

Avaliação do potencial de eutrofização do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil

Evaluation of the eutrophication potential of the Piracicaba River, Minas Gerais, Brazil

Marluce Teixeira Andrade Queiroz^{*}, Tayla Luiza Pereira Borges, Beatriz Luz Carvalho e Jordânia Alexina Carmo Cardeal

Centro Universitário Católica do Leste de Minas Gerais, *Minas Gerais, Brasil.*
**marluce.queiroz@yahoo.com.br*

Submetido em 19/07/2022; Versão revisada em 02/05/2023; Aceito em 09/05/2023

Resumo

Esse estudo refere-se à investigação da dinâmica pertinente às condições de eutrofização na Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba (BHRP), Minas Gerais, Brasil. Esse corpo hídrico abrange importantes atividades econômicas, tal como, a mineração, dentre outras. As estimativas de trofia foram realizadas como base nos dados provenientes dos relatórios do IGAM para o quinquênio compreendido entre 2018 e 2022. Desse modo, com uso de estatística descritiva foram analisados os parâmetros físico-químicos de treze pontos de coletas localizados desde a proximidade da nascente em Catas Altas até o deságue na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) em Ipatinga. Os achados evidenciaram o enriquecimento dos nutrientes dissolvidos na água exibindo relação com as condições de uso e ocupação do solo, tendo como agravante a ausência da mata ciliar em diversos locais da região. Verificou-se aí, a necessidade de aperfeiçoamento do manejo do solo, desse modo, viabilizando condições mais restritivas à descarga de efluentes.

Palavras-chave: Qualidade da água, Uso e ocupação do solo, Enriquecimento de nutrientes

Abstract

This study refers to the investigation of the dynamics related to eutrophication conditions in the Piracicaba River Hydrographic Basin (BHRP), Minas Gerais, Brazil. This water body encompasses important economic activities, such as mining, among others. Trophy estimates were based on data from IGAM reports for the five-year period between 2018 and 2022. Thus, using descriptive statistics, the physicochemical parameters of thirteen collection points located from the proximity of the spring were analyzed. in Catas Altas to the discharge in the Rio Doce Hydrographic Basin (BHRD) in Ipatinga. The findings showed the enrichment of nutrients dissolved in the water, showing a relationship with the conditions of use and occupation of the soil, with the absence of riparian forest in several places in the region as an aggravating factor. There was a need to improve soil management, thus enabling more restrictive conditions for the discharge of effluents.

Keywords: Water quality, Land use and occupation, Nutrient enrichment

INTRODUÇÃO

O incremento da demanda hídrica global mostra relação com o crescimento populacional, também, com o manejo e a ocupação do solo consoante com as políticas públicas de urbanização, produção alimentar e energética, contribuindo para a deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, podendo, desse modo, gerar uma crise de abastecimento de água potável afetando negativamente a população, principalmente, a parcela mais vulnerável que inclui crianças, idosos e os portadores de patologias crônicas (SOUZA *et al.*, 2018).

Outro aspecto, as estimativas nacionais mostram que a indústria de transformação representa o terceiro maior uso da água, atrás do abastecimento humano e da agricultura irrigada (ANA, 2014). Reforça-se que não existe nenhuma forma de produção que dispense o uso da água doce em seu ciclo operacional em pelo menos uma de suas etapas (CHAVES *et al.*, 2020). Em função desse panorama houve a necessidade quanto à elaboração de medidas para assegurar a proteção desse recurso ambiental vulnerável e imprescindível para a manutenção da vida e sistemas manufaturados (QUEIROZ *et al.*, 2015).

Dentre os efeitos nocivos que podem afetar o recurso hídrico destaca-se a eutrofização. O referido fenômeno caracteriza-se pelo incremento de nutrientes em corpos d'água, como rios e lagos, que acabam adquirindo uma coloração turva ficando com níveis baixíssimos de oxigênio dissolvido na água. Isso provoca a morte de diversas espécies animais e vegetais, e tem um altíssimo impacto para os ecossistemas aquáticos (BARBOSA *et al.*, 2017). As fontes geradoras podem ser naturais em função da presença de plantas e animais na bacia de captação, ou, pela ação humana, através do despejo dos efluentes de instalações industriais e ainda, pelo deságue oriundo do cultivo agrícola e da pecuária (HOWE *et al.*, 2016). Tais descargas introduzem

quantidades variáveis de material orgânico no curso d'água que contribui para exacerbar a sua fragilidade ambiental (FRANCO, 2010).

Em adição, também podem ser observados efeitos deletérios pertinentes à qualidade da água em função do arraste de substâncias utilizadas no tratamento do solo evidenciando relação com o escoamento superficial a partir de locais onde o uso de agrotóxicos é realizado em função dos ingredientes ativos presentes na formulação daquelas substâncias, às impurezas dos processos de fabricação e aos aditivos (diluentes ou solventes, conservantes, emulsificantes, dentre outros) (HEMOND e FECHENER-LEVY, 2000). Em outro ângulo, as condições ambientais, temperatura, pluviosidade, intensidade de luz solar, ventos, cobertura vegetal e topografia da região também contribuem para dissipação, biodisponibilidade e transporte dos agrotóxicos no solo (GOMES *et al.*, 2002).

Braga *et al.* (2005) reforçam que existem produtos resultantes da degradação química, microbiológica ou fotoquímica dos ingredientes ativos, com atividade eco toxicológica muitas vezes mais intensa que a molécula original implicando em efeitos nocivos imediatos e de longo prazo. Além disso, outros efluentes industriais e sanitários podem conter elevada carga de material orgânico, compostos recalcitrantes, metais tóxicos e agentes surfactantes. Dentre esses, podem ser citados as águas residuais provenientes dos processos manufatureiros, tal como, a exploração da celulose que muitas vezes demanda o reflorestamento com eucaliptos (ARAÚJO *et al.*, 2016).

Desse modo, as ações antrópicas são consideradas como as principais responsáveis pelo aumento da concentração de nutrientes. Pontua-se que o elevado aporte de nutrientes essenciais para fotótrofos aquáticos, tal como, o nitrogênio (N) e o fósforo (P) em suas formas inorgânicas dissolvidas ($P-PO_4^{3-}$, $N-NO_2^-$, NO_3^- , Nh_4^+) estimula o crescimento de organismos aquáticos nesse ambiente

(NIXON, 1995; JUNIOR *et al.*, 2012). Campanelli *et al.* (2017) reforçam que o excesso daquelas substâncias, entretanto, podem aumentar exponencialmente as populações das algas, briófitas, pteridófitos e macrófitas. Trata-se de um fenômeno biológico bem conhecido e estudado denominado eutrofização, havendo ciência quanto a suas causas e consequências, ainda que pouco se saiba quais as concentrações críticas dos nutrientes citados acima, que desencadeiam o processo (ABE *et al.*, 2009; ABE *et al.*, 2015; QUEIROZ *et al.*, 2016). Sendo assim, ocorrem efeitos insalubres nos ecossistemas naturais impactados e acabam por afetar as populações humanas (KITSIOU e KARYDIS, 2011; SALES e LACERDA, 2017).

Sales e Lacerda (2017) reforçam que o diagnóstico quanto às concentrações daqueles nutrientes é uma das principais medidas para alcançar o conhecimento sobre a qualidade da água em corpos aquáticos, pois permite a avaliação limnológica indicando com boa aproximação o nível de enriquecimento nutricional.

Nesse cenário, adotou-se como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) localizada na porção sudeste do estado de Minas Gerais, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD), Brasil. Trata-se de um recurso hídrico com grande relevância para a região abarcando diversas funções, tais como, o guarnecimento industrial, a geração de energia, bem como o abastecimento humano, segundo maior uso, devido à densidade populacional ao redor da sua área de captação (QUEIROZ, 2017).

Nesse contexto, foram realizadas análises em relação aos agentes degradativos existentes na BHRP pertinentes ao processo de eutrofização utilizando como fonte de dados os relatórios do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para o quinquênio compreendido entre janeiro/2018 e

dezembro/2022. Os achados físico-químicos e biológicos foram tratados cientificamente com uso de estatística descritiva tendo como objetivos a mensuração do grau de trofia, o diagnóstico quanto à presença de fontes poluidoras e a verificação quanto ao atendimento dos limites estabelecidos em legislação através do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) está localizada na porção leste do Estado de Minas Gerais (MG) e apresenta uma área correspondente a 5.465,38 quilômetros quadrados, representando cerca de 1% do território mineiro. O rio Piracicaba possui 241 quilômetros de extensão e sendo o seu nascedouro no município de Ouro Preto e seguindo até a divisa das cidades de Ipatinga e Timóteo, onde se encontra com o rio Doce. Entre os seus afluentes podem ser citados os rios Turvo, Conceição, Una, Machado, Santa Bárbara, Peixe e Prata. Além desses considerados os mais significativos, ao longo do seu curso, recebe a descarga de quase uma centena de córregos e ribeirões, os quais compõem sua rede de drenagem, desse modo, abrangendo, de forma total ou parcial, 21 municípios (IGAM, 2010; IBGE, 2010).

Especificamente, o uso e ocupação do território abrangido pela BHRP (Figura 1) também contempla a mineração e diversas outras atividades, tais como, a agrícola (pastagem e cultivo), o plantio de eucalipto, dentre outras, apresentando extensas áreas degradadas. Nesse contexto, as distorções ambientais decorrentes do modelo de exploração na área de estudo são extremamente relevantes do ponto vista econômico, social e ambiental, exercendo um forte impacto sobre os recursos hídricos (QUEIROZ, 2017).

Em toda a extensão da BHRP são identificados diversos empreendimentos econômicos e conglomerados urbanos implicando no despejo de efluentes contendo nutrientes, substâncias recalcitrantes e metais tóxicos. Nesse quesito, merece atenção a Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA) formada por quatro municípios principais sendo Coronel Fabriciano, Ipatinga, Santana do Paraíso e Timóteo (IGAM, 2010).

O monitoramento da qualidade da água da BHRP é realizado através do IGAM que dispõe de diversas estações para amostragens (Figura 1) periódicas que atendem os padrões técnicos pertinentes à coleta e analíticos. Essa região é identificada como Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – DO2 (UPGRH-DO2), sendo esta detentora do maior número de estações de coleta na BHRD.

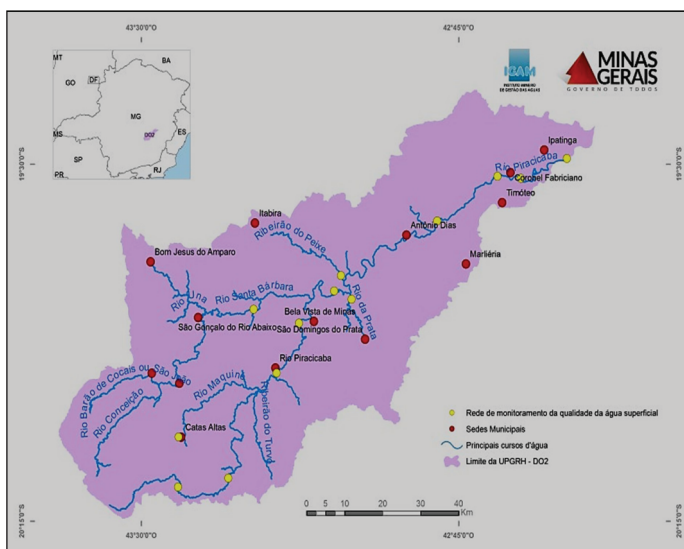


Figura 1: Localização da BHRP em Minas Gerais, Brasil. Fonte: IGAM, 2016

Parâmetros analíticos técnicos

Nesse estudo, priorizou-se a investigação quanto ao Índice de Estado Trófico (IET) nos diversos locais de amostragens realizadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) ao longo da BHRP. Os dados secundários foram extraídos dos relatórios do IGAM e sendo aplicado o cálculo proposto por Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004) para o IET com base nas

concentrações de clorofila – a e fósforo total. Desse modo, os valores de transparência não foram aplicados para investigação do IET. Braga e Becker (2020) pontuam que os valores de transparência muitas vezes podem não representar o estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevação da turbidez.

$$IET(P_{TOTAL}) = 10 \times \left[6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \times (\ln P_{TOTAL})}{\ln 2} \right) \right] - 20 \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo: P_{TOTAL} = concentração de fósforo total na superfície da água (mg/m^3)

Além disso, também foi utilizado o Índice de Estado Trófico – Clorofila a (IET – Cla) determinado conforme a equação 2 (Carlson, 1977; Lamparelli, 2004):

$$IET(Cla) = 10 \times \left[6 - \left(\frac{-0,7 - 0,6 \times (\ln Cla)}{\ln 2} \right) \right] - 20 \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo: Cla = concentração de clorofila a na superfície da água (mg/m^3)

Queiroz *et al.* (2015) destacam que os resultados na água superficial pertinentes ao fósforo total ($IET(P_{TOTAL})$) devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, considerando que esse nutriente se apresenta como desencadeador do fenômeno bioquímico. Em outro ângulo dessa problemática, a mensuração do $IET(Cla)$, por sua vez, constitui-se em uma forma de analisar probabilisticamente a resposta do corpo hídrico quanto à proliferação de algas nas localidades avaliadas (QUEIROZ, 2017).

Além disso, consoante com as diretrizes dos órgãos ambientais foram obtidas as médias simples correspondentes aos resultados do $IET(P_{TOTAL})$ e do $IET(Cla)$ para todas as amostragens realizadas de acordo com a equação 3 (Carlson, 1977; Lamparelli, 2004):

$$IET = \left[\frac{IET(P_{TOTAL}) + IET(Cla)}{2} \right] \quad (\text{Equação 3})$$

Tais indicadores possibilitam a classificação do corpo hídrico em seis categorias distintas quanto ao estado trófico (CETESB,2014), sendo,ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico ou hipereutrófico (Tabela 1).

Tabela 1

Classificação do estado trófico para rios e seus respectivos Índice de Estado Trófico (IET), resultados pertinentes ao Índice de Estado Trófico Fósforo Total (IET(P_{TOTAL})) e Índice de Estado Trófico Clorofila a (IET(Cla))

Estado trófico	Ponderação IET	IET – P _{Total} (mg/m ³)	IET – Cla (mg/m ³)
Ultraoligotrófico	IET≤47	P _{Total} ≤13	Cla ≤ 0,74
Oligotrófico	47<IET≤52	13< P _{Total} ≤35	0,74< Cla ≤ 1,31
Mesotrófico	52<IET≤59	35< P _{Total} ≤137	1,31 < Cla ≤ 2,96
Eutrófico	59<IET≤63	137< P _{Total} ≤296	2,96 < Cla ≤ 4,70
Supereutrófico	63<IET≤ 67	296< P _{Total} ≤640	4,70 < Cla ≤7,46
Hipereutrófico	IET>67	640<P _{Total}	7,46 < Cla

Fonte: CETESB, 2014.

Estações de monitoramento

No Brasil, a qualidade da água superficial doce (baixa quantidade de sais minerais) deve atender às diretrizes do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que estabelece no âmbito de suas competências, as normas e padrões que devem ser respeitados para evitar a degradação do curso d'água. Conforme o referido órgão ambiental é identificado cinco classes para água superficial doce, desse modo, constituindo-se em parâmetro legal balizador, portanto, apresenta-se como uma condição fundamental o seu reconhecimento para a gestão apropriada do recurso ambiental. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) com esse enquadramento em classes de água conforme os usos (Quadro 1) torna-se possível garantir que o corpo hídrico apresente qualidade compatível com os mais severos usos a que se destinam e diminuindo os gastos de combate à poluição das águas, por meio de ações preventivas contínuas. Pondera-se que a descarga de efluentes pode ocorrer desde que, haja a observância dessa classificação, caso contrário, pode gerar penalidades, além de acarretar em danos institucionais e especialmente para o meio ambiente (IGAM, 2019).

Quadro 1

Classes da água doce e destinação

Classe da água doce	Destinação
Classe especial	a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e e) à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
Classe 2	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) à aquíicultura e à atividade de pesca.
Classe 3	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais.
Classe 4	a) à navegação; e b) à harmonia paisagística.

Fonte: CONAMA n° 357/2005 com alterações das resoluções n° 393/2007, n° 397/2008, n° 410/2009 e n° 430/2011.

Especificamente na região desse estudo localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) é atribuído ao corpo hídrico às classes 1 e 2. Sendo assim, conforme o CONAMA n° 357/2005 alterado pelas resoluções do CONAMA n° 393/2007, n° 397/2008, n° 410/2009 e n° 430/2011 são identificados valores limites para as variáveis físico-químicas, dentre esses, destacou-se a clorofila –a, oxigênio dissolvido, fósforo total e nitrato (Tabela 2).

Tabela 2

Padrões de qualidade da água doce superficial

Parâmetro	Padrão Classe 1	Padrão Classe 2
Clorofila-a	Máx. 10 µg.L ⁻¹	Máx. 30 µg.L ⁻¹
Oxigênio Dissolvido	Mín. 6 mg.L ⁻¹ O ₂	Mín. 5 mg.L ⁻¹ O ₂
Fósforo Total	Máx. 0,1 mg.L ⁻¹ P	Máx. 0,1 mg.L ⁻¹ P
Nitrato	Máx. 10,0 mg.L ⁻¹ N	Máx. 10,0 mg.L ⁻¹ N

Fonte: CONAMA n° 357/2005 com alterações das resoluções n° 393/2007, n° 397/2008, n° 410/2009 e n° 430/2011

Para a caracterização da qualidade da água e grau de trofia na BHRP foram utilizados os dados provenientes dos relatórios do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), a partir dos resultados de treze (13) estações de monitoramento (Quadro 2) posicionadas com a pretensão de evidenciar os impactos das condições de exploração econômica existentes na região de estudo em relação a esse recurso ambiental vulnerável.

Dentre os principais fatores de pressão antrópicos atribuídos para as localidades monitoradas podem ser citados, mineração, atividades agrossilvipastoril, Usinas Hidrelétricas (UHE), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), ausência de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), dentre outras. Em adição, pontua-se que a existência dos diversos reservatórios hidrelétricos implica na consolidação de um ambiente lêntico sendo fator coadjuvante na promoção da desestruturação do meio físico, químico e alterações na dinâmica e composição das comunidades biológicas, asseverando os efeitos ecológicos causados por múltiplas fontes de poluição (CALLISTO *et al.*, 2001).

Quadro 2

Localização das estações de monitoramento do IGAM na BHRP.

Estação	Classe	Município	Curso d'água	Principais atividades antrópicas
RD025	Classe 2	Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	Mineração, atividade agrossilvipastoril, UHE e ausência de ETE
RD026	Classe 2	João Monlevade	Rio Piracicaba	Indústria química e metalúrgica, PCH, ETE* e aterro sanitário
RD027	Classe 2	São Gonçalo do Rio Abaixo	Rio Santa Bárbara	Mineração, aterro sanitário de pequeno porte e ausência de ETE
RD029	Classe 2	Nova Era	Rio Piracicaba	Ausência de ETE
RD030	Classe 2	Nova Era	Rio do Peixe	Mineração, suinocultura, abatedouro, UHE, PCH e ausência de ETE
RD031	Classe 2	Timóteo	Rio Piracicaba	Mineração, indústria química e metalúrgica, ETE**
RD032	Classe 2	Antônio Dias	Rio Piracicaba	Mineração, UHE, PCH, indústria química, ausência de ETE
RD034	Classe 2	Coronel Fabriciano	Rio Piracicaba	PCH, indústria química e matadouro, ETE**
RD035	Classe 2	Ipatinga	Rio Doce	Mineração, indústria metalúrgica, alimentícia e química, ETE
RD074	Classe 2	Mariana	Rio Piracicaba	Mineração
RD075	Classe 2	Alvinópolis	Rio Piracicaba	Ausência de ETE
RD076	Classe 1	Nova Era	Rio da Prata	Ausência de ETE
RD099	Classe 1	Catas Altas	Rio Maquiné	Mineração

* Funcionamento não iniciado; ** Início do funcionamento: 09/2019.
Fonte: IGAM, 2019; IDE-SISEMA, 2020

Em relação à qualidade da água, os pontos RD076 e RD099 (Quadro 1), localizados, respectivamente, no rio do Prata, em Nova Era, e no rio Maquiné, em Catas Altas, tiveram seus parâmetros físico-químicos e biológicos avaliados quanto aos padrões e condições de Classe 1 e os demais pontos de Classe 2 (Tabela 1), desse modo, conforme parâmetros do CONAMA nº 357/2005 e alterações das resoluções nº 393/2007, nº 397/2008, nº 410/2009 e nº 430/2011, podem ser utilizadas para abastecimento doméstico após desinfecção simples e tratamento convencional respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do Índice de Estado Trófico (IET)

De maneira geral, a maioria dos pontos, considerando a média em cada ano, apresentou grau de trofia variando entre as diversas categorias pertinentes aos estados tróficos no quinquênio adotado para esse estudo (Figura 2). Esses resultados indicaram que a BHRP representava um corpo d'água com interferências na qualidade da água com preponderância dos níveis aceitáveis, para a maioria das estações de monitoramento. No entanto, também foi possível identificar, em todos os anos no período desse estudo, pontos extremos os quais apresentaram estados tróficos nas categorias eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico em períodos com diferentes níveis de precipitação pluviométrica. Tais alternâncias podem ser derivadas da elevação da concentração de fósforo e biomassa fito planctônica na estação seca, por outro ângulo, na estação chuvosa ocorrem condições, favoráveis ao carregamento de resíduos para o curso hídrico (FARAGE *et al.*, 2010; QUEIROZ *et al.*, 2016).

As categorias Ultraoligotrófico e Oligotrófico, foram equivalentes a cerca de 23,10% das coletas realizadas no período seco e 16,2% relativas ao período chuvoso na BHRP. As amostras, classificadas como Mesotróficas, ocorreram nos pontos RD025

(Rio Piracicaba), RD026 (João Monlevade), RD029 (Nova Era), RD030 (Nova Era), RD034 (Coronel Fabriciano), RD035 (Ipatinga) RD 074 (Mariana), RD 075 (Alvinópolis) e RD076 (Nova Era) em períodos pluviométricos distintos (seco e chuvoso) (Figura 2), alertando para as condições degradativas existentes em cada localidade de coleta.

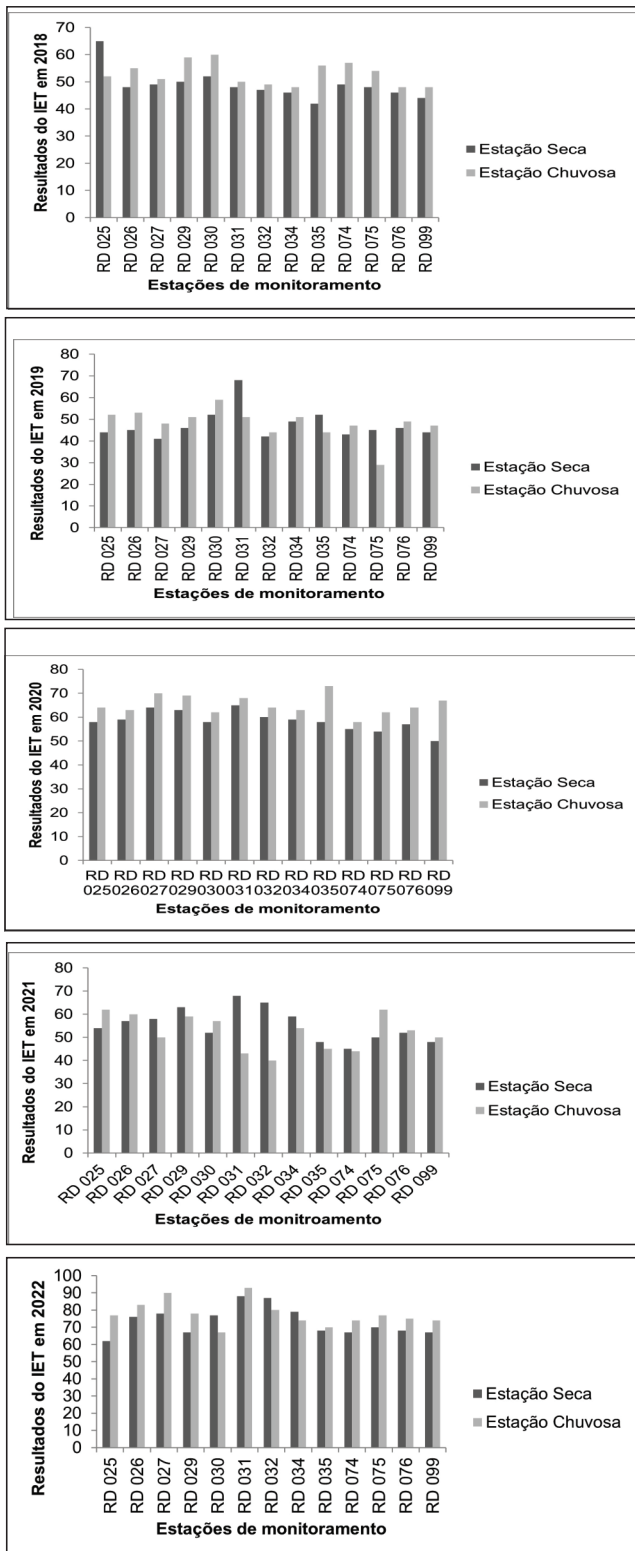


Figura 2: Médias anuais do IET na BHRP distribuídas no período seco e chuvoso no quinquênio entre 2018 e 2022. Fonte (Adaptado): Autor

As categorias Ultraoligotrófico e Oligotrófico, foram equivalentes a cerca de 23,10% das coletas realizadas no período seco e 16,2% relativas ao período chuvoso na BHRP. As amostras, classificadas como Mesotróficas, ocorreram nos pontos RD025 (Rio Piracicaba), RD026 (João Monlevade), RD029 (Nova Era), RD030 (Nova Era), RD034 (Coronel Fabriciano), RD035 (Ipatinga) RD 074 (Mariana), RD 075 (Alvinópolis) e RD076 (Nova Era) em períodos pluviométricos distintos (seco e chuvoso) (Figura 2), alertando para as condições degradativas existentes em cada localidade de coleta.

As cidades de Ipatinga (RD035) e Coronel Fabriciano (RD034) integrantes da RMVA são sedes de importantes complexos industriais, os quais agregam em seus efluentes aos rejeitos da região urbana. Destaca-se que nessas cidades é detectada a existência da siderurgia não localizada em distrito industrial, com geração de efluentes líquidos, dentre esses, provenientes das unidades de coqueria, lingotamento contínuo e laminação com despejos contendo amônia, benzeno, xileno, óleos e ácidos (MARROQUIM *et al.*, 2013).

Outro agravante, o local de amostragens em RD035 situa-se após a foz do rio Piracicaba, já no curso referente ao rio Doce. Logo, este ponto recebe aporte dos dois rios, desse modo, apresentando descargas contendo quantidades significativas de nitrogênio e fósforo. Reforça-se, o rio Piracicaba deságua no rio Doce, nas proximidades do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) que se encontra submetido a desmatamentos que ameaçam as matas ciliares, as áreas de recarga e as nascentes da BHRD (BARROS *et al.*, 2013).

Pontua-se quanto à elevada densidade demográfica (Tabela 3) dos municípios de João Monlevade (RD026), Coronel Fabriciano (RD034) e Timóteo (RD 031) que não dispunham do tratamento sanitário no período estudado. Essa condição pode ser apontada com um fator contributivo exacerbante relacionado com a degradação da qualidade da água

nutrientes relaciona-se com o uso de fertilizantes, crescimento populacional e industrialização ao longo da bacia de captação com repercussões na qualidade da água (QUEIROZ *et al.*, 2015).

Outro fator agravante para o grau de trofia em RD034 (Coronel Fabriciano) mostra relação com a área rural em função do incremento antrópico do teor de fósforo decorrente das atividades agrossilvipastoril. Altas concentrações deste nutriente estão associadas à falta de conservação e manejo adequado da terra, o que favorece a lixiviação e o transporte de fertilizantes das lavouras (REIS *et al.*, 2017). Por outro lado, em RD031 (Timóteo) possui um importante polo siderúrgico que em conjunto com a densa ocupação urbana, que se configuram como um dos seus problemas, assim sendo, caracterizando-se como uma fonte poluidora com extrema importância. Pondera-se que a densidade populacional é cerca de quinze vezes (15) superior (Tabela 3) àquela encontrada em Rio Piracicaba (RD034) (IBGE, 2023). Sendo assim, os aportes orgânicos associados aos despejos urbanos sem tratamento ou tratados de forma inadequada asseveram as condições propícias para o desencadeamento do processo de eutrofização (MAGALHÃES *et al.*, 2015).

Em contrapartida, em RD031(Timóteo) ocorreu avanço importante e o esgoto sanitário passou a ser tratado em setembro de 2019, pois até então, os resíduos sólidos eram depositados em aterro sanitário, em outro município e, os efluentes domésticos recebidos pelo rio Piracicaba. Entretanto, ressalta-se que o município carece de áreas adequadas para sua expansão, desse modo, a ocupação desordenada promove distorções ambientes na BHRP e em suas áreas de influência, dentre essas, no Parque Estadual do Rio Doce (PERD) (QUEIROZ *et al.*, 20016; QUEIROZ, 2017).

Do mesmo modo, os extremos potenciais de trofia das amostragens no ponto RD030, em Nova Era, também podem ser relacionados ao esgotamento urbano, já que a cidade não possui uma ETE e conta

com um aterro sanitário, em outro município, onde um dos principais receptores dos efluentes orgânicos é o Rio Piracicaba (FEAM, 2023).

Ademais, o ponto RD030, recebe os aportes da área urbana de Itabira, provenientes do Córrego da Prata e do Ribeirão do Peixe que deságuam no rio do Peixe, sub-bacia do rio Piracicaba. O esgotamento sanitário de Itabira recebe tratamento, sendo a estação localizada a montante da nascente do Rio do Peixe assim, na localidade de Nova Era, o corpo hídrico também recebe influência deste efluente com elevada carga de matéria orgânica. Tanto Nova Era, quanto Itabira possuem grandes áreas de atividades minerárias equivalentes a lavras de minério de ferro, extração de areia e cascalho. Além disso, as cidades possuem plantas de indústrias química (têxtil e cimenteira), metalúrgica (ferro gusa, ligas e artigos metálicos sem tratamento químico) e alimentícia (abates de aves e animais de pequeno e grande porte) (IDE-SISEMA, 2020).

Em relação à localidade de amostragens no Rio do Peixe, verificou-se que em 2017 o IET para a clorofila-a obteve valor igual a 7,84, correspondendo à hipertrofia. Considerando que as condições tróficas em anos anteriores, entende-se que o agravamento denota possível relação característica do processo lento e gradual da eutrofização conforme observado por Braga *et al.* (2005). Ademais, a condição chuvosa, pode ter favorecido a quantificação do indicador de estado trófico no mesmo período da acumulação de nutrientes, uma vez que a precipitação pode ter facilitado o escoamento superficial (ANDRIETTI *et al.*, 2016).

Atendimento dos padrões de qualidade

Em geral, as condições oferecidas pela BHRP mantiveram os parâmetros de qualidade dentro dos limites da legislação. Apesar dos contribuintes poluidores discutidos anteriormente, cerca de 90% dos dados amostrais estiveram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

em função do lançamento das descargas de efluentes não tratados apresentando teores elevados de matéria orgânica no corpo lótico (IBGE, 2023; FEAM, 2019).

Tabela 3

Densidade demográfica de alguns municípios da BHRP

Município	Densidade Demográfica
João Monlevade (RD 026)	742,35 hab/km ² *
Nova Era (RD 029)	48,43 hab/km ² *
Coronel Fabriciano (RD 034)	468,67 hab/km ² *
Timóteo (RD 031)	562,70 hab/km ² *
Rio Piracicaba (RD 025)	37,93 hab/km ² *

Fonte: *IBGE (2023)

Em outro ângulo, foram detectadas condições eutróficas ($59 < IET \leq 63$), supereutróficas ($63 < IET \leq 67$) e hipereutróficas ($IET > 67$) em diversos locais da BHRP. Reforça-se que a pior condição (hipereutrófica) também foi identificada para diferentes condições pluviométricas. Esses achados evidenciaram que a redução do volume das águas em função do período de estiagem contribui para elevação da concentração de nutrientes implicando em condições contributivas para prejuízos relacionados com a utilização de suas águas para os diversos usos, tal como, irrigação, abastecimento urbano e industrial (ANDRIETTI *et al.*, 2016).

Andrietti *et al.* (2016) reforçam que na estação seca os rios recebem aportes provenientes do escoamento subsuperficial e as moléculas poluentes podem adentrar nos corpos d'água. Em complemento, Silva (2018) pondera que a ausência da diluição acarretada pelas chuvas contribui para aumentar a concentração dos nutrientes. Além disso, os efeitos dos adubos utilizados por agricultores também contribuem com as quantidades elevadas de nitrogênio e fósforo, frequentemente superiores à capacidade de assimilação dos vegetais (IMASUL, 2020).

Destaca-se que nas localidades RD025, RD030 e RD031 foram identificadas condições relacionadas com a substituição das matas ciliares por

vegetais agricultáveis. Conforme Von Sperling (2017) tal situação pode contribuir para a redução na capacidade de infiltração de água no solo, desse modo, nutrientes adicionados em excesso tendem a escoar superficialmente pelo terreno até atingir o corpo hídrico.

As condições supereutrófica e eutrófica na estação de monitoramento RD030 em Rio do Peixe (Nova Era) possivelmente relacionadas com o carregamento de residual orgânico conforme observado por Queiroz *et al.* (2019). Em complemento, as variações nas concentrações desses nutrientes não se dão apenas pelo regime de escoamento superficial, mas também pela descarga de efluentes industriais e, principalmente, de esgotos urbanos. Assim, a ausência de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) observada nos municípios de Rio Piracicaba (RD025), Nova Era (RD030) e Timóteo (RD031) pode ser o agravante importante para as elevadas condições do grau trófico.

Além disso, identificou-se existência de aproveitamento hidrelétrico com o represamento do rio Piracicaba nos municípios de Rio Piracicaba e João Monlevade caracterizando-se como um ambiente lântico. Desse modo, conforme observado por Queiroz (2017) esses reservatórios são locais propícios para o favorecimento do processo de eutrofização em função do tempo de residência longo e decomposição do material vegetal após o enchimento do reservatório. Além disso, a partir da estabilização do sistema, essa condição acaba por ocupar posição secundária. Tendo em vista que para o sistema consolidado, a contribuição de cada tributário passa a ser ainda mais destacada. Trata-se de corpo d'água que recebe influência ininterrupta da bacia de formação e ocupação do solo (agropecuária, indústrias, densidade demográfica, conservação das margens e pluviometria), agregando valores aos seus parâmetros físico-químicos e, desse modo, afetando a qualidade da água superficial e subterrânea (ELS, 2014). Destaca-se que o incremento dos teores de

Os padrões extrapolados de formas pontuais dizem respeito aos valores médios anuais de nitrogênio total e fósforo total.

Em relação ao nitrogênio total, constatou-se que a produção primária de fitoplâncton na BHRP foi limitada pelo nitrogênio em apenas 1,5% de 267 amostras. Esta condição provocou o aumento dos valores médios anuais e a única extrapolação do limite máximo de $2,18 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$ conforme a referida legislação ambiental. Essa condição favoreceu a única desconformidade observada obtida no ponto RD031 (Timóteo) no período seco que pode ser justificada pela hipsometria e fontes difusas.

Quanto ao fósforo total, o limite máximo de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para águas de Classe 1 e 2, foi extrapolado em 13% das amostras analisadas. Os valores médios máximos observados nos pontos RD026 (João Monlevade), RD029 (Antônio Dias), RD031 (Timóteo), RD034 (Coronel Fabriciano) e RD076 (Nova Era) podem ser relacionados às atividades de suinocultura (RD076) e abatedouro (RD034), e a ausência de tratamento do esgotamento sanitário, característica comum aos municípios relacionados.

A prevalência dos teores mais elevados de fósforo total foi durante a estação chuvosa, o que denota relação com o carreamento de águas residuais provenientes de indústrias e atividades agrícolas. Esses resultados mostraram consonância com diversos estudos, dentre esses, podem ser citados Bu *et al.* (2014), Assis e Lopes (2017), Afed Ullah *et al.* (2018) e Piazzi *et al.* (2018). Especificamente em 2019, os valores mais elevados relativos a este parâmetro foram observados no período seco devido à maior estabilidade dos processos de carreamento pela baixa variabilidade pluviométrica.

Por outro lado, os menores teores observados, correspondem às amostras recolhidas em Alvinópolis (RD075) e Catas Altas (RD099). O município de Alvinópolis não conta com ETE, mas detém baixa densidade demográfica, assim como Catas Altas, que por outro lado possui 100% de seu efluente sanitário

tratado (ANA, 2023). Ademais, o ponto RD099 é localizado em águas de Classe 1, caracterizadas por baixos níveis de poluição por serem destinadas a recreação de contato primário, consumo humano após tratamento simplificado, entre outros (CONAMA, 2005). Estas cidades apresentaram também, por consequência, menores potenciais de eutrofização (ultraoligotrófico e oligotrófico), uma vez que o fósforo é nutriente essencial ao processo de floração de algas (SILVA, 2019).

Em prosseguimento quanto ao Oxigênio Dissolvido (OD) foram detectadas boas condições. Em nenhuma amostragem a concentração de OD esteve abaixo do valor mínimo determinado pelo CONAMA 357/2005, sendo que os valores médios estiveram próximos de 8 mg.L^{-1} , concentração satisfatória para manutenção da vida subaquática presente na BHRP conforme observado por Queiroz (2017).

Destacam-se, as concentrações de OD também podem ser usadas na determinação da poluição trófica de um corpo d'água, pois, a variação na concentração dos nutrientes (fósforo e/ou nitrogênio total) que podem causar uma redução do OD favorecendo, assim, o processo de eutrofização. No entanto, é importante reforçar, sua concentração no meio aquático é inconstante, sendo influenciada também por variações da temperatura da água, das atividades metabólicas da flora e fauna, e por fatores físicos do rio, como a turbulência da água e vazão (GERTEL; TAU-K-TORNISIELO; MALAGUTTI, 2003).

Queiroz *et al.* (2019) também relatam a ocorrência de elevados teores de OD na BHRP favorecendo a degradação da matéria orgânica. Entretanto, pontuam quanto à existência de contaminação nesse corpo hídrico contribuindo para o incremento dos teores de coliformes termotolerantes. Nesse estudo, também foi possível identificar a necessidade quanto à priorização de investimentos relacionados com a implantação de estações de tratamentos de efluentes sanitários, ou a melhoria

das existentes conforme observado também por Cunha e Ferreira (2006).

Em adição, para os valores médios anuais obtidos para o parâmetro de clorofila-a não foram detectadas condições pertinentes à extrapolação do limite de 10 µg.L⁻¹, para águas de Classe 1, e 30 µg.L⁻¹, para Classe 2 conforme o CONAMA n° 357/2005.

Destaca-se que conforme a Portaria n° 2914/2011, a clorofila-a deve ser considerada como indicador do potencial aumento da densidade de cianobactérias, embora, ela possa ocorrer também em outros grupos do fitoplâncton. Especificamente nesse estudo, os valores detectados indicaram pouca presença da biomassa fitoplanctônica. A baixa disponibilidade de luz ou baixas concentrações de fósforo podem ser relacionadas a este achado, visto que essas condições são determinantes para a produtividade primária (SILVA, 2019). Ainda que tenham produção de rejeitos da população no entorno das áreas analisadas, a influência antrópica no rio, em relação a esse parâmetro, foi baixa.

CONCLUSÕES

Esse estudo permitiu identificar efeitos nocivos na qualidade da água da BHRP e evidenciando relação com os tipos de uso e ocupação do solo nessa região. De modo geral, é necessário realizar o tratamento do esgoto doméstico em todos os municípios da região, desse modo, reduzindo a entrada de nutrientes no curso hídrico e em consequência o processo de eutrofização. Pontua-se também que a poluição não pontual, difusa, também deve ser evitada, mostrando-se importante para a manutenção da vida aquática.

Pondera-se quanto à necessidade do melhor planejamento em relação aos mecanismos de exploração do recurso hídrico atendendo a legislação ambiental e aplicando ações para minimizar os impactos ambientais detectados e recuperar a qualidade da água da BHRP. Para tanto, exige-se monitoramento sistemático com intervenções

imediatas visando sua recuperação e preservação dos seus componentes bióticos e abióticos. Dentre esses, destaca-se a urgência quanto ao tratamento de esgoto sanitário em toda a região abrangida pelo rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional das Águas (ANA).** Atlas Esgotos, 2013. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>>.. Acesso em: 01 mai. 2022.
- Agência Nacional das Águas (ANA).** Apoio à gestão de recursos hídricos, 2014. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br>>. Acesso em: 02 mai. 2022.
- ABE, D. S.; SIDAGIS GALLI, C.; TUNDISI, T. M.; TUNDISI, J. E. M.; GRIMBERG, D. E.; MEDEIROS, G. R.; TEIXEIRA-SILVA, V.; TUNDISI, J. G.. The effect of eutrophication on greenhouse gas emissions in three reservoirs of the Middle Tietê River, Southeastern Brazil. **Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology**, v. 30, p. 822-825, 2009.
- ABE, D. S.; SIDAGIS-GALLI, C.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. E. M.; BLANCO, F. P.; FARIA, C.R.L.; TUNDISI, J. G. . Additional list of species of aquatic macrophytes in the lower basin of the Xingu River. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, p. 70-77, 2015.
- ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A. G. do; ALMEIDA, F. T. de; BONGIOVANI, M. C.; SCHNEIDER, R. M. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Revista Ambiente e Água**, v.11(1):162-175, 2016. Disponível em: . <<http://hdl.handle.net/11449/168333>> Acesso em: 15 mai. 2022.
- ARAÚJO, L. A. O.; FOSCHINI, C. R.; JASINEVÍCIUS, R. G.; FORTULAN, C. A. *Precision dicing of hard materials with abrasive blade*. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.86:9-12, 2016.
- BARROS, C. F. A.; SANTOS, A. M. M.; BARBOSA, F. A. R. Phytoplankton diversity in the middle Rio Doce lake system, Minas Gerais, Southeast Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, 27(2): 327-346, 2013.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.. **Introdução À Engenharia Ambiental: O Desafio Do**

- Desenvolvimento Sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 318p., 2005.
- BRAGA, G. G.; BECKER, V. Influence of water volume reduction on the phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake: A comparison of two morphofunctional approaches. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, **92**(1):1-17, 2020.
- CAMPANELLI, L. C.; TUNDISI, J. G.; ABE D. S.; SIDAGIS GALLI, C.; MATSUMURA-TUNDISI, T.. Record of the occurrence of dinoflagellate *Ceratium furcoides* in a fish farming lake located in the countryside of São Carlos (SP, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 77, p. 426-427, 2017.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n.º 274**, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Revoga os artigos 26 e 34 da Resolução n.º 20/86 (revogada pela Resolução n.º 357/05). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 15 mai. 2022.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**. Resolução n.º 357 de 17 de março de 2005. Alterada pelas Resoluções n.º 370, de 2006, n.º 397, de 2008, n.º 410, de 2009, e n.º 430, de 2011. Complementada pela Resolução n.º 393, de 2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em 15/05/2022.
- BU, H.; MENG, W.; ZHANG, Y.; WAN, J. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. 2014. **Ecological Indicators**, v. 41, p. 187-197. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.003>>. Acesso: 02 jul. 2022.
- CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**. **22** (2): 361-369, 1977.
- CHAVES, V. DE S.; MARCON, J. L.; DUNCAN, W. P.; ALVES-GOMES, J. A. Acute toxicity of a deltamethrin based pesticide (DBP) to the Neotropical electric fish *Microsternarchus cf. bilineatus* (Gymnotiformes). **Acta Amazônica**, v. 50, 355-362, 2020.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Indicadores de qualidade das águas. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/>>, 2014. Acesso em: 02 jul. 2022.
- COOPER, R. N., WISSEL, B. Loss of trophic complexity in saline prairie lakes as indicated by stable-isotope based community-metrics. **Aquatic Biosystems**, v. 8: pp. 60-72., 2012.
- CUNHA, C. L. N.; FERREIRA, A. P.. Modelagem matemática para avaliação dos efeitos de despejos orgânicos nas condições sanitárias de águas ambientais. **Caderno de Saúde Pública**, v. 22(8): pp. 1715-1725, 2006.
- ELS, R. H. V. Wetenschap over de grens. **Academic Journal of Suriname**, Vol. 5, pp. 461-463, 2014.
- FARAGE, J. A. P.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D; BORGES, A. C.. Determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do Rio Pomba. **Engenharia na Agricultura**, v. 18, n. 4, pp.. 322- 329, 2010.
- FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente**. Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2018. Belo Horizonte: Feam, 2019.
- FRANCO, G. B. **Fragilidade ambiental e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Almada, Bahia**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, 345 p., 2010.
- GERTEL, P.; TAUKE-TORNISIELO, S. M.; MALAGUTTI, E. N. Qualidade das Águas dos Córregos São Joaquim e Ribeirão Claro, Bacia do rio Corumbataí, SP, Brasil. **Holos Environment**, v. 3, n. 2, pp. 103-119, 2003.
- GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M. C. P. Y.. Avaliação da vulnerabilidade natural do solo em áreas agrícolas: subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.12, n. 1, pp.: 169-179, 2002.
- HEMOND, H. F; FECHNER-LEVY, E. J. **Chemical fate and transport in the environment**. 2ª ed. San Diego: Academic Press, 433 p, 2000.
- HOWE, K. J.; HAND, D. W.; CRITTENDEN, J. C.; TRUSSELL, R. R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Princípios de tratamento de água**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 624 p., 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)**. Cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 27 abr.2023.
- IDE-SISEMA, Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. 2020. WebGIS. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acesso em: 15 mai. 2022.
- IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas**. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e

Gestão dos Recursos Hídricos Piracicaba, 2010. Belo Horizonte.

_____. Portal dos Comitês: DO2 - CBH do Rio Piracicaba, 2016. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais-mg/do2-cbh-piracicaba>>. Acesso: 03 jul. 2022.

_____. Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2018: resumo executivo anual, 2019, Belo Horizonte: **IGAM**, 327 p.

IMASUL - Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul. Significado da cor para o tratamento sanitário da água, 2017. Disponível em:

< <http://www.licenciamentoambiental.eng.br/>> . Acesso em: 23 dez. 2020.

JUNIOR, L. C. C.; BRANDINI, N.; KNOPPERS, B. A.; SOUZA, W. F. de; MEDEIROS, P. R. P. Comparação de Modelos e Índices para Avaliação do Estado Trófico do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL). **Geochimica Brasiliensis**, v. 26(1), pp. 7-18, 2012.

KITSIOU, D.; KARYDIS, M. Coastal marine eutrophication assessment: A review on data analysis. **Environment International**, v. 37(1), pp. 778-801, 2011.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese (Doutorado Ciência na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos). Universidade de São Paulo, 235 p, 2004.

MAGALHAES, R. C. ; ANDRADE, C. F. OLIVEIRA, J. N. P. ; MANJATE, E. S. Avaliação de políticas públicas de saneamento: o caso do Programa Minas Trata Esgoto. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, pp. 62-75, 2015.

MARROQUIM, M. C.G.; D'ABREU, J. C. *Metalurgia, Siderurgia y Soldadura : Cinetica de Reduccion de Ferrita de Cinc Contenida en Plovos de Aceria Electrica por Mezclas de CO y CO2*. **Revista ABM - metalurgia, materiais & mineração**, v. 69, pp. 12-16, 2013.

NIXON, S. W. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. **Ophelia**, v.41(1), pp. 199 - 219, 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00785236.1995.10422044>>. Acesso em: 23 mai. 2022.

QUEIROZ, M. T. A.; SABARÁ, M. G.; QUEIROZ, C. A.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. Análise espaço-temporal de parâmetros de qualidade da água no Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6(2), pp. 02-10, 2015.

QUEIROZ, M. T. A.. **Avaliação da qualidade da água da sub-bacia do Rio Piracicaba e da sua área de influência**

no reservatório da Usina Hidrelétrica de Sá Carvalho, Antônio Dias, MG, Brasil. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas de Gerais, 123 p., 2017.

QUEIROZ, M. T. A.; QUEIROZ, C. A.; QUEIROZ, F. A.; BENIGNO, G. F.. Avaliação do índice de estado trófico e parâmetros de qualidade da água no reservatório da usina hidrelétrica de Sá Carvalho, Minas Gerais, Brasil. **Sistemas & Gestão**, v. 14 (1), pp. 1-12, ; 2019.

QUEIROZ, M. T. A.; LIMA, L. R. P.; SABARÁ, M. G.; QUEIROZ, C. A.; LEÃO, M. M. D. ; AMORIM, C. C.. Avaliação do estado trófico do rio Piracicaba e sua relação com a UHE - Sá Carvalho, MG, BRASIL. **Revista de ciências ambientais** (UNILASALLE), v. 10, pp. 21-43, , 2016.

REIS, D. A. dos; SANTIAGO, A. da F.; NASCIMENTO, L. P. do; OLIVEIRA, E. G. de; MARQUES, L. de S.; ROESER, H. M. P. Influência dos fatores ambientais e antrópicos nas águas superficiais no rio Matipó, afluente do rio Doce. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v.14(2), pp. 62 -76, 2017.

SALES, M. E. S.; LACERDA, M. C. de.. Análise de Coliformes Totais e Termotolerantes em Água de Poço de Residências no Município de Presidente Médici, Rondônia. **Revista Saberes UNIJIPA**, v. 6 (1), pp. 41-50, 2017.

SILVA, A. R. da.. **Avaliação do processo de eutrofização das águas superficiais, do cenário nacional ao local: Estudo de caso nas Bacias Hidrográficas Costeiras Dos Rios Ratonés, Itacorubi e Tavares (Ilha de Santa Catarina, Brasil)**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, 309 p., 2019.

SILVA, K. da.. **Estimativa da variação temporal da eutrofização no Baixo São Francisco, a partir da utilização de índice trix**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 74p., 2018.

SOUZA, J. L. M.de ; FEZER, K.F.; GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; PACHECHENIK, P. E.; EVANGELISTA, A. W. P. Atributos Físicos e Balanço Hídrico do Solo com Floresta ombrófila mista, em latossolo vermelho-amarelo em Telêmaco Borba – PR. **Revista Ciência Florestal**, Universidade Federal de Santa Maria, v. 28, pp. 90-98, 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 1. 2 ed. Belo Horizonte: Copyright ,243p., 1996.