

INVESTIGAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA E TEOR DE ALUMÍNIO, ARSÊNIO, CROMO, MANGANÊS E FERRO NO RIO PIRACICABA, MG, BRASIL

RESEARCH ON WATER QUALITY AND ALUMINUM, ARSENIC, CHROME,
MANGANESE AND IRON CONTENT IN THE PIRACICABA RIVER, MG,
BRAZIL

1Marluce Teixeira Andrade Queiroz*, 2Tayla Luiza Pereira Borges
1Doutora em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos (UFMG), Engenheira de segurança no
Centro Regional de Referência e Atenção à Saúde do Trabalhador, R. Joaquim Nabuco, 317, Bairro
Cidade Nobre, Ipatinga, Minas Gerais, Brasil

2Engenheira Química pelo Centro Universitário Católica de Minas Gerais, Mestranda na Univer-
sidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa, Minas
Gerais, Brasil

*marluce.queiroz@yahoo.com.br

Submetido em 10/02/2024; Versão revisada em 09/05/2024; Aceito em 31/05/2024

Resumo

Os corpos hídricos podem apresentar diferentes concentrações de metais biodisponíveis evidenciando relação com a dinâmica ambiental. Pondera-se quanto à existência da poluição natural relacionada principalmente com o intemperismo físico-químico das rochas e solos. Entretanto, as fontes antrópicas podem alcançar maior relevância, incluem-se aí as atividades de mineração e a queima de combustíveis fósseis, dentre outras. Especificamente, nesse estudo, foram analisados os resultados provenientes dos relatórios do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) pertinentes às concentrações do alumínio, arsênio, cromo, manganês e ferro na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP), Minas Gerais, Brasil, sendo adotados cinco pontos de coletas localizados nos municípios de Catas Altas, Rio Piracicaba, Nova Era, Coronel Fabriciano e Ipatinga, para o período compreendido entre janeiro/ 2019 e novembro/2023. Os resultados explicitaram a exacerbação dos riscos para componentes bióticos. Entende-se que devem ser adotadas medidas mitigadoras, visando preservar a biodiversidade e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chaves: Rio Piracicaba; Metais Tóxicos; Programas de Proteção.

Abstract

Water bodies can present different concentrations of bioavailable metals, demonstrating a relationship with environmental dynamics. The existence of natural pollution is considered, mainly related to the physical-chemical weathering of rocks and soils. However, anthropogenic sources can reach greater relevance, including mining activities and the burning of fossil fuels, among others. Specifically, in this study, the results from reports from the Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) pertinent to the concentrations of aluminum, arsenic, chromium, manganese and iron in the Piracicaba River Hydrographic Basin (BHRP), Minas Gerais, Brazil, were analyzed. five collection points were adopted located in the municipalities of CatasAltas, Rio Piracicaba, Nova Era, Coronel Fabriciano and Ipatinga, for the period between January/2019 and November/2023. The results explained the exacerbation of risks for biotic components. It is understood that mitigating measures must be adopted, aiming to preserve biodiversity and contribute to environmental sustainability.

Keywords: Piracicaba River; Toxic Metals; Protection Programs.

Introdução

O Brasil é considerado um país onde os recursos hídricos são abundantes, cerca de 10% da água doce do planeta concentra-se no território nacional. Entretanto, pondera-se que a Agência Nacional das Águas (ANA) relata que são observadas condições distintas para as regiões brasileiras sendo identificadas às probabilidades quanto ao surgimento, ao desaparecimento, à evolução ou à involução da seca nos diversos locais pertencentes ao território nacional (ANA, 2023). Sendo assim, verifica-se a existência de áreas com escassez deste recurso a ponto de transformá-lo em um bem limitado às necessidades básicas do ser humano e afetando drasticamente principalmente as parcelas mais vulneráveis da população (idosos, crianças e pessoas com deficiência) (ONS, 2022).

Outro ângulo importante se relaciona com os parâmetros de qualidade da água que são fundamentais para garantir a saúde das populações. Os recursos hídricos devem atender as exigências microbiológicas, físicas, químicas e radiativas de tal forma a não oferecer risco à biodiversidade. No entanto, a degradação da água vem comprometendo o atendimento destes quesitos em função da poluição natural e antrópica (QUEIROZ, 2006). Entre os fatores que naturalmente interferem na qualidade da água pode-se citar o clima, a cobertura vegetal, a topografia, a geologia do solo, dentre outros (BRANDÃO et al., 2017). As repercussões antropogênicas podem ser provenientes de fontes fixas e móveis, podendo ser citadas, o uso inadequado do solo, lançamento de efluentes industriais, esgoto sanitário nos corpos d'água e a deposição inadequada do lixo doméstico (QUEIROZ et al., 2015). Bertolo e colaboradores (2009) afirmam que os despejos de resíduos oriundos das explorações econômicas são as principais fontes de contaminação hídrica com metais potencialmente tóxicos. Exemplificando, indústrias metalúrgicas e de tintas, dentre outras, utilizam diversos elementos metálicos em suas linhas de produção e acabam lançando parte deles nos cursos de água. Outras fontes importantes de contaminação por metais potencialmente tóxicos são os incineradores de lixo urbano e industrial, que provocam a sua volatilização e formam cinzas ricas com essas substâncias, sendo muitas ve-

zes, incorporadas no meio aquático, desse modo, podendo atingir diversos espécimes e indivíduos que tenham contato com esse recurso ambiental impactado (VILELA; MANCUSO, 2010).

Nesse contexto, verifica-se que um requisito fundamental para a proteção do meio ambiente relaciona-se com o controle dos teores de metais potencialmente tóxicos na água, sendo especialmente importante considerando a elevada resistência desses elementos à degradação e às probabilidades inerentes às condições de bioacumulação no sistema aquático oportunizando o desenvolvimento de inúmeras patologias nos homens e animais (NERIS et al., 2019).

Nessa pesquisa, adotou-se como objeto de estudo as localidades percorridas pelo rio Piracicaba, um dos tributários do rio Doce, Minas Gerais, Brasil. Destaca-se que a totalidade das atividades econômicas detectadas nessa região utilizam esse recurso fluvial em seu desenvolvimento. Em função dessa exploração, aproximadamente 51% do total das águas extraídas diretamente desse corpo hídrico é destinado ao uso industrial, 44% ao abastecimento humano, 3% à irrigação e 2% ao abastecimento animal (CARDOSO et al., 2022). Os mecanismos de produção implicam na geração de efluentes com elevado nível de impacto ambiental, dentre esses, as indústrias de transformação e a construção civil são exemplos importantes (AZEREDO et al., 2006). Como agravante, pondera-se que em diversas situações são identificadas irresponsabilidades, ocorrendo o despejo de toneladas de resíduos tóxicos em rios e lagos decorrente das explorações econômicas, prejudicando todo o ecossistema, tornando a água imprópria para o consumo e afetando a fauna local (DE SOUZA et al., 2023).

Especificamente, atentou-se quanto aos parâmetros de qualidade da água e para a quantificação do alumínio (Al), do arsênio (As), do cromo (Cr), do ferro (Fe) e do manganês (Mn) na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP), Minas Gerais (MG), Brasil. Foram utilizados como fonte de dados os relatórios do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e sendo os resultados comparados aos limites estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357, 2005 (CONAMA nº 357, 2005). Pondera-se que os referidos metais podem ser encontrados

em águas naturais e que mesmo em concentrações diminutas têm potencial para ocasionarem danos importantes aos organismos aquáticos ou ao homem. Em adição, podem ocorrer condições exacerbantes que contribuem para o incremento dos teores daqueles elementos, desse modo, extrapolando os limites de tolerância biológicos contribuindo com possíveis efeitos nocivos impactantes para a saúde dos componentes bióticos (TEODOLO, 2023).

Em complemento, realizou-se a análise das condições físico-químicas, tal como, potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, temperatura da água, oxigênio dissolvido (OD), dentre outras, que são interferentes na dinâmica pertinente à biodisponibilidade daqueles metais. Destaca-se que as análises das variáveis ambientais e investigações sobre as concentrações de metais potencialmente tóxicos são vistas como ferramentas essenciais para proporcionar o futuro da qualidade dos recursos hídricos. A relevância da divulgação deste estudo é entendida como um mecanismo capaz de oportunizar as ações de proteção ambiental, dando suporte à estruturação da vigilância e do controle da qualidade da água e dos riscos da sua contaminação e até seus efeitos na saúde da população, especificamente, nos municípios percorridos pela BHRP.

Materiais e métodos

Características da área de estudo

O rio Piracicaba nasce na serra do Caraça, no município de Ouro Preto, a 1.680m de altitude, percorre aproximadamente 241 km até desaguar na margem esquerda do rio Doce entre os municípios de Ipatinga e Timóteo, no Vale do Aço, Minas Gerais, Brasil. A Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) com 5.896 Km² apresenta grande variedade litológica com o predomínio de minério de ferro, manganês, bauxita, quartzo, dolomita e ouro (QUEIROZ, 2006; QUEIROZ, 2017). Particularmente, o IGAM na BHRP (Figura 1) estabelece a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH-DO2), sendo esta detentora da maior densidade de estações de coleta por 1000 km² da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD).

Para caracterização da qualidade da água foram selecionados cinco (05) pontos de monitoramento ao longo do curso da BHRP (Figura 1),

dentre os definidos pelo IGAM em função do uso e ocupação do solo da referida bacia e das condições de acessibilidade ao local. Os achados das campanhas realizadas durante os meses na estação chuvosa (janeiro), intermediária (abril e outubro) e seca (julho) foram analisados cientificamente. Destaca-se que essa periodicidade é utilizada comumente em estratégias de monitoramento de qualidade de água (AZEVEDO et al., 2014).

Figura 1: Localização da BHRP, Minas Gerais, Brasil.



Fonte: IGAM, 2022.

Especificamente, esse estudo abrangeu o período compreendido entre janeiro/ 2021 e novembro/2023, os pontos de amostragem estavam localizados em Catas Altas (RD099), Rio Piracicaba (RD 025), Nova Era (RD 029), Coronel Fabriciano (RD 034) e Ipatinga (RD 035) (Quadro 1). Dentre os principais fatores de pressão antrópica 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 (IGAM, 2021).

Quadro 1 – Estações de monitoramento na BHRP

Estação	Município	Classe d'água	Curso d'água	Atividades
RD099	Catas Altas	Classe 1	Rio Maquiné	Mineração, agropecuária, produção agrícola, ausência de ETE
RD 025	Rio Piracicaba	Classe 2	Rio Piracicaba	Mineração, atividade agrossilvipastoril, produção agrícola, UHE e ausência de ETE
RD 029	Nova Era	Classe 2	Rio Piracicaba	Pecuária, agicultura, extração de carvão vegetal, ausência de ETE
RD 034	Coronel Fabriciano	Classe 2	Rio Piracicaba	PCH, indústria química, produção agrícola e abatedouro, ETE
RD 035	Ipatinga	Classe 2	Rio Doce	Mineração, indústria siderúrgica, alimentícia e química, produção agrícola, ETE

Fonte: Elaborado pelo autor (2024) adaptado do IGAM (2021).

Aquisições de dados

Os dados extraídos dos relatórios do IGAM foram tratados cientificamente possibilitando a mensuração do Índice de Qualidade da Água (IQA). O referido indicador constitui-se em uma metodologia eficiente que possibilita a partir da medição das características físicas, químicas e biológicas a classificação da água com o uso do produto de nove (9) parâmetros que são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos, sendo: turbidez, temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (P_{total}), nitrogênio total (N_{total}), coliformes fecais (CF) e resíduo total (R_{total}) ponderados através dos seus respectivos pesos (w) que são fixados em função da sua importância (Tabela 1) e sendo considerados para a conformação global do IQA de acordo com as diretrizes da Agência Nacional das Águas (ANA, 2023).

Tabela 1 – Parâmetros de qualidade da água e respectivo peso

Parâmetro	Peso (w)	Parâmetro	Peso (w)
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,17	Nitrogênio Total (N _{total})	0,10
Coliformes Fecais (CF)	0,15	Fósforo Total (P _{total})	0,10
pH	0,12	Turbidez (NTU)	0,08
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	0,10	Resíduo Total (R _{total})	0,08

Fonte: ANA, 2022.

Disponível: <http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx/>, Acesso: 04/01/2023.

Em sequência é calculado o produtório ponderado (Figura 2) dos nove indicadores.

Figura 2: Expressão matemática do cálculo do IQA

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

Fonte: ANA, 2022, Disponível: <http://pnqa.ana.gov.br/>, Acesso: 04/01/2023.

Sendo:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i-ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água, isto é, um número entre 0 e 1, conforme representado na Figura 3.

Figura 3: Expressão matemática do somatório do peso atribuído aos parâmetros do IQA.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Fonte: ANA, 2022, Disponível: <http://pnqa.ana.gov.br/>, Acesso: 04/01/2023.

O IQA obtido viabiliza a classificação da qualidade da água em ótima, boa, regular, ruim ou péssima em decorrência do valor final obtido e consequente posicionamento na faixa de avaliação (Tabela 2).

Tabela 2 – Faixa de IQA, Minas Gerais, Brasil.

IQA	Qualidade da Água	Cor indicadora
91 ≤ IQA ≤ 100	Ótima	Azul escuro
71 ≤ IQA ≤ 90	Boa	Verde claro
51 ≤ IQA ≤ 70	Razoável	Amarelo
26 ≤ IQA ≤ 50	Ruim	Laranja
0 ≤ IQA ≤ 25	Péssima	Vermelho

Fonte: IGAM, 2022, Disponível: <http://igam.mg.gov.br/>, Acesso: 04/01/2023.

Em relação ao IQA são identificadas algumas limitações relacionadas com o diagnóstico de vários indicadores importantes para o abastecimento público, tal como, metais tóxicos (ANA, 2023). Considerando essas questões, também foram analisadas as quantificações dos teores de alumínio dissolvido, arsênio total, cromo total, ferro dissolvido e manganês total. Esses resultados foram mensurados através da espectrofotometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) que apresenta limites de detecção menores que outras técnicas, caracterizando-se como uma ferramenta inovadora nas análises de metais em água (ARTIUSHENKO et al., 2024). Destaca-se que os achados foram comparados com o Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecido conforme a classe d'água no CONAMA 357/2005 (Tabela 3).

Tabela 3 – Metal, classe d'água e Valor Máximo Permitido (VMP)

Metal	Classe d'água	VMP*
Alumínio dissolvido	Classe 1 e Classe 2	0,1mg.L ⁻¹ Al
Arsênio total	Classe 1 e Classe 2	0,01mg.L ⁻¹ As
Cromo total	Classe 1 e Classe 2	0,05mg.L ⁻¹ Cr
Ferro dissolvido	Classe 1 e Classe 2	0,3mg.L ⁻¹ Fe
Manganês total	Classe 1 e Classe 2	0,1mg.L ⁻¹ Mn

Fonte: CONAMA 357/2005, Disponível: <<http://mma.gov.br/>>. Acesso: 04/01/2023.

Resultados e discussões

Qualidade da água

Em se tratando dos parâmetros físico-químicos relacionados com o IQA foram identificadas condições importantes. Especificamente, em relação à temperatura da água da BHRP nos pontos monitorados, a temperatura nunca excedeu os 30°C e sempre se encontrou acima dos 20°C. Tais condições mostraram relação com as mudanças climáticas, sendo identificadas temperaturas menores nos períodos secos (julho) e valores maiores nos períodos chuvosos (outubro a março). Destaca-se que as temperaturas das águas também se mostraram um pouco maiores em RD 035 (Ipatinga) indicando a influência da siderurgia sendo esses achados concordantes com os encontrados por Queiroz et al. (2015).

Quanto ao pH os resultados também mostraram valores dentro dos limites estabelecidos no CONAMA 357/2005, entre 6,0 e 9,0 com valores médios próximos do neutro. Entretanto, destaca-se que na estação de amostragens localizada no rio Doce em RD 035 (Quadro 1) foram identificados valores com tendência a alcalinização das águas sugerindo que essa alteração seja decorrente do uso de fertilizantes nas atividades agrícolas, tal como, plantações de cana-de-açúcar, mandioca, melancia e milho (QUEIROZ, 2017). Em outro ângulo, o abatedouro identificado em RD 034 (Quadro 1) à jusante de RD 035 também pode exercer papel contribuidor para essa alteração. Naquele segmento econômico ocorre a produção de grande volume de águas residuais contendo diversas substâncias, tal como, o esterco, gorduras, vísceras, fragmentos de carne e ossos, sangue, entre outros. Sendo assim, há necessidade de limpezas frequentes com uso de detergentes, desse modo, implicando em geração de efluentes com níveis elevados de substâncias alcalinizantes associados possivelmente com as ineficiências dos tratamentos de descontaminação (ANTAS et al., 2018).

Para a análise das concentrações do oxigênio dissolvido (OD) na BHRP é importante observar as características físicas do leito, que possui muitos afloramentos rochosos que pôr sua vez permitem maior aeração da massa d'água (QUEIROZ, 2017). De modo geral, os resultados evidenciaram boas condições de oxigenação do corpo hídrico sendo mais elevados nos períodos com menor temperatura da água sendo esse um padrão ambiental comumente identificado nesses ecossistemas (FERNANDES et al., 2016).

Vale destacar, que foi constatado que à montante de RD 099 ocorre o lançamento de esgoto doméstico, sem qualquer tratamento, diretamente na BHRP. Observou-se que os valores de OD, diminuíram muito de RD 029 para RD 034, sendo que à montante de RD 034 o índice de pressão antrópica é mais elevado. Um aspecto positivo se relaciona com a capacidade de depuração desse corpo hídrico uma vez que a fração de OD existente é suficiente para tal, destacam-se as características hidrodinâmicas favoráveis identificadas na BHRP, tal como, a declividade acentuada, dos meandros e formações rochosas de fundo, e pela presença de mata ciliar (FRAGA, 2015).

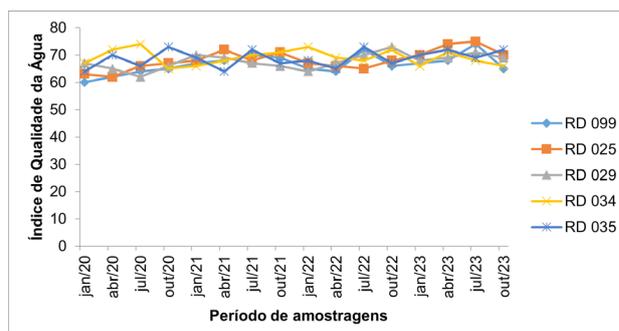
Outro parâmetro físico-químico investigado foi à turbidez da água que mostra relação com a presença de partículas sólidas finamente divididas em suspensão, tal como, a matéria orgânica e inorgânica (silte, argila, sílica, coloides, dentre outros), organismos microscópicos e algas. Nos recursos hídricos, o material particulado do solo em suspensão na água é identificado como principal mecanismo capaz de incrementar as taxas de turbidez (NEVES et al., 2003). Pondera-se, na região de estudo, os valores das taxas de turbidez das amostragens indicaram diversos períodos onde ocorreu a extrapolação do VMP correspondente a 40 UNT estabelecido no CONAMA 357/2005. As condições detectadas para a BHRP explicitaram a interferência da sazonalidade, vazão da BHRPe também com a exploração econômica. Destacam-se a influência das mineradoras, trechos assoreados e ainda apresenta contaminação por esgoto em diversos pontos. Tal condição ocorre de forma análoga ao longo da BHRD submetida à intensa remoção da mata ciliar e implicando na extinção das corredeiras além dos

fundos cavernosos que eram o habitat de grande diversidade de espécimes ameaçadas de extinção, como o surubim e outras (BUCKUP et al., 2007).

Os resultados para o Índice de Qualidade das Águas (IQA) na BHRP (Figura 4) evidenciaram a predominância da classificação média (Tabela 2) para as estações de amostragens do IGAM selecionadas para esse estudo no período dessa pesquisa. Os achados mostraram relação com a elevada contribuição antrópica decorrente da sua exploração econômica com desenvolvimento de diversas atividades produtivas (Quadro 1), tal como, a mineração e a siderurgia, dentre outras. Trata-se de condição indicativa que a água ainda se encontra apropriada para o tratamento convencional visando o abastecimento público (IGAM, 2021), entretanto, exigindo a aplicação de medidas de proteção. Pondera-se que além de sua importância econômica, também merece destaque a relevância ambiental e social da BHRP, visto que o manancial se encontra na área de influência do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) (QUEIROZ, 2017).

De modo geral, a predominância dos resultados oscilando entre $50 \leq IQA \leq 70$ (Tabela 2) que representaram 74,6% dos achados, desse modo, refletindo as alterações provenientes da urbanização, densidades demográficas, dinâmicas da produção de indústrias (maior consumo de água), produção de esgotos urbanos e efluentes industriais. Observa-se a inexistência de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) na grande maioria dos municípios, percorridos pelo corpo d'água constituindo-se em fator agravado do risco ambiental e suas repercussões negativas, com exceção dos municípios de Coronel Fabriciano (RD 034) e de Ipatinga (RD 035) (Quadro 1). Em complemento, são verificadas condições relacionadas com as diversas ameaças ao meio ambiente, tal como, o potencial da erosão devido à supressão de vegetação, empobrecimento do solo após sua utilização como pasto e produção agrícolas, atividades industriais, despejo de efluentes das indústrias químicas (Quadro 1), dentre outros fatores contribuidores para o incremento da pressão antrópica (CORRÊA et al., 2023, QUEIROZ, 2017).

Figura 4: Índice de Qualidade da Água na BHRP



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado dos relatórios do IGAM.

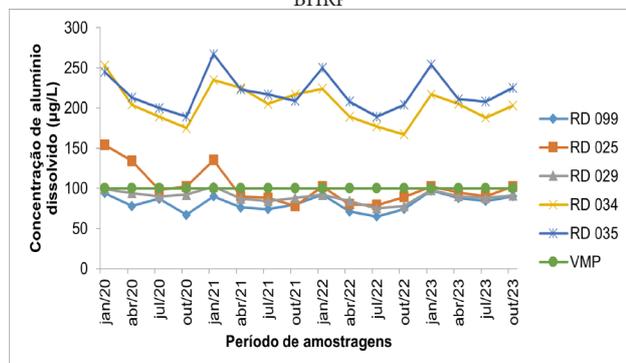
Em adição, é sabido que os elementos metálicos existentes nos recursos hídricos apresentam relevância para a qualidade da água, interferindo temporária ou permanentemente na manutenção da biota aquática e terrestre com acesso ao recurso hídrico, incluindo-se aí, enquanto organismo afetado, a espécie humana (SILVA et al., 2022). Desse modo, nessa pesquisa atentou-se para a investigação de alguns desses elementos, sendo o alumínio dissolvido, arsênio total, cromo total, ferro dissolvido e manganês total. Considerou-se que esses metais apresentam grandes possibilidades quanto à amplificação nas cadeias tróficas podendo ser acumulados na fase aquosa do recurso hídrico por meio do sedimento, pondera-se, que as mudanças nas condições ambientais, podem alterar a biodisponibilidade, o carreamento de partículas do solo e sua deposição no corpo fluvial, aumentando a turbidez da água, alterando a concentração de íons e a condutibilidade elétrica, repercutindo significativamente no teor de OD e no pH, desse modo, afetando a qualidade da água. Em sequência são discutidos os resultados dos teores dos referidos metais que são capazes de ocasionarem efeitos deletérios em organismos autótrofos (DA SILVA et al., 2024).

Alumínio dissolvido

O CONAMA nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece as diretrizes ambientais para o seu enquadramento trazendo os valores para os padrões de qualidade da água. Em observância a essa legislação é apresentado o Valor Máximo Permitido (VMP) para a concentração de alumínio dissolvido para águas de rios de classe 1 e 2, as quais as estações de monitoramento da BHRP se enquadram sendo correspondente a $100 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Nessa perspectiva, os achados dos teores de alumínio total dissolvidos em Catas Altas (RD 099) foram predominantemente inferiores ao VMP (Figura 5). Entretanto, ocorreram picos na estação chuvosa podendo estar associados ao fato da degradação da mata ciliar, o que facilita o carreamento dos metais do solo para a água.

Figura 5: Concentração de alumínio dissolvido na água superficial da BHRP



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado dos relatórios do IGAM.

Nesse estudo, observou-se a prevalência de resultados mais elevados para os teores de alumínio dissolvido em RD 035 nas diversas condições de pluviometria (estação seca, chuvosa e intermediária) ocorrendo à extrapolação do VMP (Figura 5). Tais condições devem servir de alerta para a comunidade que tenha acesso ao recurso hídrico em função dos riscos para a saúde humana. Pesquisas científicas recentes evidenciaram a relação entre o alumínio e as doenças neurais degenerativas, tal como, o Alzheimer, também, com as doenças autoimunes e até mesmo o câncer de mama. Além disso, os indivíduos com excesso desse elemento no organismo podem ter alterações crônicas com desenvolvimento de problemas intestinais, tal como, a síndrome do intestino irritável ou agravamento de hemorroidas, inchaço abdominal e má digestão. Em adição, também podem ser identificados os problemas de pele, dores nas articulações e musculaturas, queda de cabelo, perda de peso, cansaço, entre outros sintomas (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

Em Nova Era (RD 029) apenas na estação chuvosa foi identificada a extrapolação do VMP explicitando a possível influência do incremento do teor de alumínio proveniente dos lançamentos das estações de tratamento de água que utilizam habitualmente na etapa de coagulação, produtos químicos contendo o referido metal,

tais como, o sulfato de alumínio e policloreto de alumínio, e também, sulfato férrico, sulfato ferroso clorado e cloreto férrico (SILVA et al., 2020). Pondera-se que o panorama ambiental é bastante diferenciado em comparação com a estação seca onde foram detectados teores muito inferiores pertinentes à concentração desse elemento com atendimento do padrão ambiental estabelecido no CONAMA 357/2005. Queiroz (2017) destaca a influência da pluviometria no comportamento dos metais, ocorrendo possíveis condições para o incremento desse metal tóxico em função de diversos fatores, tal como, a lixiviação dos solos e carreamento de substâncias poluentes no período úmido.

Arsênio total

A investigação pertinente aos teores de arsênio total (Astotal) nas águas da BHRP apresenta diversos aspectos relevantes para a população, tendo em vista, que as principais vias de contaminação pertinentes a esse metal ocorrem através das águas poluídas e ingestão de alimentos produzidos em solos contaminados (SILVA, 2010; SILVA et al., 2010).

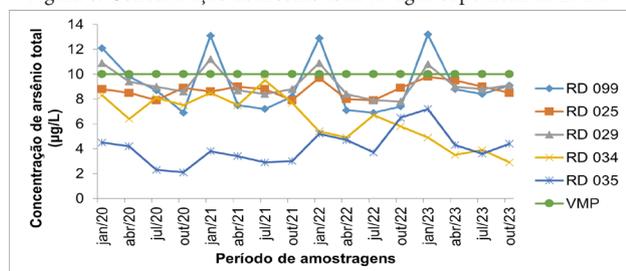
Estudos científicos indicam que os efeitos carcinogênicos da intoxicação com arsênio são diversificados e relacionados preponderantemente com exposições crônicas que podem ocasionar lesões na pele, doenças cardiovasculares (hipertensão e aterosclerose), desordens neurológicas, distúrbios gastrointestinais, doenças renais e hepáticas, efeitos reprodutivos (inalação dos fumos de arsênio), até o câncer em diversos órgãos do organismo humano, tal como, próstata, bexiga, rim e fígado (BARRA et al., 2000). Ainda, que as patologias associadas à contaminação por esse metal sejam bastante variadas. Os sintomas da toxicidade aguda por arsênio podem se apresentar de forma diferente da toxicidade crônica, a depender da extensa metabolização após a assimilação desse elemento. Na intoxicação aguda, os efeitos são, sobretudo, sobre o tubo digestivo (ação direta no caso de ingestão), secundariamente, sobre o fígado, rins e músculos cardíacos. Já na intoxicação crônica, atua principalmente sobre o tegumento e sobre os nervos periféricos (polineurite arsênicas) por sua afinidade com o sistema nervoso (ANDRADE & ROCHA, 2018).

Nas estações de monitoramento localizadas em Catas Altas (RD 099) e Nova Era (RD 029) foi possível constatar que os teores de arsênio total extrapolaram o VMP (Figura 6) estabelecido em $10\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ conforme o CONAMA 357/2005. Pondera-se que ao analisar os dados de concentração desse metal na água superficial verificou-se a interferência da estação pluviométrica e dos mecanismos de exploração do território (REIS et al., 2020).

É sabido que na região RD 099 as principais atividades econômicas são a extração e beneficiamento do minério de ferro (Quadro 1) que incluem a probabilidade da possível contaminação das águas por meio de rejeitos com concentração de substâncias tóxicas que são levadas até os recursos hídricos pelo escoamento superficial dos efluentes. Pontua-se que esse tipo de processo produtivo apresenta impactos potenciais importantes sobre a qualidade de água, seja pela possibilidade de aumento de sólidos suspensos, seja pela alteração química da água nas lagoas de decantação da água utilizada no beneficiamento do minério (BITAR, 1997).

Queiroz (2017) descreve que a contaminação na região resultou principalmente daquelas atividades de mineração, agravada pela inexistência de programas de recuperação e controle dos impactos ambientais. Vale destacar que esse sítio de amostragem é o mais próximo da região de Ouro Preto tendo sido constatado por Figueiredo (2007) que os teores do arsênio estavam acima do VMP nessa região em relação às águas superficiais e subterrâneas, constituindo-se em risco para a população. Corroborando os achados pertinentes a alta concentração de arsênio observada em RD 099 (Figura 6).

Figura 6: Concentração de arsênio total na água superficial da BHRP



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado dos relatórios do IGAM.

Christoforo e Leão (2009) confirmam que as principais fontes de contaminação antropogê-

nica do arsênio, são relacionadas ao patrimônio ambiental como solo contaminado, descarte de rejeitos e minas antigas, além dos sedimentos presentes nos cursos de água, resultantes de três séculos de atividades de mineração, desse modo, corroborando os achados desse estudo.

Em Nova Era (RD 029) as violações detectadas em relação aos teores de arsênio total na água superficial (Figura 6) também podem estar associadas às atividades agropecuárias desenvolvidas nessa região. Pontua-se quanto às possibilidades do uso indiscriminado de fertilizantes que contém esse elemento químico em sua composição. Barra et al. (2000) e Teixeira (2020) são pesquisadores que relatam o amplo uso dessas substâncias ocasionando o acúmulo desse metal, principalmente, quando são utilizados os fertilizantes boratados que apresentam arsênio como impureza.

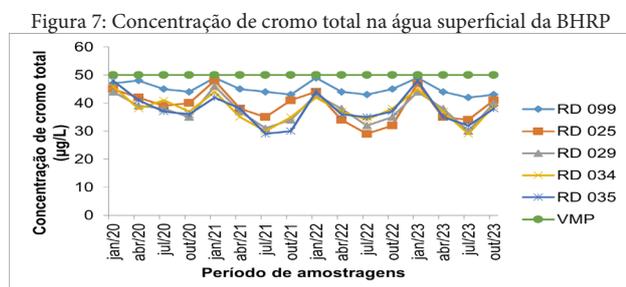
Em adição, Cunha e Duarte (2014) relatam que essas práticas produtivas têm ocasionado elevado acúmulo deste elemento nos solos e com advento da precipitação pluviométrica ocorre o arraste sendo incorporados teores variados desse metal nos corpos hídricos. Destaca-se, a contaminação hídrica também pode ser derivada de pilhas e baterias inadequadamente descartadas no lixo doméstico evidenciando a necessidade da conscientização da população quanto à destinação correta do lixo urbano para prevenir os danos ao meio ambiente e a saúde do próprio homem (PATACA et al., 2005; CHRISPIM et al., 2023).

Cromo total

Especificamente em relação ao cromo (Cr) é sabido que esse elemento pode ser encontrado na água superficial em seus diversos estados de oxidação, mais que ocorre naturalmente como Cr (III), Cr (II) e Cr (VI). Estas espécies apresentam poder mutagênico devido ao seu acesso direto às células e oCr (VI) por ser um grande oxidante, se torna carcinogênico para os órgãos respiratórios humanos (PEDROSO, 2013; SANTOS et al., 2018). Entre as fontes de contaminação ambiental por cromo estão os incêndios ambientais e as erupções vulcânicas. Entretanto, o cromo (VI) existente no ambiente é quase todo proveniente das atividades humanas, originando-se de emissões das fabricações de cimento, indústrias galvânicas, fundições, processos de soldagem,

mineração, incineração, fertilizantes, curtumes e lixos urbanos (ALMEIDA et al., 2011). Nesse cenário, pode ocorrer a biodisponibilidade sendo que as condições do ecossistema acabam por influenciar fortemente a concentração desse metal na água, tal como, a pluviosidade. Analogamente o escoamento superficial, e consequente carregamento para o corpo hídrico, é também intensificado no período chuvoso, entretanto, o aumento da vazão contribui para a diluição do mesmo. Outro aspecto, o escoamento superficial pelas águas de chuva normalmente leva a picos de concentração de contaminantes após eventos de intensa precipitação que podem não ser detectados quando se utiliza esquema de amostragem pontual em períodos pré-programados, como foi o caso nessa pesquisa.

Verificou-se que o teor de cromo total na água foi similar ao longo da BHRP, quer seja com a maré vazante ou enchente, e abaixo do VMP (Figura 7). Entretanto, a situação demanda vigilância ambiental, pois os teores detectados são bastante elevados evidenciando tendência para extrapolar os limites estabelecidos na Resolução do CONAMA 357/2005.



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado dos relatórios do IGAM.

Reforça-se que a contaminação por cromo coloca em risco a saúde da comunidade com acesso ao recurso hídrico, pondera-se que em diversos locais da BHRP são identificadas atividades de pesca e recreação (QUEIROZ, 2017).

Ferro dissolvido

Concretamente para a região de estudo na BHRP, em relação ao tipo de solo são observados predominantemente aqueles classificados como latossolos vermelho-amarelos que apresentam teores medianos de óxido de ferro (III) (Fe_2O_3), dessa forma, caracterizando-se com a saturação de bases baixa e teor de alumínio trocável nor-

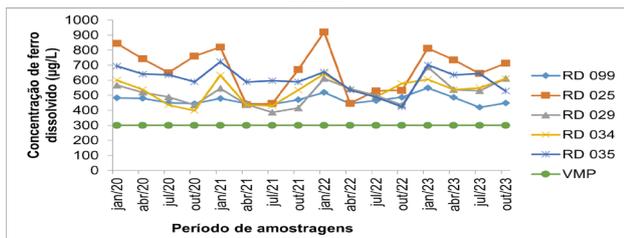
malmente alto. Dentre as suas principais limitações, destacam-se a acidez elevada e a fertilidade química baixa (NETTO, 2008). Queiroz (2006) reforça que embora existam outros tipos de formações rochosas mais suscetíveis, quando ocorre a precipitação pluviométrica qualquer tipo de solo é afetado, nessa condição, inicia-se um processo de dissolução que promove o arraste com transporte do material retirado da terra até os corpos hídricos.

Em adição, as reações geoquímicas que explicam a passagem do metal do solo para a água (dessorção) e da água para o solo (adsorção) são complexas e envolvem a ocorrência de reações que são fortemente dependentes das condições oxidantes/redutoras do solo e do pH do meio aquático (BERTOLO et al., 2009). Os rios contendo água levemente ácida e oxigenada favorecem a dessorção dos metais do sedimento para a coluna de água (LOCK et al., 2007). Vale destacar que estas condições físico-químicas foram observadas durante as campanhas realizadas na BHRP, sendo assim, contribuindo positivamente para incorporação desses elementos metálicos ao recurso hídrico.

Em todas as estações de amostragens ocorreram resultados evidenciando que os teores de ferro dissolvido que extrapolaram o VMP correspondente a $0,3mg.L^{-1}$ estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005. Essas violações ocorreram notadamente na estação chuvosa possivelmente em função do carregamento dos solos ocorrendo condições exacerbantes, tal como, os processos de erosão identificados às margens da BHRP (SILVA, 2010).

Especificamente, na estação chuvosa foram identificadas as piores violações em Rio Piracicaba (RD 025) alcançado a concentração de ferro dissolvido correspondente a $0,92mg.L^{-1}$ (Figura 8) extrapolando em 48,7% o VMP. Esses resultados evidenciaram a grande influência do período úmido promovendo, nesse caso, seja através da lixiviação do metal existente no solo ou através do transporte de resíduos agrícolas implicando em alterações importantes na qualidade das águas (MENEZES et al., 2012).

Figura 8: Concentração de ferro dissolvido na água superficial da BHRP



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado dos relatórios do IGAM.

Estudos diversos evidenciam que o excesso de ferro dissolvido afeta a qualidade da água acarretando transtornos para a biota (SOCHA et al., 2003). Pondera-se que essa condição pode incluir efeitos nocivos para o gado bovino que utiliza esse recurso hídrico para a dessedentação em diversos locais na BHRP, tal como, identificado em RD 099, RD 25 e RD 029 (Quadro 1).

Figueiredo et al. (2020) ressaltam que esse metal presente na água é mais reativo e mais aproveitável pelos animais que o ferro presente em alguns alimentos ou em suplementos e que mesmo em pequenas quantidades afetam negativamente o desempenho do animal e a absorção dos minerais.

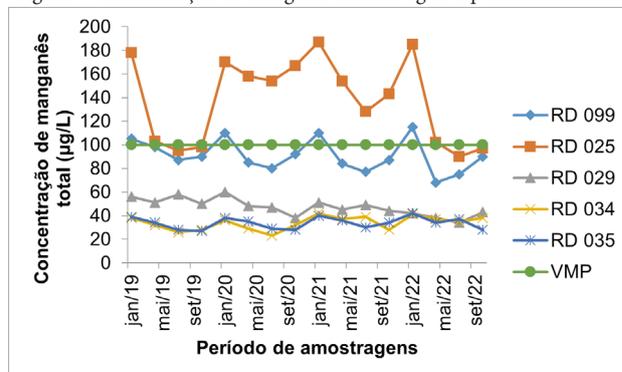
Manganês total

A elevação dos teores de manganês total em corpos hídricos mostra relação com a dissolução de compostos do solo e lançamento dos despejos industriais. Na região de estudo, o referido elemento químico é utilizado na fabricação de ligas metálicas e baterias e, na indústria química, em tintas, vernizes, fogos de artifício, fertilizantes, entre outros (QUEIROZ, 2017). Níveis excessivos de contaminação da água com esse metal são indesejáveis para a finalidade de abastecimento público onerando os custos de tratamento (VEDADO et al., 2008). Pondera-se também que pode ocorrer o acúmulo desse elemento químico em sistemas de distribuição exigindo maior frequência no programa de manutenções. Além disso, a água contaminada com manganês pode causar a doença denominada manganismo, com sintomas similares aos vistos em portadores da doença de Parkinson (SAMPAIO et al., 2018).

Em RD 025 e RD 099 ocorreram resultados dos teores de manganês total que extrapolaram o VMP correspondente a 0,1mg.L⁻¹ estabelecido

na Resolução CONAMA 357/2005. As condições observadas mostraram relação com a precariedade das medidas pertinentes à proteção das matas ciliares identificada na região percorrida pela BHRP. Tal condição é contributiva para disponibilização de metais imobilizados no solo (CASTAMAN et al., 2009). Em complemento, atenta-se que embora ocorra a considerável influência dos efluentes industriais nos níveis do manganês foram identificadas condições de contaminação inferiores ao VMP. Entretanto, em RD 029, RD 034 e RD 035 foram observados valores de pico somente na estação chuvosa (Figura 9) possivelmente em função do carregamento de efluentes contaminados.

Figura 9: Concentração de manganês total na água superficial da BHRP



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado dos relatórios do IGAM.

Conclusão

A avaliação da qualidade da água superficial demonstrou que a BHRP se encontra impactada em todos os pontos avaliados nesse estudo por apresentarem alterações em seus parâmetros físico-químicos. As situações identificadas evidenciaram correlação entre o nível de degradação e as condições do uso e ocupação do solo na BHRP.

Constatou-se também que existe uma grande influência da variabilidade sazonal. De modo geral, o período chuvoso se caracterizou pela maior degradação do manancial, em virtude do carreamento de matéria orgânica, sedimentos e metais para o corpo hídrico.

Desta forma, esse corpo hídrico possui condições inadequadas quanto ao atendimento das necessidades da população no que diz respeito à sua utilização para a recreação aquática, pesca e as atividades agropecuárias, dentre outras funções. Entretanto, constatou-se que a BHRP é utilizada

pela comunidade para todas aquelas atribuições (Quadro 1), constituindo-se assim, em um risco ambiental. Observa-se a necessidade quanto ao aperfeiçoamento das políticas públicas pertinentes ao efetivo controle da poluição aquática, uso e ocupação do solo na região do Estado de Minas Gerais, visto que ainda perduram em diversos locais os lançamentos de efluentes (industriais e de esgoto doméstico) com tratamento insuficiente ou inexistente.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Centro Universitário Católica do Leste de Minas Gerais (Unileste) e a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), Brasil.

Referências

ALMEIDA, E.; TAVARES, G. A. ; BENDASOLLI, J. A.; NASCIMENTO FILHO, V. F. Determination of Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As and Pb in liquid chemical waste by energy dispersive X-ray fluorescence. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (Print)*, v. 287, p. 351-355, 2011.

ANA - Agência Nacional de Águas (ANA), Hidroweb, Disponível: <www.ana.gov.br>, acessado em janeiro, 2022.

ANDRADE, D.; ROCHA, M. A toxicidade do arsênio e a sua natureza. *Revista Acadêmica Oswaldo Cruz*, v.3, p. 10-24, 2018.

ARTIUSHENKO, O.; ROJANO, W. S.; NAZARKOVSKY, M.; AZEVEDO, M. F. M.F.; SAINT'PIERRE, T. D. ; KAI, J.; ZAITSEV, V. Recovery of rare earth elements from waste phosphors using phosphonic acid-functionalized silica adsorbent. *Separation and Purification Technology*, v. 330, p. 125-525, 2024.

ANTAS, F. P. de S.; FREITAS, J. J. R. DE ; OLIVEIRA, A. M. DE ; DIAS, N. DA S.; LIMA, A. DE O. ; SOUSA NETO, O. N. DE . A proposed index to assess quality of waters from desalination plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso)*, v. 22, p. 667-672, 2018.

AZEREDO, H. M.; SOUZA, A. C. R.; SOUZA, L. L.; ABREU, F. A. P.; BRITO, E. S. Avaliação do impacto de pré-tratamentos sobre a extração de carotenóides por prensagem sequencial de baga-

ço de caju. *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos*, v. 24, p. 397-404, 2006.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. Metais: gerenciamento da toxicidade. Atheneu, São Paulo, Brasil, 353 p., 2003.

AZEVEDO, M. L. R. S.; COUTO, M. A. P. G.; LEITE, S. G. F.; AZEVEDO, B. R. S.; ALMEIDA, P. A.; SILVA, S. A. Evaluation of air samplers systems in the monitoring of bioaerosols at wastewater treatment plants. *IJET: International Journal of Engineering & Technology*, v. 14, p. 03, 2014.

BARRA, C.M.; SANTELLI, R. E.; ABRAO, J.J.; GUARDIA, M. L. Especificação de Arsênio – Uma Revisão. *Química Nova*, v. 1, p. 23 – 43, 2000.

BERTOLO, R. A.; MARCOLAN, L. N. O.; BOUROTTE, C. Relações água-rocha e a hidrogeoquímica do cromo na água subterrânea de poços de monitoramento multiníveis de Urânia, SP, Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, v. 9, p. 47-62, 20009.

BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na Região Metropolitana de São Paulo São Paulo, 185p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP), 1997.

BUCKUP, P. A., MENEZES, N. A., GHAZZI, M. S. Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 195 p., 2007.

CARDOSO, D. F.; SOUZA, C. C. A. DE; LEAL FILHO, R. DE S.; DOMINGUES, E. P. Impactos econômicos e fiscais de uma (re)operação das exportações em Minas Gerais. *Nova Economia (UFMG. Impresso)*, v. 32, p. 97-129, 2022.

CASTAMAN, S. T.; NAKAGAKI, S.; RIBEIRO, R. R.; CIUFFI, K. J.; DRECHSEL, S. M. Homogeneous and heterogeneous olefin epoxidation catalyzed by a binuclear Mn(II)Mn(III) complex. *Journal of Chemical Catalysis. A, Chemical*, v. 300, p. 89-97, 2009.

CHRISTÓFARO, C., LEÃO, M. M. D. Caracterização temporal do arsênio nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, MG, Brasil, ao longo de uma década (1998 - 2007). *Revista Ambiente e Água*, v. 4, n. 3, p. 54-66, 2009.

CHRISPIM, M. C.; MATTSSON, M.; ULVENBLAD, P. The underrepresented key elements of circular economy: A critical review of

- assessment tools and a guide for action. *Sustainable Production and Consumption*, v. 35, p. 539-558, 2023.
- CORRÊA, M. G.; BARBOSA, S. C.; SANTOS, G. B.; COLLARES, G. L.; PRÍMEL, E. G. Avaliação da qualidade da água da lagoa Mirim e afluentes através de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e índice de qualidade de água. *Revista Brasileira de Geografia Física (RBGF)*, v. 16, p. 781 -791, 2023.
- CUNHA, P. D. R.; DUARTE, A. A. L. S. Remoção de arsênio em águas para consumo humano. *Braga: Associação Portuguesa de Engenharia Ambiental (APESB)*. v. 10, p. 67-82, 2014.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Brasília: Diário Oficial da União, 2005.
- DE SOUZA, M. P.; DA FONSECA, A. C. C.; WERMELINGER, G. F.; RIBEIRO, R. C. B.; AMARAL, A. A. P.; DE CARVALHO, C. J. C.; ABREU, L. S.; DE QUEIROZ, L. N.; DE ALMEIDA, E. C. P.; RABELO, V. W.; ABREU, P. A.; PONTES, B.; FERREIRA, V. F.; DA SILVA, F. DE C.; FOREZI, L. DA S. M.; ROBB, B. K. Chemoselective synthesis of mannich adducts from 1,4-Naphthoquinones and profile as autophagic inducers in Oral Squamous Cell Carcinoma. *Molecules*, v. 10, p. 314 – 324, 2023.
- BRANDÃO, J. M. S.; GUIMARÃES, J. C. S.; FERREIRA, A. L. R.; SILVA, P. B. S.; CORDEIRO, T. S.; FREITAS, R. B. DE; CALAZANS, G. M.; OPORTO, L. T.; CORDEIRO, J. Caracterização de processos erosivos em área urbana no município de Itabira, MG. *Research, Society and Development*, v. 6, p. 189-210, 2017.
- DA SILVA, E. P.; SIMÕES, T. R.; ANTONIOSI FILHO, N. R.; PEREIRA, J.; MARTINS FORMIGA, K. T. Effect of rainfall characteristics on the transport of trace metals in suspended particles during rainfall events. *Journal of Hydrology*, v. 634, p. 131-162, 2024.
- FEAM. Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. FEAM, MG, p.438, 2008.
- FERNANDES, A. M.; CONCEIÇÃO, F. T. DA; SPATTI JUNIOR, E. P.; SARDINHA, D. DE S.; MORTATTI, J. Chemical weathering rates and atmospheric/soil CO₂ consumption of igneous and metamorphic rocks under tropical climate in southeastern Brazil. *Chemical Geology*, v. 443, p. 54-66, 2016.
- FIGUEIREDO, B. R.; BORBA, R. P.; ANGÉLICA, R. S. Arsenic occurrence in Brazil and human exposure. *Environmental Geochemistry and Health*, Holanda, v. 29, p. 109-118, 2007.
- FIGUEIREDO, M. R. P. DE; SALIBA, E. DE O. S.; BARBOSA, G. S. C.; COLODO, J. C. N.; ALMANÇA, R. A.; MOREIRA, G. R. Digestibility of diets with passion fruit by-product estimated through external and internal markers in dairy heifers. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 43, p. 502 – 541, 2020.
- FRAGA, M. S. Modelagem da qualidade da água do rio Piracicaba visando à avaliação de sua capacidade de autodepuração. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Brasil, 90 p., 2015.
- IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba (CBH Piracicaba) site com informações ambientais, 2021. Disponível: <http://www.igam.mg.gov.br/>>. Acesso: 27 jun. 2022.
- LOCK, K.; DE SHANPHEHELAERE, K. A. C.; BECAUS, S. C. H.; VAN ECKHOUT H.; JANSSEN, C. R. Development and validation of an acute biotic exposed to cadmium. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 75: p. 120 – 124, 2007.
- MENEZES, J. M.; PRADO, R. B.; CARDOSO JR, G.; MANSUR, K. L.; OLIVEIRA, E. S. Qualidade da água superficial em micro bacias do noroeste Fluminense. *Caderno de Estudos Geoambientais*, v. 3, p. 32-43, 2012.
- NERIS, J. B.; LUZARDO, F. H. M.; SANTOS, P. F.; DE ALMEIDA, O. N.; VELASCO, F. G. Evaluation of single and tri-element adsorption of Pb²⁺; Ni²⁺ and Zn²⁺ ions in aqueous solution on modified water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) fibers. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 7, p. 802 – 885, 2019.
- NETTO, I. T. P. Qualidade física e química de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso. Dissertação (Mestrado em ciências agrárias), Universidade de Brasília (UNB), Brasil, 67 p., 2008.
- NEVES, I. F.; ROCHA, O.; ROCHE, K. F.; PINTO, A. A. Zooplankton community structure of two marginal lakes of the river Cuiabá (Mato Grosso, Brazil) with analysis of rotifera and cladocera diversity. *Brazilian journal of biology*, São Carlos - SP, v. 63, n.2, p. 329-343, 2003.
- Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS),

Mapas regulatórios, 2020. Disponível: <<http://www.ons.org.br/>>, Acesso: 02/08/2022.

PATAÇA, L. C. M.; BORTOLETO, G. G.; BUE-NO, M. I. M. S. Determinação de arsênio em águas contaminadas usando fluorescências de raios-X por energia dispersiva. *Química Nova*, v. 28, p. 579-582, 2005.

PEDROZO, M.F.M. Limites de exposição para carcinogenicos: novos paradigmas. *Revista da Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO)*, v. 31, p. 09-14, 2013.

QUEIROZ, M. T. A. Bioacumulação de Metais Pesados na Bacia do Rio Piracicaba, Minas Gerais, aplicando a Análise por Ativação Neutrônica Instrumental (ANI). Dissertação (Mestrado em engenharia), Centro Universitário Católica do Leste de Minas Gerais (Unileste), Brasil, 92 p., 2006.

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 Gerais (UFMG), Brasil, 127 p., 2017.

QUEIROZ, M. T. A.; SABARÁ, M. G.; QUEIROZ, C. A.; LEAO, 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, p. 02-10, 2015.

REIS, D. A. DOS; MARQUES, L. DE S.; NASCIMENTO, L. P. DO; SANTIAGO, A. DA F. Potencial de risco dos sedimentos de fundo afetados por rejeitos de mineração oriundos da barragem de Fundão/Brasil. *Research, Society and Development*, v. 9, p. e611974041, 2020.

SAMPAIO, T. F.; DOS SANTOS, E. U. D.; DE LIMA, G. D. C.; DOS ANJOS, R. S.; DA SILVA, R. C.; ASANO, A. G. C.; ASANO, N. M. J.; CROVELLA, S.; DE SOUZA, P. R. E. Genetic Variations Associated With Levodopa Treatment Response in Patients With Parkinson's Disease. *Journal of clinical pharmacology*, v. 1, p. 1-7, 2018.

SANTOS, D.M. Desenvolvimento de metodologia analítica para determinação de íons Cr (VI) em amostras ambientais em nível traço: pré-concentração em mini-coluna de alumina e dissolução controlada de reagente, sólido, associado a análise por injeção em fluxo (FIA). Dissertação (mestrado em

Química e Biotecnologia). Maceió. Universidade Federal de Alagoas – UFAL, 2018.

SILVA, F. C. DA; AQUINO, W. F.; ALMEIDA, E. R.; TONELLO, P. S.; CAVALLARO, F. DE A. Use of geophysical techniques for analysis of trace metals in a cemetery unsaturated soil zone. *Geociências (São Paulo, Online)*, v. 41, p. 517-525, 2022.

SILVA, G. G.; DANTAS, A. D. B.; QUEIROZ, S. C. B.; RODRIGUES, M. I.; GUIMARÃES, M. A. R. Uso da metodologia de superfície de reposta para avaliação do desaguamento de resíduos da estação de tratamento de água em filtração geotêxtil. *Revista Aidis de Ingeniería Y Ciencias Ambientales*, v. 13, p. 939-956, 2020.

SILVA, I. F. L. Contribuições para o diagnóstico ambiental da parte média e inferior da Bacia do Rio Piracicaba – MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. 123 p., 2010.

SILVA, W. G. P.; SOBRINHO, N. M. B. A.; MAZUR, N.. Uso de fosfato para remoção de arsênio de solo contaminado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 101-106, 2010.

SOCHA, M.T.; ENSELEY, S.M.; TOMLINSON, D.J. Variability of water composition and potential impact animal performance. In: Internamountain-Nutrition Conference, 5, 2003. Analls: Utah State University, pages 85-96, 2003.

TEODULO, M. J. R. Comparação de métodos de extração parcial de metais traço em solos e sedimentos de um estuário tropical sob a influência de um complexo industrial portuário, Pernambuco, Brasil. *Estudos Geológicos (UFPE)*, v. 13, p. 23-34, 2003.

TEIXEIRA, M. C. Arsenic contamination assessment in Brazil – Past, present and future concerns: A historical and critical review. *Science of the Total Environment*, v. 730, p. 138-217, 2020.

UFRRJ. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Temperatura da água. Disponível: <http://www.ufrrj.br/institutos/>>. Acesso: 11 out. 2022.

VEADO, M. A. R. V., MENEZES, M. A. B. C., QUEIROZ, M. T. A., COSTA, A. A. F., OLIVEIRA, A. H. Nuclear application in studies of environmental pollution in Brazil. In: 16 th Pacific Basin Nuclear Conference (16PBNC), 2008.

VILELA, P. A. D.; MANCUSO, P. C. S. Avaliação da Qualidade da água da represa Billims para reuso recreacional e geração de energia. *Engenharia Ambiental (Online)*, v. 7, p. 207-218, 2010.