



IV-178 - APLICAÇÃO DO MODELO WARM-GIS COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DE QUALIDADE DE ÁGUA NAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS PAREADAS DO RIO PIRACICABA E DO RIO PIRANGA - MG.

Marllus Henrique Ribeiro de Paiva⁽¹⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Mestre em Engenharia de Biosistemas (UFF). Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Paula Cristine Silva Gomes⁽²⁾

Bacharela em Biologia (UFOP). Mestre em Ecologia de Biomas Tropicais (UFF). Doutoranda em Engenharia Ambiental (UFOP).

Lívia Cristina Pinto Dias⁽³⁾

Engenheira Ambiental (UFV). Mestre em Agronomia (UFV). Doutora em Agronomia (UFV). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Aníbal da Fonseca Santiago⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutor em Engenharia Civil (UFV). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Pós Graduação em Engenharia Ambiental - ProAmb - Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro - Ouro Preto – MG - CEP 35400-000 – Brasil - Correio eletrônico: marllus.paiva@aluno.ufop.edu.br

Endereço⁽²⁾: Departamento de Pós Graduação em Engenharia Ambiental - ProAmb - Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro - Ouro Preto – MG - CEP 35400-000 – Brasil - Correio eletrônico: paula.cristine@aluno.ufop.edu.br

Endereço⁽³⁾: Departamento de Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro - Ouro Preto – MG - CEP 35400-000 – Brasil - Correio eletrônico: livia.dias@ufop.edu.br

Endereço⁽⁴⁾: Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro - Ouro Preto – MG - CEP 35400-000 – Brasil - Correio eletrônico: anibal@ufop.edu.br

RESUMO

A poluição dos corpos hídricos é um dos grandes desafios ambientais enfrentados pela sociedade, provocado, sobretudo, pelas mudanças das paisagens, ocupações desordenadas e despejos contínuos e permanentes de águas residuárias sem quaisquer tratamentos ou tratamentos incipientes. As bacias dos rios Piracicaba e Piranga, importantes sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Doce (BHRD) - MG, apresentam múltiplas atividades socioeconômicas que modificam a cobertura da terra, descaracterizam a paisagem natural e alteram potencialmente a qualidade das águas em virtude do aporte de nutrientes e matéria orgânica. A modelagem de qualidade de água possibilita simular condições para avaliar possíveis impactos decorrentes de lançamentos de efluentes, como também analisar cenários de intervenção e controle ambiental. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi realizar o balanço hídrico quantitativo das sub-bacias supracitadas com base nos dados de vazão de referência Q90% obtidos da prévia simulação hidrodinâmica proporcionada pelo MGB-IPH (dados 2011 a 2020) e simulação de disponibilidades e demandas pelo WARM-GIS. O Índice de Comprometimento de Disponibilidade Hídrica (ICDH) indicou que, para os cenários avaliados, os valores se encontraram na faixa de condição favorável para a maioria dos trechos. Os trechos que obtiveram índices desfavoráveis podem ter sofrido influência pelo aporte de nutrientes e concentração de atividades poluidoras. De modo geral, a



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



acoplagem dos modelos apresentou bom desempenho na simulação, devendo ser aplicada para outras condições de contorno.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição hídrica, Modelo de qualidade de água, WARM-GIS Tools, Recursos hídricos.

INTRODUÇÃO

A qualidade das águas é um tema bastante estudado em virtude de suas funções ecossistêmicas desempenhadas no meio ambiente, do papel estratégico exercido no desenvolvimento político, social e econômico de uma região e também sob a ótica cultural, da saúde, bem-estar e qualidade de vida da sociedade. Mas, apesar de sua importância estratégica em várias esferas sociais, o recurso hídrico vem sendo fortemente afetado e degradado em detrimento do aumento da população, da influência dos processos de transformação da paisagem e de múltiplas atividades socioeconômicas empregadas (FAO, 2015).

Como consequência, tem-se observado uma expressiva queda da qualidade da água, perda de biodiversidade aquática, desequilíbrios à fauna, à flora, aos ciclos biogeoquímicos, como também o comprometimento da integridade dos ecossistemas de água doce, principalmente os rios e riachos (BEM, 2009; PENATTI & GUIMARÃES, 2011).

A análise sob a perspectiva da bacia hidrográfica possibilita testar os efeitos de várias práticas de manejo no uso da terra e/ou os efeitos de poluentes ambientais em sistemas naturais (LIKENS & BORMANN, 1974). O crescimento demográfico, a falta do planejamento urbano e o desenvolvimento socioeconômico, com a mudança de uso da terra, aumentam a demanda por água, provocando tanto a escassez do recurso quanto alterações das propriedades de ordem física, química e biológica nas bacias hidrográficas sob o efeito da poluição hídrica (ANDRIETTI et al. 2016; PIRATOBA et al. 2017; PEREIRA et al. 2021).

A Bacia Hidrográfica do Rio doce (BHRD) é uma das principais bacias brasileiras, sendo bastante estratégica para a região sudeste, em termos econômicos, mas com elevada heterogeneidade no tocante ao desenvolvimento econômico dos municípios que dela fazem parte (REIS et al. 2010) e uma longa história de degradação ambiental e uso não planejado da terra e água em suas sub-bacias (JARDIM et al. 2014).

O comportamento da qualidade da água reflete as condições ambientais da bacia hidrográfica e o efeito combinado de muitos processos que ocorrem ao longo de seu curso (DOS SANTOS et al. 2018). Sendo assim, conhecer as características de qualidade da água amplia o conhecimento ecológico do ecossistema e possibilita detectar alterações provenientes da atividade humana nessas unidades de estudo através do monitoramento contínuo e do uso de indicadores ambientais (MEDEIROS et al. 2018).

OBJETIVO DO TRABALHO

Diante do contexto e considerando as potencialidades da modelagem ambiental, o objetivo do presente estudo consistiu em avaliar a capacidade de simulação das variáveis de qualidade Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD) nas sub-bacias do rio Piracicaba e Piranga em Minas Gerais, importantes sub-bacias da BHRD, no período seco, por meio da aplicação do modelo WARM-GIS Tools.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para as áreas de estudo seguiu os passos descritos por Kayser & Collischonn (2022) em três partes. A primeira consistiu no levantamento dos dados ambientais referentes ao uso e cobertura da terra, dados pluviométricos, fluviométricos, meteorológicos, de vegetação e dados de qualidade da água disponíveis para as sub-bacias de interesse. A segunda parte consistiu no processo de simulação, calibração e validação da vazão por meio do uso do modelo MGB-IPH. A terceira parte consistiu na simulação, calibração, validação e análise dos resultados gerados de DBO e OD no período seco. O período seco na região mineira consiste entre os meses de abril a setembro.

As campanhas usadas foram 2010 a 2014 – calibração e 2015 a 2021 – validação.

As sub-bacias do rio Piracicaba (5.465,38 km²) e do Rio Piranga (6.611,46 km²) estão situadas entre os paralelos -19,226 e -21,293 de latitude sul e os meridianos -43,896 e -42,407 de longitude oeste (figura 1).

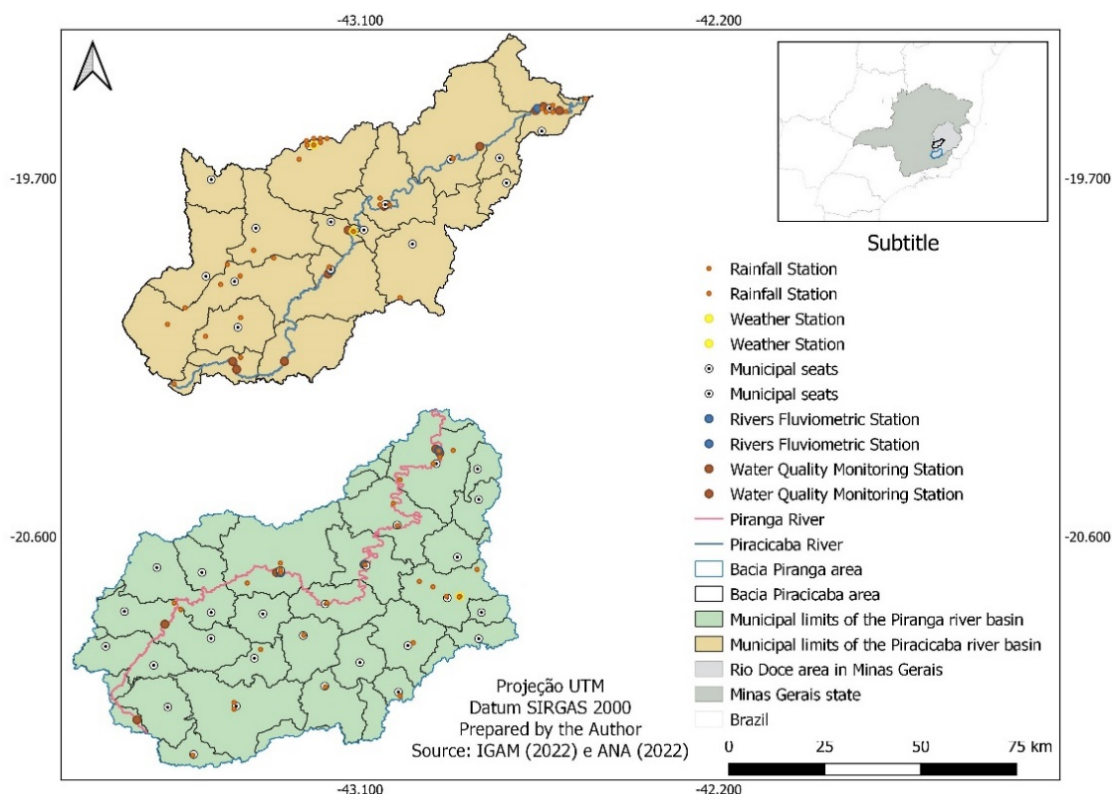


Figura 1: Mapa de localização das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba e Piranga – MG e das estações de monitoramento de dados ambientais.

O cálculo das demandas consultivas dos usuários e lançamentos de efluentes para as duas sub-bacias considerou as retiradas de águas de forma pontual para o consumo humano, industrial e agropecuário. A estimativa das demandas hídricas e das cargas pontuais domésticas e industriais e cargas difusas foram baseadas respectivamente nos dados censitários da população (IBGE, 2022) inserida nas sub-bacias estudadas, nas concentrações médias dos poluentes e na carga per capita (NOVOTNY, 2003). De acordo com Von Sperling (2005), a vazão per capita do esgoto gerado é considerada igual a 80% (taxa de retorno) do volume de água consumida.

As cargas poluidoras de origem industrial foram estimadas com base nos valores da vazão do efluente e nas concentrações dos poluentes, de acordo com a Declaração de Carga Poluidora (DCP) de Minas Gerais. Informa-se que os usos não consuntivos, como pesca, turismo e lazer, foram descartados, pois não interferem na simulação qualitativa da água. Os valores típicos das constantes cinéticas e de reeração de qualidade da água foram baseadas nas faixas propostas por Von Sperling (2007) e os parâmetros hidráulicos estimados a partir dos dados dos postos pluviométricos encontrados nas sub-bacias do rio Piracicaba e rio Piranga. A avaliação do desempenho das simulações será feita por meio das métricas BIAS e RMSE, conforme proposto por Moriasi et al. 2007.



RESULTADOS OBTIDOS

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos da fase de calibração e validação do modelo WARM GIS Tools para as sub-bacias do rio Piracicaba e rio Piranga respectivamente, e as figuras 2 a 5 apresentam os resultados obtidos das simulações.

Tabela 1: Métricas de desempenho estatístico – para as sub-bacias do rio Piracicaba e rio Piranga.

Métricas	RMSE						BIAS					
	Piracicaba		Validado		Calibrado		Validado		Calibrado		Validado	
	Q70%	Q90%	Q95%	Q70%	Q90%	Q95%	Q70%	Q90%	Q95%	Q70%	Q90%	Q95%
DBO	18.77	18.77	22.31	22.31	24.18	24.18	18.71	18.71	20.99	20.98	21.86	21.86
OD	11.1	3.98	10.45	4.47	10.23	4.72	10.44	3.31	9.70	3.42	9.38	3.58

Métricas	RMSE						BIAS					
	Piranga		Validado		Calibrado		Validado		Calibrado		Validado	
	Q70%	Q90%	Q95%	Q70%	Q90%	Q95%	Q70%	Q90%	Q95%	Q70%	Q90%	Q95%
DBO	23.82	23.82	19.93	19.93	18.16	18.16	21.46	21.46	18.33	18.33	16.82	16.82
OD	14.85	10.79	14.85	10.64	14.88	10.58	13.42	6.87	13.51	6.72	13.57	6.65

As métricas de desempenho BIAS e RMSE respectivamente, demonstraram que os resultados das simulações apresentaram boa correspondência entre as concentrações simuladas e as observadas em campo por meio dos dados dos postos de monitoramento das duas sub-bacias, para as duas variáveis, DBO e OD. As variáveis DBO e OD apresentaram o índice de desempenho BIAS, conforme proposto por Moriasi et al. 2007, para o período de calibração, como “muito bom” para as duas sub-bacias e o RSME como satisfatório para as mesmas variáveis. Dessa forma, observa-se que o modelo WARM-GIS Tools consegue representar de forma razoável o comportamento das variáveis DBO e OD ao longo do perfil longitudinal do corpo hídrico.

Os resultados de validação mostraram que o índice de desempenho BIAS se manteve na classificação “muito bom” para as variáveis DBO e OD nas duas sub-bacias estudadas, indicando boa correlação e aderência entre os dados observados e os simulados, bem como sinaliza que o modelo WARM-GIS Tools consegue ser uma ferramenta útil para o gerenciamento do recurso hídrico destas variáveis, tomando como base as limitações de informações disponíveis para tais localidades.

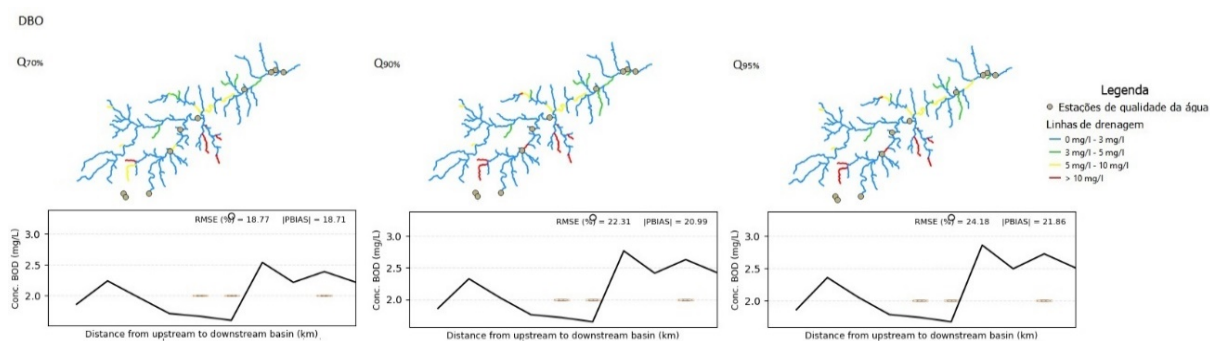


Figura 2: Resultado da simulação do DBO, período seco – sub-bacia do rio Piracicaba.

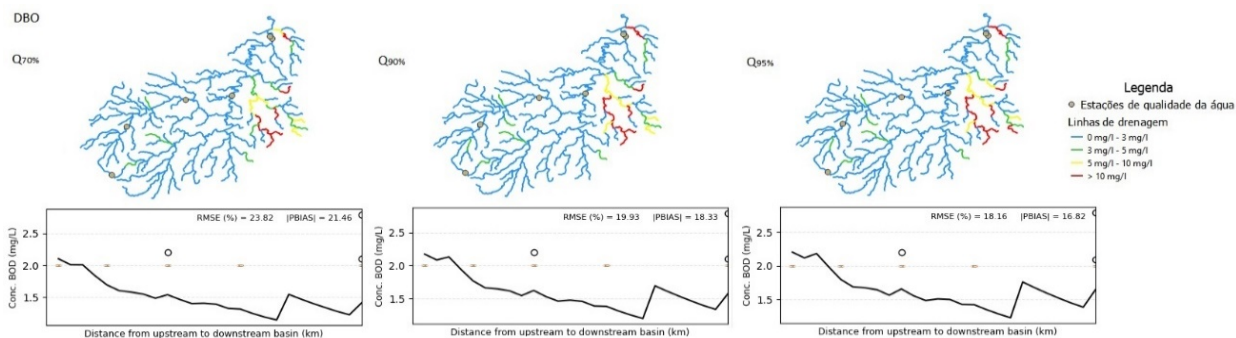


Figura 3: Resultado da simulação do DBO, período seco – sub-bacia do rio Piranga.

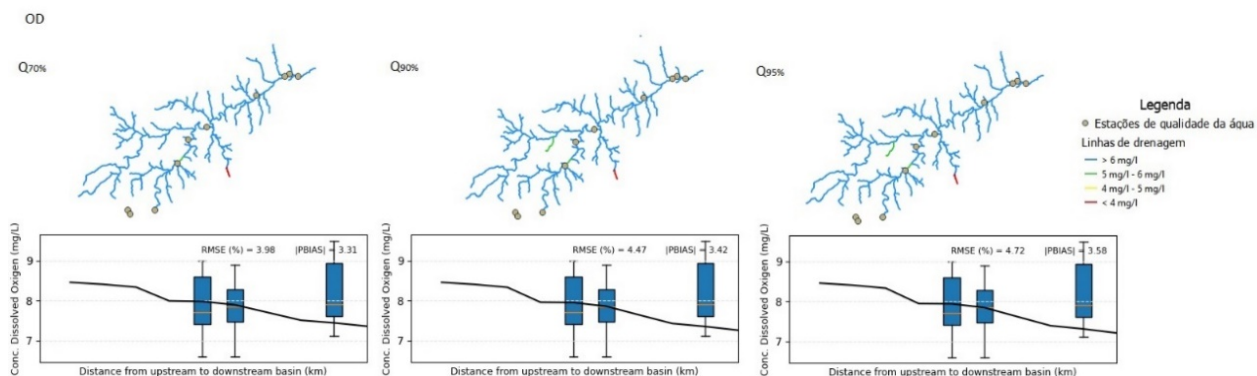


Figura 4: Resultado da simulação do OD, período seco – sub-bacia do rio Piracicaba.

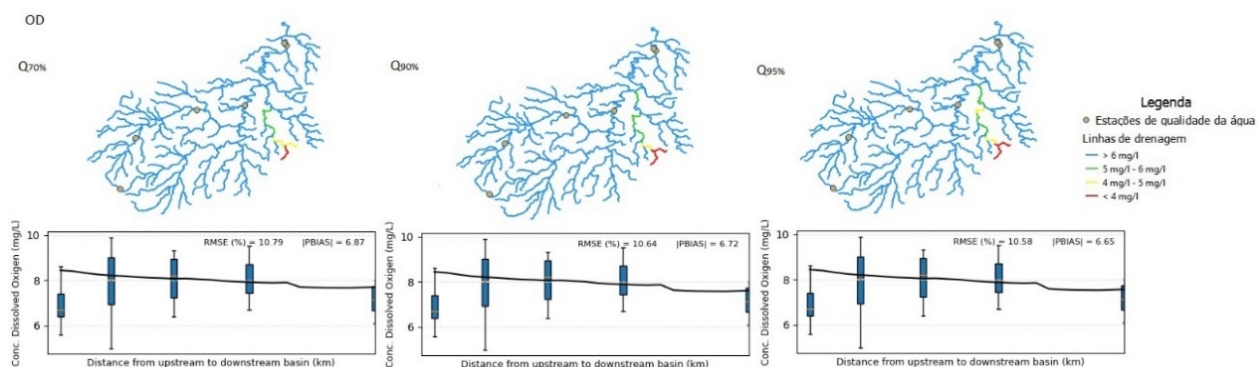


Figura 5: Resultado da simulação do OD, período seco – sub-bacia do rio Piranga.

ANÁLISES DOS RESULTADOS

O pico de concentração de DBO e OD conseguiu ser representados pelo modelo a montante do corpo hídrico, com elevação do DBO e decaimento de OD em regiões com maior adensamento urbano, principalmente nos municípios mais próximos à foz do rio Piracicaba (região de Nova Era, Antônio Dias, Timóteo) e do rio Piranga (região de Viçosa, Paula Cândido, Teixeiras e Ponte Nova). As taxas de decaimento dos poluentes podem variar ao longo do curso do rio, no qual trechos de cabeceira geralmente apresentam maiores declividade e conseqüentemente uma maior turbulência, promovendo maior oxigenação da coluna d'água e mineração da matéria orgânica (STREETTER et al. 1936; LINS et al. 2012).



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



Em relação à simulação de qualidade de água por trecho de rio, segundo a Resolução n.º 357 de 2005 do CONAMA, sugerem que as concentrações de variáveis de qualidade da água, DBO e OD, para a maioria dos cursos d'água, se enquadrariam na classe 1 para as duas sub-bacias. Resultado é compatível com o atual enquadramento da sub-bacia do rio Piracicaba, classe 2, de acordo com Deliberação Normativa (DN) n.º 9 de 1994 e do rio Piranga, classe 2, quando não houver proposta de enquadramento, artigo 37 da DN n.º 1 de 2008 do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). Acredita-se que alguns afluentes do rio Piracicaba (rio Santa Bárbara) e do rio Piranga (rio Xopotó), em suas confluências, podem ajudar na diluição e na redução das concentrações dos poluentes.

As variáveis DBO e OD para as regiões do entorno das nascentes dos rios principais apresentaram simulações das concentrações com valores inferiores a 3 mg/L e superiores a 6 mg/L respectivamente, classe 1 conforme a Resolução n.º 357 d CONAMA, mesmo a região apresentando alterações na cobertura vegetal e atividades econômicas atreladas a agricultura, mineração, indústria e pecuária.

Em geral, observou-se que os resultados simulados e os monitorados apresentaram convergência e proximidade, com comportamento similar de decaimento dos níveis de oxigenação. Acredita-se que, mesmo com carreamento de nutrientes e com o lançamento de esgoto in natura de alguns municípios, o OD nas duas sub-bacias pouco variou, indicando a potencial influência do efeito da diluição da vazão dos corpos hídricos na concentração da variável.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O modelo de qualidade da água WARM-GIS Tools apresentou boa aderência e correlação dos dados observados e simulados para DBO e OD, mostrando ser adequado para a aplicação nas sub-bacias do rio Piracicaba e rio Piranga e de ser uma ferramenta importante para a gestão dos recursos hídricos.

Observou-se que a sub-bacia do rio Piracicaba apresentou mais trechos indicativos de piora na qualidade da água em comparação com a sub-bacia do rio Piranga. A elevada representação de concentração de DBO na primeira sub-bacia pode estar relacionada aos efluentes domésticos in natura e industriais, uma vez que é uma região mais industrializada e urbanizada.

A sub-bacia do rio Piranga apresentou as piores concentrações de DBO simulados nos municípios de Viçosa, Teixeiras e regiões do entorno. Além do despejo do esgotamento sanitário, pode-se inferir que os altos valores de DBO podem estar relacionados às atividades agropecuárias, tão característicos da região.

Os valores de concentração de OD apresentaram concentrações satisfatórias de qualidade da água concernente à classe 1 de águas doces para 89% e 96% dos trechos respectivamente das sub-bacias do rio Piracicaba e rio Piranga, com valores mais elevados próximos às áreas de cabeceiras, influenciadas potencialmente pela caracterização fisiográfica de declividade.

Apesar de o resultado imprimir condições de qualidade ambiental, entende-se que o mesmo pode não representar totalmente a realidade devido à carência e heterogeneidade dos dados ambientais, muitas vezes homogêneos para fins de simplificação. Muitas das informações de entrada no modelo, como dados de vazões de consumo e de efluentes calculados, tanto para o esgotamento doméstico quanto para o industrial, foram estimados usando dados da literatura e equações empíricas. Informa-se que para se obter retratos mais próximos da realidade é extremamente importante que os bancos de dados oficiais tenham seus cadastros atualizados e que haja melhorias nos engajamentos dos declaradores de carga poluidora e o aperfeiçoamento do sistema para que a consistência dos dados seja garantida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, D.; ALMEIDA, D.; BONGIOVANI, C.; SCHNEIDER, M. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT, 2016.



2. BEM, C. C. Determinação do estado de eutrofização de um lago raso: estudo de caso do lago barigui. – UFPR, 2009.
3. dos SANTOS, A.; GASTALDINI, C.; PIVETTA, G.; SCHMIDT, O. Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tamandaí, Santa Maria/RS, 2018.
4. IBGE – Censo demográfico – 2022.
5. FAO – The outlook for 2050 is encouraging, globally, but much work is needed to achieve sustainable water use and ensure food security for all, 2015.
6. JARDIM, A.; SPERLING, V.; JARDIM, M.; ALMEIDA, B. Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do Rio Doce, MG, Brasil, 2014.
7. KAYSER, R. COLLISHONN, W. Manual teórico-prático da ferramenta WARM-GIS Tools. Exemplo de aplicação na Bacia do Rio das Almas. Porto Alegre, 2022.
8. LIKENS, E.; BORMANN, H. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems, 1974.
9. LINS, C.; MENDES, B.; AGRA, G.; CARVALHO, D.; FRAGOSO, R. Integração de um modelo hidrológico a um SIG para avaliação da qualidade da água na Bacia do Rio Doce, 2012.
10. MEDEIROS, V.; SILVA, D.; LINS, M. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil, 2018.
11. MORIASI, N.; ARNOLD, G.; VAN LIEW, W.; BINGNER, L.; HARMEL, D.; VEITH, L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, 2007.
12. NOVOTNY, V. Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management, 2003.
13. PENATTI, F.; GUIMARÃES, S. Avaliação dos riscos e problemas ambientais causados pela disposição incorreta de resíduos de laboratórios, 2011.
14. PIRATOBA, A.; RIBEIRO, C.; MORALES, P.; GONGALVES, G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil, 2017.
15. REIS, C.; SILVEIRA, R.; COSTA, I. S. Caracterização Socioeconômica da Bacia do Rio Doce: Identificação de Grupos Estratégicos por meio de Análise Multivariada, 2010.
16. SANTOS, S.; SOUZA, P.; BIRCOL; GUILHERME, C.; UENO, H. M. Planos de gestão da bacia do rio e seus desafios: o caso da bacia do rio alto-tietê – estado de São Paulo, Brasil, 2020.
17. STREETER, W.; WRIGHT, T.; KEHR, R. W. Measures of natural oxidation in polluted streams. III. An experimental study of atmospheric reaeration under stream-flow conditions, 1936.
18. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto, 2005.