

Dinâmica do uso e cobertura da terra e seus efeitos na qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Arroio Demétrio, Gravataí (RS)

Land use and land cover dynamics and their effects on surface water quality in the Arroio Demétrio sub-basin, Gravataí (RS), Brazil

Dinámica del uso y la cobertura de la tierra y sus efectos sobre la calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del Arroio Demétrio, Gravataí (RS), Brasil

Luiz Fernando Alves*

Luis Alberto Basso**

*Mestre em Geografia, Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Professor de Geografia de Ensino Médio na rede Estadual do Rio Grande do Sul e na rede municipal de São Leopoldo, Porto Alegre, Brasil – nandogeo@gmail.com

**Professor Titular do departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil - luis.basso@ufrgs.br

Recebido em 09/06/2026. Aceito para publicação em 07/07/2026
Versão online publicada em 30/07/2026 (<http://seer.ufrgs.br/paraonde>)

Resumo:

A sub-bacia hidrográfica do arroio Demétrio (SBAD) integra a Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (RS) e abrange parcialmente os municípios de Taquara e Gravataí. A área de estudo caracteriza-se pelo predomínio de áreas rurais, com destaque para a expansão da silvicultura de eucaliptos, enquanto a porção sul apresenta intensa urbanização. Considerando a relevância do arroio Demétrio como principal afluente do Rio Gravataí, este estudo objetivou avaliar a qualidade da água em três pontos da sub-bacia. Foram realizadas três campanhas de amostragem (maio de 2023, janeiro e fevereiro de 2024), em diferentes condições hidrológicas. A metodologia incluiu análises laboratoriais das amostras de água, elaboração de mapas de uso e cobertura da terra para 1986 e 2022 e revisão de literatura. A qualidade da água foi avaliada pelo Índice de Qualidade da Água (IQA) da CETESB e do IGAM. Os resultados indicaram qualidade boa no ponto 1 (IQA médio de 70), entre boa e regular no ponto 2 (62) e entre regular e ruim no ponto 3 (50). Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), que estabelece classes de enquadramento para corpos d'água doce (Classes 1 a 4, em ordem decrescente de qualidade), o ponto 1 enquadrou-se predominantemente na Classe 1, o ponto 2 entre as Classes 2 e 3 e o ponto 3 entre as Classes 3 e 4. Conclui-se que os índices de qualidade da água, associados à análise do uso e cobertura da terra, constituem ferramenta eficaz para o diagnóstico e o planejamento ambiental da SBAD.

Palavras-chaves: Índice de Qualidade da Água (IQA). Parâmetros de qualidade da água. Cartografia. Poluição hídrica.

Abstract:

The Demétrio Stream Watershed (DSW) is part of the Gravataí River Basin, in Rio Grande do Sul, southern Brazil, and encompasses portions of the municipalities of Taquara and Gravataí. The study area is characterized by a predominance of rural areas, with a marked expansion of eucalyptus plantations, whereas its southern sector has undergone intense urbanization. Considering the importance of the Demétrio Stream as the main tributary of the Gravataí River, this study aimed to assess water quality at three monitoring sites within the sub-basin. Three sampling campaigns were conducted in May 2023, January 2024, and February 2024 under different hydrological conditions. The methodology included laboratory analysis of water samples, preparation of land use and land cover maps for 1986 and 2022, and a literature review. Water quality was assessed using the Water Quality Index (WQI) adopted by the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB, in Portuguese) and the Minas Gerais Institute for Water Management (IGAM, in Portuguese). The results indicated good water quality at Site 1 (mean WQI = 70), between good and fair at Site 2 (mean WQI = 62), and between fair and poor at Site 3 (mean WQI = 50). According to CONAMA Resolution No. 357/2005 (Brasil, 2005), Site 1 was predominantly classified as Class 1, Site 2 between Classes 2 and 3, and Site 3 between Classes 3 and 4. These findings demonstrate that water quality indices, combined with land use and land cover analysis, provide an effective tool for environmental assessment and planning in the DSW.

Keywords: Water Quality Index (WQI). Water quality parameters. Cartography. Water pollution.

Resumen:

La subcuenca hidrográfica del arroyo Demétrio (SBAD) integra la Cuenca Hidrográfica del río Gravataí (Rio Grande do Sul, Brasil) y abarca parcialmente los municipios de Taquara y Gravataí. El área de estudio se caracteriza por un predominio de zonas rurales, con expansión de las plantaciones de eucalipto, mientras que el sector sur registra intensa urbanización. Dada la relevancia del arroyo Demétrio como principal afluente del río Gravataí, este estudio evaluó la calidad del agua en tres puntos de monitoreo de la subcuenca. Se realizaron tres campañas de muestreo en mayo de 2023, enero de 2024 y febrero de 2024 bajo diferentes condiciones hidrológicas. La metodología incluyó análisis de laboratorio de muestras de agua, elaboración de mapas de uso y cobertura de la tierra para 1986 y 2022 y revisión bibliográfica. La calidad del agua se evaluó mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) de la Compañía Ambiental del Estado de São Paulo (CETESB, en portugués) y del Instituto Mineiro de Gestión de las Aguas (IGAM, en portugués). Los resultados indicaron calidad buena en el Punto 1 (ICA medio = 70), entre buena y regular en el Punto 2 (ICA medio = 62) y entre regular y mala en el Punto 3 (ICA medio = 50). Según la Resolución CONAMA n.º 357/2005 (Brasil, 2005), el Punto 1 se clasificó predominantemente como Clase 1, el Punto 2 entre las Clases 2 y 3 y el Punto 3 entre las Clases 3 y 4. Los resultados muestran que los índices de calidad del agua, asociados al análisis del uso y cobertura de la tierra, constituyen una herramienta eficaz para la planificación ambiental de la SBAD.

Palabras-clave: Índice de Calidad del Agua (ICA). Parámetros de calidad del agua. Cartografía. Contaminación hídrica.

1. Introdução

As transformações antrópicas no espaço geográfico têm intensificado as pressões sobre os sistemas hídricos, especialmente em bacias hidrográficas de pequeno e médio porte inseridas em contextos de transição entre usos rurais e urbanos. Nesse cenário, a qualidade das águas superficiais constitui um importante indicador das relações sociedade-natureza, refletindo os padrões de uso e cobertura da terra e a eficácia das políticas públicas de gestão ambiental (Margalef, 1983; Tundisi; Tundisi, 2008).

As bacias hidrográficas configuram-se como unidades fundamentais de análise ambiental por integrarem, em um mesmo sistema hidroambiental, processos físicos, químicos, biológicos e socioeconômicos. Essa abordagem sistêmica permite compreender a qualidade da

água como resultado das interações entre relevo, clima, solos, cobertura vegetal e formas de apropriação do território (Christofolletti, 2000; Botelho; Silva, 2010).

No Brasil, a degradação da qualidade das águas superficiais tem sido amplamente associada à expansão urbana desordenada, à insuficiência dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos e às mudanças no uso e cobertura da terra. Embora a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 (Brasil, 2005) estabeleça padrões de qualidade conforme os usos preponderantes da água, persistem problemas relacionados à contaminação orgânica, ao aporte excessivo de nutrientes e à degradação bacteriológica, sobretudo em bacias sujeitas a intensas pressões antrópicas (Von Sperling, 2005; ANA, 2017).

As mudanças no uso e cobertura da terra influenciam diretamente os processos hidrológicos e hidroquímicos, afetando o escoamento superficial, a infiltração, o transporte de sedimentos e o aporte de poluentes aos cursos d'água. A substituição de áreas naturais por superfícies impermeabilizadas e a intensificação das atividades antrópicas alteram o equilíbrio hidrológico das bacias, repercutindo na qualidade das águas ao longo do tempo e do espaço (Singh; Malik; Sinha, 2004; McIntyre *et al.*, 2014).

Nesse contexto, os Índices de Qualidade da Água (IQA) destacam-se como ferramentas consolidadas para a síntese de múltiplos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, permitindo a avaliação integrada da qualidade da água e subsidiando processos de gestão dos recursos hídricos (Von Sperling, 2014; Coradi; Fia; Pereira-Ramirez, 2009).

A Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, no estado do Rio Grande do Sul, apresenta histórico de comprometimento da qualidade de suas águas em função da urbanização e da intensificação das atividades antrópicas. No interior dessa bacia, a sub-bacia hidrográfica do arroio Demétrio destaca-se por reunir contrastes marcantes de uso e cobertura da terra, configurando um recorte espacial relevante para a análise integrada da qualidade das águas superficiais.

Diante desse cenário, o presente artigo tem como objetivo analisar a qualidade das águas superficiais da sub-bacia hidrográfica do arroio Demétrio por meio da avaliação de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos e da aplicação de índices de qualidade da água, relacionando os resultados às mudanças no uso e cobertura da terra ocorridas na sub-bacia.

2. Metodologia

O estudo foi desenvolvido na sub-bacia hidrográfica do arroio Demétrio, inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, no estado do Rio Grande do Sul – (RS), adotando a bacia hidrográfica

como unidade de análise geográfica, por permitir a integração entre dinâmica do uso e cobertura da terra e qualidade das águas superficiais (Christofolletti, 2000; Botelho; Silva, 2010).

Foram selecionados três pontos de monitoramento ao longo do curso principal do arroio Demétrio, distribuídos segundo o gradiente montante–jusante, de modo a representar diferentes contextos de uso e cobertura da terra e níveis de interferência antrópica. O ponto 1 localiza-se em área de montante, com menor influência urbana; o ponto 2 em trecho intermediário; e o ponto 3 na porção jusante, caracterizada por maior urbanização.

A qualidade da água foi avaliada a partir de campanhas de amostragem realizadas em maio de 2023, janeiro de 2024 e fevereiro de 2024, sob distintas condições de precipitação. Para ampliar a base temporal de análise, foram incorporados dados secundários referentes aos anos de 2011, 2016 e 2021, provenientes do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Gravataí (Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A., 2012) e de estudo técnico-acadêmico previamente desenvolvido na sub-bacia do arroio Demétrio (Martins, 2018), respeitando-se a compatibilidade metodológica dos parâmetros analisados. Os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos considerados seguem as recomendações da *American Public Health Association* (APHA, 2017), conforme descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, garantindo padronização e comparabilidade dos resultados analíticos, além dos critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), bastante utilizados em avaliações da qualidade das águas superficiais (Von Sperling, 2005; 2014).

A análise do uso e cobertura da terra na sub-bacia foi realizada com base nos dados da plataforma MapBiomas, utilizando as séries históricas disponíveis para os anos de 1986 e 2022, largamente empregadas em estudos sobre uso e cobertura da terra e mudanças ambientais no Brasil (MapBiomas, 2023).

Os dados foram organizados e analisados de forma comparativa entre os pontos de amostragem e as campanhas de monitoramento, utilizando valores de referência normativos para o enquadramento da qualidade da água. A avaliação integrada dos resultados foi realizada por meio da aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA), adotando-se as metodologias da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). O IQA da CETESB permanece como um dos principais instrumentos de monitoramento da qualidade das águas superficiais no Brasil (CETESB, 2023), enquanto a metodologia do IGAM apresenta adaptações voltadas às condições hidroambientais de Minas

A interpretação dos resultados baseou-se na articulação entre os parâmetros de qualidade da água e os padrões espaciais de uso e cobertura da terra da sub-bacia, apoiada na análise cartográfica, permitindo relacionar as variações observadas às transformações no uso e cobertura da terra ao longo do sistema fluvial.

A sub-bacia hidrográfica do arroio Demétrio integra a Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, localizada na porção nordeste da Região Metropolitana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A sub-bacia abrange parcialmente os municípios de Taquara e Gravataí, configurando um recorte espacial marcado por forte heterogeneidade ambiental e socioeconômica, resultante da coexistência de áreas rurais, setores de silvicultura e zonas urbanizadas em diferentes estágios de consolidação.

[illegible]

Para Onde!?, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 101-125, 2026. <http://seer.ufrgs.br/paraonde>

Do ponto de vista geomorfológico e hidrológico, a sub-bacia caracteriza-se por canais de pequena a média ordem, relevo suavemente ondulado e regime de escoamento predominantemente pluvial, apresentando resposta hidrológica sensível aos eventos de precipitação. Esses fatores condicionam o transporte de sedimentos, a dinâmica do escoamento superficial e os processos de diluição e concentração de poluentes ao longo do curso d'água, influenciando diretamente os padrões espaciais da qualidade da água.

As porções de montante da sub-bacia do arroio Demétrio apresentam predomínio de usos rurais, com presença significativa de áreas de silvicultura, especialmente plantios de eucalipto, além de fragmentos de vegetação nativa. Nessas áreas, a ocupação humana é menos densa e os cursos d'água tendem a sofrer menor interferência direta de fontes urbanas de poluição, desempenhando papel relevante na manutenção da qualidade hídrica e na regulação das vazões, sobretudo durante períodos de estiagem. Ademais, essa porção da sub-bacia está associada a zonas de recarga aquífera, o que reforça sua importância estratégica no contexto hidrológico regional (Tucci, 2002).

Em contraste, as áreas médias e, principalmente, a jusante da sub-bacia concentram setores progressivamente urbanizados, caracterizados por maior densidade populacional, expansão da malha viária, impermeabilização do solo e intensificação das atividades antrópicas. Nesse trecho, o arroio Demétrio passa a receber contribuições significativas de esgotos domésticos, efluentes e cargas difusas oriundas do escoamento superficial urbano, configurando um cenário propício à degradação gradual da qualidade da água.

A análise espacial do uso e cobertura da terra evidencia transformações significativas ao longo das últimas décadas, com expansão da urbanização e reconfiguração dos padrões de uso e cobertura da terra, especialmente nas áreas de transição entre os municípios de Taquara e Gravataí. Essas transformações da paisagem refletem-se diretamente nas condições ambientais do sistema fluvial, reforçando a sub-bacia como um espaço sensível às pressões decorrentes da produção do espaço urbano-metropolitano.

A adoção da sub-bacia hidrográfica do arroio Demétrio como área de estudo justifica-se, portanto, pela sua relevância no contexto da Bacia do Rio Gravataí e pela presença de contrastes espaciais bem definidos de uso e cobertura da terra, que permitem analisar de forma integrada a relação entre uso e cobertura da terra e qualidade das águas superficiais. Ao concentrar-se em um sistema hidrográfico de escala local, este estudo possibilita uma leitura mais detalhada dos processos socioambientais atuantes, contribuindo para o entendimento das formas de

degradação e conservação dos recursos hídricos em bacias inseridas em contextos de urbanização acelerada.

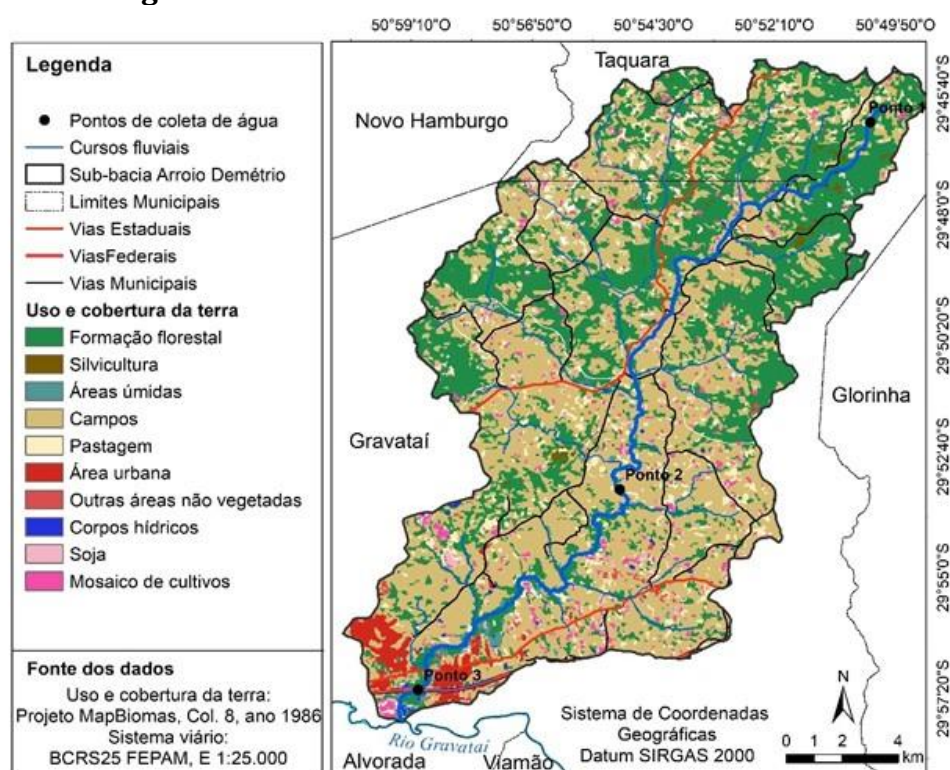
4. Resultados e discussão

4.1 Caracterização espacial dos pontos de amostragem e do uso e cobertura da terra na sub-bacia

A definição dos pontos de amostragem ao longo da sub-bacia hidrográfica do arroio Demétrio baseou-se em critérios geográficos e hidrológicos, visando representar a diversidade de contextos ambientais e de uso da terra. A distribuição ao longo do gradiente montante-jusante permitiu captar diferentes estágios de transformação da paisagem, constituindo um recorte espacial adequado para a análise da qualidade das águas superficiais.

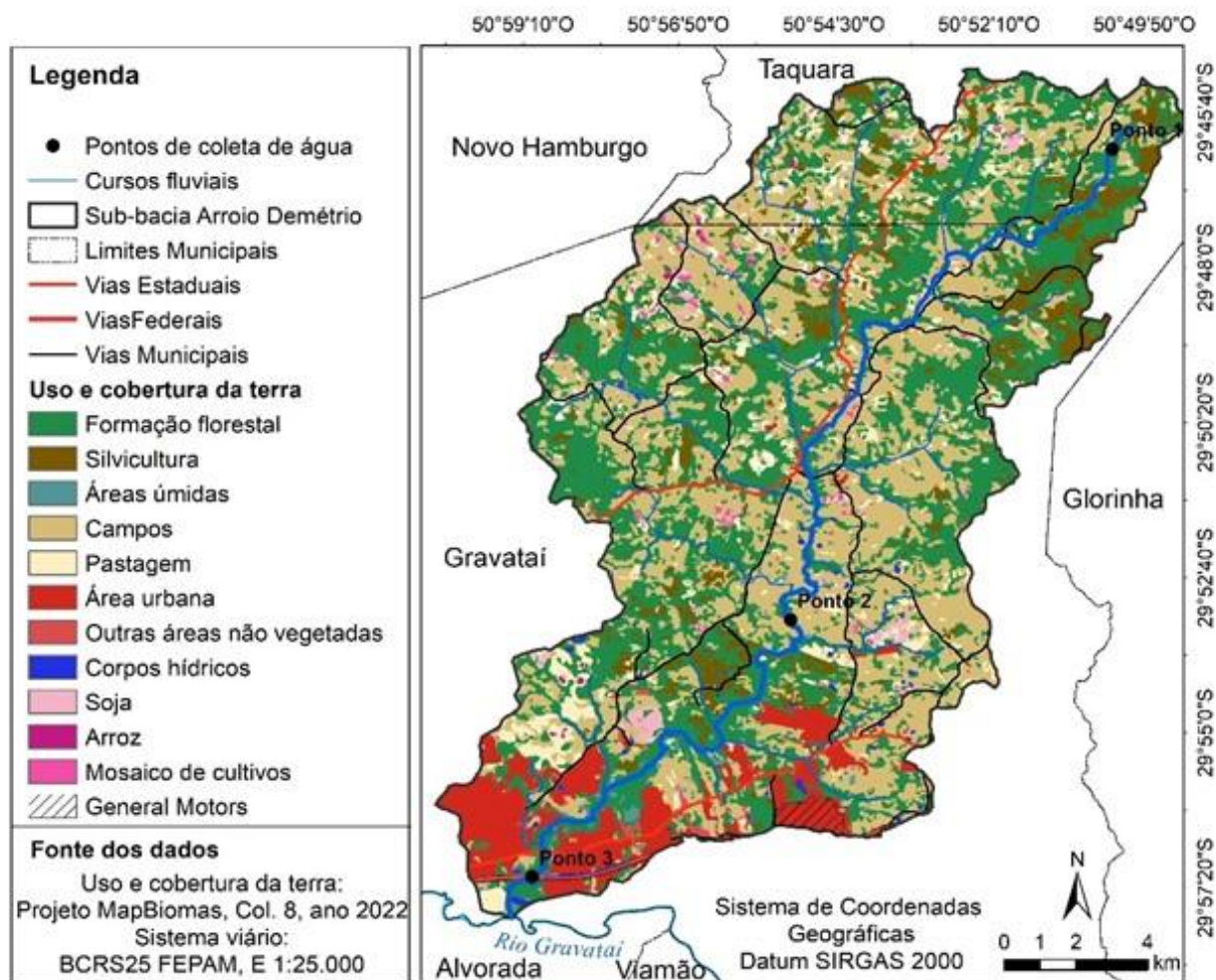
A leitura integrada dos mapas de uso e cobertura da terra de 1986 e 2022 (Figuras 2 e 3) evidencia mudanças expressivas na organização espacial da sub-bacia, com destaque para a expansão da urbanização e a reconfiguração dos usos rurais. Essas transformações fornecem a base interpretativa para a compreensão das diferenças observadas entre os pontos de amostragem.

Figura 2 - Uso e cobertura da terra na SBAD em 1986



Fonte: Os autores (2023).

Figura 3 – Uso e cobertura da terra na SBAD em 2022



Fonte: Os autores (2023).

O ponto 1, localizado na porção de montante, insere-se em um contexto caracterizado pelo predomínio de usos rurais e maior presença de cobertura vegetal. Associado às zonas de recarga do Aquífero Guarani e às nascentes do arroio Demétrio, esse trecho apresenta maior controle dos processos naturais sobre o funcionamento do sistema hídrico, favorecendo a infiltração, a regulação das vazões e a manutenção da qualidade da água, especialmente em períodos de estiagem.

O ponto 2 situa-se em uma área intermediária, caracterizando-se como uma zona de transição entre os usos predominantemente rurais da montante e a urbanização mais intensa da jusante. Nesse setor, observa-se a coexistência de atividades agropecuárias, áreas de silvicultura e núcleos urbanos dispersos, configurando um mosaico heterogêneo de uso e cobertura da terra. Essa heterogeneidade torna o trecho particularmente sensível às mudanças recentes no uso da terra e à expansão urbana.

O ponto 3, localizado na porção jusante, insere-se em um contexto fortemente urbanizado, marcado por elevada densidade populacional e intensa impermeabilização do solo. A comparação entre os mapas de 1986 e 2022 revela a expansão significativa da mancha urbana nesse setor, evidenciando um processo de urbanização acelerada. Esse trecho atua como receptor final das águas e das cargas poluidoras geradas ao longo da sub-bacia, refletindo o caráter cumulativo dos impactos ambientais associados à produção do espaço urbano.

A análise espacial dos pontos de amostragem evidencia uma diferenciação intra-bacia consistente, na qual cada trecho do curso d'água responde de forma distinta às pressões associadas ao uso e cobertura da terra. Essa diferenciação resulta não apenas de condicionantes naturais, mas sobretudo da forma como o espaço foi historicamente apropriado e transformado pelas atividades humanas.

A distribuição dos pontos ao longo da sub-bacia permite, portanto, uma leitura integrada dos processos ambientais, articulando a dinâmica hidrológica com as transformações socioespaciais. Essa abordagem reforça a bacia hidrográfica como unidade analítica central, possibilitando compreender a qualidade da água como resultado de processos relacionados ao uso e cobertura da terra interdependentes e espacialmente diferenciados.

Nesse contexto, a caracterização espacial dos pontos de amostragem, associada à análise dos mapas de uso e cobertura da terra de 1986 e 2022, constitui a base para a interpretação dos resultados subsequentes, incluindo a avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) e a análise das relações entre uso da terra e degradação ambiental na sub-bacia do arroio Demétrio.

A análise quantitativa das mudanças no uso e cobertura da terra na sub-bacia do arroio Demétrio (Tabela 1) evidencia uma reestruturação espacial expressiva entre 1986 e 2022. Destacam-se a expansão acentuada da silvicultura (de 0,78 para 16,54 km²; >2.000%) e o crescimento da área urbana (de 4,12 para 15,73 km²; +281,8%), indicando intensificação do uso da terra, sobretudo na porção jusante. Em contraste, observa-se a redução das áreas de campos naturais (-28,4%) e do mosaico de cultivos (-74,4%), refletindo a substituição de usos mais heterogêneos por atividades mais intensivas e espacialmente concentradas. A formação florestal apresentou incremento moderado (+11,54%), possivelmente associado à regeneração secundária.

Essas transformações indicam aumento da pressão antrópica sobre o sistema hidrográfico, com implicações diretas sobre os processos hidrológicos e a qualidade da água. Os dados da Tabela 1 corroboram a diferenciação espacial observada entre os pontos de

amostragem, evidenciando que a degradação da qualidade da água ao longo do gradiente montante–jusante está diretamente associada às mudanças no uso e cobertura da terra nas últimas décadas.

Tabela 1 - Dinâmica do uso e cobertura da terra na sub-bacia do arroio Demétrio (1986–2022)

Classe	1986 (km ²)	2022 (km ²)	Variação (%)
Formação Florestal	79,22	88,36	11,54
Silvicultura	0,78	16,54	2.020,50
Áreas úmidas	1,77	2,08	17,50
Campos	117,15	83,90	-28,40
Pastagem	14,84	14,48	-2,40
Área urbana	4,12	15,73	281,80
Outras áreas não vegetadas	2,07	2,14	3,40
Corpos hídricos	0,53	1,08	103,80
Soja	0,59	1,86	215,30
Mosaico de cultivos	6,44	1,65	-74,40
Arroz	—	0,20	—
Total	227,54	228,02	—

Fonte: Elaborado a partir de dados do MapBiomias (2023).

A expansão urbana, ao promover a impermeabilização do solo e a supressão da cobertura vegetal, reduz a capacidade de infiltração e intensifica o escoamento superficial, favorecendo o aporte de sedimentos, matéria orgânica e contaminantes ao curso d'água — efeito especialmente pronunciado no ponto 3. A silvicultura de eucaliptos, por sua vez, embora contribua para a manutenção de alguma cobertura do solo, apresenta menor diversidade estrutural e capacidade de interceptação hídrica em comparação às formações nativas, podendo alterar o regime de vazões e reduzir a recarga hídrica local. A retração dos campos naturais e do mosaico de cultivos implica a perda de zonas de amortecimento que, anteriormente, atenuavam o carreamento de cargas difusas para os corpos hídricos. Nesse sentido, de Mello *et al.* (2018), em estudo realizado em sub-bacias de baixa ordem no Sudeste brasileiro, demonstraram que a cobertura florestal desempenha papel determinante na manutenção da qualidade da água, enquanto áreas urbanas e agrícolas estão diretamente associadas à sua degradação, com padrões de uso e cobertura da terra na escala da bacia sendo melhores preditores da qualidade hídrica do que os da zona ripária isoladamente. Assim, a degradação progressiva observada no gradiente montante–jusante da SBAD não representa apenas um reflexo das condições locais de cada ponto, mas o resultado acumulado de décadas de transformação da paisagem em toda a sub-bacia.

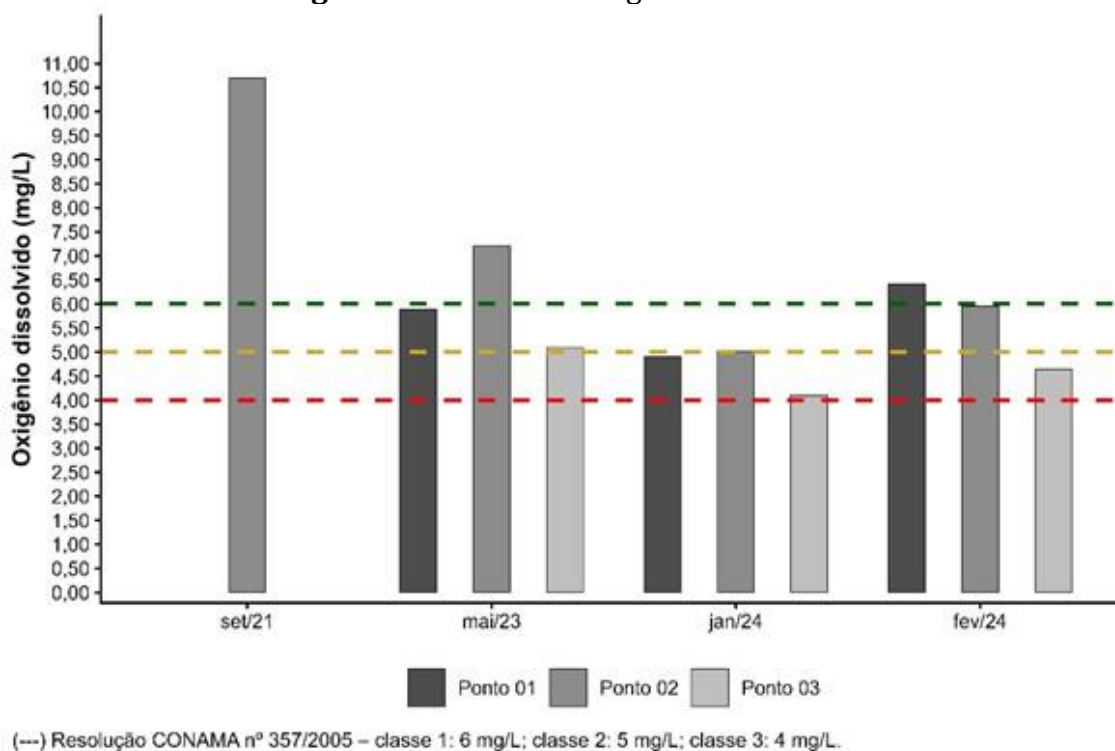
4.2 Qualidade da água

A análise da qualidade da água do arroio Demétrio evidenciou variações espaciais consistentes entre os pontos de monitoramento, associadas ao gradiente montante–jusante da sub-bacia e aos diferentes contextos de uso e cobertura da terra. Os resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos indicam uma tendência de degradação progressiva da qualidade da água em direção à porção jusante, refletindo o aumento das pressões antrópicas ao longo do sistema fluvial.

4.2.1 Parâmetros químicos

Os parâmetros químicos analisados incluíram oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo total e nitrogênio total. O oxigênio dissolvido apresentou valores mais elevados no ponto 1, compatíveis com as classes mais restritivas da Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), indicando melhores condições para a manutenção da vida aquática (Figura 4). Nos pontos 2 e 3, observou-se redução dos valores de OD, sobretudo em períodos de maior precipitação, associada ao aumento do aporte de matéria orgânica e ao consumo de oxigênio nos processos de decomposição (Von Sperling, 2005).

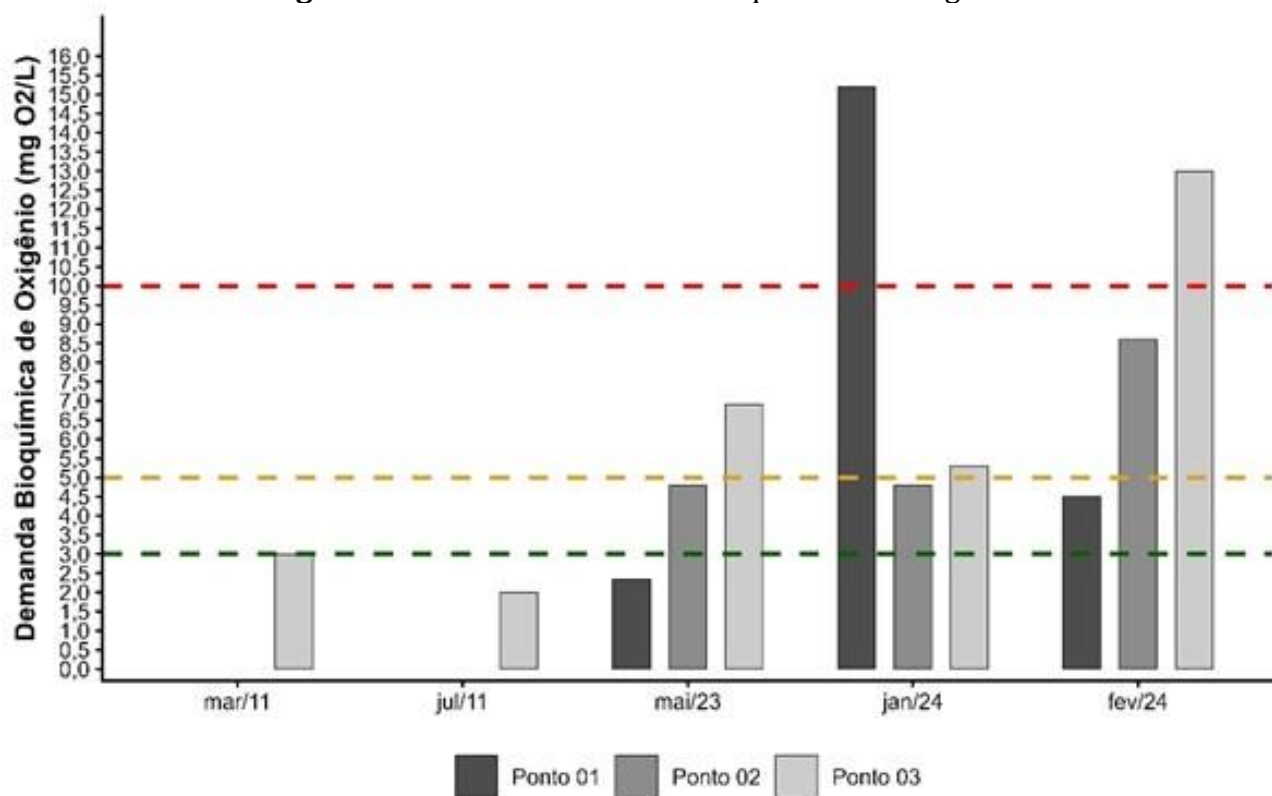
Figura 4 – Gráfico de Oxigênio dissolvido.



Fonte: Os autores (2023).

A demanda bioquímica de oxigênio mostrou comportamento inverso ao do OD, com valores mais baixos no ponto 1 e aumento progressivo nos pontos 2 e 3 (Figura 5), evidenciando maior carga orgânica nos trechos sob maior influência urbana. Esse padrão é amplamente reconhecido em bacias hidrográficas sujeitas ao lançamento de efluentes domésticos e ao escoamento superficial urbano (Tundisi; Tundisi, 2008).

Figura 5 - Gráfico de Demanda Bioquímica de Oxigênio

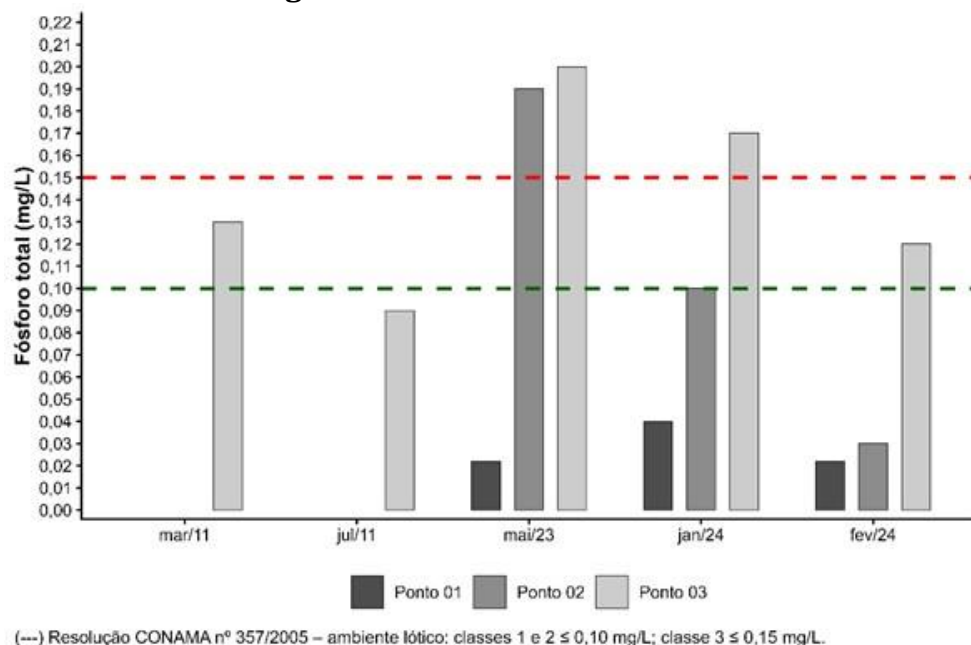


(---) Resolução CONAMA nº 357/2005 – classe 1: ≤ 3 mg/L; classe 2: ≤ 5 mg/L; classe 3: ≤ 10 mg/L.

Fonte: Os autores (2023).

O fósforo total apresentou concentrações crescentes no sentido montante–jusante (Figura 6), com valores mais elevados nos pontos 2 e 3, indicando aporte associado a esgotos domésticos, uso de fertilizantes e escoamento superficial urbano. O enriquecimento por fósforo constitui um dos principais fatores associados a processos de eutrofização em ambientes aquáticos continentais (Esteves; Amado, 2011).

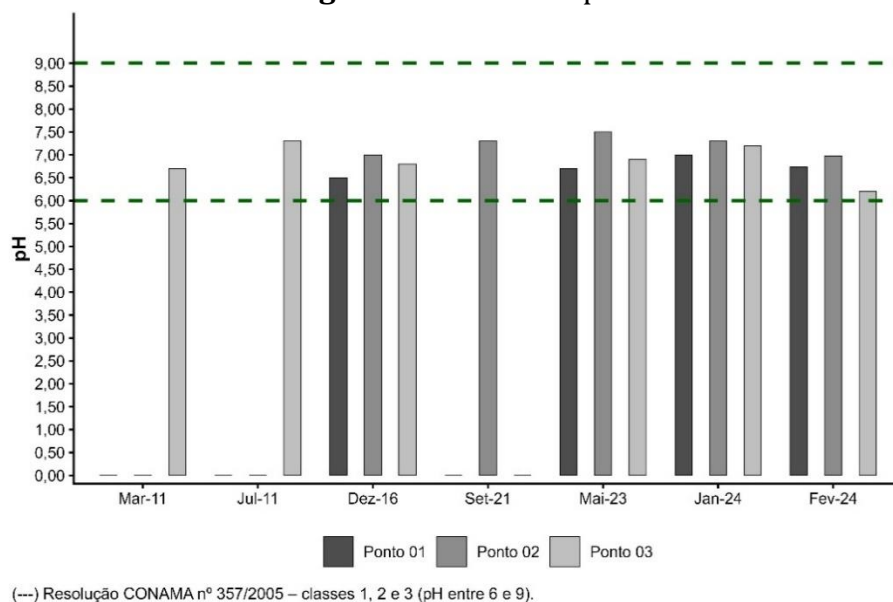
Figura 6 - Gráfico de Fósforo Total



Fonte: Os autores (2023).

Os valores de pH mantiveram-se, de modo geral, dentro dos limites estabelecidos pela legislação ambiental, apresentando variações discretas entre os pontos de monitoramento (Figura 7). Essas oscilações refletem tanto características naturais do sistema fluvial quanto influências antrópicas localizadas, sem indicar, entretanto, alterações críticas no equilíbrio ácido-base da água.

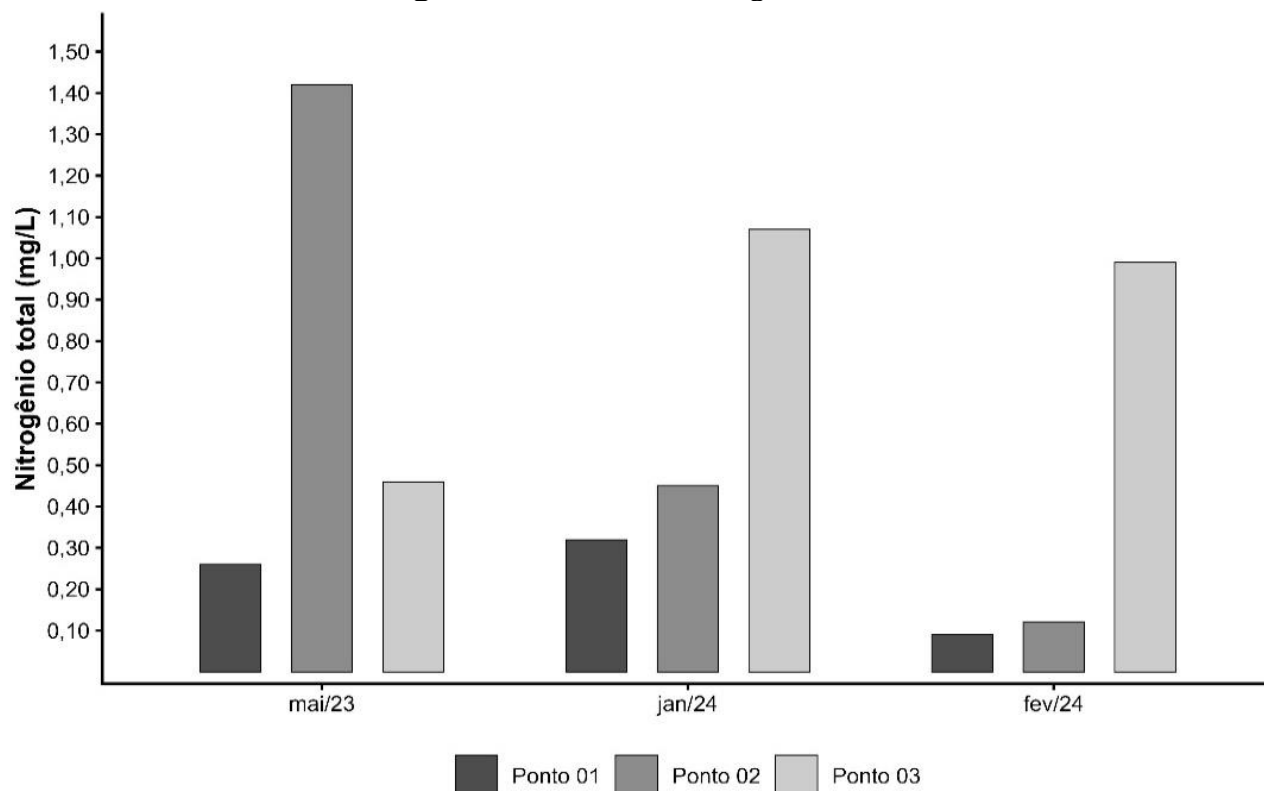
Figura 7 - Gráfico de pH



Fonte: Os autores (2023).

De forma semelhante, o nitrogênio total apresentou maiores concentrações nos trechos intermediário e jusante da sub-bacia (Figura 8), reforçando a relação entre esse nutriente e as fontes antrópicas de poluição difusa e pontual. A presença elevada de compostos nitrogenados está diretamente associada à intensificação da urbanização e ao uso inadequado da terra em bacias hidrográficas (Von Sperling, 2014).

Figura 8 - Gráfico de Nitrogênio Total

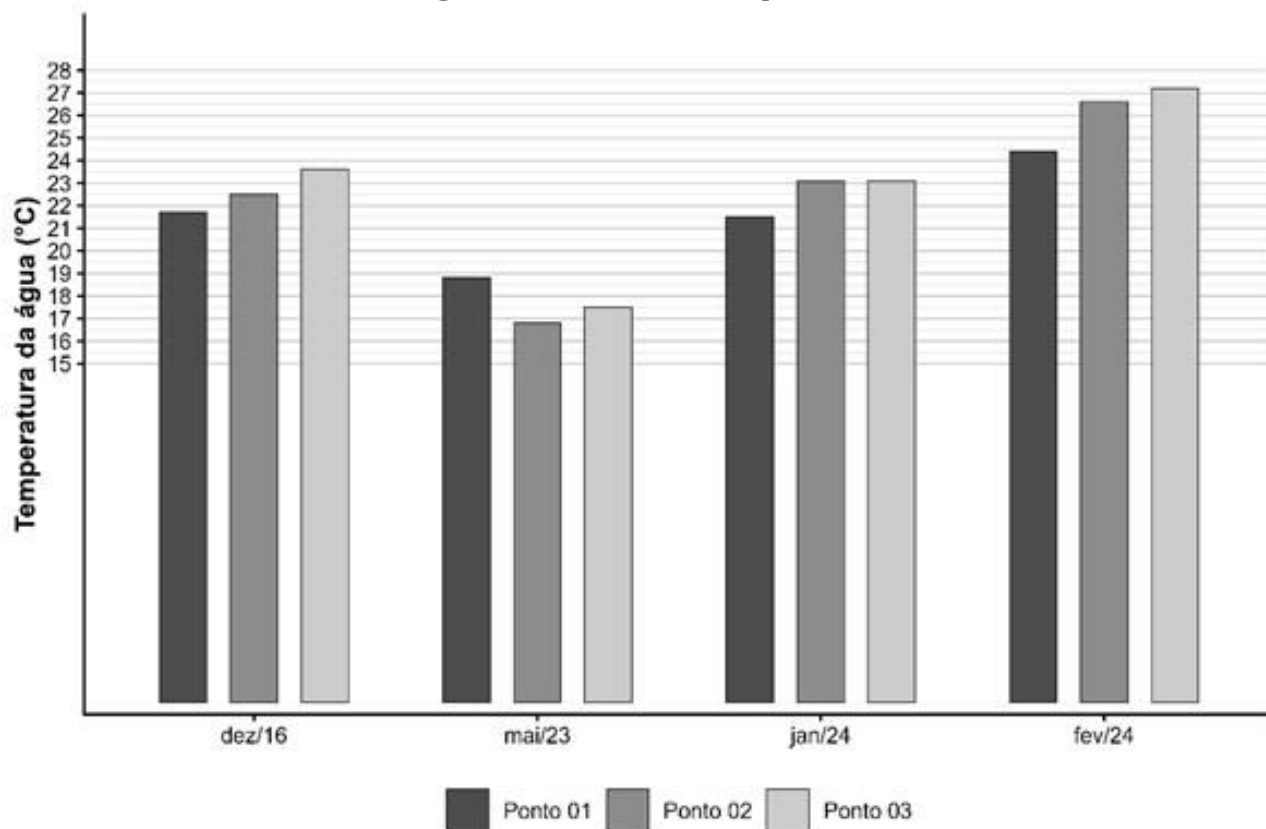


Fonte: Os autores (2023).

4.2.2 Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos analisados compreenderam temperatura da água, turbidez e sólidos totais. A temperatura apresentou variações compatíveis com as condições climáticas e hidrológicas durante as campanhas de amostragem, sem diferenças significativas entre os pontos de monitoramento (Figura 9). Esse comportamento indica que a temperatura, embora importante para os processos biogeoquímicos, não constitui o principal fator de diferenciação da qualidade da água na sub-bacia.

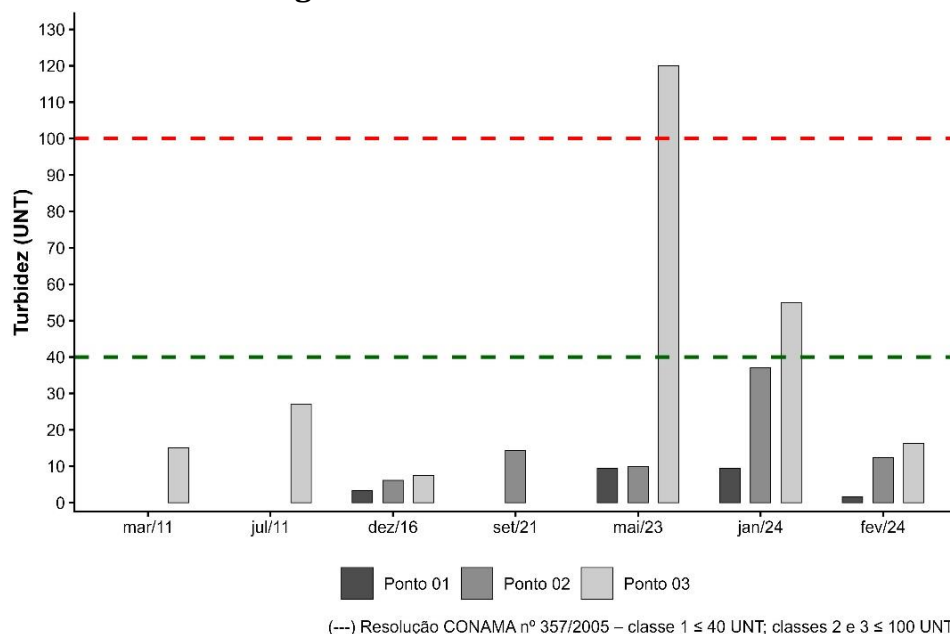
Figura 9 - Gráfico de Temperatura



Fonte: Os autores (2023).

A turbidez apresentou valores mais elevados nos pontos 2 e 3 (Figura 10), especialmente em períodos associados a eventos de precipitação, refletindo o aumento do escoamento superficial e do transporte de partículas em suspensão. Esse padrão está relacionado à maior impermeabilização do solo e à ausência de cobertura vegetal contínua nos trechos mais urbanizados da sub-bacia (Singh; Malik; Sinha, 2004).

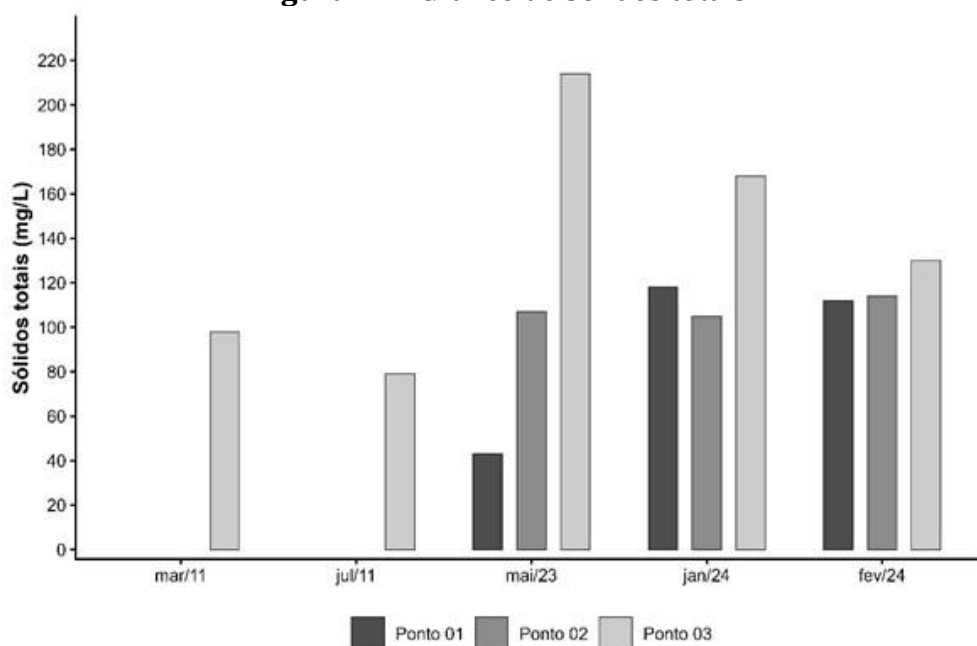
Figura 10 - Gráfico de Turbidez



Fonte: Os autores (2023).

Os sólidos totais seguiram tendência semelhante à da turbidez, com concentrações mais baixas no ponto 1 e incremento nos pontos localizados a jusante (Figura 11). O aumento dos sólidos totais indica maior aporte de sedimentos e partículas associadas às atividades antrópicas, constituindo um indicador relevante de alterações no uso e cobertura da terra (Chapman, 1996).

Figura 11 - Gráfico de Sólidos totais

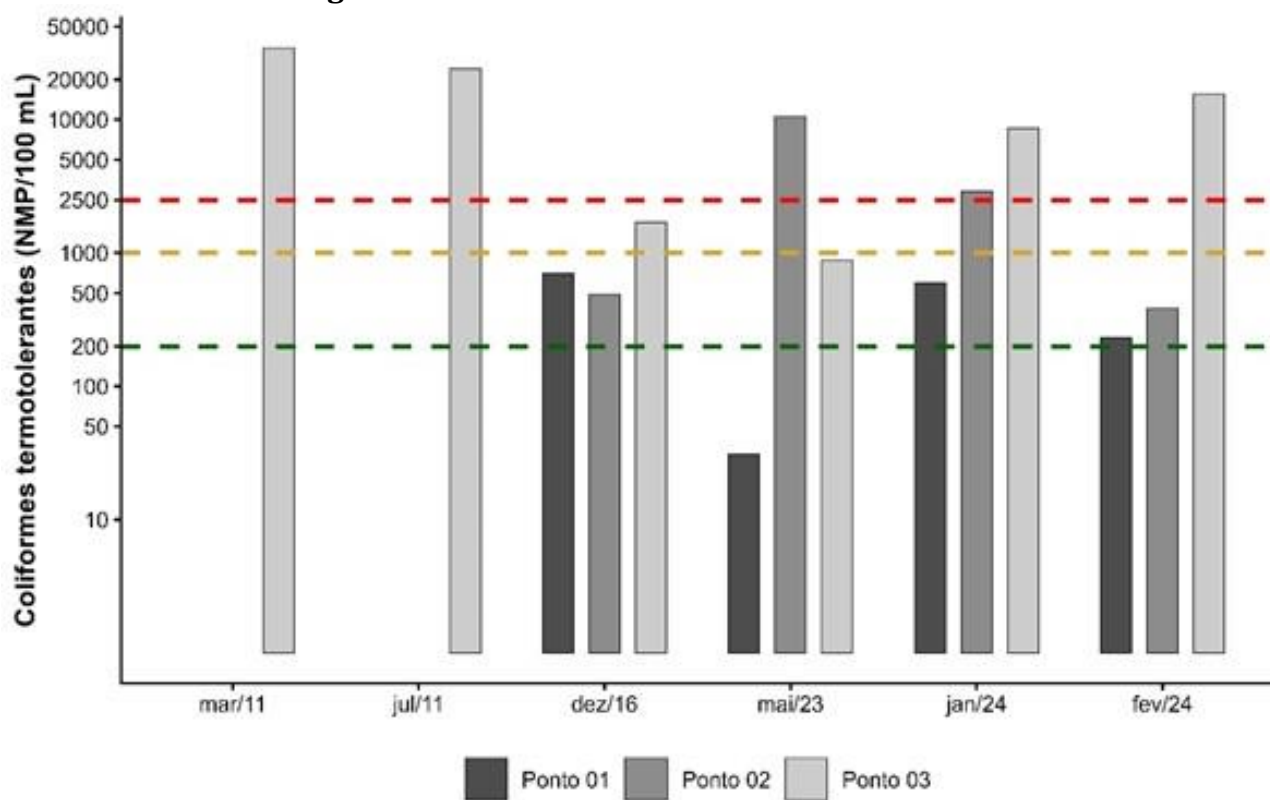


Fonte: Os autores (2023).

4.2.3 Parâmetro bacteriológico

O parâmetro bacteriológico avaliado foi o de coliformes termotolerantes, amplamente utilizado como indicador de contaminação fecal em águas superficiais. Os resultados evidenciaram concentrações significativamente mais elevadas nos pontos 2 e, sobretudo, no ponto 3 (Figura 12), frequentemente acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005).

Figura 12 - Gráfico de Coliformes termotolerantes



(---) Resolução CONAMA nº 357/2005 – classe 1 ≤ 200; classe 2 ≤ 1.000; classe 3 ≤ 2.500 NMP/100 mL.

Fonte: Os autores (2023).

Esses valores indicam influência direta do lançamento de esgotos domésticos e da ausência ou insuficiência de sistemas de tratamento de efluentes nos setores urbanizados da sub-bacia. A presença de coliformes termotolerantes representa risco à saúde pública e compromete o uso múltiplo das águas superficiais, sendo um dos principais indicadores de degradação sanitária em bacias urbanas (Von Sperling, 2005; Tundisi; Tundisi, 2008).

De modo geral, a análise integrada dos parâmetros indica que a qualidade da água do arroio Demétrio é fortemente condicionada pelas dinâmicas de uso e cobertura da terra na sub-bacia, com degradação progressiva no sentido montante-jusante. Os resultados demonstram que, embora fatores naturais influenciem a variabilidade dos parâmetros, as pressões

antrópicas, especialmente a urbanização, desempenham papel determinante na perda da qualidade das águas superficiais.

Essa análise detalhada reforça a necessidade de ações integradas de planejamento ambiental e gestão de recursos hídricos, voltadas à redução das cargas orgânicas e bacteriológicas, ao controle do aporte de nutrientes e à proteção das áreas ripárias, de modo a mitigar os impactos sobre a qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do arroio Demétrio.

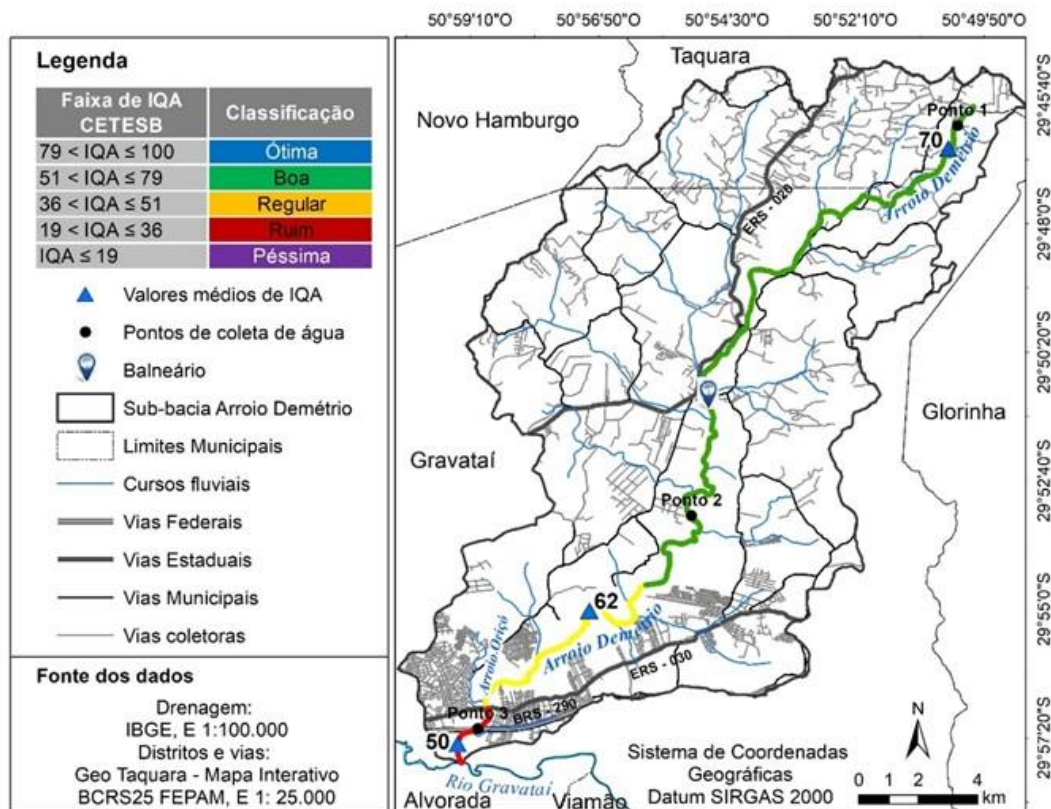
4.3 Índice de Qualidade da Água (IQA)

A avaliação integrada da qualidade da água do arroio Demétrio foi realizada por meio da aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA), utilizando-se as metodologias adotadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Esses índices baseiam-se na síntese de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em uma única métrica, permitindo uma leitura comparativa e espacializada da qualidade das águas superficiais ao longo da sub-bacia.

Embora apresentem estrutura conceitual semelhante, fundamentada na ponderação de parâmetros de qualidade da água, existem diferenças pontuais entre os índices, especialmente quanto aos pesos atribuídos e aos intervalos de classificação. O IQA da CETESB é amplamente consolidado no contexto nacional, enquanto o IQA do IGAM incorpora adaptações regionais (IGAM, 2018). Estudos comparativos indicam que tais variações não comprometem a consistência das análises integradas (Von Sperling, 2005; ANA, 2019). Assim, a utilização conjunta desses índices constitui uma estratégia metodológica complementar, capaz de aumentar a robustez da avaliação e reduzir possíveis vieses associados à adoção de um único sistema de classificação.

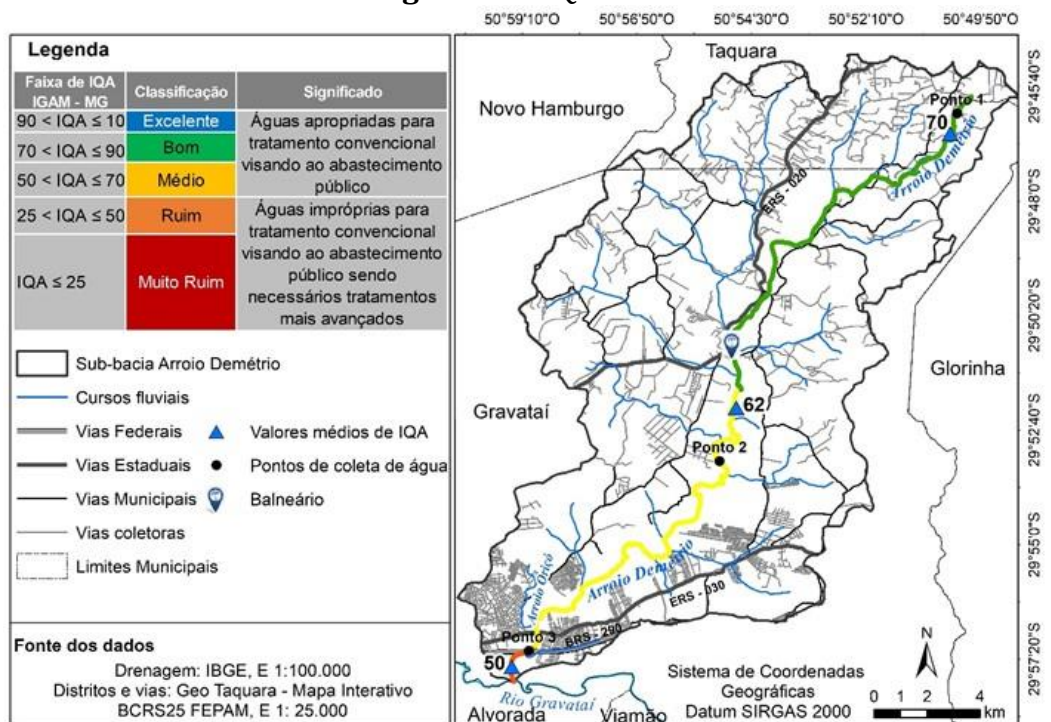
Os valores médios do IQA, calculados a partir de três campanhas de amostragem (maio de 2023, janeiro e fevereiro de 2024), indicaram melhores condições de qualidade da água no ponto 1, classificado predominantemente como boa, enquanto os pontos 2 e 3 apresentaram valores progressivamente inferiores, enquadrando-se entre as classes boa a regular e regular a ruim, respectivamente (Figuras 13 e 14). Esse resultado indica a tendência de degradação da qualidade da água no sentido montante-jusante, associada ao aumento das pressões antrópicas e à intensificação da urbanização ao longo da sub-bacia.

Figura 13 – IQA CETESB



Fonte: Os autores (2023).

Figura 14 – IQA IGAM



Fonte: Os autores (2023).

A maior qualidade observada no ponto 1 está relacionada à menor interferência urbana, à maior presença de cobertura vegetal e às características naturais da área de montante, que favorecem a diluição de cargas poluidoras e a manutenção de condições ambientais mais próximas do equilíbrio natural. Em contraste, os menores valores de IQA nos pontos 2 e 3 refletem o aporte cumulativo de cargas orgânicas, nutrientes e contaminantes bacteriológicos, resultantes do lançamento de esgotos domésticos e do escoamento superficial urbano.

A aplicação do IQA mostrou-se eficiente para sintetizar os resultados obtidos a partir da análise individual dos parâmetros, confirmando tendências já identificadas nos itens anteriores e facilitando a comunicação do estado ambiental do arroio Demétrio. Conforme destacado por Von Sperling (2005; 2014), a principal vantagem do uso de índices de qualidade da água reside na capacidade de integrar múltiplas variáveis em um indicador único, sem eliminar completamente a complexidade dos processos envolvidos.

Além disso, o IQA constitui importante instrumento de apoio à gestão dos recursos hídricos, ao permitir a identificação de trechos mais críticos da bacia e a priorização de ações de controle e recuperação ambiental. Tundisi e Tundisi (2008) ressaltam que a utilização de índices sintéticos, como o IQA, contribui para a articulação entre conhecimento científico e tomada de decisão, especialmente em bacias hidrográficas submetidas a usos múltiplos e conflitos ambientais.

Dessa forma, os resultados do IQA obtidos para a sub-bacia analisada corroboram a relação entre qualidade da água e dinâmica do uso e cobertura da terra, evidenciando que os padrões espaciais do índice refletem diretamente os diferentes contextos de uso e cobertura da terra ao longo do sistema fluvial. A utilização conjunta do IQA CETESB e do IQA IGAM reforça a robustez da análise e amplia a confiabilidade do diagnóstico ambiental da sub-bacia.

4.4 Relação entre uso e cobertura da terra e a qualidade das águas superficiais

A qualidade das águas superficiais da sub-bacia hidrográfica do arroio Demétrio reflete de forma direta a dinâmica espacial do uso e cobertura da terra, evidenciando a influência das transformações no uso e cobertura da terra sobre os processos hidrológicos e hidroquímicos. A análise integrada dos mapas de uso e cobertura da terra e dos parâmetros de qualidade da água demonstra que as diferenças observadas entre os pontos de monitoramento estão associadas aos distintos contextos de ocupação e às formas de apropriação do espaço ao longo da sub-bacia.

Nas porções de montante, onde predominam usos rurais, áreas de silvicultura e remanescentes de vegetação nativa, os resultados indicaram melhores condições de qualidade da água, refletidas tanto nos parâmetros individuais quanto nos valores do Índice de Qualidade da Água. A presença de cobertura vegetal contínua favorece a infiltração, reduz o escoamento superficial e atua como barreira física e biogeoquímica ao transporte de sedimentos e poluentes para os cursos d'água, contribuindo para a manutenção de condições hidrológicas mais estáveis (Allan, 2004; Tufford; Mcarthur, 2008).

Em contraste, as áreas médias e, sobretudo, a jusante da sub-bacia, caracterizadas pela intensificação da urbanização e pela maior impermeabilização do solo, apresentaram os piores indicadores de qualidade da água. O aumento do escoamento superficial urbano, associado à insuficiência dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos, intensifica o aporte de matéria orgânica, nutrientes e contaminantes bacteriológicos aos cursos d'água, promovendo a degradação progressiva da qualidade hídrica (Paul; Meyer, 2001; Singh; Malik; Sinha, 2004).

A expansão da mancha urbana observada nas últimas décadas, especialmente nas áreas de transição entre os municípios de Taquara e Gravataí, evidencia um processo de expansão da urbanização que desconsidera, em grande medida, as limitações ambientais impostas pela bacia hidrográfica. Conforme destacado por McIntyre *et al.* (2014), mudanças no uso e cobertura da terra alteram significativamente os fluxos de água, sedimentos e nutrientes, repercutindo diretamente na qualidade das águas superficiais e na integridade ecológica dos sistemas fluviais.

Os resultados obtidos corroboram a concepção da sub-bacia hidrográfica como unidade de análise integrada, na qual os impactos ambientais se manifestam de forma cumulativa e espacialmente diferenciada. A degradação observada nos trechos a jusante do arroio Demétrio não decorre apenas de fontes pontuais de poluição, mas do conjunto de processos associados à produção do espaço urbano, à ocupação das áreas ribeirinhas e à ausência de planejamento ambiental compatível com a capacidade de suporte do sistema natural (Christofoletti, 2000; Botelho; Silva, 2010).

A análise integrada das mudanças no uso e cobertura da terra (Tabela 1) reforça a relação direta entre as transformações no uso e cobertura da terra e os padrões de qualidade da água observados na sub-bacia. Destaca-se o aumento expressivo da área urbanizada, especialmente na porção sul, que passou de 4,12 km² em 1986 para 15,73 km² em 2022 (+281,8%), intensificando a impermeabilização do solo e o escoamento superficial. Esse processo contribui diretamente para o aumento do aporte de poluentes difusos e para a

degradação da qualidade da água nos trechos jusante. Paralelamente, a expansão da silvicultura (de 0,78 km² para 16,54 km²; >2.000%) indica uma reconfiguração significativa do espaço rural, podendo influenciar os processos hidrológicos por meio de alterações na interceptação da chuva e no balanço hídrico. Em contrapartida, a redução das áreas de campos naturais (-28,4%) e do mosaico de cultivos (-74,4%) evidencia a perda de usos mais heterogêneos, tradicionalmente associados a maior infiltração e menor geração de escoamento superficial concentrado. Essas mudanças de uso e ocupação, consideradas em conjunto, ajudam a explicar a diferenciação espacial da qualidade da água ao longo da sub-bacia, especialmente o gradiente de degradação observado no sentido montante–jusante.

Nesse sentido, os padrões espaciais do IQA sintetizam a influência das mudanças no uso e cobertura da terra, evidenciando que a intensificação da urbanização e a reconfiguração dos usos rurais constituem os principais vetores da degradação progressiva da qualidade da água ao longo do gradiente montante–jusante da sub-bacia do arroio Demétrio.

Dessa forma, a relação entre uso e cobertura da terra e a qualidade das águas superficiais na sub-bacia do arroio Demétrio evidencia que a manutenção ou recuperação da qualidade hídrica depende diretamente de estratégias de planejamento ambiental e de gestão integrada dos recursos hídricos. A adoção de práticas de planejamento que considerem a bacia hidrográfica como unidade de gestão, aliada à preservação de áreas vegetadas e ao controle da expansão urbana, constitui elemento central para a mitigação dos impactos observados e para a sustentabilidade dos usos múltiplos da água (Tundisi; Tundisi, 2008).

5. Considerações finais

A análise da qualidade das águas superficiais da sub-bacia hidrográfica do arroio Demétrio evidenciou a forte influência das dinâmicas de uso e cobertura da terra sobre os processos hidrológicos e hidroquímicos, confirmando a bacia hidrográfica como unidade fundamental de análise integrada. Os resultados demonstraram uma clara diferenciação espacial da qualidade da água ao longo do gradiente montante–jusante, com melhores condições nos setores de montante e degradação progressiva nos trechos mais urbanizados.

A aplicação dos índices de qualidade da água (IQA), associada à análise dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, permitiu identificar padrões consistentes de comprometimento ambiental, especialmente nos pontos sob maior influência antrópica. Os valores médios de IQA indicaram qualidade predominantemente boa no ponto de montante,

enquanto os trechos intermediário e jusante apresentaram redução progressiva da qualidade, refletindo o aporte cumulativo de cargas orgânicas, nutrientes e contaminantes bacteriológicos.

As transformações no uso e cobertura da terra entre 1986 e 2022 evidenciaram uma reestruturação espacial significativa, marcada pela expansão da urbanização e da silvicultura e pela redução de usos mais heterogêneos, como campos naturais e mosaicos agrícolas. Em especial, o crescimento expressivo da área urbana na porção sul da sub-bacia configurou-se como o principal vetor de degradação da qualidade da água, ao intensificar a impermeabilização do solo, o escoamento superficial e o aporte de poluentes difusos.

Nesse contexto, os padrões espaciais do IQA sintetizam de forma consistente os efeitos dessas transformações, evidenciando que a degradação da qualidade da água está diretamente associada à intensificação do uso da terra e à ausência de planejamento ambiental compatível com a capacidade de suporte da bacia hidrográfica.

Os resultados reforçam a necessidade de adoção de estratégias integradas de gestão dos recursos hídricos e ordenamento, com ênfase na preservação de áreas vegetadas, na proteção de zonas ripárias e na ampliação dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos. Tais medidas são fundamentais para a mitigação dos impactos identificados e para a manutenção da qualidade das águas superficiais em bacias hidrográficas inseridas em contextos de urbanização acelerada.

Por fim, destaca-se que a integração entre análise espacial do uso e cobertura da terra e avaliação da qualidade da água constitui uma abordagem metodológica robusta, capaz de subsidiar diagnósticos ambientais e apoiar a tomada de decisão em diferentes escalas de gestão, contribuindo para a sustentabilidade dos recursos hídricos e para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas.

6. Referências

ALLAN, J. D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 35, p. 257–284, 2004.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 23 mar. 2023.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Indicadores de qualidade da água: fundamentos e aplicações. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 25 mar. 2023.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington: APHA, 2017. Disponível em: <https://www.standardmethods.org> Acesso em: 23 abr. 2023.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacias hidrográficas e qualidade ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 153–184.

BOURSCHEID ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE S.A. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí**: relatório final. Porto Alegre: Bourscheid, 2012. Disponível em: <https://www.comitegravatai.rs.gov.br>. Acesso em: 25 abr. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/resolucoes/res/conama/res35705.pdf. Acesso em: 6 jun. 2023.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

CHAPMAN, D. (org.). **Water quality assessments**: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2. ed. London: UNESCO/WHO/UNEP, 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

CORADI, P. C.; FIA, R.; PEREIRA-RAMIREZ, O. Avaliação da qualidade da água superficial dos cursos d'água do município de Pelotas (RS). **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 46–56, 2009.

DE MELLO, K.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; DOS SANTOS, A. C. A.; VETTORAZZI, C. A. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: watershed versus riparian zone. **Catena**, v. 167, p. 130–138, 2018.

ESTEVES, F. A.; AMADO, A. M. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Manual de cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA). Belo Horizonte: IGAM, 2018. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br>. Acesso em: 15 mar. 2023.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. São Paulo: MapBiomas, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MARGALEF, R. **Limnología**. Barcelona: Omega, 1983.

MARTINS, Luciano Pazinato. **Avaliação da qualidade ambiental do Arroio Demétrio através de critérios físico-químicos, microbiológicos e toxicológicos**. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais) – Universidade La Salle, Canoas, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11690/821>. Acesso em: 11 jul. 2023.

MCINTYRE, N. *et al.* Modelling the hydrological impacts of land use change. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 517, p. 1077–1090, 2014.

PAUL, M. J.; MEYER, J. L. Streams in the urban landscape. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 32, p. 333–365, 2001.

SINGH, K. P.; MALIK, A.; SINHA, S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti River (India). **Water Research**, London, v. 38, p. 3980–3992, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

TUFFORD, D. L.; MCARTHUR, J. V. Stream response to land use change. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, p. 160–170, 2008.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

Contribuição das autorias (de acordo com a taxonomia [CRediT](#))

Luiz Fernando Alves – participou da conceitualização, metodologia, curadoria de dados, análise formal, investigação, administração do projeto, recursos, validação, visualização, redação do rascunho, revisão final do texto e tradução.

Luis Alberto Basso - participou da supervisão, validação e redação final do texto.

