

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE MODELAGEM EM SIG PARA SUPORTE À GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA: ESTUDO NA BACIA DO PASSAÚNA, NO PARANÁ**

*Marcela Valles Lange Ferron<sup>1</sup>, Camila de Carvalho Almeida<sup>2</sup>, Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes<sup>3</sup>, Regina Tiemy Kishi<sup>3</sup>, Christine da Fonseca Xavier<sup>1</sup>, Giuliana Varela Garcia Lesak<sup>1</sup>, Leandro Benicio De Souza<sup>1</sup>, Debora Susan Silveira<sup>1</sup>; Antonio Marcos Ferreira<sup>1</sup>*

**Abstract:** This paper presents the development and application of an integrated methodology for estimating Biochemical Oxygen Demand (BOD) in the Passaúna river basin. Using ArcGIS Pro and Python scripts, an approach incorporates hydrological, environmental and sanitary data to model water quality throughout the river network, considering point and diffuse loads, as well as self-purification processes. The results support environmental management and monitoring strategies, with potential for application in other basins in the state.

**Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de uma metodologia integrada para estimativa da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na bacia hidrográfica do Passaúna. Utilizando o ArcGIS Pro e scripts em Python, a abordagem incorpora dados hidrológicos, ambientais e sanitários para modelar a qualidade da água ao longo da rede hidrográfica, considerando as cargas poluidoras pontuais e difusas, bem como os processos de autodepuração. Os resultados possibilitam o suporte a estratégias de gestão e monitoramento ambiental, com potencial para aplicação em outras bacias do estado.

**Palavras-Chave** – gestão de recursos hídricos, ArcGIS Pro, bacia hidrográfica.

### **INTRODUÇÃO**

A qualidade da água em corpos hídricos urbanos e periurbanos tem se tornado uma preocupação crescente frente ao avanço da ocupação territorial e à insuficiência de infraestrutura de saneamento básico. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) prevê, entre seus instrumentos de gestão, o enquadramento dos corpos de água em classes de qualidade, segundo os usos preponderantes, com o objetivo de assegurar a disponibilidade qualitativa adequada para cada tipo de uso (ANA, 2020). Trata-se de um instrumento com caráter de planejamento, que demanda o acompanhamento sistemático da qualidade da água ao longo do tempo para verificar se os objetivos

<sup>1</sup> Instituto Água e Terra. Rua Engenheiros Rebouças, 1206 – Rebouças - 80215-100 - Curitiba - PR – (41) 3213-3700. E-mail: marcelaferron@iat.pr.gov.br, christin@iat.pr.gov.br, giulianavarela@iat.pr.gov.br, leandro.bs@iat.pr.gov.br, deborasusan@iat.pr.gov.br, antonio.mf@iat.pr.gov.br.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) – Universidade Federal do Paraná (UFPR). Centro Politécnico - Avenida Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 100 - Jardim das Américas – 81531-980 - Curitiba-PR - (41) 3361-3210. cami.almeidac@gmail.com.

<sup>3</sup> Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) – Universidade Federal do Paraná (UFPR). Centro Politécnico - Avenida Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 100 - Jardim das Américas – 81531-000 - Curitiba-PR - (41) 3361-3142. cris.dhs@ufpr.br, rtkishi.dhs@ufpr.br.

estão sendo cumpridos. No entanto, esse monitoramento enfrenta diversos desafios, especialmente no que diz respeito ao acompanhamento contínuo da dinâmica hidrológica e antrópica da bacia e à implementação de uma rede de coleta de dados representativa em termos espaciais e temporais, o que exige recursos financeiros significativos, frequentemente escassos para os órgãos gestores.

A modelagem espacial de cargas poluidoras e de parâmetros de qualidade da água constitui uma ferramenta essencial, pois possibilita o diagnóstico ambiental, o acompanhamento da qualidade da água e a consequente gestão integrada dos recursos hídricos. Os modelos matemáticos permitem representar os sistemas hídricos de forma simplificada e coerente (Tucci, 2005). A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), por sua vez, é amplamente utilizada como indicador de qualidade da água em propostas de enquadramento (Bitencourt, 2018), sendo o modelo de Streeter-Phelps uma referência consolidada na literatura para representar os processos de degradação da matéria orgânica e autodepuração nos cursos d'água (Von Sperling, 2007).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é apresentar uma abordagem metodológica para a estimativa espacial da carga orgânica e da concentração de DBO considerando os processos de diluição e autodepuração de forma simplificada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) com o intuito de facilitar o acompanhamento da qualidade da água por parte do órgão gestor. Para demonstrar a aplicação da metodologia, foi desenvolvido um estudo de caso na bacia do rio Passaúna, localizada na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), que se destaca por sua importância estratégica no abastecimento público.

## METODOLOGIA

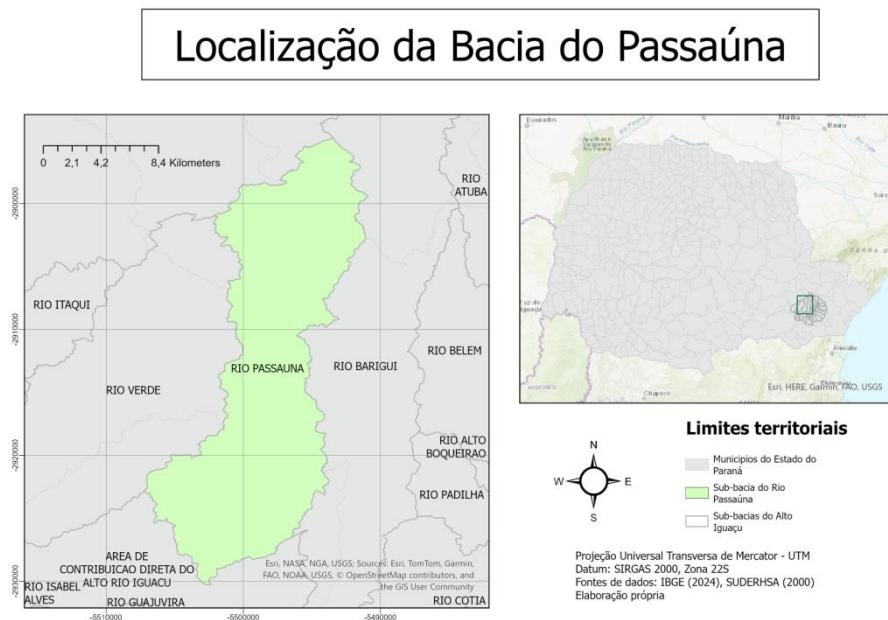
O presente estudo fundamenta-se na metodologia desenvolvida no *Estudo de Modelagem da Qualidade da Água na Bacia do rio Paranapanema: Bases para o enquadramento* (ANA, 2022), conduzido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) em parceria com a Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Neste estudo de caso, propõe-se uma metodologia sistematizada para a estimativa espacial da DBO ao longo da rede hidrográfica da bacia do Passaúna, considerando fontes de poluição pontuais e difusas e incorporando processos naturais de autodepuração. A abordagem integra dados cartográficos, censitários e hidrológicos em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), utilizando a plataforma ArcGIS Pro (ESRI, 2024), a linguagem de programação visual Model Builder (ESRI, 2024) e scripts em Python.

### Delimitação da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Passaúna (Figura 1) possui uma área de drenagem de aproximadamente 217 km<sup>2</sup> e está localizada na bacia do Rio Iguaçu, cuja porção sudoeste abrange a Região Metropolitana de Curitiba, no estado do Paraná. Trata-se de uma unidade territorial estratégica, uma vez que abriga o reservatório do rio Passaúna, estrutura fundamental no sistema de abastecimento público operado pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), responsável por atender parte significativa da população da capital paranaense. O reservatório desempenha não apenas a função de regularização de vazões, mas também de captação para tratamento e distribuição de água potável.

Figura 1 – Localização da Bacia do Passaúna, no estado do Paraná



Apesar de a bacia do rio Passaúna abranger áreas com função de conservação de vegetação nativa (PARANÁ, 1991; PARANÁ, 2000), seu uso e ocupação do solo são marcados pela predominância de áreas urbanas, com crescente densificação populacional (Almeida, 2024) sobretudo nos municípios da borda da bacia, além da presença de atividades agropecuárias, especialmente nas porções a montante. Essa configuração impõe uma expressiva pressão antrópica sobre os corpos hídricos, tanto por meio de lançamentos de efluentes sanitários quanto pela geração de cargas difusas associadas ao escoamento superficial em áreas com cobertura vegetal suprimida ou uso do solo inadequado. A carência de infraestrutura sanitária em determinados setores urbanos somada à fragilidade na proteção de Áreas de Preservação Permanente (APPs), intensifica o aporte de matéria orgânica e nutrientes nos cursos d'água, comprometendo os padrões de qualidade e a capacidade natural de autodepuração da bacia.

A base cartográfica utilizada para representar os diversos aspectos da bacia incluiu a rede de drenagem (IAT, s.d.), delimitação de ottobacias (IAT, s.d.), estações fluviométricas (IAT, s.d.), uso e cobertura do solo referente ao ano 2023 (MAPBiomas2024), outorgas de lançamento de efluentes (IAT, s.d.) e setores censitários (IBGE, 2023).

### Estruturação dos dados e rede de drenagem

A rede hidrográfica (IAT, s.d.) foi estruturada em modelo topológico com identificação dos nós de origem e destino dos segmentos, a atribuição da ordem de Strahler, e a definição do comprimento do segmento e da direção de escoamento. Essa estrutura permitiu o encadeamento lógico dos cálculos de carga e vazão, respeitando a hierarquia fluvial e possibilitando acumulação dos fluxos de montante para jusante.

### Estimativa das cargas de DBO

A estimativa de cargas foi realizada por ottobacia, no nível mínimo 9, por meio da interseção ou junção da camada de ottobacias com as demais camadas citadas na descrição da base cartográfica utilizada.

As cargas pontuais foram estimadas a partir dos dados de vazão e concentração de lançamento das outorgas publicadas no estado do Paraná (IAT, s.d.). Considerou-se que nessas outorgas já estão incluídas cargas geradas pela população com coleta e tratamento de efluentes, visto que as mesmas são encaminhadas para estações de tratamento com outorga para lançamento.

Para a estimativa das cargas difusas, fez-se a associação entre o uso e a cobertura do solo na bacia (MAPBIOMAS, 2024), com coeficientes de exportação para DBO para casa classe de uso do solo (MORUZZI et al. 2012), conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes de exportação de DBO, por classe de uso e cobertura do solo (MORUZZI et al.,

2012)

MapBiomas Coleção 9 - Classes		Área na bacia (km <sup>2</sup> )	DBO (kg/(km <sup>2</sup> .dia))
Floresta	Formação florestal	69,940580	1,20
Vegetação herbácea arbustiva	Campo alagado e área pantanosa	0,974669	1,06
	Formação campestre	1,819853	1,06
Agropecuária	Pastagem	9,643763	2,25
	Agricultura	33,427940	7,32
		8,544308	7,32
	Silvicultura	4,120143	1,20
	Mosaico de usos	46,577610	3,59
Área não vegetada	Área urbanizada	30,691210	5,54
	Mineração	0,248750	5,54
	Outras áreas não vegetadas	1,292220	5,54
Corpo d'água	Rio, lago e oceano	9,272667	0
		216,553706	

Ainda no que se refere à parcela difusa, foi estimada uma carga oriunda da população sem coleta e tratamento. Para tanto, consideraram-se os dados do Censo Demográfico (IBGE, 2023), em termos de número de domicílios, por setor censitário, sem banheiro nem sanitário ou com esgoto não coletado para as diferentes destinações (fossa séptica ou fossa filtro não ligada à rede, fossa rudimentar ou buraco, vala, rio, lago, córrego ou mar ou outra forma). Considerou-se um número médio de moradores por domicílio para cada setor, a carga per capita produzida como sendo 0,054 kg/hab.dia (Von Sperling, 2007) e a eficiência de remoção de DBO de soluções individuais como sendo 60%, conforme Atlas Esgotos (ANA, 2017).

### Cálculo da vazão e da concentração de DBO nos segmentos

Para a estimativa da vazão dos corpos hídricos na bacia, foram analisadas as estações fluviométricas localizadas na área de estudo, conforme apresentado na Figura 2. Todas as estações com dados consistidos e sem influência direta da operação de reservatórios foram incluídas na análise. A partir desse conjunto de estações, foi calculada a média das vazões específicas, utilizada como referência para a bacia como um todo.

Considerando a metodologia de cálculo de vazão específica proposta por Tucci (2020), estimaram-se os valores correspondentes às permanências de 70% e 95%, utilizadas como referências nos instrumentos de enquadramento e outorga, respectivamente (AGUASPARANÁ, 2013), além da vazão média. Cabe ressaltar que a simplificação de atribuir características homogêneas a toda uma bacia é uma medida necessária para viabilizar modelos de gestão em macroescala. No entanto, reconhece-se que parâmetros como a vazão específica são influenciados por fatores espacialmente

variáveis, tais como: uso e cobertura do solo, relevo, pedologia e geologia. Essa generalização pode limitar a precisão local do modelo, ainda que mantenha sua utilidade para análises estratégicas em escala regional.

O cálculo das vazões foi então efetuado para os corpos hídricos da bacia de estudo com base nessas vazões específicas e na classificação hierárquica da rede hidrográfica segundo a ordem de Strahler. Para os segmentos de primeira ordem, assumiu-se vazão inicial nula e determinou-se a vazão final a partir do produto entre a área de contribuição específica e um coeficiente empírico de contribuição hídrica, fixado como a vazão específica. Para os segmentos de ordem superior, a vazão inicial correspondeu à soma das vazões finais dos segmentos afluentes. A vazão final foi obtida pela soma da vazão inicial com a contribuição hídrica local (proveniente da área de drenagem adicional).

Esse processo foi operacionalizado por meio de scripts em Python, utilizando a biblioteca ArcPy para percorrer a rede hidrográfica em sequência topológica, assegurando a integridade e coerência dos cálculos de vazão em função da conectividade da rede.

A estimativa da concentração de DBO em cada segmento hidrográfico foi realizada considerando regime permanente (cargas e vazões constantes no tempo) e considerando o efeito da autodepuração ao longo dos segmentos, com base no modelo de Streeter-Phelps, conforme descrito por Von Sperling (2007).

i) *Cálculo da concentração de DBO a montante do segmento*

No segmento em análise, a DBO a montante do segmento  $i$  ( $DBO_{mont\_seg\_i}$ ) é determinada através de um balanço de massa em regime permanente, considerando mistura completa e homogênea das contribuições de montante e desprezando efeitos de decaimento da DBO no curto intervalo de mistura. A equação resultante é:

$$DBO_{mont\_seg\_i} = \frac{\sum_{j=1}^n (Q_{final\_seg\_j} * DBO_{final\_seg\_j})}{Q_{mont\_seg\_i}} \quad (1)$$

Sendo que o índice  $j$  refere-se aos segmentos de montante chegando diretamente no segmento  $i$  e a vazão de montante do segmento  $i$  é a soma de todas as vazões chegando no segmento  $i$ , ou seja:

$$Q_{mont\_seg\_i} = \sum_{j=1}^n (Q_{final\_seg\_j}) \quad (2)$$

ii) *Cálculo da concentração de DBO no início do segmento*

A concentração de DBO inicial do segmento ( $DBO_{início\_seg\_i}$ ) foi obtida pela soma das cargas de montante, pontuais e difusas lançadas no segmento, em relação à vazão final do segmento ( $Q_{final\_seg\_i}$ ), conforme a equação:

$$DBO_{início\_seg\_i} = \frac{Q_{mont\_seg\_i} \times DBO_{mont\_seg\_i} + Carga_{esgoto\_seg\_i} + Carga_{uso\_do\_solo\_seg\_i} + Carga_{outorga\_seg\_i}}{Q_{final\_seg\_i}} \quad (3)$$

iii) *Cálculo da concentração de DBO no final do segmento*

Para representar o efeito de redução da carga orgânica devido ao processo de autodepuração, utilizou-se uma função modelada com base na equação de Streeter-Phelps, que relaciona a DBO final ( $DBO_{final\_seg\_i}$ ) ao tempo de percurso e à vazão do segmento (Von Sperling, 2007), representada pela expressão:

$$DBO_{final\_seg\_i} = DBO_{início\_seg\_i} \times \exp \left( -k_d \times \frac{L}{a \times Q_{final\_seg\_i}^b} \right) \quad (4)$$

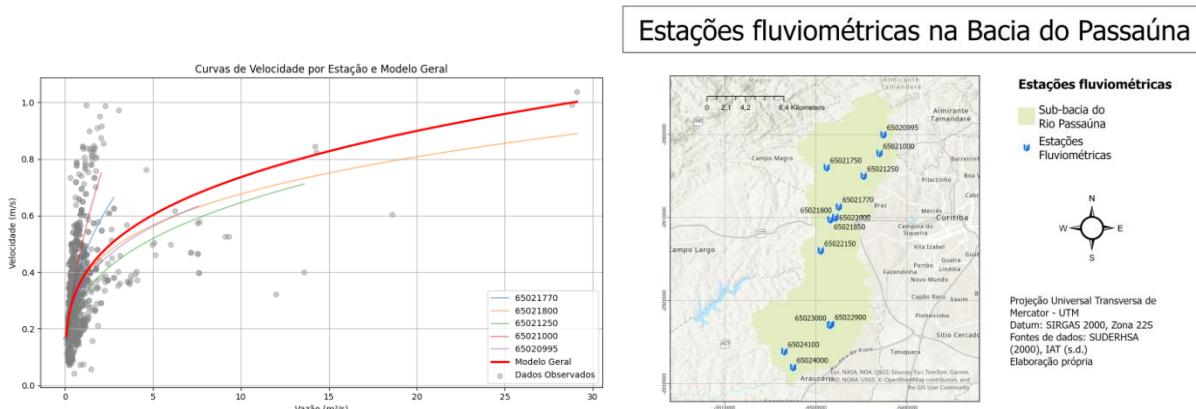
onde  $k_d$  é a constante de decaimento da DBO, considerada como  $0,17 \text{ d}^{-1}$  - valor dentro da faixa recomendada pela literatura técnica para rios com condições naturais de autodepuração recebendo

efluente tratado, conforme Chapra (1997) e Von Sperling (2007) -,  $L$  é o comprimento do segmento (em quilômetros),  $a$  e  $b$  são coeficientes empíricos derivados da relação entre a velocidade e a vazão. Esses coeficientes foram determinados com base nos dados do conjunto de estações fluviométricas na bacia de estudo com séries consistidas e sem influência observável de reservatórios, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Estações consideradas no cálculo dos coeficientes da equação que calcula a velocidade em função da vazão, na Bacia do Passaúna.

Código ANA	Nome da Estação	Período de dados	Curso d'Água	Município
65020995	Montante Aterro Sanitário	1987-2024	Rio Passaúna	Almirante Tamandaré, PR
65021000	Jusante Aterro Sanitário	1985-2021	Rio Passaúna	Curitiba, PR
65021250	Passaúna - Santa Felicidade	1985-2014	Rio Passaúna	Campo Magro, PR
65021770	Colônia Dom Pedro	1985-2024	Rio Cachoeirinha	Campo Largo, PR
65021800	BR-277 – Campo Largo	1985-2024	Rio Passaúna	Curitiba, PR

Figura 2 – Esq: Curvas de velocidade em função da vazão ajustadas por estação, pontos observados e curva do modelo geral, na bacia do rio Passaúna; Dir: Estações fluviométricas



Para estimar as relações empíricas entre vazão e velocidade média da água nos diferentes pontos da bacia hidrográfica, foi desenvolvido e executado um script em Python no ambiente Google Colab. O código realiza o processamento automático de arquivos compactados (.zip), contendo os dados de descarga das estações fluviométricas. Para cada estação, foi ajustado um modelo empírico do tipo potência, por meio de regressão não-linear. Foram calculados os coeficientes  $a$  e  $b$  para cada curva individual. Então, foi ajustado um modelo geral representativo da relação vazão-velocidade média para a bacia como um todo, seguindo a mesma estrutura funcional (Figura 2).

A utilização de coeficientes médios constitui uma simplificação adotada para permitir a aplicação do modelo em escala regional. Ainda assim, é importante reconhecer que essa relação é sensível a condições locais, como a rugosidade do leito, a geometria da calha, a declividade e interferências antrópicas ou naturais. Essa abordagem, embora possa comprometer a precisão em segmentos específicos, permanece válida para análises estratégicas e para a formulação de políticas públicas em escala de bacia hidrográfica.

A aplicação dessa função resultou na obtenção dos valores ajustados da DBO final para cada segmento, armazenados nos campos específicos da tabela de atributos da rede hidrográfica.

## Automatização da metodologia no Model Builder

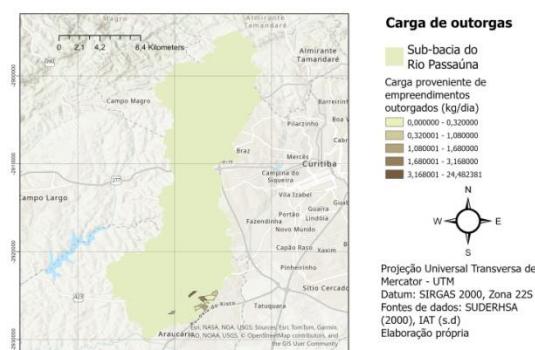
A lógica de cálculo de concentração de DBO foi implementada no ambiente do Model Builder do ArcGIS Pro (ESRI, 2024), por meio da construção de fluxos de geoprocessamento, ou seja, de um diagrama que encadeia sequências de processos e ferramentas de geoprocessamento, usando a saída de um processo como entrada para outro processo. O modelo inclui também a aplicação de *scripts* desenvolvidos em Python para manipulação e edição dos dados espaciais e atributos da rede hidrográfica. A automação proporciona replicabilidade para outras bacias, redução de erros operacionais e integração ao fluxo institucional de análise do IAT.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

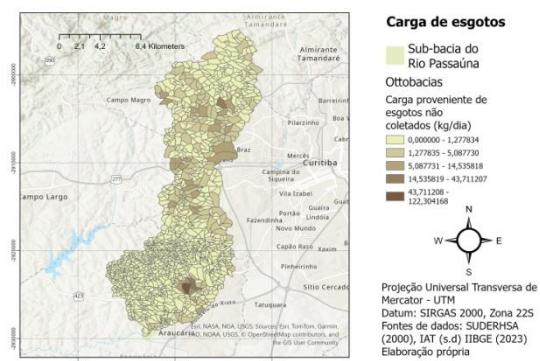
A aplicação do modelo permitiu espacializar o aporte de carga por fonte poluidora (Figura 3) e as concentrações de DBO resultantes na rede hidrográfica da bacia do Passaúna (Figura 4), evidenciando segmentos críticos associados a maiores cargas orgânicas. Apesar do modelo não ter ainda passado pela etapa de calibração e validação, os resultados obtidos para a parcela relativa a esgoto doméstico são bastante similares aos resultados do Atlas Esgoto (ANA, 2017) em termos de atendimento ou não da classe de enquadramento para o rio principal.

Figura 3 – Cargas de DBO estimadas para a Bacia do Passaúna

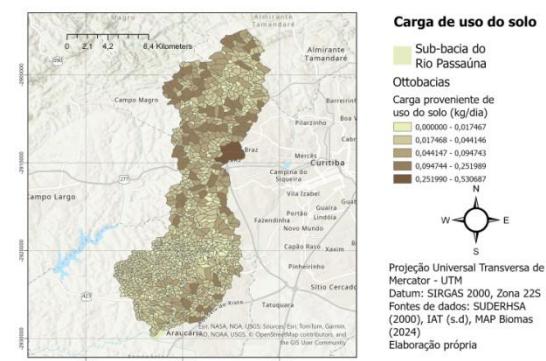
Carga proveniente de outorgas na Bacia do Passaúna



Carga proveniente de esgotos na Bacia do Passaúna



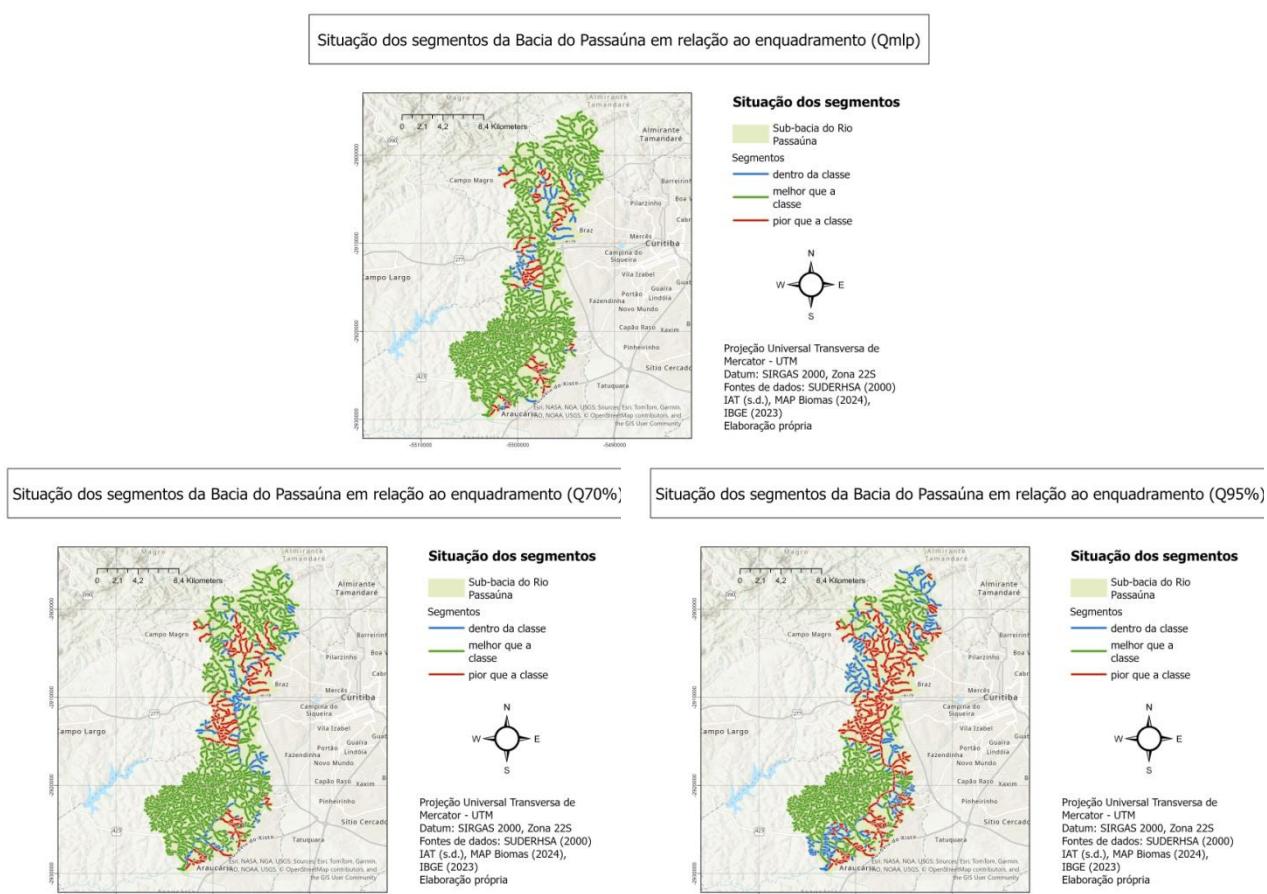
Carga proveniente de uso do solo na Bacia do Passaúna



A análise dos mapas de carga orgânica na Bacia do Rio Passaúna revela distintos padrões espaciais e fontes de pressão com potencial impacto sobre a qualidade da água. A carga proveniente de outorgas mostra-se pontual e concentrada, com destaque para a porção sul da bacia, onde se localizam os empreendimentos com maiores valores de carga autorizada. Em contraste, o mapa de

carga de esgotos não coletados apresenta um panorama difuso, com áreas de alta carga principalmente nos núcleos urbanos da região central e norte da bacia, abrangendo áreas de expansão urbana e assentamentos com infraestrutura sanitária insuficiente. A carga estimada com base no uso do solo exibe distribuição também mais uniforme, com destaque para áreas periurbanas e de uso agrícola intensivo, nas quais o escoamento superficial de matéria orgânica é favorecido. Em conjunto, os três mapas revelam que a bacia do Passaúna está sujeita a pressões combinadas de fontes pontuais e difusas, com maior intensidade nas regiões com urbanização crescente e baixa cobertura de infraestrutura de saneamento, evidenciando a necessidade de estratégias integradas de gestão ambiental e territorial.

Figura 4 – Situação da DBO estimada em relação aos limites do enquadramento nas vazões média de longo período (Qmlp), Q70% e Q95%.



A vazão de referência usada no enquadramento da bacia do Alto Iguaçu é a Q70% (AGUASPARANÁ, 2013). Nesta vazão, a distribuição espacial dos resultados indica grande probabilidade de a maioria dos segmentos se encontrar em conformidade com os limites estabelecidos, sendo significativa a presença de segmentos melhor classificados, especialmente nas regiões de cabeceira e em áreas com menor densidade urbana e pressão antrópica. No entanto, há segmentos pontuais em não conformidade (em vermelho no mapa), localizados principalmente em regiões urbanizadas, como nos municípios de Curitiba e Araucária, onde a concentração de cargas orgânicas — associadas a esgotos não coletados e ocupações intensivas — potencialmente excede a capacidade de autodepuração do sistema fluvial, resultando em concentrações de DBO superiores aos limites definidos para a classe de enquadramento.

Em uma situação de vazão média, observam-se resultados potencialmente melhores em termos de atendimento ao enquadramento, e, por sua vez em uma vazão de estiagem (Q95%) observa-se aumento nos segmentos em potencial não conformidade (vermelhos), o que era esperado, pois a vazão Q95% representa uma situação de menor diluição, acentuando os efeitos das cargas orgânicas lançadas nos corpos hídricos.

Os resultados obtidos evidenciam a influência direta do uso e ocupação do solo, da cobertura de saneamento e das fontes de carga orgânica (pontuais e difusas) sobre a qualidade da água. A identificação dos segmentos críticos é fundamental para priorizar áreas críticas e direcionar ações de controle e/ou medidas corretivas, como o aprimoramento do tratamento de esgoto, controle do uso do solo e recuperação ambiental, de forma a garantir o cumprimento dos objetivos de qualidade estabelecidos para a bacia hidrográfica.

## CONCLUSÃO

O modelo desenvolvido permite simular cenários de intervenção e identificar, de forma simplificada, segmentos críticos com maior carga orgânica, subsidiando ações de gestão ambiental mais eficientes e territorialmente direcionadas. Este estudo demonstrou a viabilidade técnica da modelagem espacial da DBO em ambiente SIG, integrando múltiplas fontes de dados e automatizando os cálculos por meio do Model Builder no ArcGIS Pro (ESRI, 2024). A metodologia mostrou-se eficaz na identificação de áreas críticas, permitindo a consideração simultânea de diferentes fontes de carga orgânica (pontuais e difusas) e dos processos naturais de autodepuração.

A integração entre dados espaciais, censitários e hidrossanitários em uma plataforma automatizada representa um avanço significativo para a gestão ambiental e o planejamento da qualidade da água em bacias hidrográficas, especialmente no Instituto Água e Terra. Além de contribuir para diagnósticos mais ágeis e embasados em dados atualizados da bacia, a adoção de uma abordagem metodológica unificada pode facilitar a gestão por parte do órgão gestor, que atualmente enfrenta o desafio de lidar com diferentes modelos utilizados na definição de enquadramentos adotados por cada bacia, dificultando a consolidação de um acompanhamento padronizado e integrado com os dados de monitoramento existentes.

Estudos futuros poderão aprimorar o modelo proposto por meio da inclusão de informações mais detalhadas por tipo e origem das cargas poluidoras, da inclusão de modelagem específica para os segmentos dentro ou a jusante de reservatórios, da calibração com dados de monitoramento hidrológico e de qualidade da água, da realização de análises de sensibilidade que demonstrem a influência da escolha das estações de referência e de parâmetros como o  $k_d$  e os coeficientes  $a$  e  $b$  e da expansão da aplicação para outras bacias hidrográficas do estado. Esses avanços poderão fortalecer ainda mais a capacidade institucional de planejamento e gestão da qualidade da água de forma técnica e integrada.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). “Atlas Esgotos”, 2017. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasdesgotos/>. Acesso em: 4 jun. 2025.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). “Enquadramento dos corpos d’água em classes”. Brasília: ANA, 2020. 57p.

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA); Universidade Federal do Paraná (UFPR). “*Modelagem da qualidade da água na bacia do rio Paranapanema: Bases para o enquadramento*”. Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-dos-recursos-hidricos/planejamento-de-recursos-hidricos/enquadramento/paranapanema>. Acesso em: 4 jun. 2025.
- Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ). “*Finalização do Plano das Bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira*”. 2013.
- ALMEIDA, C.C. “*Water quality management, governance and socio-hydrology: strategies for an urban basin*”. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2024.
- BITENCOURT, C.C.A. “*Integração de análise estatística multivariada e geoprocessamento: aplicação para estudos de enquadramento de corpos d’água*”. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.
- CHAPRA, S. “*Surface-water quality modeling*”. New York: McGraw-Hill; 1997.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). “*ArcGIS Pro: Geographic Information System software*”. Versão 3.4.0. Redlands, CA: ESRI, 2024.
- Instituto Água e Terra (IAT). “*GeoPR – Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado do Paraná*”. Disponível em: <https://geopr.iat.pr.gov.br/>. Acesso em: 4 jun. 2025.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). “*Censo Demográfico 2022: Agregados por Setores Censitários: População e Domicílios*”. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
- MAPBIOMAS. “*Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*”, 2024. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 4 jun. 2025.
- MORUZZI, R.B.; CONCEIÇÃO, F.T.; SARDINHA, D.S; HONDA, F.P.; NAVARRO, G.R.B. (2012). “*Avaliação de cargas difusas e simulação de autodepuração no córrego da Água Branca, Itirapina (SP)*”. Geociências 31(3), pp. 447 – 458.
- Paraná, Governo do Estado. “*Decreto nº 2.375, de 28 de julho de 2000*”. Instituída a Área de Proteção Ambiental do Rio Verde, denominada APA do Rio Verde, localizada nos municípios de Araucária e Campo Largo, Estado do Paraná. Diário Oficial do Estado do Paraná, Curitiba, 31 jul. 2000.
- Paraná, Governo do Estado. “*Decreto nº 458, de 05 de junho de 1991*”. Dispõe sobre a criação da área de proteção ambiental localizada nos municípios de Almirante Tamandaré, Araucária, Campo Largo E Curitiba. Diário Oficial do Estado do Paraná, 05 jun. 1991.
- TUCCI, C.E.M. “*Modelos hidrológicos*”. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2005.
- TUCCI, C.E.M. (org.). “*Hidrologia: ciência e aplicação*”. 5. ed. Porto Alegre: ABRH, 2020.
- VON SPERLING, M. “*Modelagem da qualidade da água de rios*”. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007. (Série Tratamento de Águas Residuárias, v. 6).