

## **IMPACTOS DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS NA QUALIDADE DA ÁGUA E DINÂMICA HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO AREAL, TAUBATÉ-SP**

**Ericleia Büerg Suszek<sup>1</sup>, Shayani Paula de Oliveira Domingues<sup>1</sup>, Willian José Ferreira<sup>1,2</sup>, Rodrigo Cesar da Silva<sup>1,2</sup>, Vicente Rodolfo Santos Cezar<sup>3</sup>, Marcelo dos Santos Targa<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Mestrado Acadêmica em Ciências Ambientais,  
Universidade de Taubaté – UNITAU, Taubaté, SP

<sup>2</sup>Mestrado Profissional em Ecodesenvolvimento e Gestão Ambiental,  
Universidade de Taubaté - UNITAU, Taubaté, SP

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL), Maceió, AL

ericleia.bsuszek@unitau.br, shayani.podomingues@unitau.br, willian.jferreira@unitau.br\*,  
rodrigo.peb@gmail.com, vicente@ifal.edu.br, mtarga@unitau.br

\* E-mail principal para correspondência

### **RESUMO**

A bacia hidrográfica do rio Areal, situada no município de Taubaté-SP, enfrenta pressões antrópicas decorrentes de atividades como agricultura e urbanização, que modificam a dinâmica hidrológica e comprometem a qualidade da água. Desse modo, cresce o interesse por estudos que relacionem o uso do solo com indicadores de qualidade hídrica, destaca a necessidade de análises integradas. Neste contexto, o estudo busca responder como os diferentes usos do solo e atividades antrópicas influenciam a qualidade da água e a dinâmica hidrológica na bacia do rio Areal. O objetivo foi investigar os impactos dessas atividades por meio da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos da água, considerando sua relação com o uso do solo. As coletas foram realizadas em seis pontos estratégicos da bacia em maio de 2024. Foram analisados parâmetros como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade, turbidez, e concentrações de carbono, nitrogênio, ânions e metais. Os resultados revelaram níveis elevados de turbidez (60,0 NTU) e condutividade (233,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) em áreas agrícolas e urbanizadas, evidenciando impactos diretos do uso do solo. O oxigênio dissolvido mostrou-se insuficiente em alguns pontos (1,4 mg/L), indicando alta presença de matéria orgânica em decomposição. O estudo contribui para compreender a relação entre o uso do solo e a qualidade hídrica, oferecendo subsídios para estratégias de manejo e conservação que promovam a resiliência ambiental da bacia do rio Areal.

**Palavras-chave:** Hidrologia ambiental, Uso do solo, Recursos hídricos, Conservação ambiental.

## IMPACTS OF ANTHROPOGENIC ACTIVITIES ON WATER QUALITY AND HYDROLOGICAL DYNAMICS IN THE AREAL RIVER BASIN, TAUBATÉ-SP

### ABSTRACT

The Areal River Basin, located in the municipality of Taubaté-SP, faces anthropogenic pressures from activities such as agriculture and urbanization, which alter hydrological dynamics and affect water quality. As a result, there is a growing interest in studies that relate land use to water quality indicators, highlighting the need for integrated analyses. In this context, this study seeks to answer how different land uses and anthropogenic activities influence water quality and hydrological dynamics in the Areal River Basin. The aim was to study the impact of these activities by analyzing the physical, chemical and biological parameters of the water, considering their relationship with land use. Samples were collected at six strategic points in the basin in May 2024. Parameters analyzed included temperature, dissolved oxygen, pH, conductivity, turbidity, and concentrations of carbon, nitrogen, anions, and metals. The results showed high levels of turbidity (60.0 NTU) and conductivity (233.7  $\mu\text{S/cm}$ ) in agricultural and urbanized areas, showing direct impacts of land use. Dissolved oxygen was deficient in some locations (1.4 mg/L), indicating a high presence of decomposing organic matter. The study contributes to the understanding of the relationship between land use and water quality, providing support for management and conservation strategies that promote environmental resilience in the Areal River basin.

**Keywords:** Environmental hydrology, Land use, Water resources, Environmental conservation.

### 1. INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos é um desafio complexo, especialmente em regiões sujeitas a intensas transformações antrópicas (Ferreira *et al.*, 2023). Nesse contexto, as bacias hidrográficas, enquanto unidades de análise, permitem compreender as interações entre processos hidrológicos e as pressões das atividades humanas, fornecendo subsídios para o planejamento ambiental e o desenvolvimento sustentável (Tucci, 2004). Assim, bacias situadas em regiões urbanas e periurbanas revelam os impactos do uso intensivo do solo na qualidade e na disponibilidade dos recursos hídricos, refletindo a necessidade de práticas de manejo sustentável que mitiguem a degradação ambiental e assegurem o equilíbrio hídrico.

Localizada na região sudeste do município de Taubaté, no Vale do Paraíba do Sul, a bacia do Areal é uma sub-bacia do rio Una e encontra-se predominantemente em zona rural, conforme definido pelo Plano Diretor do Município (Lei Complementar 412/2017) (Targa *et al.*, 2018). Sua relevância está associada ao abastecimento hídrico e à manutenção das interações ecológicas regionais. Entretanto, o desmatamento, o manejo inadequado do solo e o avanço da urbanização têm comprometido a qualidade da água e alterado a dinâmica hidrológica local, aumentando os riscos de erosão e enchentes (Cheliz *et al.*, 2023). Conforme esses autores, alterações no uso do solo, combinadas a mudanças nos padrões de precipitação, intensificam o escoamento superficial e reduzem a infiltração, agravando a vulnerabilidade ambiental na região.

Na bacia do Areal, a impermeabilização do solo e a fragmentação da cobertura vegetal comprometem o equilíbrio hidrológico, tornando a área vulnerável a eventos críticos, destacando a necessidade de intervenções planejadas que mitiguem seus efeitos e promovam a sustentabilidade regional (Cezar *et al.*, 2019).

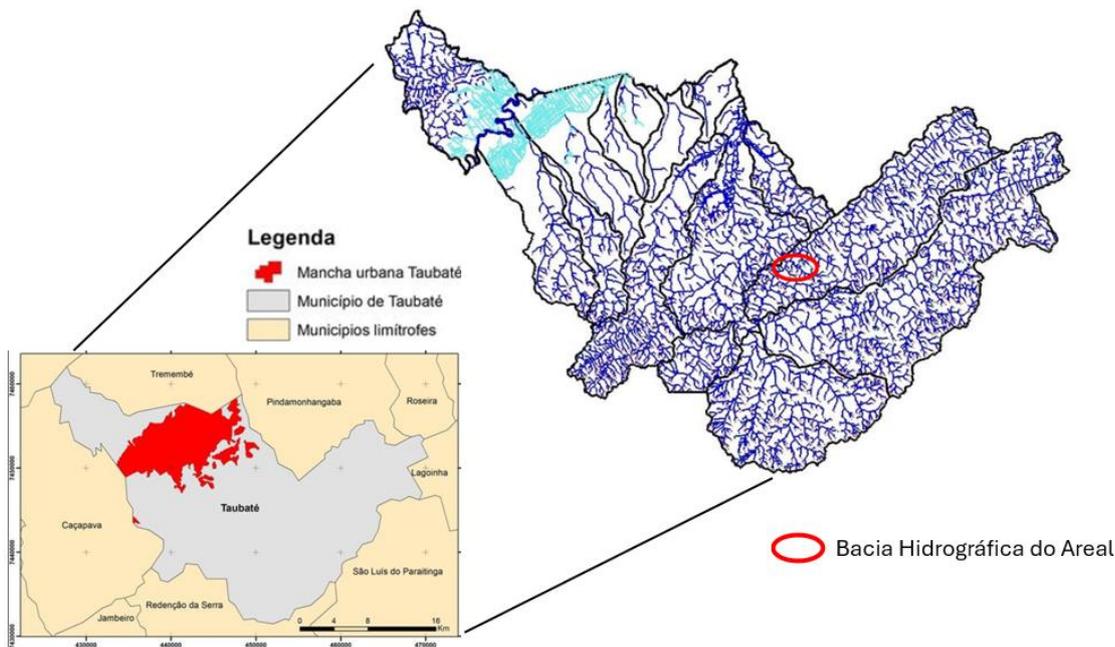


Figura 1: Mapa hidrográfico de Taubaté-SP e Bacia do Areal. Fonte: Adaptado de Portal R3 (2018).

A bacia hidrográfica do rio Areal está inserida em um contexto de uso diversificado do solo, abrangendo atividades agrícolas, urbanização e fragmentos de cobertura vegetal. O avanço da urbanização tem promovido alterações na permeabilidade do solo, resultando em maior escoamento superficial, redução da infiltração e impacto negativo na qualidade da água. Paralelamente, a intensificação das práticas agrícolas contribui para o carreamento de sedimentos e agroquímicos aos corpos d'água, elevando os riscos de contaminação e assoreamento. Segundo Ferreira *et al.* (2024), essas mudanças, associadas às pressões antrópicas e às dinâmicas climáticas regionais, comprometem a sustentabilidade da bacia e destacam a necessidade de compreender as interações entre esses fatores para subsidiar estratégias de manejo e conservação. Nesse contexto, analisar a relação entre os diferentes usos do solo e as dinâmicas hidrológicas é fundamental para mitigar os impactos ambientais e promover a resiliência hídrica na região.

Dessa forma, como os diferentes usos do solo e as atividades antrópicas, como agricultura e urbanização, influenciam o escoamento superficial e a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Areal? Nessa perspectiva, esta pesquisa busca investigar essas relações, avaliando o impacto dos usos do solo na dinâmica hidrológica e na qualidade dos recursos hídricos da bacia, com o objetivo de fornecer subsídios para estratégias de manejo sustentável e conservação ambiental.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo

Como supracitado, a bacia hidrográfica do rio Areal está localizada na região sudeste do município de Taubaté, no Vale do Paraíba Paulista (Figura 1). A área abrange aproximadamente 2 km<sup>2</sup> e apresenta uma configuração geográfica marcada pela presença de atividades agrícolas, urbanização crescente e fragmentos de cobertura vegetal nativa. A bacia é

composta por diversos cursos d'água que convergem para o rio Areal, que desempenha um importante papel no equilíbrio hídrico regional.

De acordo com o Plano Diretor do Município de Taubaté, a bacia está inserida em uma zona predominantemente rural, embora a expansão urbana tenha avançado em direção às áreas de borda, aumentando a pressão sobre os recursos naturais. O clima da região é classificado como tropical de altitude (Cwa na classificação de Köppen-Geiger), com verões quentes e chuvosos e invernos secos. A precipitação média anual varia entre 1.300 e 1.500 mm, concentrada nos meses de verão, o que favorece a ocorrência de escoamentos superficiais intensos em áreas com solo impermeabilizado (Targa *et al.*, 2018).

Os solos predominantes na bacia incluem Latossolos e Argissolos, que apresentam boa capacidade de infiltração em condições naturais, mas tornam-se vulneráveis ao carreamento de sedimentos em áreas de manejo inadequado. A vegetação remanescente é composta por fragmentos de Mata Atlântica secundária, que atua na regulação hídrica e na proteção contra processos erosivos. As dinâmicas de uso do solo incluem atividades agrícolas intensivas, com predominância de culturas de ciclo curto, pastagens e áreas urbanizadas em expansão. Essa configuração torna a bacia hidrográfica do rio Areal um sistema representativo das interações entre atividades humanas, dinâmica hidrológica e sustentabilidade ambiental, justificando sua escolha como objeto de estudo (Cezar *et al.*, 2019).

## 2.2 Procedimento amostral e de análises

O presente estudo seguiu um rigoroso protocolo metodológico para avaliar os impactos das atividades antrópicas, como agricultura e urbanização, na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Areal. As análises físico-químicas e biológicas foram realizadas com base em amostras coletadas em um único dia de campo, em 12 de maio de 2024. A coleta de amostras foi conduzida em seis pontos estratégicos da bacia, utilizando frascos de polietileno de 500 mL previamente tratados. Os frascos e vidrarias foram desmineralizados com solução de HNO<sub>3</sub> a 10% por 24 horas, seguidos de lavagem com água deionizada e secagem em temperatura ambiente. Para análises específicas, algumas vidrarias foram calcinadas a 500 °C por cinco horas, garantindo a integridade das amostras.

Os pontos amostrais foram distribuídos ao longo da bacia hidrográfica do rio Areal, com suas localizações geográficas descritas como: Ponto A (23° 6'28.48"S, 45°26'56.42"O), Ponto B (23° 6'29.34"S, 45°27'1.74"O), Ponto C (23° 6'26.83"S, 45°27'8.62"O), Ponto D (23° 6'18.58"S, 45°27'9.65"O), Ponto F (23° 6'28.54"S, 45°27'21.47"O) e Ponto G (23° 5'57.44"S, 45°27'55.22"O). O Ponto E foi excluído da amostragem devido à sua proximidade e similaridade com o Ponto D, que apresentava características homogêneas. A seleção dos pontos teve como objetivo captar diferentes condições de uso do solo e padrões hidrológicos ao longo da bacia.

O percurso realizado durante a atividade de campo abrangeu uma extensão total de 6,69 km, com variações altimétricas significativas, entre 629 m e 796 m. Essa amplitude altitudinal reflete a diversidade topográfica da bacia, um fator determinante na compreensão dos processos de escoamento superficial e dinâmica hidrológica. A Figura 2a ilustra a área total da bacia hidrográfica, enquanto os pontos de coleta de água estão destacados na Figura 2b.

Parâmetros como pH, condutividade elétrica e temperatura foram medidos em campo utilizando o Sistema de Amostragem Digital Profissional YSI (ProDSS), que permitiu avaliar também oxigênio dissolvido, turbidez e outros indicadores.

Em laboratório, as amostras coletadas foram filtradas com membranas de 0,45 µm e armazenadas em tubos Falcon ou frascos calcinados. Para análises de carbono orgânico dissolvido (COD), as amostras foram preservadas com HCl a 10% e mantidas a 4 °C, garantindo

a integridade dos dados. As concentrações de ânions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{F}^-$ ) foram determinadas por cromatografia de íons, utilizando um cromatógrafo Dionex Aquion com coluna IonPac AS9 e supressora DS6 Heated. A eluição foi realizada com carbonato de sódio a 9 mM, com replicatas de cada amostra validadas por padrões certificados.

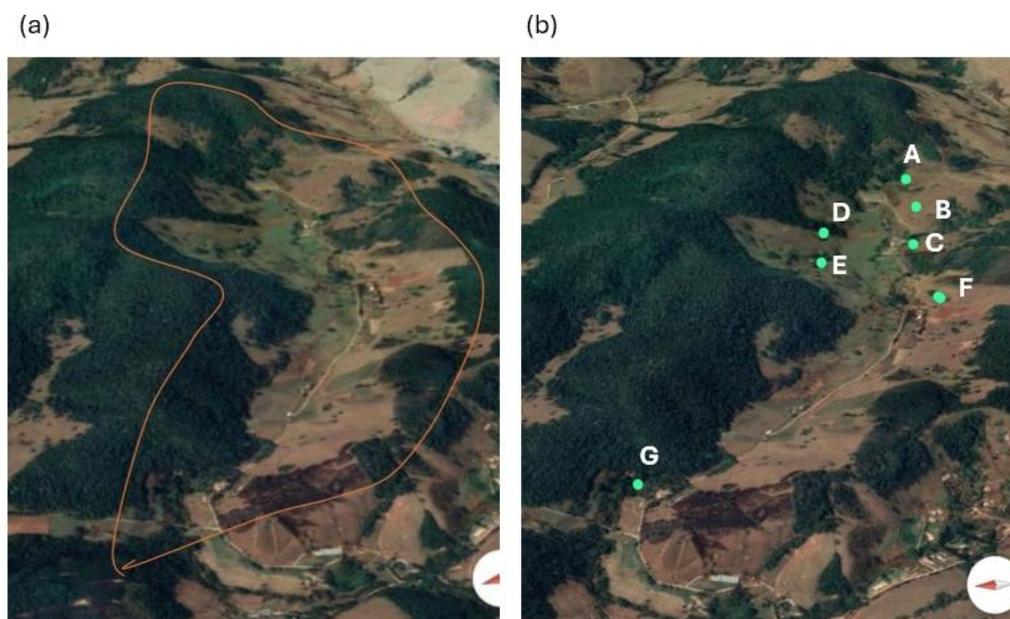


Figura 2: Bacia do rio Areal (2a) e pontos de coleta de água para análise da qualidade hídrica (2b).

Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise de carbono total seguiu o protocolo do laboratório LAQUATEC (Forti; Alcaide, 2011), utilizando um analisador de combustão seca TOC-VCPH da Shimadzu. Metais traço foram quantificados por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-AES), empregando um espectrômetro ICPE-9800 da Shimadzu. A calibração foi conduzida com padrões externos, e os limites de detecção e quantificação foram definidos de acordo com as normas do INMETRO (2018). As soluções-mãe para construção de curvas analíticas asseguraram a precisão dos resultados.

O conjunto de procedimentos adotados assegurou a representatividade dos dados e a confiabilidade das conclusões, permitindo correlacionar o uso do solo aos impactos observados na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Areal.

### 3. RESULTADOS

Os resultados obtidos durante a aula de campo realizada em 11 de maio de 2024 revelaram aspectos relevantes da qualidade da água e das dinâmicas ambientais na bacia hidrográfica do rio Areal. Conforme ilustrado na Figura 2, áreas de maior inclinação, como as localizadas na região central do trajeto, promovem o aumento da velocidade do escoamento e o transporte de sedimentos, intensificando os processos erosivos, especialmente em áreas com baixa cobertura vegetal. Por outro lado, trechos com menores elevações e declividades favorecem a deposição de sedimentos, sendo potenciais zonas de maior suscetibilidade a inundações. Esses aspectos destacam a importância de avaliar o relevo na compreensão das dinâmicas hidrológicas e na formulação de estratégias de manejo ambiental para a bacia.

A temperatura das amostras apresentou variações pouco expressivas entre os pontos avaliados, com valores registrados entre 20,1 °C e 22,3 °C (Tabela 1). Esses resultados refletem a influência da temperatura ambiental, condicionada por fatores como latitude, altitude, estação do ano e a baixa profundidade dos corpos d'água analisados (Fia *et al.*, 2015).

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos medidos nos pontos amostrais da bacia hidrográfica do rio Areal.

Parâmetros medidos	Unidade	Pontos Amostrais					
		A	B	C	D	F	G
Temperatura	°C	21,6	20,1	20,2	22,3	20,7	22,1
Oxigênio Dissolvido	mg/L	4,8	4,4	2,2	6,7	1,4	8,0
Condutividade	µS/cm	153,6	164,4	233,7	52,0	104,1	94,6
pH		7,6	8,4	8,1	8,3	7,8	8,9
ORP	mV	216,3	-77,5	-44,1	51,3	183,6	43,8
Turbidez	NTU	52,2	22,0	6,7	60,0	20,3	9,1

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O oxigênio dissolvido (OD) variou significativamente entre os pontos, com valores registrados entre 1,4 mg/L no ponto F e 8,0 mg/L no ponto G. Este parâmetro é fundamental para a vida aquática, pois reflete o consumo de oxigênio por bactérias na degradação da matéria orgânica (CETESB, 2021). De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, o OD mínimo necessário para a manutenção da vida aquática é de 5,0 mg/L. Enquanto o ponto G atendeu a este critério, locais como o ponto F indicaram condições desfavoráveis à vida aquática devido aos baixos níveis de oxigênio.

A condutividade específica (SPC), um indicador da concentração de sais dissolvidos na água, variou de 52,0 µS/cm a 233,7 µS/cm. Os pontos A, B e C apresentaram valores acima do intervalo esperado para águas naturais, geralmente entre 10 e 100 µS/cm (Teng *et al.*, 2022). Esses resultados sugerem alta concentração de íons dissolvidos, possivelmente devido à poluição por atividades antrópicas (CETESB, 2021).

Os valores de pH variaram entre 7,6 e 8,9, indicando condições levemente alcalinas. Esses valores estão dentro do intervalo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (6,0 a 9,0). Embora não tenham ocorrido variações significativas, os valores observados refletem influência de processos de degradação da matéria orgânica (Azevedo Lopes; Júnior, 2010).

O potencial de oxidação-redução (ORP) apresentou oscilações expressivas. Valores positivos, observados nos pontos A, D, F e G, indicam a presença de agentes oxidantes, como cloro. Em contrapartida, os valores negativos registrados nos pontos B e C sugerem maior presença de matéria orgânica em decomposição, indicando a ação de agentes redutores (SPLabor, 2024).

A turbidez (NTU) variou de 6,7 NTU a 60,0 NTU, com todos os pontos excedendo o limite de 5,0 NTU estabelecido para água potável (CETESB, 2021). Níveis elevados de turbidez indicam a presença de partículas suspensas, como sedimentos e poluentes, frequentemente associados à ausência de cobertura vegetal e à erosão intensificada pelo uso inadequado do solo (Silva e Carvalho, 2023). A Figura 3 ilustra a ocorrência de processos erosivos na região da bacia do Areal, evidenciando os impactos das práticas de manejo sobre a qualidade da água.

A análise das concentrações de carbono, nitrogênio, ânions, cátions e metais nos pontos amostrais da bacia hidrográfica do rio Areal, conforme apresentado na Tabela 2, fornece informações importantes sobre a qualidade da água e as possíveis influências das atividades antrópicas na região.



Figura 3: Evidências de processos erosivos na região da bacia hidrográfica do rio Areal.  
Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 2: Concentrações de carbono, nitrogênio, ânions, cátions e metais nos pontos amostrais da bacia do Areal.

Itens analisados	Unidade	Pontos Amostrais					
		A	B	C	D	F	G
TOC							
(Carbono Orgânico Total dissolvido)	mg/L	ND	1,9	1,4	0,8	2,6	0,5
IC (Carbono inorgânico dissolvido)	mg/L	21,2	18,7	22,4	13,5	15,1	10,8
TN (Nitrogênio Total dissolvido)	mg/L	0,2	0,4	0,1	0,7	0,3	0,7
Ânions Fluoreto (F <sup>-</sup> )	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2
Ânions Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0,6	0,7	0,1	0,8	0,5	2,4
Ânions Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ânions Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9
Ânions Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	ND	0,4	ND	ND	ND	ND
Ânions Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1,7	0,7	0,1	0,3	0,1	0,5
Cátions Sódio (Na <sup>+</sup> )	mg/L	8,5	9,1	8,9	2,7	4,2	3,9
Cátions Amônio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0,2	0,3	0,1	0,6	ND	0,4
Cátions Potássio (K <sup>+</sup> )	mg/L	1,3	2,0	1,1	1,0	1,7	2,9
Cátions Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	mg/L	14,5	14,2	16,0	8,6	12,3	10,1
Cátions Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	mg/L	4,2	3,0	2,6	4,5	1,5	2,1
Ferro - Fe	mg/L	ND	0,1159	ND	0,0393	0,3167	0,0655
Lantânio - La	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Prata - Ag	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Alumínio - Al	mg/L	0,0023	0,0038	0,0016	0,0054	0,0029	0,0069
Arsênio - As	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Boro - B	mg/L	0,0018	0,0026	0,0008	0,0034	0,0032	0,0024
Bário - Ba	mg/L	0,0713	0,0437	0,0645	0,0532	0,0438	0,0336
Berílio - Be	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Cádmio - Cd	mg/L	0,0032	0,0031	0,0026	0,0028	0,0027	0,0021

Cobalto - Co	mg/L	0,0093	0,0080	0,0134	0,0154	0,0101	0,0100
Cromo - Cr	mg/L	0,0019	0,0017	0,0015	0,0010	0,0017	0,0017
Cobre - Cu	mg/L	0,0052	0,0063	0,0056	0,0066	0,0056	0,0062
Mercúrio - Hg	mg/L	0,0021	0,0018	0,0006	0,0006	0,0007	0,0004
Lítio - Li	mg/L	0,0116	0,0034	0,0010	0,0009	0,0007	0,0007
Manganês - Mn	mg/L	0,0019	0,0010	0,8011	2,4340	0,0187	0,0105
Níquel - Ni	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chumbo - Pb	mg/L	0,0230	0,0207	0,0165	0,0114	0,0104	0,0062
Antimônio - Sb	mg/L	0,0060	0,0064	0,0060	0,0039	0,0062	0,0064
Selênio - Se	mg/L	0,0023	0,0013	0,0023	0,0013	0,0038	0,0024
Vanádio - V	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinco - Zn	mg/L	0,0081	0,0069	0,0112	0,0087	0,0083	0,0070

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os valores de Carbono Orgânico Total (TOC) variaram entre ND (não detectável) no ponto A e 2,6 mg/L no ponto F, indicando maior presença de matéria orgânica dissolvida neste último. A concentração elevada de TOC no ponto F pode estar associada a atividades agrícolas intensivas ou ao carreamento de resíduos orgânicos (APHA, 2012). Já o Carbono Inorgânico Dissolvido (IC) apresentou variação de 10,8 mg/L (ponto G) a 22,4 mg/L (ponto C), refletindo a contribuição de minerais dissolvidos nas áreas amostradas.

O Nitrogênio Total Dissolvido (TN) variou de 0,1 mg/L no ponto C a 0,7 mg/L nos pontos D e G, indicando a presença de compostos nitrogenados, possivelmente oriundos de fertilizantes ou resíduos orgânicos. A presença de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), detectado em concentrações entre 0,1 mg/L e 0,9 mg/L, é um indicativo de processos de lixiviação de fertilizantes agrícolas, conforme destacado por Teng *et al.* (2022). A ausência de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) sugere que o nitrogênio já foi oxidado a nitrato, predominando o estado mais estável na água.

Entre os ânions analisados, o cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) apresentou concentração mais elevada no ponto G (2,4 mg/L), o que pode indicar contaminação por esgoto doméstico ou práticas agrícolas, conforme apontado por CETESB (2021). O sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), por sua vez, apresentou concentrações entre 0,1 mg/L (pontos C e F) e 1,7 mg/L (ponto A), valores que refletem a presença de minerais naturais ou resíduos industriais.

Os cátions também revelaram variações significativas. O sódio ( $\text{Na}^+$ ) foi mais elevado no ponto B (9,1 mg/L), possivelmente devido à presença de sais dissolvidos em maior quantidade nesta área. O cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) apresentou concentrações mais altas no ponto C (16,0 mg/L), indicando a dissolução de minerais calcários ou resíduos agrícolas ricos neste elemento (Fia *et al.*, 2015). O magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), outro indicador da composição mineral da água, variou de 1,5 mg/L no ponto F a 4,5 mg/L no ponto D.

Dentre os metais analisados, o ferro (Fe) foi detectado em maior concentração no ponto F (0,3167 mg/L), o que pode estar associado a processos de lixiviação do solo ou à decomposição de matéria orgânica. O cádmio (Cd), mesmo em baixas concentrações (0,0021 mg/L a 0,0032 mg/L), merece atenção devido ao seu potencial tóxico, possivelmente relacionado ao uso de fertilizantes fosfatados, como discutido por Azevedo Lopes e Júnior (2010). O manganês (Mn) apresentou um pico expressivo no ponto D (2,434 mg/L), indicando uma possível contribuição de fontes naturais, como minerais no solo, ou influência antrópica, como resíduos industriais.

O zinco (Zn), um micronutriente essencial, foi encontrado em todas as amostras, com valores variando entre 0,0069 mg/L (ponto B) e 0,0112 mg/L (ponto C). Embora em níveis baixos, a presença constante de metais como zinco e cobre (Cu) pode refletir contaminação por atividades agrícolas e escoamento de águas residuais.

Os resultados obtidos evidenciam que os diferentes usos do solo e as atividades antrópicas exercem influências significativas sobre a qualidade da água e a dinâmica hidrológica na bacia hidrográfica do rio Areal, dado que a urbanização crescente e as práticas agrícolas intensivas emergem como os principais vetores de impacto, alterando parâmetros físico-químicos e biológicos fundamentais para a integridade ambiental do sistema hídrico.

Os altos valores de condutividade elétrica (SPC) em pontos como A, B e C (acima de 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) indicam maior concentração de sais dissolvidos, associados a despejos urbanos e à lixiviação de fertilizantes das áreas agrícolas. Esses resultados corroboram a literatura, que destaca a correlação entre urbanização e aumento de poluentes dissolvidos nos corpos d'água (Teng *et al.*, 2022). A presença de íons como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), em níveis mais elevados nos pontos de maior intervenção humana, reforça a influência das atividades agrícolas no transporte de nutrientes e sedimentos para os cursos d'água.

Observou-se que a degradação da cobertura vegetal ao longo das margens da bacia intensifica os processos de erosão, evidenciado pelos elevados níveis de turbidez (entre 6,7 NTU e 60,0 NTU) em todos os pontos analisados. Além disso, a ausência de mata ciliar reduz a capacidade de retenção de sedimentos, permitindo que partículas suspensas sejam transportadas para o leito dos rios, como observado por Silva e Carvalho (2023). Além disso, as concentrações elevadas de metais como ferro (Fe) e alumínio (Al), identificadas em pontos como F e G, indicam processos erosivos e possíveis contribuições de atividades industriais e agrícolas.

As variações de oxigênio dissolvido (OD), com valores críticos em pontos como F (1,4 mg/L), indicam condições inadequadas para a vida aquática, uma consequência direta da matéria orgânica em decomposição e do consumo de oxigênio por processos microbiológicos em áreas impactadas (CETESB, 2021). Esses resultados enfatizam o papel da urbanização e da agricultura na modificação dos ciclos biogeoquímicos, comprometendo os serviços ecossistêmicos da bacia.

Por fim, os resultados destacam que a impermeabilização do solo em áreas urbanas e a intensificação do uso agrícola alteram a dinâmica do escoamento superficial, promovendo maior volume de água superficial transportada durante eventos chuvosos, como evidenciado na análise da turbidez e da condutividade. Esses fatores comprometem a infiltração hídrica, aumentam o transporte de poluentes e acentuam a vulnerabilidade da bacia a inundações e assoreamento.

Embora este estudo tenha contribuído para a compreensão dos impactos das atividades antrópicas na qualidade da água e na dinâmica hidrológica da bacia do rio Areal, algumas limitações devem ser consideradas. A coleta de dados, realizada em um único dia de campo, restringiu a análise às condições momentâneas, dificultando a avaliação de variações sazonais que poderiam revelar padrões hidrológicos mais abrangentes. Dessa forma, eventos climáticos extremos, como chuvas intensas ou períodos de estiagem, não foram capturados, limitando a compreensão dos processos hidrológicos em cenários temporais mais amplos.

Além disso, a seleção dos pontos de coleta, embora estratégica, pode não ter contemplado toda a complexidade ambiental da bacia. A exclusão de pontos devido à proximidade e similaridade, como no caso do ponto E, reduziu a diversidade das amostras, restringindo a representação de condições ambientais heterogêneas. Outro aspecto não abordado foi a análise microbiológica e a identificação de contaminantes emergentes, como pesticidas e outros poluentes relacionados às atividades agrícolas e urbanas, que poderiam enriquecer o entendimento sobre os impactos antrópicos.

Pesquisas futuras poderiam explorar variações temporais e sazonais dos parâmetros hidrológicos e da qualidade da água, considerando os ciclos agrícolas e períodos climáticos específicos. Outra perspectiva seria a ampliação do escopo analítico para incluir contaminantes emergentes e variáveis microbiológicas, possibilitando uma avaliação mais completa dos

impactos das atividades humanas na bacia do rio Areal e subsidiando estratégias de manejo mais detalhadas.

## 4. CONCLUSÃO

O objetivo geral deste estudo foi avaliar os impactos das atividades antrópicas, como agricultura e urbanização, na qualidade da água e na dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica do rio Areal, com base em parâmetros físico-químicos e da qualidade da água. Os resultados alcançados demonstraram que as alterações no uso do solo, como o desmatamento e a impermeabilização, influenciam diretamente a qualidade da água e o escoamento superficial, comprometendo a integridade ambiental da bacia. Parâmetros como oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e turbidez evidenciaram condições de comprometimento ambiental em diversos pontos amostrais, reforçando a relação entre atividades humanas e degradação ambiental.

A contribuição deste estudo reside em sua capacidade de fornecer uma base empírica para compreender os efeitos das pressões antrópicas sobre a qualidade da água e os processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica localizada em área de transição rural-urbana. Além disso, a pesquisa apresenta implicações práticas para o manejo sustentável da bacia, oferecendo informações relevantes para orientar políticas públicas e estratégias de conservação ambiental. No contexto social, os resultados ressaltam a necessidade de práticas agrícolas e urbanas mais sustentáveis, promovendo a proteção dos recursos hídricos e a preservação dos serviços ecossistêmicos.

Pesquisas futuras devem explorar variações sazonais e temporais nos parâmetros hidrológicos e na qualidade da água, ampliando a compreensão dos impactos das atividades humanas em diferentes períodos climáticos. Além disso, recomenda-se a inclusão de análises microbiológicas e a identificação de contaminantes emergentes, como pesticidas e metais pesados, para uma abordagem mais abrangente. Investigações adicionais podem também examinar estratégias de restauração ecológica e a implementação de infraestrutura verde na bacia, promovendo a sustentabilidade e a resiliência hídrica da região.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Mestrado Acadêmico em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté (UNITAU) e ao Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi) pelo apoio técnico, institucional e financeiro, que foram fundamentais para a realização desta pesquisa. Manifestamos, também, nossa gratidão à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento por meio das bolsas de pesquisa concedidas, processos nº 88887.847430/2023-00 e nº 88887.847434/2023-00.

## 6. REFERÊNCIAS

AZEVEDO LOPES, F. W., & JÚNIOR, A. P. M. (2010). Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. *Revista Geografias*, 6(2), 134-147.

- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2021). *Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB.
- CEZAR, V. R. S., DOS SANTOS TARGA, M., & DE SOUZA CATELANI, C. (2019). Morphometric analysis of an Aerial Watershed in Taubaté, SP, Brazil. *Revista Ambiente & Água*, 7.
- FERREIRA, C. S. S., TARGA, M. S., & CATELANI, C. S. (2023). Temporal evolution of suspended solids in the management of medium-sized watersheds in the Metropolitan Region of Paraíba Valley. *Revista Ambiente & Água*, 18, e2945.
- FERREIRA, W. J., TARGA, M. DOS S., RICETTO, K. C. DA S., & SPEDO, G. R. C. (2024). Gamificação e educação ambiental: desafios e perspectivas para a sensibilização e mudança de atitudes rumo a um futuro sustentável. *Caminhos De Geografia*, 25(100), 291–306.
- FIA, R., MINUCI, L. C., & SOUZA, S. R. (2015). Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(1), 267-275.
- FORTI, M. C., & ALCAIDE, R. L. M. (2011). Protocolo de segurança do laboratório de aerossóis, soluções aquosas e tecnologias-LAQUATEC. *São José dos Campos: INPE*, 1, 37.
- INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. C. G. D. A. (2018). DOQ-Cgcre-087: Orientações gerais sobre os requisitos da ABNT NBR ISO/IEC 17025: 2017. *Rio de Janeiro*.
- SILVA, G. R., & CARVALHO, A. (2023). Relações entre ações antrópicas e taxas de turbidez na bacia Hidrográfica do Rio Maracujá, Amarantina-MG. *Revista Geoaraguaia*, 13(2), 100-120.
- TARGA, M. S., DOS SANTOS PEREIRA, L. F., LEMOS, H. M. S., REIS, J. B., & CEZAR, V. R. S. (2018). Mapeamento Ambiental da Bacia do Areal no Município de Taubaté, SP. *Revista Técnica Ciências Ambientais*, 1(1).
- TENG, Y., KONG, F., CHEN, Y., CHEN, S., XIONG, H., ZHU, K., & YANG, Z. (2022). Meta-analysis of the effects of combined application of organic and chemical fertilizers on soil nitrogen leaching. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 38(22), 81-88.
- TUCCI, C. E. M. (2004). Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. *Rega: revista de gestión del agua de America Latina. Santiago. Vol. 1, n. 1 (jan./jun. 2004), p. 59-73*.