

*Qualidade físico-química e microbiológica da água em
microbacia com uso urbano e rural no Planalto de
Santa Catarina, Brasil*

Qualidade físico-química e microbiológica da água em microbacia com uso urbano e rural no Planalto de Santa Catarina, Brasil

Physical-chemical and microbiological water quality in micro basin with urban and rural use in Santa Catarina highlands region, Brazil

Calidad físico-química y microbiológica del agua en microcuencas de uso urbano y rural de la región de tierras altas de Santa Catarina, Brasil

ORTIZ, Nicolas Matheus Ribeiro ¹
RIBEIRO, Gabrielle França ²
PROENÇA, Julia Elizabeth ³
OLIVEIRA, Heloisa Maria de ⁴
CRUZ, Sonia Purin da ⁴
STOLBERG, Joni ⁴

RESUMO

A água é crucial para uma ampla gama de atividades produtivas e é essencial à preservação da vida na Terra. O rio Pessegueirinho localizado em Curitiba,

¹ Engenheiro Agrônomo, cursando Mestrado no Programa de Pós-graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais (PPGEAN), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

² Médica Veterinária, cursando Mestrado no Programa de Pós-graduação em Microbiologia (PPM), Universidade Estadual de Londrina (UEL).

³ Cursando Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

⁴ Prof Dr. do Departamento de Ciências Naturais e Sociais (CNS), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

e-mail: nick_mro2@hotmail.com



Santa Catarina, é um afluente do rio Marombas e componente da bacia do rio Canoas. Devido às atividades agrossilvipastoris e os impactos oriundos de áreas urbanas, torna-se essencial o monitoramento da qualidade físico-química e microbiológica da água, para contribuir com a gestão de recursos hídricos na região do Planalto de Santa Catarina. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade da água do rio Pessegueirinho, bem como a influência de sua carga poluidora no rio Marombas. Para isto, foram realizadas coletas de água entre os anos de 2020 e 2021 nos referidos mananciais. Os parâmetros de qualidade avaliados foram: oxigênio dissolvido, pH, turbidez, condutividade, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, sólidos totais após evaporação, coliformes termotolerantes e resistência microbiana a ampicilina e ciprofloxacina. No rio Pessegueirinho foram observados valores superiores ao previsto pela regulamentação do Conselho Nacional do Meio Ambiente para o parâmetro fósforo total, em todas as coletas e pontos estudados. Também foram aferidos valores elevados de demanda bioquímica de oxigênio dentro do perímetro urbano (9,80 mg/L) e próximo à foz (6,10 mg/L) bem como valores elevados de coliformes termotolerantes (>1100 NMP/100mL) e turbidez (114 UNT) antes da confluência com o rio Marombas. No rio Marombas, os coliformes termotolerantes demonstraram diferença estatística significativa entre o ponto de captação para abastecimento

do município de Curitiba e o ponto de coleta à jusante da confluência com o rio Pessegueirinho. Isto evidencia que a concentração das cargas poluidoras ao longo da ocupação urbana, somadas às das atividades de pecuária sobre as terras da zona rural do município, impactam a qualidade da água de um dos mananciais hídricos mais importantes da região.

Palavras-chave: qualidade da água; físico-química; microbiológica.

ABSTRACT

Water is crucial for a wide range of productive activities and is essential for the preservation of life on Earth. The Pessegueirinho River, located in Curitiba, Santa Catarina, Brazil, is a tributary of the Marombas River and a component of the Canoas River basin. Due to agrosilvopastoral activities and the impacts originating from urban areas, monitoring the physicochemical and microbiological quality of water becomes essential to contribute to water resources management in the Santa Catarina Highlands region. The aim of the study was to evaluate the water quality of the Pessegueirinho and Marombas rivers, as well as the influence of their pollutant loads among water bodies. For this purpose, samples were collected between the years 2020 and 2021 in the mentioned water sources. The quality parameters evaluated were: dissolved oxygen, pH, turbidity, conductivity, biochemical oxygen demand, total phosphorus,



total solids after evaporation, thermotolerant coliforms, and microbial resistance to ampicillin and ciprofloxacin. In the Pessegueirinho River values higher than those prescribed by the National Environmental Council regulation for the total phosphorus parameter were observed in all samples and study points. Elevated values of biochemical oxygen demand were also measured within the urban perimeter (9.80 mg/L) and near the river mouth (6.10 mg/L), as well as high levels of thermotolerant coliforms (>1100 MPN/100mL) and turbidity (114 NTU) before the confluence with the Marombas River. In the Marombas River, thermotolerant coliforms showed a statistically significant difference between the point of intake for supplying the municipality of Curitibanos and the collection point downstream from the confluence with the Pessegueirinho River. This highlights that the concentration of pollutant loads along urban occupation, combined with those from livestock activities on rural lands of the municipality, impact the water quality of one of the most important water sources in the region.

Keywords: water quality; physicochemical; microbiological.

RESUMEN

El agua es crucial para diversas actividades productivas y esencial para la conservación de la vida en la Tierra. El río Pessegueirinho, ubicado en Curitibanos, Santa Catarina, es un afluente del río Marombas y un componente de la cuenca

del río Canoas. Debido a las actividades agrosilvopastoriles y los impactos provenientes de áreas urbanas, el monitoreo de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua se vuelve esencial para contribuir a la gestión de los recursos hídricos en la región de la Meseta de Santa Catarina. Por ende, el objetivo del estudio fue evaluar la calidad del agua de los ríos Pessegueirinho y Marombas, así como la influencia de sus cargas contaminantes entre los cuerpos de agua. Entre los años 2020 y 2021 se evaluaron parámetros de calidad de agua: oxígeno disuelto, pH, turbidez, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo total, sólidos totales después de la evaporación, coliformes termotolerantes y resistencia antimicrobiana. En el río Pessegueirinho, se observaron valores superiores a los prescritos por la regulación del Consejo Nacional del Medio Ambiente para el parámetro de fósforo total, en todas las muestras y puntos evaluados. Se midieron altos valores de demanda bioquímica de oxígeno en el perímetro urbano (9,80 mg/L) y cerca de la desembocadura (6,10 mg/L), junto con niveles elevados de coliformes termotolerantes (>1100 NMP/100 mL) y turbidez (114 UNT) antes de la confluencia con el río Marombas. En este río, los coliformes termotolerantes mostraron una diferencia significativa entre el punto de captación de Curitibanos y aguas abajo de la confluencia con el río Pessegueirinho. Esto evidencia que la contaminación urbana y las actividades

ganaderas afectan la estabilidad del ecosistema y una de las fuentes de agua más importantes de la región.

Palabras-clave: calidad del agua; fisicoquímica; microbiológico.

Introdução

A água é indispensável nas mais diversas atividades produtivas e é essencial para a manutenção da vida no planeta. Enquanto um recurso finito, os parâmetros quantitativos, sua disponibilidade, não devem ser tomados em detrimento dos fatores qualitativos, suas condições de salubridade e de conservação, uma vez que estes estão intimamente relacionados com alterações por influência de processos naturais (intemperismos do solo e precipitação) e atividades antropogênicas (agricultura, produção industrial e esgotos não tratados).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, por meio da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, estabelece diretrizes e critérios para a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. As classes de uso definidas nesta resolução servem como guia para determinar as atividades permitidas em diferentes tipos de água, desde a classe especial, reservada à preservação de ecossistemas aquáticos, passando pela classe 1, destinada ao abastecimento humano após tratamento simplificado e para recreação, até a

classe 4, designada para navegação e preservação paisagística. Cada classe possui seus critérios específicos, garantindo que as atividades humanas sejam compatíveis com a preservação do ambiente, assegurando o acesso à água potável e a conservação dos recursos naturais (Brasil, 2005).

Diferentes usos da terra expressam diferentes graus de risco aos recursos hídricos, dentre estes destacam-se áreas urbanas e agrícolas como principais responsáveis pela degradação da qualidade da água ao redor do globo (De Mello et al., 2020). No Brasil, as atividades antrópicas mais expressivas acerca do uso da terra são representadas por pastagens e agricultura (somando 28,8%), silvicultura (0,7%), urbanização (0,5%) e atividades de mineração (<0,1%) (Souza Jr. et al., 2020).

Na última década, o município de Curitiba, localizado na região do Planalto de Santa Catarina, passou por processos de intensa ocupação, motivados principalmente pela instalação de indústrias processadoras de madeira e do *campus* da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), gerando maior ocupação urbana e, conseqüentemente, impactos de poluição. O rio Pessegueirinho possui sua área de drenagem completamente inserida no município, sendo afluente do rio Marombas na região hidrográfica 4 (RH4) e compondo também a bacia do rio Canoas (Santa Catarina, 2018).

Informações da coleção 8 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil, as mais recentes disponíveis no banco de dados do MapBiomas (2023), indicam que entre os anos de 1985 e 2022, houve um acréscimo percentual de 243% na área dedicada à agricultura e de 256% para a área de cultivos florestais na bacia hidrográfica do rio Marombas. Trabalhos anteriores, dedicados à avaliação da mesma área de estudo já apontavam tendências de alterações expressivas na cobertura e uso da terra (Ten Caten *et al.*, 2015).

A condução de atividades agroflorestais de forma convencional, e a sua expansão no

espaço e tempo podem ocasionar passivos ambientais, quer seja pela supressão de vegetação nativa e matas ciliares ou ainda pelo aumento do uso de agrotóxicos, fertilizantes e consequentes processos de lixiviação e percolação no solo que representam potenciais riscos de contaminação dos corpos d'água.

Os dados disponibilizados pelo MapBiomas (Souza Jr. *et al.*, 2020), identificam o perfil de cobertura e uso da terra da microbacia do rio Pessegueirinho, em sua maioria, como atividades de agricultura, pastagem e silvicultura, representando 57,43% da área de estudo, que totaliza 4405,93 ha (Tabela 1).

Tabela 1 – Classes e áreas de cobertura e uso da terra

Classe	Área (ha)	Área (%)
Formação Florestal	1512,18	34,32
Mosaico de Agricultura e Pastagem	958,75	21,76
Pastagem	696,51	15,81
Silvicultura	657,46	14,92
Área Urbanizada	325,99	7,40
Lavouras Temporárias	217,80	4,94
Outras Áreas não vegetadas	37,24	0,85

Fonte: MapBiomas, processado pelos autores (2020).

O panorama microbiológico dos recursos hídricos também merece atenção, uma vez que condições de saneamento básico comprometidas tornam a água um vetor de disseminação de organismos com potencial patogênico. A Organização Mundial de Saúde estima que o abastecimento de água de cerca de 2 bilhões de pessoas é contaminado com fezes,

ocasionando mais de 800 mil mortes anualmente (Who, 2019). Em avaliações conduzidas por Rosá *et al.* (2023), nas águas de rios do município de Curitiba, foram relatados valores constantes de coliformes termotolerantes (número mais provável = 631.100mL⁻¹), limitantes à classe 1 do CONAMA, isto é, águas inaptas para consumo humano se



submetidas somente ao tratamento simplificado. Nesse trabalho também foram apresentados valores preocupantes acerca da resistência a antibióticos como ampicilina e cefazolina, alcançando 75% e 79% das amostras testadas, respectivamente. Esses dados são preocupantes uma vez que grande parte da população rural usa água de rios para consumo animal, irrigação de lavouras e, muitas vezes, atividades domésticas.

Dada a ocupação predominante de atividades agrossilvipastoris e ainda a notoriedade dos impactos oriundos de áreas urbanas, toma-se como motivação a necessidade de avaliar a qualidade físico-química e microbiológica da água, para contribuir com informações à gestão de recursos hídricos da região do Planalto de Santa Catarina.

Material e Métodos

Foram realizadas quatro campanhas de coleta, nas datas de 21 de fevereiro de 2020, 7 de outubro de 2020, 15 de fevereiro de 2021 e 26 de abril de 2021. O cronograma do trabalho sofreu reestruturação em função do distanciamento social necessário durante a pandemia de COVID-19, ocasionando interrupções de atividades no campo e no laboratório.

Três pontos de coleta foram selecionados no rio Pessegueirinho, próximo a uma área de nascente (PS1: $27^{\circ}18'55,2''S$ e $50^{\circ}32'27,3''O$),

num logradouro dentro do perímetro urbano, no bairro Santo Antônio (PS2: $27^{\circ}16'20,0''S$ e $50^{\circ}34'30,4''O$) e próximo à foz, em área rural localizada na Comunidade da Lagoinha (PS3: $27^{\circ}12'7,7''S$ e $50^{\circ}34'18,2''O$). Dois pontos no rio Marombas também foram estudados, a montante da foz do Pessegueirinho, onde é realizada a captação de água para abastecimento público de Curitiba (MB1: $27^{\circ}12'4,0''S$ e $50^{\circ}34'7,8''O$) e após a confluência (MB2: $27^{\circ}11'43,3''S$ e $50^{\circ}35'03,5''O$), conforme o mapa representado na Figura 1.

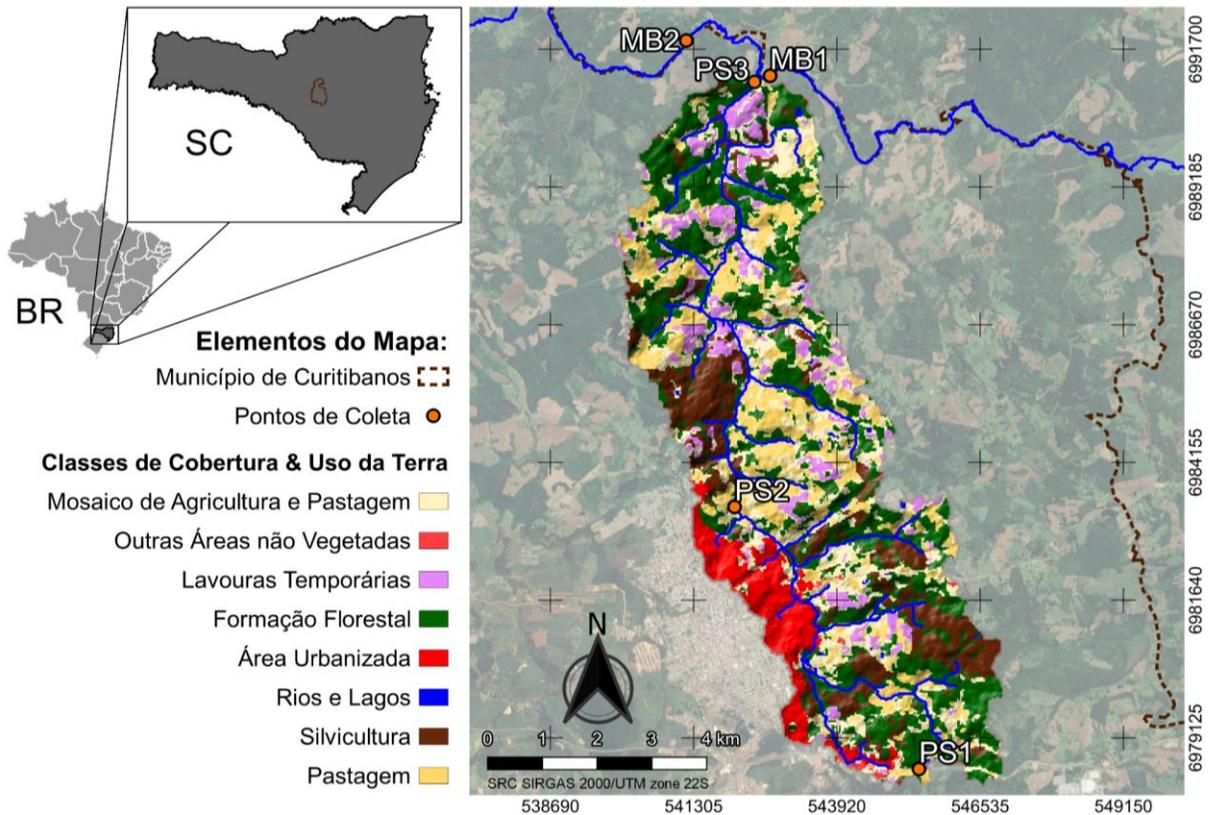
Os parâmetros de qualidade de água avaliados foram: oxigênio dissolvido (OD), pH, turbidez (TB), condutividade (CE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (PT), sólidos totais após evaporação (ST), coliformes termotolerantes (CTT) e porcentagem de resistência aos antibióticos ampicilina (ResAmp) e ciprofloxacina (ResCip). A água foi coletada nos rios na profundidade de 20 cm e armazenada em recipientes de polipropileno identificados e com capacidade de um litro cada. Para as análises de coliformes e resistência antimicrobiana foram coletadas três subamostras, cada uma de 100 mL de água, em frascos de vidro estéreis. Os valores de OD foram determinados com a utilização de uma sonda amperométrica (LUTRON, DO-5519) diretamente na água nos locais de coleta.

Para as análises em laboratório, as amostras foram identificadas e acondicionadas em caixa térmica para serem transportadas aos

Laboratórios da Universidade Federal de Santa Catarina - *Campus* de Curitibanos, para os

procedimentos de análise necessários imediatamente após a chegada do campo.

Figura 1 – Localização, cobertura e uso da terra na microbacia e pontos de coleta de água



Foram quantificados o pH, TB e CE com o uso de um pHmetro (BEL, W3B), turbidímetro (TECNOPON, TB-1000) e condutivímetro (TECNOPON, mCA 150), respectivamente. Os parâmetros ST, PT e DBO foram realizados segundo protocolos da Associação Americana de Saúde Pública (APHA, 2012), gravimetria de resíduos após 48h de evaporação em estufa elétrica, método colorimétrico do ácido vanadomolibdofosfórico e diferenças de oxigênio

dissolvido após incubação por 5 dias a 20°C, respectivamente.

A avaliação de CTT foi orientada pelos protocolos da Fundação Nacional da Saúde (Funasa, 2009), realizada pela técnica de fermentação em tubos múltiplos, estimando-se a concentração pelo Número Mais Provável de coliformes termotolerantes a cada 100 mL (NMP/100 mL).

Para analisar o perfil de resistência microbiana, dois isolados de CTT de cada

subamostra foram submetidos ao teste de suscetibilidade a antimicrobianos por disco-difusão (Bauer *et al.*, 1966). Os valores obtidos foram comparados com valores de referência (Clsi, 2018) para aferição de porcentagem de isolados resistentes aos antibióticos testados. As medições foram tomadas em triplicata para cada parâmetro de qualidade.

A abordagem estatística para avaliar a diferença das variáveis entre os pontos de coleta, foi conduzida com o software R (R Core Team, 2022), através do teste t de Student e pelo teste de Wilcoxon, quando os dados não apresentaram distribuição normal segundo o teste de Shapiro-Wilk.

Resultados e Discussão

Os dados obtidos nas análises foram organizados apresentando valores médios, máximos e mínimos para as triplicatas de cada um dos parâmetros avaliados, discriminados para cada ponto estudado, juntamente com os valores limitantes para águas de Classe 2, indicadas para o uso como abastecimento público após tratamento convencional, à proteção de comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, irrigação de algumas espécies, à aquicultura e atividades de pesca (BRASIL, 2005).

Na Tabela 2, referente ao rio Pessegueirinho, estão sinalizados em negrito os valores médios em desacordo com a Resolução

CONAMA nº 357/2005. Observa-se com destaque o fósforo total que em todas as coletas e em todos os pontos estudados, apresentou valores superiores ao previsto pela regulamentação, acima dos valores máximos permitidos até mesmo para enquadramento nas Classes 3 e 4 (limite = 0,15 mg/L), com uma média quase 10 vezes acima do limite no ponto de coleta próximo à foz.

Também foram aferidos valores elevados de DBO dentro do perímetro urbano (PS2, máximo = 9,80 mg/L) e próximo à foz (PS3, máximo = 6,10 mg/L) bem como valores acima do limite de Classe 3 para coliformes termotolerantes (máximo = 1000 NMP/100mL) e turbidez (máximo = 114 UNT) antes da confluência com o rio Marombas.

A DBO é um parâmetro-chave, demonstrativo da qualidade sanitária e ambiental do ecossistema. A dinâmica de concentrações e consumo de oxigênio dissolvido são comumente utilizadas para se estimar o material orgânico degradado por microrganismos aeróbicos. Quanto mais elevadas as concentrações de material orgânico, menores os valores de oxigênio disponíveis no meio, levando à perda de biodiversidade e à degradação de ambientes aquáticos, indicando comprometimento do manancial estudado tal como os usos primordiais da água (XU *et al.*, 2020).

A turbidez, por sua vez, associa-se aos processos de eutrofização dos corpos hídricos principalmente no que se relaciona ao aporte de

oxigênio do sistema. Em águas com valores de turbidez elevados, as algas que se encontram em maior profundidade deixam de receber luz, reduzindo ou até cessando a atividade fotossintética, acabando por morrer e entrar em decomposição. Com a perda da vegetação

aquática submersa, o alimento, o habitat e o oxigênio que seria ofertado pela fotossíntese desaparecem (Von Sperling, 2011) comprometendo a dinâmica do ecossistema e assim a qualidade da água.

Tabela 2 – Resultados médios (MÉD), máximos (MÁX) e mínimos (MÍN) dos parâmetros avaliados na água do rio Pessegueirinho e valores limitantes para classe 2 (BRASIL, 2005).

PARAM.	RES. 357/2005 CONAMA Classe 2	PS1			PS2			PS3		
		MÉD	MÁX	MÍN	MÉD	MÁX	MÍN	MÉD	MÁX	MÍN
OD	≥ 5,0	7,07	7,90	6,40	7,63	10,50	5,30	6,62	7,60	
DBO	≤ 5,0	2,54	4,20	1,20	6,48	9,80	4,10	2,81	6,10	0,80
TB	≤ 100	5,13	6,80	3,70	13,05	23,00	7,20	39,63	114,00	11,80
pH	6,0 ~ 9,0	7,18	7,48	6,84	7,59	9,96	6,86	7,39	7,62	7,05
PT	≤ 0,1	0,63	2,23	0,14	1,07	2,23	0,42	1,36	3,43	0,28
CTT	≤ 1000	184,38	1100,00	3,60	378,92	1100,00	15,00	389,62	1100,00	3,00
ResAmp	-	27,08	100,00	0,00	21,53	100,00	0,00	22,23	100,00	0,00
ResCip	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	25,00	0,00
CE	-	29,45	42,75	18,24	132,75	203,90	84,00	81,37	95,27	54,49
ST	-	33,83	68,00	8,00	105,50	142,00	76,00	105,33	172,00	64,00

OD: miligramas por litro (mg/L); **DBO:** miligramas por litro (mg/L); **TB:** unidades nefelométricas de turbidez (UNT); **pH:** potencial hidrogeniônico; **PT:** miligramas por litro (mg/L); **CTT:** número mais provável por 100mL (NMP/100mL); **ResAmp:** porcentagem de isolados (%); **ResCip:** porcentagem de amostras %; **CE:** microsiemens por centímetro (µS/cm); **ST:** miligramas por litro (mg/L).

Quanto à resistência antimicrobiana, pode-se observar certa constância ao longo do percurso do rio Pessegueirinho em relação ao antibiótico ampicilina. É necessário chamar atenção para a maior média aferida em PS1 (27,08% dos isolados testados) considerando que este ponto é referente a uma área de nascente com presença de gado nos arredores, denotando a vulnerabilidade ambiental da área em questão.

O uso de antibióticos como "promotores de crescimento" é bastante comum na alimentação animal, resultando em uma grande pressão de seleção sobre os microrganismos que ocorrem nos rebanhos. Desde 1998, diversas regulamentações foram estabelecidas acerca da aplicação de drogas e aditivos para melhorar a performance da produção animal. No entanto, há pouca ou nenhuma informação disponível sobre a quantidade de agentes



antimicrobianos utilizados na pecuária ou sobre o monitoramento da resistência aos referidos medicamentos (Rabello *et al.*, 2020).

Na Tabela 3 são apresentados os dados coletados nos pontos referentes ao rio Marombas. Também se destaca em negrito os valores que superam os limites estipulados pela Resolução CONAMA nº 357/2005, notam-se as

concentrações de fósforo total tanto antes de receber as contribuições do rio Pessegueirinho (MB1, média = 0,79 mg/L) quanto após o encontro dos rios (MB2, média = 0,74 mg/L), alcançando valores máximos de 3,16 e 2,23 mg/L, respectivamente.

Tabela 3 – Resultados médios (MÉD), máximos (MÁX) e mínimos (MÍN) dos parâmetros avaliados na água do rio Marombas e valores limitantes para classe 2 (BRASIL, 2005).

PARAM.	RES. 357/2005 CONAMA Classe 2	MB1			MB2		
		MÉD	MÁX	MÍN	MÉD	MÁX	MÍN
OD	≥ 5,0	7,53	8,30	7,20	7,52	8,10	6,20
DBO	≤ 5,0	1,96	2,90	0,70	1,96	3,20	0,80
TB	≤ 100	10,24	12,00	7,30	13,96	22,00	10,80
pH	6,0 ~ 9,0	7,29	7,69	6,83	7,31	7,73	6,88
PT	≤ 0,1	0,79	3,16	0,23	0,74	2,23	0,25
CTT	≤ 1000	210,12	1100,00	7,40	447,17	1100,00	16,00
ResAmp	-	14,58	75,00	0,00	11,81	100,00	0,00
ResCip	-	2,78	16,70	0,00	0,00	0,00	0,00
CE	-	32,13	39,81	24,24	33,73	42,31	28,36
ST	-	52,00	82,00	14,00	45,50	72,00	26,00

OD: miligramas por litro (mg/L); DBO: miligramas por litro (mg/L); TB: unidades nefelométricas de turbidez (UNT); pH: potencial hidrogeniônico; PT: miligramas por litro (mg/L); CTT: número mais provável por 100mL (NMP/100mL); ResAmp: porcentagem de isolados (%); ResCip: porcentagem de amostras %; CE: microsiemens por centímetro (µS/cm); ST: miligramas por litro (mg/L).

O principal efeito do aumento da concentração de fósforo nas águas superficiais é a eutrofização, podendo ser responsável pelo aparecimento de cianotoxinas (microcistinas), produzidos por diversas espécies de cianobactérias tais como *Microcystis*, *Planktothrix* (*Oscillatoria*), *Anabaena*, *Nostoc*, *Hapalosiphon* e *Anabaenopsis*. A intoxicação por

microcistinas pode causar danos no fígado e até mesmo processos carcinogênicos (Reis, 2022).

Quanto às avaliações microbiológicas, foram identificados coliformes termotolerantes nos dois locais estudados do rio Marombas, observando-se incremento nas concentrações após a confluência com o rio Pessegueirinho, com médias de 210,12 NMP/100mL para o ponto MB1 e de 447,17 NMP/100mL para o ponto MB2.



Ainda que os valores estejam dentro dos limites das normativas, mesmo que para classe 2 e 3, é importante salientar que estas evidências de contaminação impactam na sensibilidade ambiental do corpo hídrico estudado, principalmente no que diz respeito ao MB1, tratando-se do ponto de captação para abastecimento público de Curitiba.

O grupo dos microrganismos coliformes inclui gêneros de bactérias entéricas e não entéricas, como *Enterobacter*, *Escherichia* e *Klebsiella*. A espécie *E. coli* é considerada a mais relevante entre os coliformes termotolerantes, principalmente por habitar o trato intestinal de humanos e animais relacionando-se ainda à gastroenterites potencialmente fatais (Rosá, 2023; Silva, 2022). No ano de 2019, quatro crianças da mesma escola foram hospitalizadas e duas foram a óbito após sofrerem com febre, vômito e diarreia severa que evoluíram para falência renal e respiratória, sintomas associados à infecção por *E. coli* e outras espécies que também foram encontradas na água de abastecimento (Bartz *et al.*, 2022).

Os valores de resistência antimicrobiana também chamam atenção para o ponto MB1. Em média, 14,58% dos isolados foram resistentes à ampicilina, porém valores máximos de 75% foram registrados. O percentual médio de

isolados resistentes à ciprofloxacina foi de 2,78%.

Com o objetivo de testar se há diferença na qualidade da água entre a área de nascente, a passagem em perímetro urbano e a área rural na foz do rio Pessegueirinho, e também se após o deságue deste há influência nos valores aferidos no rio Marombas, os dados foram submetidos à análise estatística. Inicialmente, a normalidade foi conferida visualmente em histogramas e posteriormente através do teste de Shapiro-Wilk (Tabela 4).

Com exceção dos valores de sólidos totais após evaporação (ST), os conjuntos de dados não apresentaram distribuição normal, portanto foi necessário aplicar testes não paramétricos para conferir as diferenças entre os pontos de coleta. Estes testes permitem inferências a partir de distribuições distorcidas, fornecendo resultados robustos mesmo quando são violadas as suposições de normalidade e heterocedasticidade (Hollander; Wolfe; Chicken, 2013). Para avaliar se houve diferenças significativas entre as médias de ST, foi conduzido o teste t pareado de Student e a considerações sobre as demais variáveis foram feitas pelas diferenças entre as medianas, por intermédio do teste de Wilcoxon.

Tabela 4 – Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk (*W*).

Parâmetro	<i>W</i>	valor - <i>p</i> ^a
OD	0,910	3,97.10 ⁻⁴
DBO	0,852	4,64.10 ⁻⁶
TB	0,421	9,02.10 ⁻¹⁴
pH	0,698	1,26.10 ⁻⁹
PT	0,838	1,87.10 ⁻⁶
CTT	0,664	2,98.10 ⁻¹⁰
ResAmp	0,609	3,61.10 ⁻¹¹
ResCip	0,237	8,95.10 ⁻¹⁶
CE	0,787	9,68.10 ⁻⁸
ST	0,965	0,095

^a Rejeita-se a hipótese nula de que a distribuição da variável não difere significativamente de uma distribuição normal, se valor - *p* < 0,05.

Entre a área de nascente (PS1) e a área dentro do perímetro urbano (PS2) do rio Pessegueirinho, verificaram-se diferenças significativas em demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, pH, fósforo total, condutividade e sólidos totais após evaporação. Entre PS1 e as proximidades da foz (PS3), as variáveis turbidez, pH, condutividade e sólidos totais após evaporação foram as que demonstraram diferença estatística. Finalmente, entre PS2 e PS3 houve diferenças em demanda bioquímica de oxigênio, turbidez e condutividade, conforme explicitado na Tabela 5.

Uma reflexão importante que pode ser construída a partir das comparações entre os pontos de coleta de água diz respeito à autodepuração. Quando efluentes atingem os corpos d'água, estes passam por processos essencialmente naturais de restabelecimento do equilíbrio do meio aquático, um processo de sucessão ecológica que engloba diluição,

sedimentação e estabilização química (Von Sperling, 2011), os quais variam de acordo com as condições de resiliência do ambiente. Em outras palavras, isso depende da capacidade do ecossistema em sofrer impactos e retornar à estabilidade (Walker, 2020).

Observadas as diferenças entre PS1 e PS2, notam-se incrementos expressivos em todos os parâmetros de qualidade da água. Os dados evidenciam, portanto, a pressão ambiental causada pela ocupação urbana enquanto cobertura e uso da terra nas margens do rio Pessegueirinho. Continuando pelo percurso do rio até PS3, os valores tornam a diminuir, com exceção de TB, pH, CE e ST (Figura 2), indicando possíveis contribuições de efluentes oriundos da área rural ou ainda a sensibilidade do corpo hídrico em função das cargas despejadas ao longo do perímetro urbano, e que não puderam ser depuradas até alcançar a sua foz.

Tabela 5 – Comparação de medianas e média dos parâmetros avaliados para água do rio Pessegueirinho.

Parâmetro	PS1	PS2	PS3
OD	7,00 a	7,45 a	6,55 a
DBO	2,40 a	6,50 b	2,40 a
TB	5,05 a	11,00 b	17,15 c
pH	7,17 a	7,34 b	7,44 b
PT	0,22 a	0,78 b	1,29 ab
CTT	55,50 a	185,00 a	55,50 a
ResAmp	0,00 a	0,00 a	0,00 a
ResCip	0,00 a	0,00 a	0,00 a
CE	24,74 a	121,05 b	87,40 c
ST	33,83 a*	105,50 b*	105,33 b*

OD: miligramas por litro (mg/L); **DBO:** miligramas por litro (mg/L); **TB:** unidades nefelométricas de turbidez (UNT); **pH:** potencial hidrogeniônico; **PT:** miligramas por litro (mg/L); **CTT:** número mais provável por 100mL (NMP/100mL); **ResAmp:** porcentagem de amostras (%); **ResCip:** porcentagem de amostras %; **CE:** microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$); **ST:** miligramas por litro (mg/L).

Valores em colunas diferentes seguidas de mesma letra, não apresentam diferença significativa entre si, considerando um intervalo de confiança de 95% para o teste de Wilcoxon (*ou teste t de Student).

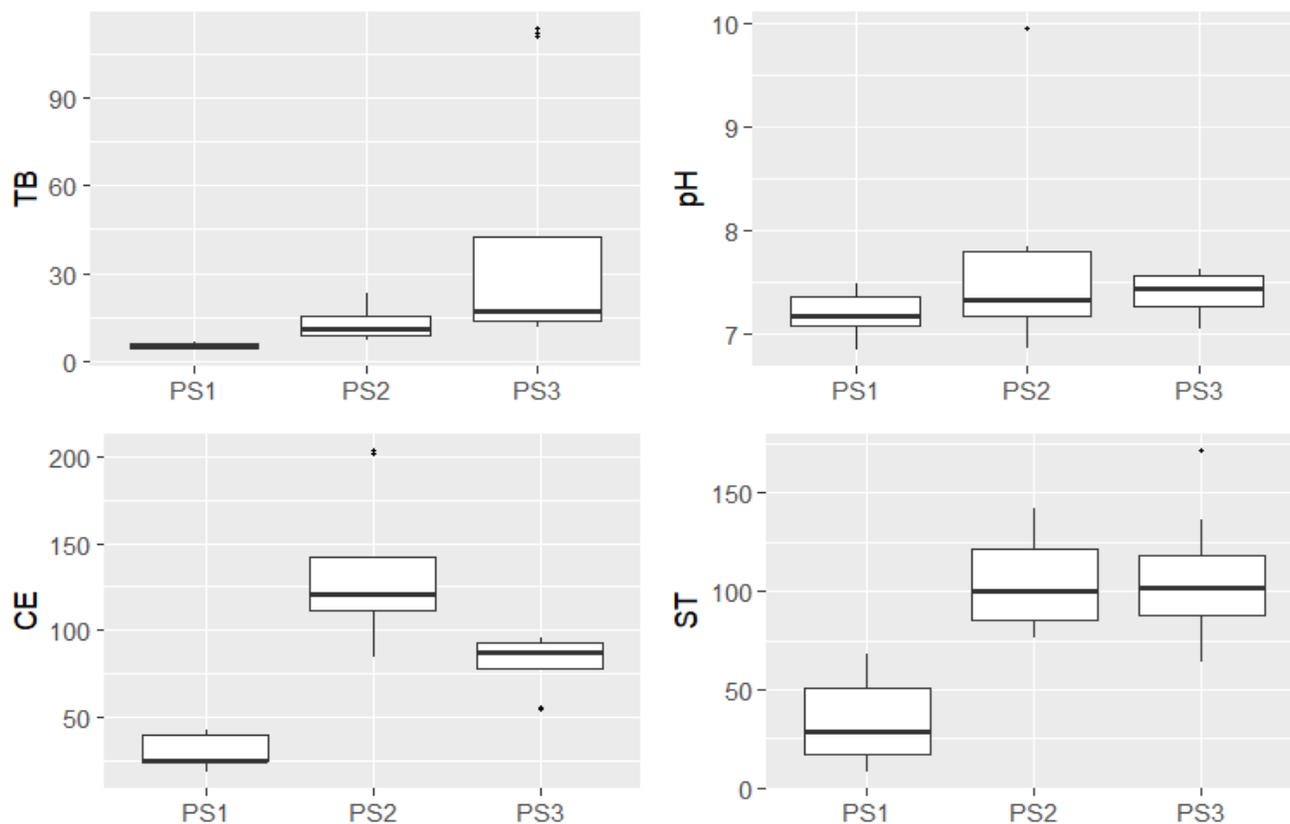
Sabe-se que valores elevados de ST estão relacionados ao acúmulo de cargas poluidoras lançadas por efluentes e ao aporte de cargas difusas provenientes do escoamento superficial (Grieco *et al.*, 2017), da mesma forma que processos de alcalinização de águas superficiais estão associados à poluição difusa de origem agrícola, a partir de contribuições significativas de carbonatos e cátions (cálcio, magnésio e potássio) oriundos de calagem e fertilizantes (Kaushal *et al.*, 2018).

Apesar de alguns parâmetros medidos estarem dentro dos valores aceitáveis para a classe 2, conforme estipulado pela Resolução CONAMA 357/2005, o parágrafo 1º do artigo 38º, no capítulo V desta resolução, esclarece que o “enquadramento do corpo hídrico é definido

pelos usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos”. Portanto, reconhece-se a limitação causada pelos valores em desacordo com a legislação, exigindo a aplicação de medidas para readequar a qualidade da água. De acordo com o parágrafo 2º do capítulo V da resolução, se a condição de qualidade dos corpos de água estiver em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, deverão ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e finais, de melhoria da qualidade da água para a efetivação dos respectivos enquadramentos. Quanto à poluição causada pela ocupação urbana da bacia, a implementação da rede de coleta e tratamento de esgoto na cidade de Curitiba deverá

contribuir para adequar o cenário encontrado por este trabalho.

Figura 2 – Diagramas de caixas para turbidez, pH, condutividade e sólidos totais



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Cabem ainda conjecturas sobre as análises referentes ao rio Marombas. Dentre as variáveis estudadas (Tabela 6), somente coliformes termotolerantes demonstraram diferença estatística significativa entre o ponto de captação para abastecimento do município de Curitiba (MB1) e o ponto de coleta à jusante da confluência com o rio Pessegueirinho (MB2).

A diferença entre as medianas e o acréscimo nos valores de CTT (Figura 3)

sugerem uma possível interferência na qualidade da água do rio Marombas após a convergência dos rios, uma vez que o rio Pessegueirinho é o único afluente que o encontra entre os pontos de coleta. Desta forma, a concentração das cargas poluidoras ao longo da ocupação urbana, somadas às das atividades de pecuária sobre as terras da zona rural do município, impactam a estabilidade ecossistêmica de um dos mananciais hídricos mais importantes da região

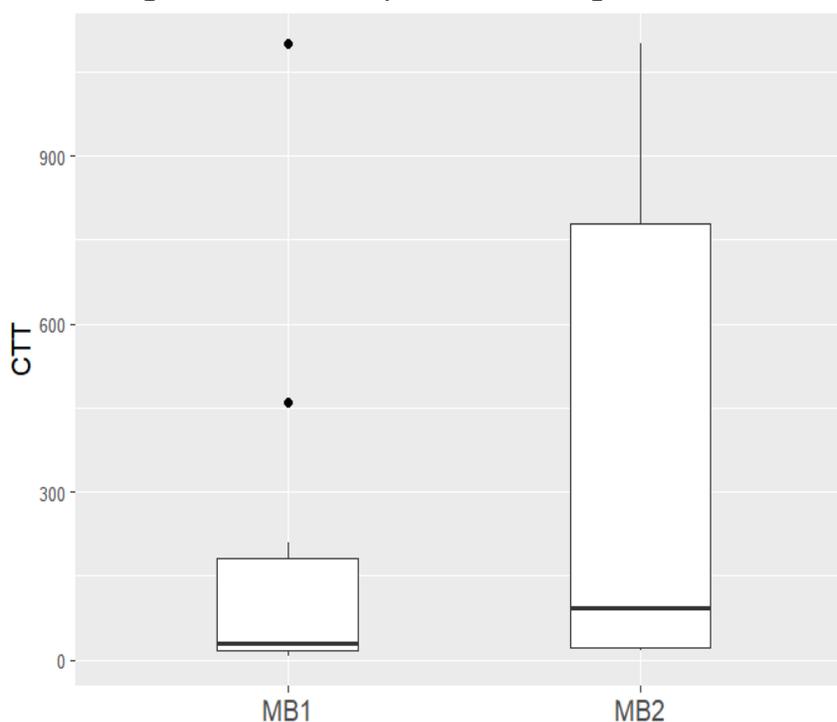
Tabela 6 – Comparação de medianas e média dos parâmetros avaliados para água do rio Marombas.

Parâmetro	MB1	MB2
OD	7,30 a	7,90a
DBO	1,80 a	1,90 a
TB	11,00 a	11,60 a
pH	7,30 a	7,21 a
PT	0,46 a	0,53 a
CTT	32,00 a	191,50 b
ResAmp	0,00 a	0,00 a
ResCip	0,00 a	0,00 a
CE	31,78 a	31,74 a
ST	52,00 a*	45,50 a*

OD: miligramas por litro (mg/L); **DBO:** miligramas por litro (mg/L); **TB:** unidades nefelométricas de turbidez (UNT); **pH:** potencial hidrogeniônico; **PT:** miligramas por litro (mg/L); **CTT:** número mais provável por 100mL (NMP/100mL); **ResAmp:** porcentagem de amostras (%); **ResCip:** porcentagem de amostras %; **CE:** microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$); **ST:** miligramas por litro (mg/L).

Valores em colunas diferentes seguidas de mesma letra, não apresentam diferença significativa entre si, considerando um intervalo de confiança de 95% para o teste de Wilcoxon (*ou teste t de Student).

Figura 3 – Diagrama de caixas para CTT na água do rio Marombas



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Conclusão

As análises comparativas entre os pontos de coleta ao longo do rio Pessegueirinho revelam um quadro complexo da qualidade da água, especialmente em relação à influência da ocupação urbana e rural. Os incrementos notáveis nos parâmetros da água entre as áreas de nascente e a área dentro do perímetro urbano indicam uma significativa pressão ambiental decorrente dos diferentes usos da terra nas margens do rio.

A análise do rio Marombas também causa preocupações, especialmente após sua convergência com o rio Pessegueirinho, quando se evidencia uma possível interferência na qualidade da água, sugerindo pouca capacidade de depuração de efluentes provenientes da área rural e sensibilidade do corpo hídrico às cargas despejadas ao longo da ocupação urbana.

Dado que o Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica dos rios Canoas - Pelotas ainda estava em elaboração durante o período das análises discutidas (De Castro, 2024), vigorava o artigo 42º do capítulo VI da resolução CONAMA 357/2005, que estabelece que “enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2”. Em termos práticos, segundo os resultados obtidos neste trabalho, a qualidade da água dos rios Pessegueirinho e Marombas estavam em desacordo com o enquadramento previsto por lei, evidenciando a

necessidade de medidas para adequar a qualidade das águas desses corpos hídricos.

Sugere-se, portanto, um monitoramento de qualidade de água contínuo e ainda mais abrangente, bem como a implementação de políticas de saneamento urbano e rural na microbacia para assegurar a saúde e a qualidade de vida dos habitantes da região.

Referências

- APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd edn. Washington: American Public Health Association, 2012.
- BARTZ, F. W. *et al.* First fatal cases due to *Escherichia coli* O157 and *Campylobacter jejuni* subsp. *jejuni* outbreak occurred in southern Brazil. **Foodborne Pathogens and Disease**, v. 19, n. 4, p. 241-247, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35138934/>. Acesso em 1 jun. 2024.
- BAUER, A. W. *et al.* Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. **American Journal of Clinical Pathology**, v. 45, n. 4, p. 493-496, 1966. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5325707/>. Acesso em: 6 jun. 2024.
- BERLANDA, A. *et al.* Avaliação temporal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Desquite, Santa Catarina. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 45-51, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/3kNPCbHRzyV8QKqcBcmkcXb/>. Acesso em: 6 jun. 2024
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N. 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de



efluentes e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

CLSI - Clinical and Laboratory Standards Institute. **Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests** (13th ed., CLSI standard M02). Wayne, PA: CLSI, 2018. Disponível em: https://clsi.org/media/1925/m02ed13_sample.pdf. Acesso em: 6 jun. 2024

DE CASTRO, S. E. **Secretaria de Meio Ambiente e Economia Verde aprova Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Canoas e Pelotas**. 2024. Disponível em: <https://shorturl.at/4Cr3P>. Acesso em: 1 jul. 2024.

DE MELLO, K. *et al.* Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, p. 110879, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32721318/>. Acesso em: 22 mai. 2024.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 3. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/eng_analAgua.pdf. Acesso em: 10 abr. 2024.

GRIECO, A. A. *et al.* Diagnóstico espacial e temporal de condições físico-químicas e microbiológicas do Córrego do Tanquinho, Ribeirão Preto, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 282-298, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/wKKtxXWQqJ8nHdR6vnygfjv/?lang=pt>. Acesso em: 4 abr. 2024.

HOLLANDER, M.; WOLFE, D. A.; CHICKEN, E. **Nonparametric Statistical Methods**. 3. ed. John Wiley & Sons, 2013. 848 p.

KAUSHAL, S. S. *et al.* Freshwater salinization syndrome on a continental scale. **Proceedings**

of the National Academy of Sciences, v. 115, n. 4, p. E574-E583, 2018. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1711234115>. Acesso em: 20 fev. 2024.

MAPBIOMAS. **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. 2023. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_8/lclu/cobertura/brasil_coverage_1985.tif Acesso em: 23 jun. 2024

MAPBIOMAS. **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. 2023. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_8/lclu/cobertura/brasil_coverage_2022.tif Acesso em: 23 jun. 2024.

MENDEZ, B. G.; BUDZIAK, D.; STOLBERG, J. ESTUDO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO MAROMBAS (SC/BRASIL), UTILIZANDO PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOENSAIOS. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 5, n. 2, p.43-58, jan. 2011. Semestral. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/260>. Acesso em: 12 abr. 2024.

RABELLO, R. F. *et al.* Antimicrobial resistance in farm animals in Brazil: an update overview. **Animals**, v. 10, n. 4, p. 552, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32224900/>. Acesso em: 19 mar. 2024.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Áustria, 2022.

REIS, K. C.; CAPELO NETO, J. Uso do peróxido de hidrogênio no controle de cianobactérias—uma perspectiva bioquímica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 1-9, 2022. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/porta1/resource/pt/biblio-1364827>. Acesso em: 9 jan. 2024.



ROSÁ, F. P. *et al.* Qualidade microbiológica e resistência antimicrobiana em rios e poços de Curitiba - SC. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 20, n. 2023, 2023. Disponível em: <https://shorturl.at/tJMN1>. Acesso em: 19 abr. 2024.

SANTA CATARINA. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução CERH nº 26, de 20 de agosto de 2018**. Dispõe sobre a Divisão Hidrográfica Estadual, em Regiões Hidrográficas e Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos, com a finalidade de orientar e implementar a Política Estadual de Recursos Hídricos. Florianópolis: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, 2018.

SILVA, T. S. M. *et al.* Perfil de sensibilidade aos antimicrobianos das cepas de *Escherichia coli* isoladas de amostras de águas superficiais do Rio Carioca-RJ, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 673-682, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/ymXHBPgvDV8jXgH5NQHFNcr/abstract/?lang=pt..> Acesso em: 13 mar. 2024.

SOUZA, J. R. C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735>. Acesso em: 20 fev. 2024.

TEN CATEN, A.; SAFANELLI, J. L.; RUIZ, L. F. C. Mapeamento multitemporal da cobertura de terra, por meio de árvore de decisão, na bacia hidrográfica do rio Marombas-SC. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 1198-1209, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/gFNwX5CTMjYZ8DQ9BkC5WmG/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 8 jan. 2024.

UNESCO. **The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One behind**. UNESCO, Paris, 2019. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367306>. Acesso em: 14 fev. 2024.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

WALKER, B. Resilience: what it is and is not. **Ecology and Society**, v. 25, n. 2, p. 11, 2020. Disponível em: <https://shorturl.at/XI24y> Acesso em: 20 jan. 2024.

WHO - World Health Organization. **Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health**. Geneva: WHO, 2019. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241516891>. Acesso em 22 jan. 2024.

XU, J. *et al.* Assessing anthropogenic impacts on chemical and biochemical oxygen demand in different spatial scales with Bayesian networks. **Water**, v. 12, n. 1, p. 246, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/1/246>. Acesso em 11 abr. 2024.



Envie suas contribuições para as próximas edições!

e-mail: ram.cbs@contato.ufsc.br
<https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/am>

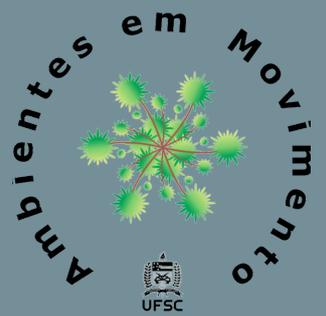


Foto: Adriele Nunes

Ambientes
em *Movimento*