. da S. P.; SANTOS, C. R. L. dos; SILVA, D. B. da. *Urban stream syndrome at waterways network in Recife city*. Brazil: Authorea, 2023.
- PREFEITURA DE SÃO BERNARDO. Represa Billings: nossa água, nossa vida. [S.l.]: Prefeitura de São Bernardo do Campo, [s.d.]. Disponível em: <https://www.saobernardo.sp.gov.br/web/sma/atlas/represa-billings-nossa-agua-nossa-vida>.
- CARNEIRO, T.; SILVA, M.; SANTOS, A. Bacterial Contamination and Health Risks in Urban Water Bodies. *Environmental Microbiology Journal*, v. 22, n. 5, p. 312–329, 2020.
- COMITÊ ALTO TIETÊ. *A Bacia: Caracterização Geral*. [S.l.]: Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, [s.d.]. Disponível em: <https://comiteat.sp.gov.br/a-bacia/caracterizacao-geral/>.
- SHIMADZU. *TOC-L Series: Total Organic Carbon Analyzers*. Kyoto, Japan: Shimadzu Corporation, 2023. Disponível em: <https://www.shimadzu.com.br/analitica/produtos/analisadores-de-carbono-organico-total/analizador-toc/serie-toc-l/downloads.html>.
- DUARTE, C. G.; BANDEIRA, B. D.; BARBALHO, J. S. *Nota Técnica: Contribuições das universidades para a recuperação da qualidade ambiental na Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings*. Diadema: Universidade Federal de São Paulo, 2024.
- GALÁN-RELAÑO, Á. et al. *Salmonella and Salmonellosis: An Update on Public Health Implications and Control Strategies*. *Animals*, v. 13, n. 23, p. 3666, 2023.
- CENSO. *Censo 2022: São Paulo tem aumento no número de domicílios mesmo com ritmo menor de crescimento de população*. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/wp-content/uploads/2023/08/Infome-Urbano-59.pdf>.
- KALODE, V.; PATIL, P. *Enterococcus Species: A Systemic Review*. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, v. 17, n. 2, p. 761–767, 2023.
- LABORATORIES, IDEXX. *Quanti-Tray System: User Guide*. [S.l.]: IDEXX Laboratories, [s.d.]. Disponível em: <https://www.idexx.com.br/pt-br/water/water-products-services/quant-tray-system/>.
- LUCIANO, M. M. et al. *Spatiotemporal Dynamics of Carbon and Nitrogen in Subtropical Urban Streams* (Santo André, SP, Brazil). *Nitrogen*, v. 5, n. 3, p. 572–583, 2024.
- MACHADO, F. R. *Remoção de fósforo na unidade de flotação da estação de tratamento de esgoto*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- MEIO AMBIENTE; INFRAESTRUTURA; SÃO PAULO, Governo do Estado. *Novo Inventário Florestal do Estado de São Paulo aponta crescimento de 214 mil hectares de vegetação nativa*. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/2020/08/novo-inventario-florestal-do-esp-aponta-crescimento-de-214-mil-hectares-de-vegetacao-nativa-no-territorio-paulista/>.
- MENA, K. D.; GERBA, C. P. *Risk Assessment of Pseudomonas aeruginosa in Water*. In: WHITACRE, D. M. (ed.). *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 201. Boston, MA: Springer, 2009. p. 71–115.

METEOROLOGIA, INMET. *Estações do Ano 2025. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2025.* Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/paginas/estacoes>.

SALGADO, M. Conflitos e perspectivas socioambientais na gestão de córregos urbanos: caso curso d'água Tenente Rocha. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

SCHIESARI, L. et al. *Population size, income and poor sanitation interact to explain widespread streamwater contamination by antidepressants in the Metropolitan Region of São Paulo.* Environmental Pollution, v. 367, p. 125658, 2025.

ONU, Organização das Nações Unidas. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Agenda 2030.* Brasília, 2015.