


O PROCESSO DE POLUIÇÃO DOS RIOS POR METAIS PESADOS E AS INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS NOS ECOSISTEMAS: UMA REFLEXÃO TEÓRICA

THE PROCESS OF RIVER POLLUTION BY HEAVY METALS AND ANTHROPIC INTERVENTIONS IN ECOSYSTEMS: A THEORETICAL REFLECTION

EL PROCESO DE CONTAMINACIÓN DE LOS RÍOS POR METALES PESADOS Y LAS INTERVENCIONES ANTROPÓGICAS EN LOS ECOSISTEMAS: UNA REFLEXIÓN TEÓRICA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n11-127>

Data de submissão: 13/10/2025

Data de publicação: 13/11/2025

Anderson Soares da Silva

Mestrando em Mestrado Profissional em Ciências da Saúde e do Meio Ambiente (MECSMA)
Instituição: Centro Universitário de Volta Redonda
E-mail: andss.soares@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-2299-3239>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8174085467522685>

Carlos Marcelo Balbino

Doutor em Ciências do Cuidado em Saúde
Instituição: Centro Universitário de Volta Redonda
E-mail: carlos.balbino@foa.org.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0763-3620>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2757282565715178>

Jannaina Sther Leite Godinho Silva

Mestre em Enfermagem
Instituição: Centro Universitário de Volta Redonda
E-mail: jjasther@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8308-2093>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4875173484278570>

Renato Philipe de Sousa

Doutor em Ciências pelo PPGENFBIO
Instituição: UNIRIO, Centro Universitário de Volta Redonda
E-mail: r_marcciano@hotmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6586-2205>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0834490209202463>

RESUMO

A poluição dos rios por metais pesados constitui um problema ambiental e de saúde pública em todo o mundo. A lacuna deste estudo reside na escassez de estudos integrados que abordem a poluição fluvial por metais pesados. O estudo propõe uma reflexão teórica sobre o processo de poluição dos rios ocasionado por metais pesados e as intervenções antrópicas nos ecossistemas. Tratou-se de uma reflexão teórica descritiva e qualitativa, baseada em artigos publicados entre 2021 e 2025 e publicados em bases de dados com os descritores “Poluição de rios”, “Metais pesados” e “Poluição”. Percebeu-se

que a presença de metais pesados como mercúrio, chumbo, cádmio e cromo decorre de fontes naturais e, principalmente, de atividades humanas, acumulando-se em sedimentos e bi acumulando-se na fauna aquática. Conclui-se que a gestão eficaz, ações educativas, políticas públicas e monitoramento da qualidade da água podem equilibrar a preservação ambiental e desenvolvimento econômico sustentável da população ribeirinha.

Palavras-chave: Poluição dos Rios. Metais Pesados. Ecossistema. Qualidade da Água.

ABSTRACT

Heavy metal pollution in rivers is an environmental and public health problem worldwide. The gap in this study lies in the scarcity of integrated studies addressing heavy metal pollution in rivers. The study proposes a theoretical reflection on the process of river pollution caused by heavy metals and anthropogenic interventions in ecosystems. It was a descriptive and qualitative theoretical reflection, based on articles published between 2021 and 2025 and published in databases with the descriptors "River pollution," "Heavy metals," and "Pollution." It was noted that the presence of heavy metals such as mercury, lead, cadmium, and chromium stems from natural sources and, mainly, from human activities, accumulating in sediments and bioaccumulating in aquatic fauna. It was concluded that effective management, educational actions, public policies, and water quality monitoring can balance environmental preservation and sustainable economic development for the riverside population.

Keywords: River Pollution. Heavy Metals. Ecosystem. Water Quality.

RESUMEN

La contaminación de los ríos por metales pesados constituye un problema medioambiental y de salud pública en todo el mundo. La laguna de este estudio reside en la escasez de estudios integrados que aborden la contaminación fluvial por metales pesados. El estudio propone una reflexión teórica sobre el proceso de contaminación de los ríos causado por los metales pesados y las intervenciones antropogénicas en los ecosistemas. Se trata de una reflexión teórica descriptiva y cualitativa, basada en artículos publicados entre 2021 y 2025 y publicados en bases de datos con los descriptores «Contaminación de los ríos», «Metales pesados» y «Contaminación». Se observó que la presencia de metales pesados como el mercurio, el plomo, el cadmio y el cromo proviene de fuentes naturales y, principalmente, de actividades humanas, acumulándose en los sedimentos y bioacumulándose en la fauna acuática. Se concluye que la gestión eficaz, las acciones educativas, las políticas públicas y el control de la calidad del agua pueden equilibrar la preservación medioambiental y el desarrollo económico sostenible de la población ribereña.

Palabras clave: Contaminación de los Ríos. Metales Pesados. Ecossistema. Calidad del Agua.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a formação de cidades sempre esteve vinculada aos recursos hídricos, sendo que, desde as antigas civilizações, os assentamentos humanos foram formados próximos a rios para garantir o abastecimento de água e a agricultura como forma de sobrevivência. Além disso, os recursos fluviais sempre estiveram associados não apenas à irrigação, mas também ao abastecimento e à movimentação de atividades pesqueiras essenciais para a vida dessas comunidades (Braz; Duarte; Bottino, 2022). Esses ambientes, fundamentais para a manutenção da vida, para o equilíbrio dos ecossistemas e para o desenvolvimento socioeconômico, estão diretamente relacionados às metas globais estabelecidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 3 – Saúde e Bem-Estar e o ODS 6 – Água Potável e Saneamento.

Nesse contexto, este artigo apresenta uma reflexão teórica sobre o processo de poluição dos rios por metais pesados e as intervenções antrópicas nos ecossistemas. O objetivo deste estudo dá-se por descrever o processo de poluição dos rios por metais pesados e as intervenções antrópicas nos ecossistemas, mostrando a importância de ações integradas de monitoramento, gestão e conservação, alinhadas às metas da COP30 e aos ODS 3 e 6, visando contribuir para o debate científico e subsidiar políticas públicas voltadas à preservação e ao uso sustentável da água doce.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Ao longo da história, o ser humano conquistou uma grande capacidade de modificar a natureza, trazendo melhorias ou provocando alterações negativas, ora aproveitando suas funções e benefícios, ora destruindo e comprometendo sua capacidade de sustentação da vida (Campos; Nucci, 2021). Há mais de 5.000 anos, já ocorriam alterações antrópicas nos rios, desde o início das organizações das cidades, com maior evidência no período da Revolução Industrial, quando as modificações dos ecossistemas se intensificaram e obras de engenharia de grande porte provocaram transformações morfológicas e dinâmicas nos leitos fluviais (Queiroz, 2025). Atualmente, estudos ambientais e o monitoramento de bacias hidrográficas têm sido utilizados para analisar as dinâmicas ambientais, reconhecendo e estudando as relações entre agentes naturais e antrópicos que podem modificá-las positiva ou negativamente, favorecendo uma gestão mais eficaz das atividades e dos recursos naturais (Guerreiro et al., 2025).

Entretanto, apesar desses avanços, permanece um hiato importante no que se refere à integração entre políticas ambientais, planejamento territorial sustentável e controle efetivo da poluição por metais pesados. Poucos trabalhos investigam de forma ampla a interação entre a poluição fluvial por metais pesados, seus impactos à saúde humana e à biodiversidade, e a necessidade de ações de gestão

socioambiental integrada. Além disso, legislações já existentes e estruturas de fiscalização ambiental não têm impedido o avanço da degradação dos recursos hídricos e da mata ciliar. A presença de metais pesados na água, que pode ter origem natural, como o intemperismo das rochas, ou antrópica, é influenciada por fenômenos como complexação, adsorção e precipitação, podendo ser transportada pela correnteza para outros ambientes do ecossistema (Silva Filho et al., 2025).

Diante da iminência da COP30, que reforça compromissos internacionais para mitigação das mudanças climáticas e preservação dos ecossistemas, torna-se urgente compreender e discutir os processos de poluição dos rios e suas implicações socioambientais. Tal compreensão é fundamental para a formulação de estratégias de prevenção, controle e recuperação, assegurando a saúde da população e a sustentabilidade dos recursos hídricos.

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma reflexão teórica descritiva qualitativa realizada usando como base artigos publicados nas bases de dados Scielo, Google Acadêmico, Lilacs e Medline, empregando como busca os descritores “Poluição dos rios”; “Metais pesados”; “Ecossistema”; “Qualidade da água”, com a finalidade de embasar a discussão. O período de publicação dos artigos foi delimitado de 2021 a 2025.

Os artigos encontrados e utilizados foram publicados entre 2021 e 2024. A coleta na base de dados se deu em junho e julho de 2025. A análise dos artigos permitiu a formulação da temática de reflexão: O processo de poluição dos rios por metais pesados e as intervenções antrópicas nos ecossistemas.

Feita a leitura exaustiva de artigos e manuais disponíveis na íntegra e com conteúdo significativo, na sequência foram selecionados tratados acadêmicos para fundamentar a discussão proposta. Ressalta-se que não houve intenção de realizar uma revisão integrativa ou sistemática da literatura, mas de encontrar base teórica para as reflexões realizadas. Foi realizada primeiramente uma análise temática que foram utilizadas como base para esta reflexão.

Acrescenta-se, ainda, que a reflexão presente neste artigo foi extraída da dissertação de mestrado: “Análise da presença dos componentes da escória de aciaria na composição química da água do rio Paraíba do Sul: uma pesquisa de campo de abordagem qualitativa”, em desenvolvimento no Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Metais pesados é o termo usado a um grupo de metais com uma densidade atômica maior que 6g/centímetro cúbico (Oliveira *et al.*, 2023). Existem na natureza várias formas de liberar no meio

ambiente concentrações de metais pesados de forma natural, como por exemplo os intemperismos das rochas que gera um processo de degradação e alteração física e química da sua superfície causada pelo vento, água, temperatura e seres vivos levando a fragmentação e dissolução das rochas. Mas são as ações realizadas pelos seres humanos que geram o maior impacto no ecossistema (Machado, 2023).

Os metais que são essenciais à vida, encontram-se na natureza em concentrações que estão em equilíbrio para a manutenção da vida das diferentes espécies. Efluentes industriais e domésticos provocam contaminação por metais pesados e metais não essenciais à vida com ação não conhecida sobre as espécies, levando a um efeito tóxico quando são despejados em altos níveis na natureza (Brito, 2022).

Sedimentos encontrados no fundo de rios e lagos tem atraído atenção especial devido a sua capacidade de reter e liberar diferentes materiais para a coluna de água, sendo uma fonte de contaminantes potenciais. Esta capacidade dos detritos pode influenciar e liberar poluentes como material orgânico e metais pesados na água, tornando-se impregnantes e tóxicos para os rios onde estão depositados (Brito *et al.*, 2022).

Os rios no Brasil vêm se tornando um depósito de diversos produtos e subprodutos das atividades realizadas pela interferência humana através de esgotos domésticos e industriais. A água é a forma principal de transporte de metais pesados podendo estar em forma diluída ou agregada a partículas sólidas. Estes metais podem estar sendo transportados através da correnteza dos rios ou podem estar depositados no leito fluvial de forma inativa e sem risco momentâneo para aquele ecossistema, podendo em algum momento se tornar tóxico novamente caso seja removido do leito e se incorpore ao fluxo da água (Wolff, 2024).

Os sedimentos do fundo dos rios têm sido usados desde 1990 para avaliar a poluição por metais pesados com um grande potencial contaminador para as colunas de águas. Os metais pesados podem também agregar-se aos argilominerais encontrados no fundo dos rios devido a capacidade de complexação desses minerais, ou seja, a capacidade de absorver os metais pesados funcionando como um reservatório, tornando-se potencialmente contaminante para o ecossistema (Melo *et al.*, 2024).

A biota aquática é afetada de forma prejudicial pelo derramamento de poluentes industriais e doméstico nas águas, afetando a saúde da população que dependem destes corpos hídricos para viver. Os organismos vivos presentes na água podem bioacumular os metais pesados quando incorporados as suas cadeias tróficas impactando nos diversos extratos que constituem os ecossistemas aquáticos (Galli, 2022).

Em múltiplos países e inclusive no Brasil, a concentração de metais pesados em sedimentos podem apresentar concentrações tóxicas como como Hg (mercúrio), As (arsênio), Ag (prata), Ba

(bário), Co (cobalto), Cu (cobre) Cr (cromo), Mo (molibdênio) Ni (níquel), Pb (chumbo), Sb (antimônio) e Zn (zinco), metais provenientes das atividades antrópicas tanto de origem industriais como domésticas, sendo usado para o biomonitoramento, o solo, a água e até mesmo órgãos de peixes e alimentos (Fernandes, 2024).

O crescimento demográfico, industrial e socioeconômico imprime no meio ambiente uma degradação e desgaste que incluem a poluição de rios e suas águas diminuindo sua qualidade e sua quantidade, gerando impactos diretos na economia e na qualidade de vida da população humana e dos seres aquáticos que dependem dos rios para sua sobrevivência (Pereira, 2021).

A grande maioria de efluentes que são liberados nos leitos dos rios tem substâncias com características hidrofóbicas, ou seja, que repele a água, apresentando característica menos solúvel, sendo absorvido por organismos e sedimentos. A maior parte da composição destes efluentes são compostos de petróleo e seus derivados, organoclorados, fármacos, nutrientes em excesso e metais pesados (Araújo Júnior, 2021).

Os metais pesados são considerados contaminantes ambientais estáveis e persistentes, não apresentando uma natureza que possibilite a sua degradação, e dependendo das características físicas e químicas dos ambientes aquáticos, reagem e podem ser mobilizados e depositados nos sedimentos tornando-se potencialmente perigoso pela possibilidade de adquirir biodisponibilidade para o ambiente (Silva *et al.*, 2021).

A degradação de ambientes aquáticos de água doce que incluem, córregos, lagos e lagoas apresentam um papel importante no equilíbrio ambiental das comunidades humanas, uma vez que são fontes de água potável mantenedora da biodiversidade aquática e terrestre, que ofertam oportunidades econômicas através da pesca, recreação e turismo que sofrem impactos com sua poluição e contaminação exigindo uma resposta multifacetada e monitoramento permanente através da gestão e restauração destes ambientes ecológicos, sendo necessário a implementação de políticas públicas e uma colaboração constante entre empresários, cientistas e sociedade (Rios; Silva; Crystello, 2024).

Apesar de existir várias legislações no Brasil direcionadas a garantir e proteger os recursos hídricos e o uso das terras e áreas vizinhas aos rios, além de ter várias entidades ambientais encarregadas de proteger e fiscalizar todos esses ecossistemas, é cada vez mais comum a degradação de rios e das áreas ribeirinhas (Pupo, 2023).

A Zona Hiporreica é uma área que se encontra entre a superfície do aquífero superficial e subterrâneo, por exemplo os rios, com sedimentos que atua como um regulador de fluxo entre os dois compartimentos aquáticos funcionando como um filtro. É considerado uma área de transição ou ecótono entre os dois ambientes (o ambiente que é superficial e o ambiente que é subterrâneo),

encontrado nos ecossistemas lóticos, (que é o sistema aquático que está presente nos rios, nos riachos e nos córregos que é caracterizado pelo fluxo de água constante com deslocamento da coluna de água da sua nascente a sua foz). As Zonas Hiporreicas são importantes pois oferecem filtragem e purificação das águas, o que ajudam a manter os rios com água limpa e de alta qualidade por longo prazo, ajuda também na regulação do fluxo de água e da guarda e transformação de matéria orgânica. As Zonas Hiporreicas são importantes pois a maioria dos seus processos ocorrem no sedimento. Então o tamanho e a forma influenciam seu funcionamento junto a permeabilidade e porosidade, pois são capazes de realizar modificações físico-químicas na água influenciando a concentração de oxigênio, condições térmicas e quantidade de matéria orgânica disponível atuando na formação de microbiotas que necessitam dos nutrientes oriundos da matéria orgânica disponível. Podemos dizer que as Zonas Hiporreicas são importantes para a manutenção de águas limpas nos rios. (Navia *et al.*, 2022).

Já em ambientes em que encontramos a contaminação de sedimentos e a exposição de pessoas por ingestão ou contato da pele com a água contaminada, o que pode ocorrer durante atividades recreativas realizadas em rios, pode aumentar a recorrência de risco de doença cancerígena e não cancerígenas relacionados ao contato com sedimentos e água contaminadas, sendo que a ingestão desta água é que causa o maior risco devido a presença de elementos potencialmente tóxicos. Mas devemos entender que apesar do risco de contaminação, a concentração de elementos potencialmente tóxicos encontrados em sedimentos pode nem sempre ser prejudicial saúde, pois sofrerá influência da sua biodisponibilidade e absorção pelo corpo humano. A biodisponibilidade está relacionada a quantidade de contaminantes ingerida, inalada ou absorvida pela pele (Valoys *et al.*, 2025).

A avaliação da poluição por metais pesados é baseada em valores numéricos, o que melhora a interpretação para a identificação dos níveis de toxicidade. Estes índices estão presentes principalmente em sedimentos encontrados no fundo de rios, por exemplo calculados em um índice de carga de poluição. Além de relatar a concentração de metais e o nível de poluição é necessário avaliar o potencial de toxicidade. Então estas diretrizes definem limites baixos onde os efeitos adversos são raros e limites altos acima dos quais os efeitos tóxicos são prováveis e é dessa forma que se define os valores de toxicidade e não toxicidade dos metais pesados em concentração nos rios (Vasquez; Foher; Rosado, 2025).

O fígado é um órgão que tem papel fundamental na desintoxicação do organismo por metais como ferro (Fe), cobre (Cu), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb), mas em situações, em que os metais pesados se encontram em alta concentração podem se depositar e acumular no interior dos hepatócitos (células do fígado) levando ao aumento de radicais livres e o aparecimento de doenças (SALES *et al.*, 2025).

As atividades realizadas por seres humanos nos leitos fluviais tiveram aumento devido ao rápido crescimento populacional no mundo e ao grande desenvolvimento dos centros urbanos com expansão do setor industrial e agrícola, o que vem impactado de forma importante os ecossistemas e a saúde humana. O aumento de metais pesados e poluentes contribuiu para piora da qualidade da água, levando a um abastecimento incerto no futuro (Méndez *et al.*, 2025)

Os contaminantes encontrados na água tem grande número de substâncias químicas e de particulado estruturalmente variados, como oligoelementos metaloides com toxicidade, composto organometálicos, compostos orgânicos naturais e sintéticos, nanopartículas metálicas e nano microplásticos. Entre os oligoelementos temos os metais pesados como o tipo de poluente mais crítico presente na água devido a sua alta toxicidade mesmo em baixas concentrações, além de não possuir uma natureza biodegradável, tendo atividade de bioacumulação em tecidos vegetais e animais. A presença de metais pesados pode estar associada a fatores geogênicos, mas são as atividades antrópicas a causa principal da poluição dos rios e mananciais em países em desenvolvimento, principalmente em relação a poluição por metais pesados. Então as avaliações de elementos traços e metais pesados é importante para determinar níveis de concentrações que garantam efeitos não significativos ou até inexistentes no sistema ecológico. As metodologias determinísticas analisando o quociente de risco (QR) são as mais usadas para avaliar a presença de metais pesados em águas superficiais, por serem uma técnica simples para determinação, mas que apresenta limitações para determinar toxicidade devido a dose-respostas adaptados a espécies específicas (Moreno *et al.*, 2024).

Os sedimentos desempenham um importante papel na manutenção e preservação dos leitos dos rios, mas apesar da importância dos sedimentos eles também podem atuar como reservatórios, acumulando poluentes, principalmente metais pesados, servindo como contaminantes para os corpos aquáticos, o que pode ocasionar desequilíbrio ecológico (Acioly *et al.*, 2024).

Os metais pesados podem interferir nas cadeias alimentares e gerar aumento da concentração e da acumulação de metais nos organismos aquáticos e terrestres que se utilizam das águas contaminadas gerando efeitos nocivos sobre eles. Os danos causados podem interferir na saúde e incluem desordem que podem modificar a estrutura e função dos genes, glândulas e órgãos que controlam a homeostase, alterando de forma negativa comportamentos, alimentação, crescimento, reprodução e sobrevivência das espécies. Com o biomonitoramento dos metais pesados podemos prevenir, diminuir danos e controlar os efeitos sobre os organismos aquáticos e terrestres, tornando-se um instrumento fundamental para a percepção de riscos potenciais e condições de perigo. Devemos sempre apoiar e garantir políticas públicas de proteção ambiental para manter a sustentabilidade e saúde de todo

ecossistema, mantendo a qualidade dos recursos hídricos explorados e modificados pelas ações antrópicas. (Silva, *et al.*, 2024)

É uma preocupação pública a contaminação dos ambientes aquáticos por metais pesados, pois muitos organismos se alimentam do solo e das partículas dos sedimentos dos rios, usando-os como cadeia alimentar, uma vez que estes sedimentos podem conter metais pesados, que são degradados ou metabolizados por estes organismos, acumulando no tecido destes seres, levando a efeitos citotóxicos e genotóxicos que impactam no crescimento e na reprodução dos ecossistemas. Mesmo após a remoção da fonte contaminadora por metais pesados os efeitos sobre o ambiente persistem por anos e em gerações, pois as larvas e ovos são também contaminados (Almeida, *et al.*, 2024).

Devido ao crescimento populacional e os avanços das cidades, impulsionados pela economia e a grande industrialização, crescimentos estes que desencadeiam um aumento da demanda da sociedade por quantidade e qualidade de água, gerando conflitos devido a gestão inadequada. Durante o crescimento industrial e populacional diversos contaminantes são lançados sem tratamento podendo gerar prejuízos aos ecossistemas e a saúde humana.

A qualidade da água está em constante mudança, influenciadas pelos avanços econômicos e sociais oriundo das atividades antrópicas. Este grande crescimento econômico e social que está ocorrendo no mundo inteiro, está impactando na qualidade da água, colocando em risco os reservatórios de água potável planetário (BATISTA, *et al.*, 2024). Os danos se tornam maiores, principalmente ao crescimento desordenado sem planejamento ou estrutura social e econômica por parte da gestão pública, o que gera grande volume de efluentes domésticos e industriais sendo despejados nos rios sem nenhum tratamento.

É emergente a necessidade de não poluição dos rios por metais pesados com a finalidade de garantir a segurança da água não só na geração atual mas principalmente nas futuras gerações. Acordos e metas de um progresso industrial sustentável, sem agressão e poluição dos recursos hídricos são urgentes com a finalidade não apenas de preservação, mas de resguardar os recursos hídricos para as futuras gerações.

O envolvimento político e criação de metas entre países são importantes com a finalidade de garantir e proteger os recursos hídricos planetário. Tendo grande importância COP 30 realizada em 2025 no Brasil para criação de uma nova etapa na evolução da sustentabilidade. As ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável) 3 e 6 estão alinhados com estes princípios.

A ODS 3 tem por objetivo assegurar uma vida saudável e promover o bem estar para todos. Já ODS 6 tem como meta garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento básico para todas as pessoas até 2030. As duas metas irão influenciar de forma profunda a relação das

comunidades e indústrias sobre a gestão dos recursos hídricos do qual fazem parte por estarem localizadas na grande maioria das vezes nas suas margens.

5 CONCLUSÃO

A avaliação da qualidade da água dos rios, sua monitorização e gestão consciente são parâmetros importantes para manutenção dos ecossistemas, dos seres humanos e das atividades econômicas e industriais, uma vez que o desenvolvimento da sociedade necessita da utilização desses recursos. A presença de metais pesados em grandes concentrações pode colocar em risco o equilíbrio ecológico, humano, social e industrial. Dessa forma, o acompanhamento desses parâmetros por órgãos competentes tem a finalidade de evitar colocar em risco a relação desse sistema.

Todavia, a realização de estudos mais aprofundados acerca da qualidade da água e do seu processo de contaminação por metais pesados é importante, de modo a subsidiar ações necessárias aos diversos setores envolvidos de forma convergente, onde haja uma coexistência entre a preservação ambiental e dos ecossistemas, bem como o desenvolvimento e crescimento econômico de forma sustentável.

Ações educativas envolvendo todos os setores como a criação de espaços para reflexão e criação de novas condutas são importantes, trazendo esclarecimento e consciência a diversas questões relevantes ao tema, propondo um novo comportamento frente a nossa relação futura com os recursos hídricos.

Políticas sustentáveis devem ser elaboradas e devem garantir no presente um acesso a mananciais limpos e preservados e garantir no futuro que as próximas gerações de pessoas e indústrias possam ter recursos preservados e renováveis ecologicamente garantindo a vida de todos os ecossistemas dependente dos rios para sobreviverem.

Os metais pesados presentes nos recursos hídricos podem ser uma ameaça presente e também futura visto que podem depositar no sedimento no fundo dos rios podendo ser incorporados a qualquer momento a coluna de água tendo grande potencial de toxicidade as pessoas e vidas aquáticas afetando equilíbrio das espécies e ameaçando a vida humana.

Os objetivos de descrever as origens desta poluição e seus efeitos sobre o meio ambiente foram alcançados assim como apontar a importância de ações integradas ao monitoramento e conservação, alinhadas às metas da COP 30 e aos ODS 3 e 6 visando contribuir para debate científico e político.

REFERÊNCIAS

Acioly, Thiago Machado da Silva et al. Levels of potentially toxic and essential elements in Tocantins River sediment: health risks at Brazil's Savanna-Amazon interface. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, p. 18037, 2024. Disponível em: <<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-39098955>>. Acesso em: 29 jul. 2025.

Almeida, Thaís Victória Pires de et al. Metal-contaminated sediment toxicity in a highly impacted Neotropical river: insights from zebrafish embryo toxicity assays. *Chemosphere*, v. 362, p. 142627, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653524015212?via%3Dihub>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

Araújo Júnior, João Carlos Morais de; Pereira, Ricardo. Evolução da contaminação por metais pesados em sedimentos em área estuarina do Rio Capibaribe: uma revisão. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 38, n. 1, p. 236–253, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Joao-Carlos-Junior/publication/351116247_Evolucao_da_contaminacao_por_metais_pesados_em_sedimentos_e_m_area_estuarina_do_rio_Capibaribe_uma_revisao/links/60883fc72fb9097c0c130617/Evolucao-da-contaminacao-por-metais-pesados-em-sedimentos-em-area-estuarina-do-rio-Capibaribe-uma-revisao.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Batista, Louisiane Farias et al. Change in water quality in an Amazonian microbasin: ecological and human health implications. *Journal of Water and Health*, v. 22, n. 3, p. 522–535, 2024.

Braz, Micaela Gomes; Duarte, Ana Paula; Bottino, Flávia. Rios urbanos: percebendo a importância por meio da Educação Ambiental. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, v. 17, n. 4, p. 113–127, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/13538/9840>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Brito, A. S. Influência do conteúdo orgânico na mobilidade de metais pesados em sedimentos do leito da rede de drenagem natural de microbacias urbanas no Cariri Cearense. Fortaleza – CE, 2022. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará – UFC. Disponível em: <file:///C:/Users/55249/Downloads/2022_tese_asbrito.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2025.

Brito, Adriana Oliveira Araújo et al. Estudo dos mecanismos de retenção de metais pesados em sedimentos de leitos de rios e de lagoas em aluviões de bacias sedimentares areníticas. *International Journal of Environment and Pollution Research*, v. 10, n. 3, p. 39–55, 2022. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/106752536/Estudo-Dos-Mecanismos_libre.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2025.

Campos, Janaina Cassia; Nucci, João Carlos. Protocolo de Avaliação Rápida de Rios Urbanos (PARU) como ferramenta de monitoramento ambiental. *GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, n. 21, p. 121–138, 2021. Disponível em: <<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/112112517/pdf-libre.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Fernandes, M. R. Contaminação por metais pesados em sedimentos, água e peixes de rios do Estado de Mato Grosso do Sul: avaliação do risco ecológico e implicação para a saúde humana. Campo Grande – MS, 2024. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Disponível em: <<https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/11013>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Galli, L. Consequências ambientais da poluição no Rio Tietê: impacto nas águas dos principais rios da região de Bauru-SP. Bauru – SP, 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual Paulista – Unesp. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/entities/publication/1b7e939c-2272-4afb-9423-1a24eab98966>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Guerrero, João Vitor et al. Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Goiabal, utilizando inferência Fuzzy. Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia, v. 23, n. 1, p. 120–143, 2025. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Joao-Roque-Guerrero/publication/393249139_Analise_da_fragilidade_ambiental_na_bacia_hidrografica_do_Ribeirao_Goiabal_utilizando_inferencia_Fuzzy/links/68641ddee9b6c13c89e5a36f/Analise-da-fragilidade-ambiental-na-bacia-hidrografica-do-Ribeirao-Goiabal-utilizando-inferencia-Fuzzy.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Machado, H. M. A. Rochagem como uma técnica suplementar aos fertilizantes convencionais: uma revisão. Crateús – CE, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Ceará – UFC. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/75392/1/2023_tcc_hmamachado.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2025.

Melo, Maria Izanete Pantoja de et al. Estudo preliminar da presença de metais pesados nos sedimentos de fundo do lago Água Preta em Belém (Pará): um indicativo da possível ocorrência de poluição e risco ambiental. Meio Ambiente (Brasil), v. 6, n. 2, p. 2–14, 2024. Disponível em: <<https://www.meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/463>>. Acesso em: 07 jul. 2025.

Méndez, Mario Alberto Pérez et al. Analysis of the anthropogenic effect on the Silencio River in Salvador Escalante, Michoacán, México. PeerJ, v. 13, p. e18531, 2025. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11737336/pdf/peerj-13-18531.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2025.

Moreno, Jaime Dueñas et al. Trace elements and heavy metal(loid)s triggering ecological risks in a heavily polluted river-reservoir system of central Mexico: probabilistic approaches. Environmental Research, v. 262, p. 119937, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935124018425?via%3Dihub>>. Acesso em: 29 jul. 2025.

Navia, Yojana-Valentina Ballesteros et al. Efeito de variáveis abióticas na fauna hiporreica do Rio D'água, Colômbia. Revista de Biología Tropical, San José, v. 70, n. 1, p. 589–606, 2022. Disponível em: <http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442022000100589&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 jul. 2025.

Oliveira, Antônio Henrique da Silva et al. Identificação de metais pesados e caracterização físico-química de águas superficiais da cidade de Campina Grande. *Brazilian Journal of Development*. In: IX Congresso Nacional de Educação – Conedu, Recife – PE, 2023. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2023/TRABALHO_COMPLETO_EV185_MD4_ID16604_TB4214_20112023164505.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Pereira, J. G. Levantamento dos níveis de metais pesados em águas brasileiras: uma visão toxicológica. Ouro Preto – MG, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <<https://monografias.ufop.br/handle/35400000/3554>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Pupo, A. S. D. A. Avaliação de risco ambiental e humano por metais potencialmente tóxicos em rios urbanos. Porto Seguro – BA, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal da Bahia – IFBA. Disponível em: <<http://www.repositorio.ifba.edu.br/jspui/bitstream/123456789/510/1/AMANDA%20TCC%20VERSS%20c3%83O%20FINAL.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Queiroz, Matheus Silveira de. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Mindu, Manaus, Amazonas. *Revista Verde Grande Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 7, n. 1, p. 581–597, 2025. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/392970528_ANALISE_MORFOMETRICA_DA_BACIA_HIDROGRAFICA_DO_MINDU_MANAUS_AMAZONAS>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Rios, Beatriz; Batista, Paula Frassinetti da Silva; Crystello, Diego Cesar Bezerra. Impactos da poluição e alteração de habitat em ecossistemas de água doce: uma revisão bibliográfica. *Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 8, p. e6568–e6568, 2024. Disponível em: <<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/6568/4173>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Sales, Camila Ferreira et al. Mining waste induces oxidative stress, cell death and irreversible histopathology in the liver of *Psalidodon rivularis* in a contaminated Neotropical stream. *Environmental Research*, v. 281, n. 15, p. 121974, 2025. Disponível em: <<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-40447020>>. Acesso em: 28 jul. 2025.

Silva Filho, Edmilson Dantas da et al. Impactos da contaminação por metais pesados e parâmetros físico-químicos na qualidade da água do Rio Piancó: implicações ambientais e para a saúde coletiva. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 16, n. 7, p. e5028–e5028, 2025. Disponível em: <<https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/5028>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Silva, Cleber Pinto da et al. Metal cross-contamination relationships between sediments and loricariidae species (siluriform) in a neotropical riverine system. *Environmental Research*, v. 258, p. 119412, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935124013173?via%3Dihub>>. Acesso em: 30 jul. 2025.

Teixeira, Annye Neves Cardoso da Silva et al. Uso da planta aguapé, para absorção de coliformes e metais pesados presentes na água do Rio Paraíba do Sul. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 3, p. 27937–27945, 2021. Disponível em:

<<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/26620>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

Valoys, Ana Cristina González et al. Oral bioaccessibility and probabilistic human health risk assessment of potentially toxic elements in stream sediments from an abandoned gold mine in Panama. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 47, n. 6, p. 1–19, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12102004/pdf/10653_2025_Article_2535.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.

Vasquez, Ingrid Vanessa Rincon; Foher, Nicola; Rosado, Daniel. Assessing sediment toxicity risks with bioavailable metal fractions: new factors and index applied to the Colombian tropical Andes hotspot. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 47, n. 6, p. 1–20, 2025. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12098199/pdf/10653_2025_Article_2536.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.

Wolff, P. S. et al. Análises de metais pesados em corpos hídricos urbanos na cidade de Cascavel. Cascavel – PR, 2024. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Disponível em: <<https://tede.unioeste.br/handle/tede/7395>>. Acesso em: 07 jul. 2025.