



METAIS PESADOS E POLUIÇÃO HÍDRICA: IMPACTOS AMBIENTAIS DO DESCARTE IRREGULAR DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Gabriel Fernando Moraes Cardoso¹; Ana Beatriz Ferreira Brito²; Marcos Antônio Barros dos Santos³

¹ Graduando em Licenciatura Plena em Química. Universidade do Estado do Pará. gabriel.fm.cardoso@aluno.uepa.br

² Graduanda em Licenciatura Plena em Química. Universidade do Estado do Pará. ana.bf.brito@aluno.uepa.br

³ Doutorado em Química. Universidade do Estado do Pará. marcos@uepa.br

RESUMO

A poluição dos corpos hídricos decorrente do descarte irregular de resíduos industriais constitui um dos principais desafios ambientais contemporâneos, especialmente em regiões com elevada concentração de atividades produtivas. Este trabalho teve como objetivo analisar, com base em revisão bibliográfica, os impactos causados nos rios pelo lançamento inadequado de metais pesados, destacando alterações físico-químicas da água, efeitos ecológicos e implicações à saúde pública. A pesquisa caracteriza-se como qualitativa e de natureza teórica, desenvolvida a partir da análise de artigos científicos, relatórios técnicos e legislações ambientais vigentes. Os resultados evidenciam que a introdução de efluentes industriais nos corpos hídricos compromete parâmetros como pH, oxigênio dissolvido e concentração de metais pesados, favorecendo processos como bioacumulação e eutrofização. Estudos nacionais e internacionais apontam a presença recorrente de contaminantes como chumbo, mercúrio e cádmio em áreas próximas a polos industriais, com impactos significativos sobre a biodiversidade aquática e riscos à saúde humana. Verifica-se, ainda, que apesar da existência de instrumentos legais e normas técnicas voltadas à gestão adequada de resíduos, persistem fragilidades na fiscalização e no tratamento de efluentes. Conclui-se que a mitigação dos impactos nos rios depende da implementação efetiva de políticas públicas, do uso de tecnologias de tratamento eficientes e do fortalecimento da governança ambiental, de modo a assegurar a preservação dos recursos hídricos e o equilíbrio dos ecossistemas.

Palavras-chave: Resíduos industriais; contaminação hídrica; metais pesados.

1. INTRODUÇÃO

A água é o mais eficiente solvente do planeta, chamado de solvente universal. Esta sua característica permite que ela se associe a diversas substâncias, inclusive, com aquelas que podem contaminá-la. Considerando que a vida na terra se originou na água, os organismos terrestres possuem uma associação direta e de plena dependência com este composto químico. Da mesma forma que a água presente em nossas células se associa com as substâncias tóxicas do nosso organismo, as águas dos rios se associam com os poluentes que são carregados para dentro de seus leitos. Assim, pode-se afirmar que a água dos corpos hídricos pode ser saudável ou nociva para o consumo humano. Nas regiões de alta concentração populacional, os rios recebem uma alta carga de poluentes ao longo do seu curso, o que deixa as águas poluídas por diversas substâncias, muitas delas tóxicas para os seres vivos. Entretanto, as causas da poluição dos rios estão relacionadas a muitas práticas, entre elas, as atividades industriais, onde



os resíduos não são devidamente tratados antes de serem lançados ao ambiente (MARIN-MORALES et-al., 2016).

A sociedade utiliza uma série de utensílios e objetos no seu dia a dia que devem passar por um processo de produção cuidadoso para que as substâncias não contaminem o meio ambiente. No entanto, esta é uma realidade ainda distante. Muitas empresas costumam descartar de modo incorreto os resíduos industriais, o que causa diversos danos para a saúde humana e os recursos naturais. Os resíduos industriais são provenientes do processo de fabricação de produtos de indústrias de variados setores como o metalúrgico, petroquímico, mineração, papelaria, químico, alimentício e outros. Há uma imensa quantidade de substâncias que estão envolvidas na produção de itens que utilizamos em nosso cotidiano, mas que, em contato com a natureza, prejudicam gravemente o meio ambiente. Entre as diferentes categorias de resíduos industriais, destacam-se os resíduos de metais pesados, também provenientes do descarte de computadores, telefones celulares, televisores, baterias, cabos e placas de circuito impresso. Esses materiais apresentam composição complexa, contendo metais pesados (ROBINSON, 2009).

O crescimento acelerado do consumo de dispositivos tecnológicos, aliado à obsolescência programada e à insuficiência de sistemas eficazes de coleta e destinação final, tem ampliado significativamente o volume de metais pesados descartados no meio ambiente, configurando relevante problema ambiental e sanitário. Diante desse contexto, o presente estudo orienta-se pela seguinte questão norteadora: de que modo o descarte irregular de metais pesados contribui para a contaminação dos corpos hídricos e quais são os mecanismos responsáveis por esse processo? O objetivo deste trabalho é analisar os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado de resíduos industriais eletroeletrônicos, identificando a origem das contaminações, os processos de dispersão dos poluentes e suas implicações para os ecossistemas aquáticos.



1. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, com abordagem teórica e fundamentação em análise bibliográfica. A investigação foi desenvolvida a partir do levantamento, seleção e análise crítica de produções científicas nacionais e internacionais relacionadas aos impactos ambientais decorrentes do descarte irregular de resíduos industriais, com ênfase na contaminação de corpos hídricos por metais pesados.

Foram consultados artigos científicos publicados em periódicos indexados, relatórios técnicos de órgãos ambientais, legislações vigentes e normas técnicas pertinentes à gestão de resíduos industriais. A seleção das fontes priorizou publicações com relevância científica, atualidade temática e reconhecimento institucional, incluindo estudos sobre contaminação por metais pesados, eutrofização, tratamento de efluentes industriais e políticas públicas de gestão ambiental.

A análise dos dados foi realizada por meio de leitura exploratória, seguida de leitura analítica e interpretativa, permitindo identificar convergências entre os estudos consultados, bem como relacionar dados institucionais com evidências científicas. Não houve coleta de dados empíricos ou experimentais, sendo o trabalho fundamentado exclusivamente em fontes secundárias devidamente referenciadas.

O procedimento metodológico buscou estabelecer articulação entre aspectos químicos, ambientais e legais, de modo a compreender de forma integrada os efeitos do descarte inadequado de resíduos industriais nos rios e as estratégias propostas para mitigação desses impactos.



2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo a Terra de Cultivo (2021), com base em dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), o Brasil figura entre os maiores produtores de resíduos industriais do mundo. Apenas no estado de São Paulo, são geradas aproximadamente 21 milhões de toneladas anuais, das quais cerca de 47% não recebem tratamento adequado. Em âmbito nacional, de acordo com a Silcon Sustech Ecosystem (2020), apenas 13% dos resíduos industriais são reciclados. Esses dados evidenciam não apenas a magnitude do problema, mas também fragilidades estruturais na gestão e na destinação final dos resíduos industriais no país, reforçando a necessidade de políticas públicas mais eficazes e maior rigor na fiscalização ambiental.

Embora os resíduos industriais possam apresentar-se nos estados sólido, líquido e gasoso, os efluentes líquidos representam uma das formas mais críticas de impacto sobre os corpos hídricos, sobretudo quando descartados sem tratamento prévio (SILCON SUSTECH ECOSYSTEM, 2020). A introdução contínua de poluentes altera parâmetros físico-químicos fundamentais da água, como pH, turbidez, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, comprometendo sua qualidade e reduzindo sua capacidade de autodepuração.

A literatura científica internacional demonstra que rios localizados próximos a polos industriais apresentam concentrações elevadas de metais pesados, como chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e arsênio (As), elementos reconhecidos por seu potencial tóxico e bioacumulativo (LI et al., 2018; VAREDA; VALENTE; DURÃES, 2019). No contexto brasileiro, Molisani et al. (2006), ao analisarem a Baía de Sepetiba (RJ), identificaram níveis significativos de zinco e cádmio associados à atividade industrial, evidenciando processos de acumulação em sedimentos. De modo semelhante, Jesus et al. (2004) verificaram contaminação por metais pesados no estuário de Santos e São Vicente (SP), demonstrando que a poluição sedimentar impacta diretamente a biodiversidade bentônica.

Nesse cenário, a dinâmica de contaminação hídrica decorrente do descarte irregular de resíduos industriais pode ser compreendida a partir de três elementos inter-relacionados: o agente poluidor, o local de ocorrência e os mecanismos físico-químicos de mobilização e dispersão. O agente corresponde, predominantemente, aos metais pesados presentes nos resíduos industriais, tais como chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e arsênio (As), substâncias caracterizadas por elevada toxicidade, persistência ambiental e potencial de bioacumulação (LI et al., 2018; VAREDA; VALENTE; DURÃES, 2019). Diferentemente de



poluentes orgânicos biodegradáveis, esses elementos não sofrem degradação química significativa, permanecendo ativos no ambiente por longos períodos.

A ocorrência espacial da contaminação concentra-se, sobretudo, em áreas próximas a polos industriais, aterros com deficiência de impermeabilização e locais de descarte irregular, onde resíduos permanecem expostos à ação de agentes climáticos. Nessas regiões, a ausência de sistemas adequados de contenção favorece o contato direto entre os materiais contaminantes e o solo, ampliando o risco de percolação de substâncias tóxicas para camadas subsuperficiais e, conseqüentemente, para os lençóis freáticos (ANA, 2022).

Os mecanismos de dispersão envolvem, principalmente, processos de lixiviação e escoamento superficial. A lixiviação ocorre quando a água pluvial atravessa resíduos sólidos depositados no solo, promovendo a solubilização de íons metálicos que migram verticalmente pelo perfil do solo até atingir aquíferos ou horizontalmente em direção a corpos hídricos superficiais. Paralelamente, o escoamento superficial pode transportar partículas contaminadas diretamente para rios e lagos, especialmente em períodos de precipitação intensa. Uma vez no ambiente aquático, os metais pesados tendem a se associar a partículas finas e sedimentos, onde podem ser acumulados e posteriormente remobilizados em função de alterações nas condições de pH, potencial redox ou turbulência hídrica (MOLISANI et al., 2006; JESUS et al., 2004).

Essa dinâmica evidencia que a contaminação não se restringe ao ponto inicial de descarte, mas assume caráter difuso e cumulativo, comprometendo progressivamente a qualidade da água e a integridade dos ecossistemas aquáticos. Além disso, a incorporação desses metais por organismos bentônicos e por espécies de níveis tróficos superiores intensifica os riscos ecológicos e sanitários, uma vez que os contaminantes podem alcançar concentrações mais elevadas nos organismos situados no topo da cadeia alimentar (LI et al., 2018).

Além da contaminação metálica, destaca-se o fenômeno da eutrofização, frequentemente intensificado pelo lançamento de efluentes ricos em compostos nitrogenados e fosfatados. Conforme discutido por Smith e Schindler (2009), o enriquecimento artificial de nutrientes promove crescimento excessivo de algas, redução dos níveis de oxigênio dissolvido e, conseqüentemente, mortandade de peixes, alterando profundamente a dinâmica ecológica dos ecossistemas aquáticos.

Essas alterações não se restringem à dimensão ambiental. De acordo com a World Health Organization (2017), a exposição prolongada a águas contaminadas por metais pesados pode



desencadear distúrbios neurológicos, renais, hepáticos e doenças crônicas. Assim, o descarte irregular de resíduos industriais configura-se simultaneamente como problema ecológico e de saúde pública.

No cenário nacional, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico aponta que regiões com maior densidade industrial apresentam maior comprometimento da qualidade hídrica, especialmente onde há deficiência no tratamento de efluentes e fiscalização ambiental (ANA, 2022). Observa-se, portanto, que os impactos não decorrem apenas do volume de resíduos gerados, mas de falhas sistêmicas na gestão ambiental, o que reforça a necessidade de políticas públicas integradas, monitoramento contínuo e maior rigor na aplicação da legislação ambiental.

Diante dos impactos amplamente documentados do descarte irregular, a literatura científica e os marcos normativos nacionais convergem ao afirmar que a gestão adequada de resíduos industriais constitui elemento central para a mitigação da degradação ambiental. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) estabelece princípios como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a logística reversa e a destinação ambientalmente adequada dos resíduos, determinando que rejeitos industriais devem passar por tratamento prévio antes de sua disposição final.

A norma técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 10004:2004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, diferenciando resíduos perigosos (Classe I) daqueles não perigosos (Classe II). Essa classificação é fundamental para definir procedimentos de armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, reduzindo riscos de contaminação do solo e das águas subterrâneas.

No que se refere ao tratamento de efluentes líquidos industriais, estudos apontam que sistemas físico-químicos (coagulação, floculação, precipitação química), biológicos (lodos ativados, reatores anaeróbios) e tecnologias avançadas, como processos oxidativos avançados e membranas filtrantes, apresentam elevada eficiência na remoção de metais pesados e compostos orgânicos tóxicos (FU; WANG, 2011). Segundo esses autores, técnicas de adsorção utilizando materiais de baixo custo também têm demonstrado potencial significativo na remoção de íons metálicos de águas contaminadas.

Além do tratamento, a implementação de sistemas de gestão ambiental certificados, como os previstos pela International Organization for Standardization na norma ISO 14001, contribui para



a redução sistemática da geração de resíduos e para o monitoramento contínuo de impactos ambientais. Empresas que adotam tais sistemas tendem a apresentar melhor desempenho ambiental e maior conformidade legal.

No cenário brasileiro, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico reforça que o controle eficiente de efluentes industriais depende não apenas de tecnologias de tratamento, mas também de fiscalização contínua, monitoramento da qualidade da água e integração entre órgãos ambientais estaduais e federais (ANA, 2022). Dessa forma, a gestão adequada deve ser compreendida como processo integrado que envolve prevenção, tratamento, reutilização e disposição final ambientalmente segura.

Assim, observa-se que a mitigação dos impactos nos rios não depende exclusivamente da redução do volume gerado, mas da adoção de estratégias estruturadas de gestão, aliadas à aplicação rigorosa da legislação ambiental e à incorporação de tecnologias eficientes de tratamento. A ausência desses mecanismos perpetua ciclos de contaminação que comprometem ecossistemas aquáticos e a saúde das populações que deles dependem.



3. CONCLUSÃO

A análise realizada evidencia que o descarte irregular de resíduos industriais, especialmente aqueles provenientes de equipamentos eletroeletrônicos, constitui um dos principais vetores de degradação dos corpos hídricos em regiões de elevada concentração industrial. Os dados apresentados demonstram que, embora o Brasil possua arcabouço legal estruturado e instrumentos técnicos de gestão ambiental, persistem fragilidades na destinação adequada desses resíduos, favorecendo a introdução de metais pesados no ambiente aquático.

Verificou-se que o processo de contaminação ocorre principalmente por meio da lixiviação, do escoamento superficial e da remobilização de sedimentos, mecanismos que permitem a dispersão de íons metálicos como chumbo, mercúrio e cádmio para lençóis freáticos e corpos hídricos superficiais. Esses elementos, devido à sua elevada persistência ambiental e potencial de bioacumulação, comprometem parâmetros físico-químicos da água, reduzem a biodiversidade aquática e ampliam riscos à saúde humana.

Além dos impactos ecológicos, a poluição hídrica decorrente de atividades industriais ultrapassa a esfera ambiental, configurando-se como problema de saúde pública e de justiça socioambiental, especialmente em comunidades que dependem diretamente dos recursos hídricos para abastecimento e subsistência.

Observa-se, portanto, que a mitigação desses impactos não depende exclusivamente da redução do volume de resíduos gerados, mas da efetiva implementação de políticas públicas, fiscalização rigorosa, monitoramento contínuo e adoção de tecnologias eficientes de tratamento. A gestão ambiental integrada, aliada à responsabilidade compartilhada entre setor produtivo, poder público e sociedade, mostra-se essencial para romper o ciclo de contaminação e promover a preservação dos recursos hídricos.

Conclui-se que a proteção dos rios frente aos impactos do lixo industrial exige não apenas cumprimento normativo, mas mudança estrutural na forma como os resíduos são produzidos, tratados e descartados, assegurando qualidade hídrica, equilíbrio ecológico e bem-estar das gerações presentes e futuras.



4. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022**. Brasília: ANA, 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

FU, F.; WANG, Q. **Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review**. Journal of Environmental Management, v. 92, n. 3, p. 407–418, 2011.

JESUS, H. C. et al. **Avaliação da contaminação por metais pesados em sedimentos do estuário de Santos e São Vicente (SP)**. Química Nova, v. 27, n. 3, p. 378–383, 2004.

LI, H. et al. **Assessment of heavy metal contamination in water and sediments**. Environmental Earth Sciences, v. 77, 2018.

MARIN-MORALES, Maria Aparecida; ROBERTO, Matheus Mantuanelli; ANGELIS, Dejanira de Franceschi de; ANGELIS, Darlene Attili de. **Importância da água para a vida e garantia de manutenção da sua qualidade**. Conexão Água – Ministério Público Federal, 2016. Disponível em:
<https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/10-importancia-da-agua-para-a-vida-e-garantia-de-manutencao-da-sua-qualidade.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2026.

MOLISANI, M. M. et al. **Environmental changes in Sepetiba Bay, SE Brazil**. Regional Environmental Change, v. 6, p. 1–12, 2006.

ROBINSON, Brett H. **E-waste: an assessment of global production and environmental impacts**. Science of the Total Environment, v. 408, n. 2, p. 183–191, 2009.

SILCON SUSTECH ECOSYSTEM. **O que acontece com o lixo industrial? 2020**. Disponível em:
<https://silcon.com.br/blog/gerenciamento-de-residuos-18/o-que-acontece-com-o-lixo-industrial-1739>. Acesso em: 18 fev. 2026.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. **Eutrophication science: where do we go from here? Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 4, p. 201–207, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for drinking-water quality. 4. ed. Geneva: WHO, 2017.

TERRADECULTIVO. **Lixo industrial: conheça o destino correto para diferentes tipos de resíduos**. 5 maio 2021. Disponível em:
<https://www.terradecultivo.com.br/tcsolucoesambientais/lixo-industrial-conheca-o-destino-correto-para-diferentes-tipos-de-residuos/>. Acesso em: 18 fev. 2026.

VAREDA, João P.; VALENTE, Artur J. M.; DURÃES, Luisa. **Assessment of heavy metal**



pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: A review. Journal of Environmental Management, v. 246, p. 101–118, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.05.126.