



Avaliação do Índice de Qualidade das Águas do Rio Jequitinhonha – uma abordagem físico-ambiental

Assessment of the Water Quality Index of the Jequitinhonha River: A Physical-Environmental Approach

Évaluation de l'Indice de Qualité des Eaux du fleuve Jequitinhonha : une approche physico-environnementale

1. João Gabriel de Moraes Pinheiro  <https://orcid.org/0000-0002-9941-2018>

1. Universidade Estadual de Santa Cruz  Ilhéus, Bahia, Brasil

1. Mauro de Paula Moreira  <https://orcid.org/0009-0009-0740-1257>

1. Universidade Estadual de Santa Cruz  Ilhéus, Bahia, Brasil

Autor de correspondência: pinheirogabriel015@gmail.com

RESUMO

A presente pesquisa possui o objetivo de analisar a qualidade da água do rio Jequitinhonha por meio dos nove parâmetros que compõem o Índice de Qualidade das Águas (IQA). Os dados da pesquisa foram obtidos junto ao Programa Nacional de Qualidade das Águas (PNQA) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Após a coleta, os dados foram tabulados e analisados, sendo posteriormente calculado o IQA. Como procedimentos metodológicos, utilizaram-se ferramentas de geoprocessamento com o objetivo de delimitar a bacia e os trechos de drenagem, bem como realizar a plotagem dos pontos de coleta das amostras de água. Após a coleta e a análise dos dados, constatou-se que os valores de turbidez excederam o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 em dois pontos, enquanto os sólidos totais também ultrapassaram o limite em dois pontos. O oxigênio dissolvido apresentou valores inferiores ao estabelecido em dois dos seis pontos analisados. Em relação aos coliformes termotolerantes, apenas um dos pontos analisados apresentou valor dentro do limite estipulado pela resolução; contudo, os demais pontos chegaram a apresentar valores até 24 vezes superior ao permitido pela referida resolução.

Palavras-chave: Oxigênio Dissolvido; Planejamento ambiental; Recursos Hídricos; Efluentes urbanos e industriais.

ABSTRACT

The present study aims to evaluate the water quality of the Jequitinhonha River using the nine parameters that compose the Water Quality Index (WQI). The data were obtained from the National Water Quality Program (PNQA) of the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA). After collection, the data were tabulated and analyzed, and the WQI was subsequently calculated. As methodological procedures, geoprocessing tools were employed to delimit the watershed and drainage network segments, as well as to map the water sampling locations. The results showed that turbidity values exceeded the limits established by CONAMA Resolution No. 357/2005 at two sampling points, while total solids also surpassed the regulatory threshold at two locations. Dissolved oxygen concentrations were below the recommended levels at two of the six analyzed points. Regarding thermotolerant coliforms, only one sampling point met the standards established by the

resolution; however, the remaining points exhibited values up to 24 times higher than the permissible limit.

Keywords: Dissolved oxygen; Environmental planning; Water resources; Urban and industrial effluents.

Resumé:

La présente recherche a pour objectif d'analyser la qualité de l'eau du fleuve Jequitinhonha à partir des neuf paramètres qui composent l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE). Les données utilisées ont été obtenues dans le cadre du Programme National de Qualité des Eaux (PNQA) de l'Agence Nationale des Eaux et de l'Assainissement de Base (ANA). Après leur collecte, les données ont été compilées et analysées, puis l'IQE a été calculé. Comme procédures méthodologiques, des outils de géotraitement ont été utilisés afin de délimiter le bassin versant et les tronçons du réseau de drainage, ainsi que pour cartographier les points d'échantillonnage de l'eau. Les résultats ont montré que les valeurs de turbidité dépassaient les limites établies par la Résolution CONAMA n° 357/2005 à deux points d'échantillonnage, tandis que les concentrations en solides totaux excédaient également les seuils réglementaires à deux endroits. Les concentrations d'oxygène dissous étaient inférieures aux valeurs recommandées dans deux des six points analysés. En ce qui concerne les coliformes thermotolérants, un seul point d'échantillonnage présentait une valeur conforme aux normes fixées par la résolution ; toutefois, les autres points ont enregistré des valeurs pouvant atteindre jusqu'à 24 fois la limite autorisée.

Mots-clés : Oxygène dissous ; Planification environnementale ; Ressources en eau ; Effluents urbains et industriels.

Introdução

Conceitua-se bacia hidrográfica como uma área delimitada topograficamente e drenada por um sistema de fluxo. Trata-se de uma unidade de resposta hidrológica e biofísica, caracterizada por fluxos de matéria e energia e pelas interações entre seus componentes naturais e antrópicos. Nesse contexto, a gestão de bacias hidrográficas consiste no planejamento e na organização do uso da terra, da água e dos demais recursos naturais presentes na bacia, visando à manutenção dos serviços ecossistêmicos e à mitigação dos impactos antrópicos. Em sua estrutura, estão contemplados aspectos socioeconômicos, humano-institucionais e relações biofísicas estabelecidas entre a água, o uso da terra e o relevo local (Wang *et al.*, 2016).

A disponibilidade e a qualidade da água potável configuram-se como desafios para a sociedade contemporânea. A conservação e o uso racional dos recursos hídricos devem ser considerados prioritários, visto que a água doce representa apenas 2,5% da

água existente no planeta (Bernardi et al., 2012). Além disso, a elevada variabilidade das precipitações em diferentes regiões favorece a ocorrência de secas e enchentes, gerando impactos socioeconômicos e ambientais (Swarowsky *et al.*, 2011; Bernardi et al., 2012). No Brasil, a Lei nº 9.433/1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que reconhece a água como um bem de domínio público e estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para a implementação de suas diretrizes (Brasil, 1997).

A qualidade da água em bacias hidrográficas que abrangem áreas urbanas é fortemente influenciada pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), responsáveis pelo lançamento de efluentes e águas residuárias nos corpos hídricos. Esses efluentes apresentam misturas de compostos químicos e orgânicos biologicamente ativos, capazes de alterar as características da água (Bai *et al.*, 2018). Os rios e reservatórios utilizados para abastecimento e recreação constituem importantes vias de exposição humana à água contaminada. Dessa forma, o monitoramento da qualidade da água e da distribuição de contaminantes químicos e orgânicos é fundamental para a redução de riscos à saúde individual e coletiva (Bai *et al.*, 2018).

A poluição dos corpos hídricos pode ocorrer de forma pontual ou difusa. A poluição pontual caracteriza-se por lançamentos identificáveis, cujo controle e remediação são mais eficientes. Já a poluição difusa atinge os mananciais de maneira indireta, dificultando seu controle e aumentando os custos de mitigação (Von Sperling, 2011). O lançamento de esgoto e efluentes sem tratamento provoca redução significativa do oxigênio dissolvido (OD) na água em razão da elevada carga de matéria orgânica. Esse processo intensifica a atividade dos microrganismos decompositores, que consomem maiores quantidades de oxigênio durante a degradação da matéria orgânica, resultando no aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (Owa, 2014). Entre as tecnologias empregadas no tratamento de esgoto destacam-se lagoas aeradas, flotação por ar dissolvido (DAF), carvão ativado, lodos ativados e dispositivos de controle de poluição. Além disso, tecnologias baseadas em membranas semipermeáveis, como osmose avançada e osmose reversa, têm demonstrado elevada eficiência no tratamento de águas e efluentes (Owa, 2014; Azman *et al.*, 2024).

Uma das principais formas de avaliar a qualidade da água é por meio do Índice de Qualidade das Águas (IQA), desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF). O IQA foi criado para comparar a qualidade da água entre diferentes corpos hídricos e monitorar variações espaço-temporais associadas à influência antrópica (Ferreira et al., 2015). O índice varia de 0 a 100, representando, respectivamente, qualidade péssima e ótima. Seu cálculo baseia-se em nove parâmetros físicos, químicos e biológicos: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais, ponderados por pesos específicos (w_i) (Tyagi *et al.*, 2013).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece diretrizes para a avaliação da qualidade da água, além de definir a classificação dos corpos hídricos superficiais e os padrões para o lançamento de efluentes. Os parâmetros físicos, químicos e biológicos previstos na resolução são fundamentais para garantir condições adequadas de uso da água, contribuindo para a segurança hídrica e para a proteção da saúde da população (Santos *et al.*, 2018).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo determinar a qualidade da água do rio Jequitinhonha, localizado nos estados de Minas Gerais e Bahia, por meio do IQA, analisando seus parâmetros físicos, químicos e biológicos e evidenciando a vulnerabilidade ambiental desse corpo hídrico sob uma perspectiva físico-ambiental. A pesquisa justifica-se pela necessidade de ampliar o conhecimento sobre a qualidade da água como subsídio ao desenvolvimento de tecnologias de tratamento de águas e efluentes, bem como pela importância de evidenciar os impactos das ações antrópicas sobre os ambientes naturais. Além disso, o estudo pode contribuir para a formulação de políticas públicas e diretrizes voltadas à conservação dos recursos hídricos, visando à manutenção da qualidade da água e à universalização do acesso, conforme preconizado pelo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), que atualizou e ampliou as disposições da Lei nº 11.445/2007.

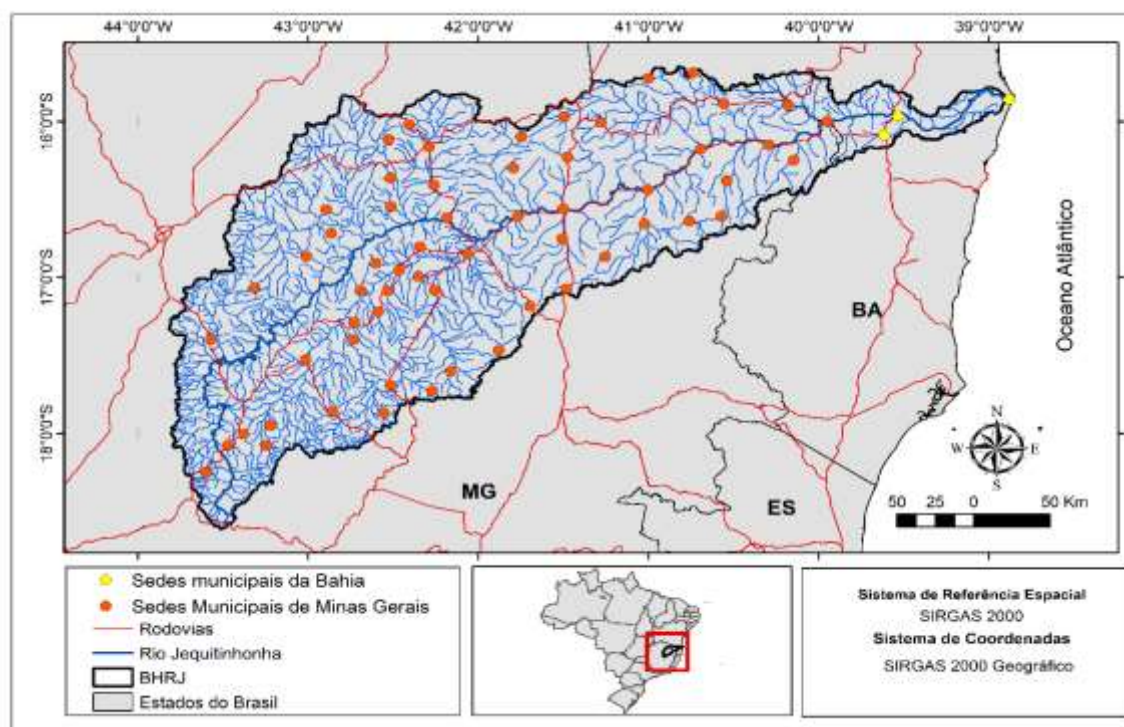
Materiais e Métodos

Características da área escolhida para o estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (BHRJ) está localizada entre as coordenadas geográficas de latitude -18,652 e longitude -43,523, em sua nascente, e latitude -15,498 e longitude -38,238, em sua foz. Possui área total de 70.315 km², estando situada na porção nordeste do estado de Minas Gerais, onde ocupa 66.319 km², e no extremo sul da Bahia, abrangendo uma área de 3.996 km² (Figura 1). A BHRJ contempla 62 municípios, sendo 59 localizados em Minas Gerais e 3 na Bahia. Segundo o Censo Demográfico de 2022, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os municípios inseridos na BHRJ totalizam 610.319 habitantes (IBGE, 2022).

Em relação à hierarquia fluvial, o rio Jequitinhonha é um rio de quarta ordem e possui 933 km de extensão. No que concerne às características naturais, a BHRJ está integralmente inserida no Bioma Mata Atlântica, tendo como regiões fitoecológicas predominantes a Floresta Estacional Decidual e a Floresta Ombrófila Densa. Todavia, a influência antrópica nesse bioma provocou intensa degradação dos remanescentes florestais, culminando na fragmentação da paisagem e favorecendo a ocorrência do efeito de borda.

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha e das sedes municipais

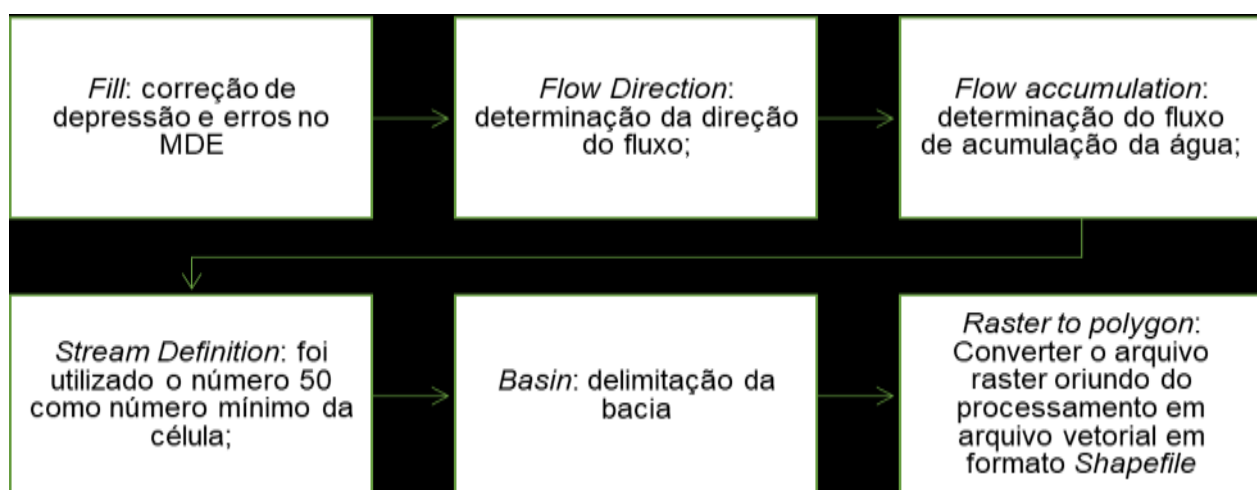


Fonte: Elaborado pelos autores

Referente às características climáticas, segundo a classificação de Köppen, 70% da área total da bacia apresenta clima do tipo As, caracterizado como megatérmico, sem estação invernal, e com temperatura média do mês mais frio em torno de 18°C. A pluviosidade anual média varia entre 380 e 760 mm (Santos *et al.*, 2018). Em direção à foz, predomina o clima do tipo Aw, também classificado como megatérmico, porém com pluviosidade anual variando entre 250 e 2.500 mm.

Delimitação da BHRJ

A Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (BHRJ) foi delimitada utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pela plataforma TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cujo acesso é gratuito e realizado de forma instantânea por meio do endereço eletrônico <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. O MDE possui resolução espacial de 30 metros, sendo todo o processo de delimitação da bacia realizado nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ArcMap 10.8 e Quantum GIS (QGIS) 3.20, utilizando os parâmetros preconizados por Valeriano (2008).



Para a delimitação da BHRJ, empregou-se o método de delimitação automática, por meio das ferramentas de geoprocessamento disponíveis no ArcMap 10.8. As

ferramentas de hidrologia utilizadas e suas respectivas finalidades seguiram a metodologia proposta por Di Luzio et al. (2002).

Coleta e análise dos dados de qualidade da água

Os dados de qualidade da água utilizados no estudo do rio Jequitinhonha consistem em dados secundários obtidos no portal da ANA, com acesso instantâneo por meio da consulta às estações fluviométricas. Esses dados são oficiais e públicos, disponibilizados de forma on-line e gratuita no endereço eletrônico <http://pnqa.ana.gov.br/pnqa.aspx>. As informações são oriundas do Programa Nacional de Qualidade das Águas (PNQA) da ANA, cuja principal finalidade é ampliar o conhecimento acerca da qualidade das águas superficiais em todo o território nacional.

Os dados do PNQA são coletados in loco por meio da coleta de amostras de água em estações de monitoramento previamente estabelecidas ao longo dos canais de drenagem. Após a coleta, são adotados procedimentos padronizados para amostragem, análise e controle de qualidade em todas as Unidades da Federação. Entre os diversos parâmetros monitorados nas campanhas de campo, estão incluídos os nove parâmetros que compõem o Índice de Qualidade das Águas (IQA).

Após a coleta, as amostras são encaminhadas para laboratórios habilitados para análises de qualidade da água. Com base nos resultados obtidos, o banco de dados nacional é atualizado. Por meio de um portal na internet, essas informações são disponibilizadas gratuitamente à sociedade.

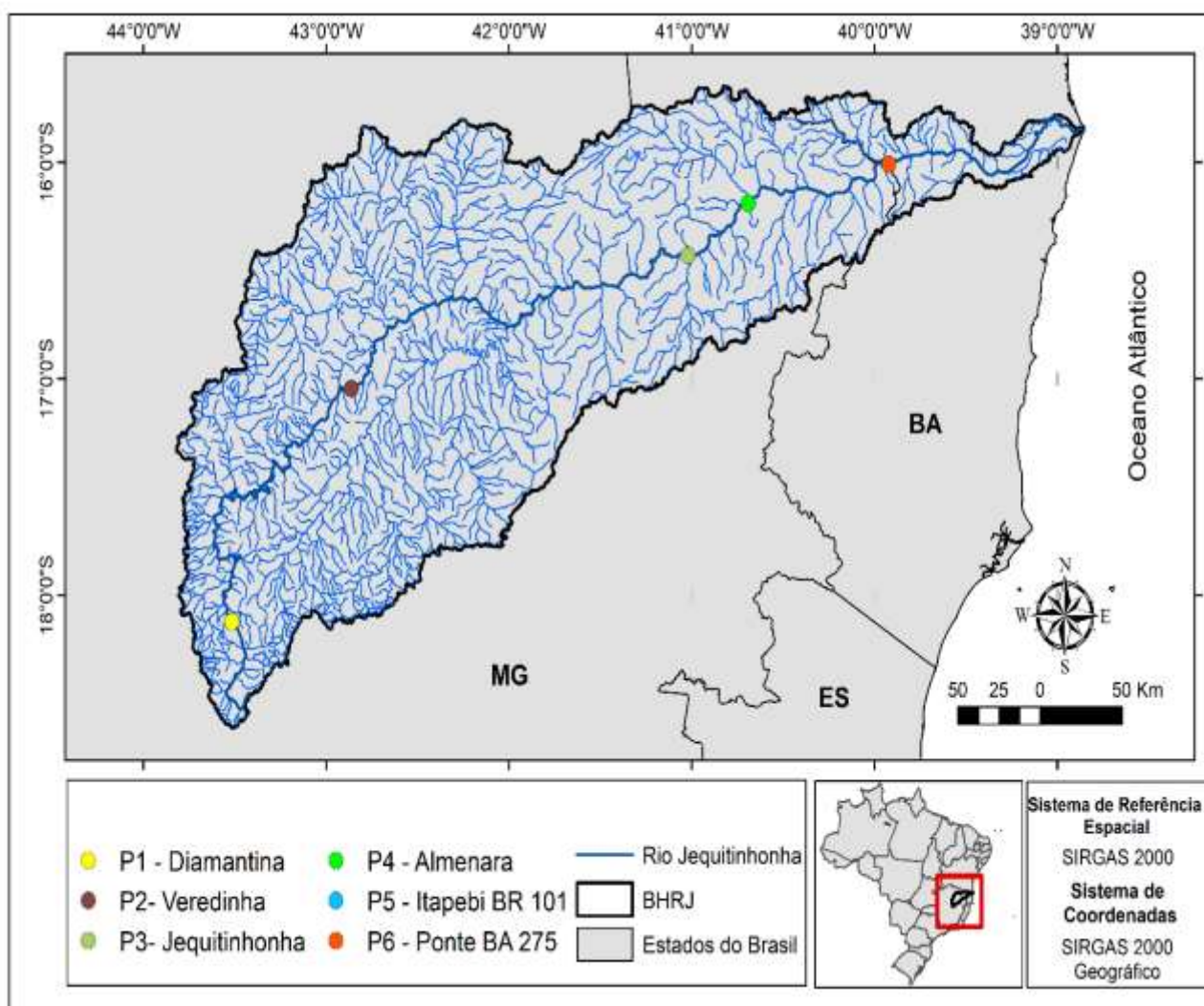
Para a obtenção dos dados de qualidade da água, foram adotados os seguintes critérios de seleção: i) estações de monitoramento localizadas ao longo do rio Jequitinhonha; ii) dados de qualidade da água mais recentes disponíveis (2021); iii) presença dos nove parâmetros que compõem o IQA; e iv) utilização exclusiva de estações fluviométricas. Após a obtenção dos dados, estes foram organizados em tabelas e submetidos à análise de consistência. Foram identificados seis pontos de coleta, correspondentes a seis estações distintas, os quais foram devidamente georreferenciados e tiveram suas respectivas cotas altimétricas determinadas (Tabela 1 e Figura 2).

Tabela 1 - Pontos de coleta das amostras de água no rio Jequitinhonha

Localização	Pontos de coleta					
	P1 - Diamantina	P2 - Veredinha	P3 - Jequitinhonha	P4 - Almenara	P5 - Itapebi BR 101	P6 - Ponte BA 275
Latitude	-18.12	-17.45	-16.43	-16.00	-15.95	-16.00
Longitude	-43.51	-42.73	-41.02	-39.97	-39,56	-39.92

Fonte: ANA (2021).

Figura 2 - Distribuição espacial dos pontos de coleta de água



Fonte: Elaborado pelos autores.

Uma vez obtidos e tabulados, os dados de qualidade da água foram submetidos ao cálculo do IQA. Dessa forma, o índice foi determinado a partir dos seguintes parâmetros: coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido. A cada parâmetro é atribuído um peso em função de seu grau de importância para a composição do índice (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros e os respectivos pesos que compõem o IQA

Parâmetros	Unidade	Peso (W)
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	0,17
Coliformes Termotolerantes (CT)	NMP/100 mL	0,15
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg O ₂ /L	0,10
Nitrogênio Total (NT)	mg N/L	0,10
Fósforo Total (PT)	mg P/L	0,10
Temperatura (T)	°C	0,10
Turbidez (Tur)	UNT	0,08
Sólidos Totais (ST)	mg/L	0,08

Fonte: Adaptado da ANA (2017).

Ao obter os dados, foi possível realizar o cálculo do IQA, este índice é calculado pelo produtório ponderado das qualidades das águas que corresponde aos parâmetros da seguinte fórmula.

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

sendo:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, número que varia de 0 a 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido através da curvatura média, em função de sua concentração ou medida;

wi = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro fixado em detrimento da sua importância para a conformação global da qualidade, sendo um número entre 0 e 1;

Os resultados obtidos para o IQA variam de 0 a 100, sendo que o valor obtido dentro deste intervalo irá qualificar a água desde muito ruim a excelente, contendo também as faixas de ruim, médio e bom (Quadro 1).

Quadro 1 - Faixas de qualidade do IQA para a CETESB

Faixas de qualidade do IQA	Faixa/Intervalo
Excelente	80 - 100
Bom	52 - 79
Médio	37 - 51
Ruim	20 - 36
Muito Ruim	0 - 19

Fonte: Adaptado ANA (2017).

Resultados e discussão

Análise dos parâmetros físicos

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos parâmetros físicos que compõem o IQA (turbidez, sólidos totais e temperatura). Com base nos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe 2, observa-se que o ponto 3 (Jequitinhonha) apresentou turbidez de 409 UNT e o ponto 4 (Almenara) registrou 133 UNT, valores superiores ao limite estabelecido pela resolução.

Em relação aos sólidos totais, destacam-se os pontos 3 (Jequitinhonha), com concentração de 561 mg/L, e 4 (Almenara), com 181 mg/L. Segundo Souza e Gastaldini (2014), valores próximos ou superiores a 200 mg/L podem indicar, entre outras possíveis causas, o lançamento de esgoto in natura no corpo hídrico.

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros físicos do IQA nos pontos analisados.

Parâmetros IQA	P1 - Diamantina	P2 - Veredinha	P3 - Jequitinhonha	P4 - Almenara	P5 - Itapebi BR 101	P6 - Ponte BA 275	Unidade
Turbidez	2,5	6,23	409	133	10,5	5,1	UNT
Sólidos totais	47	54	561	181	50	50	mg/L
Temperatura	19,6	20,6	24,9	25	27,6	30,6	°C

Fonte: ANA, 2021

Ressalta-se que a turbidez é provocada pela presença de materiais em suspensão no corpo hídrico, tais como matéria orgânica e inorgânica, silte e argila. Dessa forma, elevados valores de turbidez e de sólidos totais podem reduzir a fotossíntese da

vegetação aquática enraizada e das algas. Consequentemente, a redução do desenvolvimento da flora aquática pode afetar a produtividade dos peixes (Gúzman et al., 2013; Santos et al., 2020). Diante dos dados apresentados na Tabela 3, o ponto 1 (Diamantina) apresentou o menor valor de turbidez, possivelmente em razão da menor influência antrópica nesse trecho.

O parâmetro temperatura deve apresentar valores inferiores a 40 °C, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces. No rio Jequitinhonha, a temperatura variou entre 19,6 e 30,6 °C, com média de 24,7 °C ($\pm 4,1$), indicando que os valores registrados nos pontos analisados são compatíveis com as condições climáticas locais. Destaca-se o ponto 1 (Diamantina), que apresentou a menor temperatura. Esse resultado pode ser explicado pela localização do ponto em área com cobertura florestal mais densa, onde parte da radiação solar é interceptada pela vegetação ciliar.

A temperatura exerce influência direta sobre diversos parâmetros físico-químicos da água, como viscosidade e tensão superficial. Além disso, alterações térmicas podem afetar os organismos aquáticos, ocasionando impactos sobre seu crescimento, desenvolvimento e reprodução (Fiorensi et al., 2021).

Análise dos parâmetros químicos

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos parâmetros químicos que compõem o IQA: potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece que os valores de pH para águas doces de Classe 2 devem estar compreendidos entre 6,0 e 9,0. Os valores de pH observados nos pontos de coleta apresentaram média de $6,68 \pm 1,12$.

Dessa forma, os pontos 1 (Diamantina) e 3 (Jequitinhonha) apresentaram valores inferiores ao limite estabelecido pela resolução, registrando pH de 5,3 e 5,8, respectivamente. Nesse contexto, o pH da água é influenciado pela quantidade de matéria orgânica alóctone e autóctone disponível para decomposição, de modo que maiores concentrações de matéria orgânica tendem a reduzir os valores de pH. Assim,

os menores valores observados nos pontos supracitados podem estar relacionados ao aporte de matéria orgânica nesses trechos.

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros químicos do IQA nos pontos analisados.

Parâmetros IQA	P1 - Diamantina	P2 - Veredinha	P3 - Jequitinhonha	P4 - Almenara	P5 - Itapebi BR 101	P6 - Ponte BA 245	Unidade
OD	8,7	8,9	7,9	8,1	4,2	3,8	mg/L
pH	5,3	6,1	5,8	7,3	8,27	7,33	-
DBO	2	2	2	2	3	3	mg O ₂ /L
Nitrogênio Total	0,6	0,7	0,1	0,7	1	0,02	mg N/L
Fósforo Total	0,02	0,02	0,03	0,05	0,03	1	mg P/L

Fonte: ANA, 2021.

Ao avaliar os níveis de oxigênio dissolvido (OD) no rio Jequitinhonha, observou-se que os valores obtidos nos seis pontos de amostragem variaram entre 3,8 mg O₂/L e 8,9 mg O₂/L, com média de $6,9 \pm 2,3$ mg O₂/L. Nos pontos 5 (Itapebi BR-101) e 6 (Ponte BA-245), os valores registrados ficaram abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que determina concentração mínima de 5 mg O₂/L para águas doces de Classe 2.

O oxigênio dissolvido corresponde à concentração de oxigênio molecular (O₂) presente na água e constitui uma variável fundamental para o monitoramento da qualidade da água em ecossistemas aquáticos. Sua concentração é influenciada por fatores físicos, químicos e biológicos, como temperatura, pressão atmosférica, turbulência da água, atividade fotossintética e atividade microbiana. Dessa forma, alterações nesses fatores podem refletir diretamente nos níveis de OD observados nos corpos hídricos.

No que concerne à demanda bioquímica de oxigênio (DBO), os valores variaram entre 2 mg O₂/L e 3 mg O₂/L, com média de $2,3 \pm 0,5$ mg O₂/L. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece limite máximo de 5 mg O₂/L para águas doces de Classe 2. Assim,

todos os pontos analisados apresentaram valores de DBO em conformidade com a legislação. A DBO corresponde à quantidade de oxigênio consumida pelos microrganismos durante a decomposição da matéria orgânica presente na água ou em efluentes. Desse modo, ambientes aquáticos com menores concentrações de OD e maiores valores de DBO tendem a apresentar maiores níveis de poluição (Júnior et al., 2018).

Em relação ao nitrogênio total (NT), todos os pontos analisados apresentaram valores inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, correspondente a 2,18 mg N/L. As concentrações variaram entre 0,02 mg N/L e 0,70 mg N/L, com média de $0,52 \pm 0,38$ mg N/L. Os maiores valores foram observados nos pontos 2 e 4. Segundo Von Sperling (2014), concentrações elevadas de nitrogênio podem indicar influência antrópica decorrente do lançamento de efluentes domésticos, industriais e do uso de fertilizantes. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece para fósforo total o limite de 0,10 mg P/L para águas doces de Classe 2. Os resultados indicam que a concentração desse elemento permaneceu dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Os valores variaram entre 0,02 mg P/L e 1,0 mg P/L, com média de $0,19 \pm 0,40$ mg P/L..

O estudo de Kannel *et al.* (2007) demonstrou que o OD se configura como um dos parâmetros mais sensíveis à classificação da qualidade da água, assim como para mensurar os impactos decorrentes da urbanização e do aporte de cargas poluidoras e ambientes lóticos. Segundo os autores, as reduções nos níveis de OD estão intrinsecamente relacionados à deterioração da integridade da água dos rios, sendo o produto da alteração dos lançamentos de esgotos domésticos e efluentes industriais, aumentando a disponibilidade de matéria orgânica para a decomposição. Esse panorama corrobora com os resultados analisados do rio Jequitinhonha, uma vez que os mesmos trechos que apresentaram baixos valores de OD também registraram elevadas concentrações de coliformes termotolerantes, sugerindo influência de fontes antrópicas de contaminação.

Os dados obtidos por Liu *et al.* (2022) explicitaram que a redução do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos está fortemente associada ao aumento do

processo respiratório microbiano e da decomposição da matéria orgânica, sendo intensificadores do consumo de oxigênio na coluna d'água. De forma semelhante, o estudo de Oliveira *et al.* (2015) demonstrou que mudanças no uso e cobertura da terra, especialmente aquelas relacionadas à urbanização e às atividades agropecuárias, influenciam diretamente os regimes de oxigênio dissolvido dos cursos d'água, modificando a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos. No rio Jequitinhonha, os menores valores de OD foram registrados em trechos localizados próximos a áreas urbanizadas e regiões com predomínio de pastagens, cenário que reforça a hipótese de influência conjunta do uso e ocupação da terra e do aporte de matéria orgânica sobre a redução da disponibilidade de oxigênio na água.

ANÁLISE DO PARÂMETRO BIOLÓGICO

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece que a concentração de coliformes termotolerantes para águas doces de Classe 2 deve ser inferior a 1.000 NMP/100 mL. Das seis amostras analisadas, apenas uma apresentou valor dentro do limite estabelecido pela legislação (Tabela 5).

Destaca-se o ponto 3 (Jequitinhonha), que registrou concentração de 24.196 NMP/100 mL, valor aproximadamente 24 vezes superior ao limite permitido pela resolução. Os pontos 2, 4, 5 e 6 também apresentaram concentrações significativamente acima do valor estabelecido. De modo geral, as amostras analisadas apresentaram média de 12.561 ± 8.949 NMP/100 mL, evidenciando elevadas concentrações de coliformes termotolerantes ao longo dos trechos avaliados do rio Jequitinhonha.

Tabela 5 – Resultado do parâmetro biológico do IQA nos pontos analisados.

	P1 -	P2 -	P3 -	P4 -	P5 -	P6 -	
Parâmetro IQA	Diamantina	Veredinha	Jequitinhonha	Almenara	Itapebi	Ponte	Unidade
Coliformes					BR 101	BA 275	NMP/100
termotolerantes	882	2.755	24.196	15.531	16.000	16.000	mL

Fonte: ANA, 2021

Ao realizar a análise da qualidade da água, a detecção de coliformes termotolerantes indica a ocorrência recente de lançamento de esgoto bruto naquele ponto, aumentando a probabilidade da presença de microrganismos patogênicos capazes de causar doenças infecciosas e gastrointestinais. Essas enfermidades podem ser adquiridas por meio da veiculação hídrica, em decorrência do consumo ou contato com água de baixa qualidade ou sem tratamento adequado (Santos *et al.*, 2017).

O grupo dos coliformes contempla três gêneros principais: *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella*. Essas bactérias pertencem à família *Enterobacteriaceae* e apresentam morfologia de bastonetes, podendo ser aeróbias ou anaeróbias facultativas. Especificamente em relação à *Escherichia coli*, trata-se de um microrganismo naturalmente presente no organismo humano, principalmente no trato digestório. Entretanto, algumas cepas de *E. coli* são patogênicas e produzem enterotoxinas capazes de provocar sintomas como diarreia e náuseas, associados à contaminação de alimentos ou à veiculação hídrica (Oliveira *et al.*, 2015).

As concentrações de coliformes termotolerantes identificadas nos pontos analisados configura-se como um importante indicativo de contaminação fecal recente e possui potencial risco à saúde individual e coletiva. Embora não sejam necessariamente patogênicos, sua presença é utilizada em grande espectro como indicador da possível presença de enteropatógenos de origem fecal, que incluem vírus, bactérias e protozoários capazes de promover doenças de veiculação hídrica (Nayma *et al.*, 2017; Hachich *et al.*, 2012). Estudos demonstram a correlação entre as concentrações de *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes e a probabilidade de ocorrência de patógenos causadores de enfermidades gastrointestinais, predominantemente em populações mais vulneráveis, que dependem da utilização direta das águas superficiais para abastecimento ou outras atividades produtivas (Paruch.; Mæhlum, 2012).

Classificação pelo IQA

Na figura 3, estão representados os valores do IQA referente a cada ponto coletado, mostrando uma tendência decrescente. Nos pontos 1, 2 e 5, segundo a classificação da CETESB, estes pontos possuem a classificação boa (Tabela 6). A melhor

qualidade da água nestes dois pontos justifica-se pela pouca influência antrópica nas águas superficiais nestes pontos, haja vista que estes encontram-se em locais onde existe a maior presença de fragmentos florestais da mata atlântica nas zonas ripárias (Figuras 3 e 4). O novo Código Florestal Brasileiro, preconiza as Áreas de Preservação Permanente (APP) de corpo hídrico, como sendo áreas marginais de qualquer curso hídrico perene ou intermitente que possuam largura mínima proporcional a largura dos cursos d'água (BRASIL, 2012). Dessa forma, a presença de vegetação promove a proteção das águas superficiais, enquanto que a ação antropogênica reduz a qualidade da mesma. As APP desempenham um papel fundamental no que concerne à retenção sedimentológica, assim como demais elementos xenobióticos, favorece a saturação de água no solo, o que reduz o escoamento superficial e promove a retroalimentação do lençol freático da bacia (Rodrigues *et al.*, 2019). Neste sentido, uma vez que a APP seja reconstruída, e o lançamento de efluentes à jusante cesse, a tendência é de que ocorra a redução da presença de agentes contaminantes na água.

Tabela 6 – Resultado do IQA nos pontos analisados.

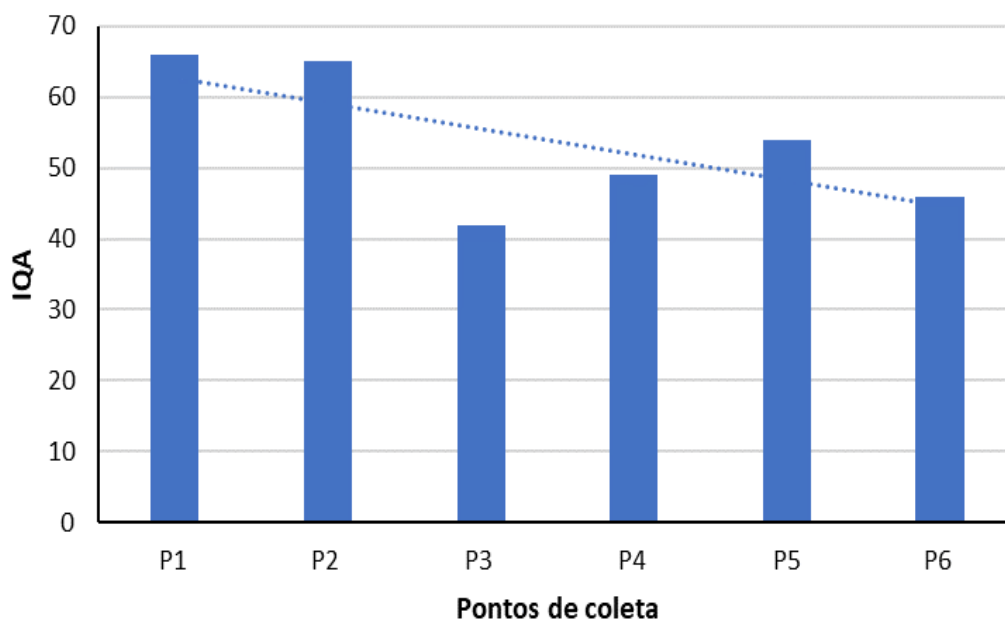
Pontos de coleta	IQA	Classificação
P1 - Diamantina	66	Bom
P2 - Veredinha	65	Bom
P3 - Jequitinhonha	42	Médio
P4 - Almenara	49	Médio
P5 - Itapebi BR 101	54	Bom
P6 - Ponte BA 275	46	Médio

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024

Todavia, os pontos 3, 4 e 6 obtiveram classificação média de qualidade da água. Esses pontos estão localizados em trechos próximos à foz, na divisa com o estado da Bahia, onde a pastagem constitui a classe predominante de uso e cobertura da terra, configurando-se como a matriz da paisagem. As atividades desenvolvidas em áreas rurais, especialmente as agropastoris, apresentam elevado potencial de impacto sobre a qualidade das águas superficiais. O aporte de substâncias alóctones, como fertilizantes,

esterco, pesticidas e sedimentos, configura-se como uma importante fonte de degradação da qualidade da água (Lollo, 2016). Como agravante associado ao predomínio das pastagens, a dinâmica hidráulica do rio Jequitinhonha foi alterada em decorrência da ausência de zonas ripárias ao longo de trechos do canal de drenagem.

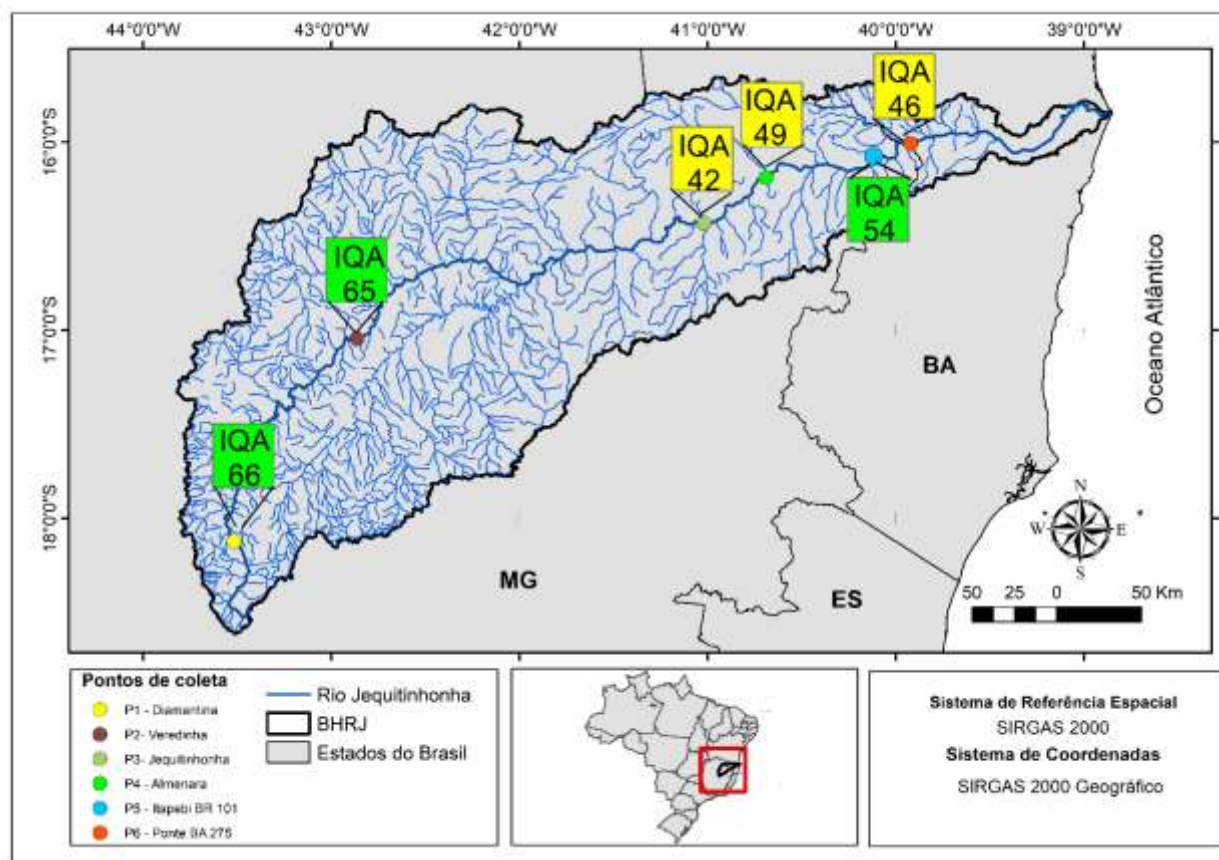
Figura 3 - Resultado do IQA para os seis pontos analisados no rio Jequitinhonha



Fonte: Ana (2021).

A ausência de cobertura vegetal, associada ao manejo inadequado do solo, resulta na degradação de sua estrutura, favorecendo o aumento do escoamento superficial. Consequentemente, insumos utilizados nas lavouras e nas áreas de pastagem são transportados para os canais de drenagem (Capone *et al.*, 2016). Além disso, esses pontos estão localizados próximos às áreas urbanas dos municípios inseridos nesse trecho da bacia, onde ocorre o lançamento de esgoto no rio. O despejo de esgoto sem tratamento diretamente no manancial constitui uma importante fonte de degradação da qualidade da água, comprometendo seus usos a jusante e promovendo alterações em suas características físico-químicas (Varcellino *et al.*, 2015).

Figura 4 - Resultado do IQA para os seis pontos analisados no rio Jequitinhonha



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

O despejo de efluentes domésticos e industriais nos mananciais, tanto in natura quanto tratados inadequadamente, pode provocar a eutrofização antrópica, considerada um dos principais fatores de enriquecimento de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Esse processo contribui para a degradação dos ecossistemas aquáticos e favorece a disseminação de doenças de veiculação hídrica (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2011). Os nutrientes presentes em compostos artificiais contribuem para a eutrofização artificial, culminando na proliferação de produtores primários, como cianobactérias e macrófitas aquáticas, que podem liberar toxinas na água (Silva; Fonseca, 2016).

A utilização do IQA reflete, predominantemente, a contaminação dos corpos hídricos decorrente do lançamento de esgoto doméstico. Ressalta-se que esse índice foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água com foco em sua utilização para abastecimento público, considerando aspectos relacionados ao tratamento dessas

águas (Harfuch *et al.*, 2019). Dessa forma, a análise individual dos parâmetros que compõem o índice deve ser considerada, especialmente quando alguns deles apresentarem valores fora dos padrões estabelecidos pela legislação vigente (Pimentel *et al.*, 2017).

Considerações finais

A utilização dos dados disponibilizados pela ANA permitiu avaliar a qualidade da água do rio Jequitinhonha em seis pontos distribuídos ao longo de seu curso, atendendo ao objetivo proposto de determinar a qualidade da água por meio do Índice de Qualidade das Águas (IQA) e analisar seus principais parâmetros físicos, químicos e biológicos. A análise dos parâmetros físicos demonstrou que os valores de turbidez excederam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 em dois pontos, enquanto os sólidos totais apresentaram valores elevados em dois locais, indicando a influência de fontes de poluição associadas ao lançamento de esgoto e de outros materiais carreados para o corpo hídrico.

Em relação aos parâmetros químicos, o oxigênio dissolvido apresentou valores inferiores ao limite recomendado em dois dos seis pontos analisados. Considerado um dos principais indicadores da qualidade da água, o oxigênio dissolvido desempenha papel fundamental na manutenção dos processos metabólicos dos organismos aquáticos, influenciando diretamente a biodiversidade e o equilíbrio ecológico dos ecossistemas aquáticos. Quanto aos parâmetros biológicos, apenas um dos pontos avaliados apresentou concentração de coliformes termotolerantes dentro do limite estabelecido pela legislação, enquanto os demais registraram valores expressivamente superiores, chegando a ultrapassar em até 24 vezes o valor permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Os resultados obtidos evidenciam a influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água do rio Jequitinhonha, especialmente em trechos sujeitos ao lançamento de efluentes e à intensa utilização do solo para atividades agropecuárias. Tais condições podem comprometer os usos múltiplos da água, afetar a saúde da

população local e provocar alterações no funcionamento dos ecossistemas aquáticos, reforçando a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água na bacia.

Diante desse cenário, ressalta-se a necessidade da implantação e fortalecimento de políticas públicas voltadas à conservação dos recursos hídricos, incluindo a recuperação das zonas ripárias, a restauração das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e a ampliação das ações de saneamento básico, com ênfase na coleta e no tratamento de efluentes domésticos e industriais. Destaca-se, ainda, a importância da atuação do Comitê de Bacia Hidrográfica na elaboração de planos de manejo e recuperação ambiental que conciliem o desenvolvimento das atividades econômicas com a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Por se tratar de uma bacia de caráter interestadual, torna-se igualmente necessária a articulação entre os órgãos ambientais dos estados envolvidos, visando à implementação integrada das diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Em síntese, os resultados demonstram que, embora parte dos parâmetros analisados apresente condições satisfatórias, persistem problemas relacionados à contaminação da água, principalmente quanto aos coliformes termotolerantes, à turbidez e ao oxigênio dissolvido. Esses aspectos evidenciam a vulnerabilidade ambiental do rio Jequitinhonha e reforçam a necessidade de ações integradas de gestão, conservação e saneamento, fundamentais para a manutenção da qualidade da água, da biodiversidade aquática e do bem-estar das populações que dependem desse importante sistema hidrográfico.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Indicadores de qualidade – Índice de Qualidade de Águas (IQA)**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> . Acesso em: 12 de abr. de 2023.

AZMAN, M. N. et al. Forward Osmosis as a Contemporary Treatment Solution for Mitigating Radionuclide Pollution in Water Bodies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, p. 112542, 2024.

BAI, X. et al. Occurrence, distribution, and seasonality of emerging contaminants in urban watersheds. **Chemosphere**, v. 200, p. 133-142, 2018.

BERNARDI, E. C. S. et al. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 29 abr. 2024.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 10 abr. de 2024.

CAPOANE, V. et al. Uso da terra e qualidade da água: influência das zonas ripárias e úmidas em duas bacias hidrográficas do Planalto do Rio Grande do Sul. **Geografia, ensino & pesquisa**. Santa Maria. Vol. 20, n. 2 (2016), p. 163-175, 2016.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de Março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 12 abr. 2024.

DI LUZIO, M. et al. Integration of watershed tools and swat model into basins 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 38, n. 4, p. 1127-1141, 2002.

EFFENDI, H. et al. Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. **Procedia Environmental Sciences**, v. 24, p. 228-237, 2015.

FERREIRA, K. C. D. et al. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 277-286, 2015.

FIGUEIREDO, C. H. U. et al. Avaliação da qualidade da água e análise do uso e ocupação de áreas de preservação permanente da Cachoeira do pedregulho, no município de Castelo, ES. **Cadernos Camilliani** e-ISSN: 2594-9640, v. 15, n. 3-4, p. 471-488, 2021.

GUZMÁN, L. et al. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. **Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica**, v. 16, n. 1, p. 253-262, 2013.

HACHICH, E. M. et al. Comparison of thermotolerant coliforms and Escherichia coli densities in freshwater bodies. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 43, n. 2, p. 675-681, 2012.

HARFUCH, C. A. C. et al. Qualidade da água no trecho superior da bacia do rio Pirapó: um rio urbano no sul do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 513-538, 2019.

JÚNIOR, A. S. M. et al. Avaliação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em uma lagoa facultativa. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovatio**. v. 6, p. 300-319, 2018.

KANNEL, P. R. et al. Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. **Environmental monitoring and assessment**, v. 132, n. 1, p. 93-110, 2007.

LOLLO, J. A. A influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água. In: AMÉRICO-PINHEIRO et al. (orgs.). **Gestão e Qualidade dos Recursos Hídricos: conceitos e experiências em bacias hidrográficas**. Tupã: ANAP, 2016. 95 p.

NAYMA, J. et al. Comparative Evaluation of Thermotolerant Escherichia coli, Enterococci and Total Coliform as Indicators of Water Quality. **Bangladesh Journal of Microbiology**, v. 34, n. 1, p. 7-14, 2017.

OLIVEIRA, A. J. et al. Coliformes Termotolerantes: bioindicadores da qualidade da água destinada ao consumo humano. **Atas de Saúde Ambiental - ASA**, v. 3, n. 2, p. 24-29, 2015.

OWA, F. W. Water pollution: sources, effects, control and management. **International Letters of Natural Sciences**, v. 3, 2014.

PARUCH, A. M.; MÆHLUM, T. Specific features of Escherichia coli that distinguish it from coliform and thermotolerant coliform bacteria and define it as the most accurate indicator of faecal contamination in the environment. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 140-142, 2012.

PIMENTEL, O. V. P. et al. ANÁLISE DE IQA E IET DO RIACHO DO SILVA. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 4, n. 1, p. 23-23, 2017.

PINTO, J. L. O. F. et al. Proposta de índice de qualidade de água para a lagoa do Apodi, RN, Brasil. **Holos**, v. 2, p. 69-76, 2012.

RODRIGUES, B. M. et al. Avaliação da influência do uso e cobertura da terra na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 738-753, 2019.

SANTOS, G. B. et al. Avaliação dos parâmetros e do índice de qualidade da água para o Arroio Moreira/Fragata, Pelotas/RS. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 287-299, 2020.

SANTOS, N. B. C. et al. Aplicação da Análise Multivariada e da Resolução CONAMA 357/2005 para Análise da Qualidade de Água em Rios de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física** [online], v. 11, n. 5, 2018.

-
- SANTOS, R. A. et al. Balanço hídrico e classificação climática de Köppen e Thornthwaite no município de Feira de Santana (BA). **Geo Uerj**, n. 33, p. e34159-e34159, 2018.
- SANTOS, R. C. L. et al. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 33-46, 2017.
- SHAO, Z. et al. Remote sensing monitoring of multi-scale watersheds impermeability for urban hydrological evaluation. **Remote Sensing of Environment**, v. 232, p. 111338, 2019.
- SILVA, A. R.; FONSECA, A. L. D. Oliveira. Eutrofização dos recursos hídricos como ferramenta para a compreensão das doenças de vinculação hídrica. **Geosul**, v. 31, n. 62, p. 247-270, 2016.
- SOUZA, M. M; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.19, n.3, p.263-274, 2014.
- SWAROWSKY, A. et al. Research connects soil hydrology and stream water chemistry in California oak woodlands. **California Agriculture**, v. 64, p. 78-84, 2010.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos. 1 ed. 632 p. 2011.
- TYAGI, S. et al. Water quality assessment in terms of water quality index. **American Journal of water resources**, v. 1, n. 3, p. 34-38, 2013.
- UDDIN, M. d. G. et al. A comprehensive method for improvement of water quality index (WQI) models for coastal water quality assessment. **Water research**, v. 219, p. 118532, 2022.
- VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados Geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE. 2008. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/thisInformationItemHomePage.html>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- VERCELLINO, R. A. et al. Efluentes de estação de tratamento de esgoto: efeito sobre a qualidade de água de um rio de pequeno porte. **Nativa**, v. 3, n. 2, p. 131-134, 2015.
- VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora da UFMG. 4 ed. 2011.
- WANG, G. et al. Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. **Journal of Forestry Research**, v. 27, p. 967-994, 2016.

Recebido: 30/10/2024 Publicado: 09/08/2026

Editor Geral: Dr. Eliseu Pereira de Brito