

MINERAÇÃO DE OURO E CONTAMINAÇÃO POR MERCÚRIO: DESAFIOS AMBIENTAIS E ESTRATÉGIAS DE SUSTENTABILIDADE

GABRIELA H. M. de Souza

RESUMO

O mercúrio é uma substância altamente tóxica que exerce efeitos profundos tanto na saúde pública quanto no meio ambiente, especialmente em áreas afetadas pela mineração ilegal, como a Amazônia brasileira. Este estudo tem como objetivo evidenciar os impactos prejudiciais do envenenamento por mercúrio em comunidades vulneráveis, destacando a urgência da questão. A pesquisa fundamenta-se em uma análise bibliográfica detalhada de artigos científicos e relatórios de instituições respeitáveis, focando nas formas de exposição e nas consequências da contaminação. Os resultados demonstram que a contaminação por mercúrio compromete a saúde neurológica e cardiovascular das populações, além de ameaçar a segurança alimentar, uma vez que muitas comunidades dependem da pesca e da agricultura para sua sobrevivência. Além disso, foram analisadas estratégias de mitigação, como o uso de cascas de banana e a biorremediação, que se mostram alternativas viáveis para reduzir os níveis de mercúrio no meio ambiente. Estas abordagens não apenas ajudam a diminuir a contaminação, mas também promovem a recuperação de áreas afetadas, sugerindo um caminho para a sustentabilidade e a preservação da saúde ambiental.

Palavras-chave: mercúrio; contaminação; saúde pública; biorremediação; sustentabilidade.

ABSTRACT

Mercury is a highly toxic substance that has profound effects on both public health and the environment, especially in areas affected by illegal mining, such as the Brazilian Amazon. This study aims to highlight the harmful impacts of mercury poisoning on vulnerable communities, highlighting the urgency of the issue. The research is based on a detailed bibliographic analysis of scientific articles and reports from reputable institutions, focusing on the forms of exposure and the consequences of contamination. The results demonstrate that mercury contamination compromises the neurological and cardiovascular health of populations, in addition to threatening food security, since many communities depend on fishing and agriculture for their survival. In addition, mitigation strategies, such as the use of banana peels and bioremediation, were analyzed, which have shown to be viable alternatives to reduce mercury levels

in the environment. These approaches not only help to reduce contamination, but also promote the recovery of affected areas, suggesting a path towards sustainability and preservation of environmental health.

Keywords: mercury; contamination; public health; bioremediation; sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O mercúrio é um metal com cor prateada e diferentemente dos demais, permanece líquido à temperatura ambiente (FRANCISCO, 2021). É um elemento químico versátil, amplamente utilizado com diversas aplicações no dia a dia, como em amálgamas dentárias, extração de ouro, lâmpadas fluorescentes e muitos outros usos industriais e científicos, nas quais pode se apresentar em sua forma orgânica, inorgânica, metálica ou elementar. Cada uma dessas formas possui características distintas e diferentes graus de toxicidade (FRANCISCO, 2021).

O mercúrio metálico é empregado em diversos dispositivos e produtos, o mercúrio inorgânico é formado quando o mercúrio combina-se com outros elementos, como cloro (Cl) enxofre (S) e oxigênio (O), dando origem a compostos ou sais que podem ocorrer naturalmente no ambiente, já o metilmercúrio (MeHg), é uma forma especialmente nociva, predominantemente encontrado em ambientes aquáticos e pode representar riscos consideráveis à saúde humana (PAVITHRA et al., 2023).

O mercúrio metálico, em quantidades elevadas, pode ser altamente tóxico para os organismos vivos e representar uma fonte de poluição para o ecossistema (FIGUEIREDO, 2015 apud TAVARES, 2020). A sua toxicidade manifesta-se principalmente na forma de metilmercúrio (MeHg), e pode afetar o funcionamento do sistema cardiovascular, neurológico, imunológico e respiratório (TAVARES, 2020).

Atividades de garimpo ilegal têm sido uma das principais fontes de contaminação por mercúrio, expondo o meio ambiente e afetando gravemente o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Esses impactos têm implicações diretas para as comunidades locais, que dependem da pesca para sobrevivência, gerando riscos de envenenamento e comprometendo a segurança alimentar. (TAVARES, 2020).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) classifica o mercúrio como um dos dez produtos químicos mais perigosos para a saúde pública. Assim, torna-se imprescindível discutir a questão do mercúrio na atividade do garimpo, não somente

pelos efeitos que acarreta os locais próximos, mas também pelos impactos que gera em escala global, tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente.

Socialmente, os impactos do mercúrio afetam a economia de comunidades que dependem da pesca e da agricultura, levando a perdas financeiras e à insegurança alimentar. É de extrema importância buscar alternativas mais seguras e sustentáveis, a fim de reduzir os efeitos negativos dessa prática e preservar a saúde, o bem-estar das comunidades afetadas e do planeta como um todo (MARTINS, 2022).

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é demonstrar os impactos negativos do envenenamento por mercúrio associado à mineração ilegal em comunidades vulneráveis, com foco nas suas consequências para a saúde humana e o meio ambiente. Além disso, foram identificadas as principais fontes e vias de exposição ao mercúrio, detalhando como o mercúrio é liberado, transportado e absorvido pelas comunidades e ecossistemas afetados. Por fim, o trabalho busca demonstrar estratégias sustentáveis, como a biorremediação e a adsorção, que podem ser aplicadas para mitigar esses efeitos prejudiciais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Potencial Tóxico do Mercúrio

O mercúrio pode ser encontrado em diferentes formas, cada uma com propriedades e riscos distintos. Na forma elementar, o mercúrio aparece como um líquido à temperatura ambiente, volatilizando-se com rapidez e permanecendo suspenso na atmosfera por longos períodos. Quando inalado, devido à sua lipossolubilidade, ele penetra nos alvéolos pulmonares e atravessa facilmente a barreira hematoencefálica e a barreira placentária. Na corrente sanguínea, é oxidado em formas como Hg^+ e Hg^2 pela ação da catalase e, geralmente, é excretado pela urina (FRANCISCO, 2021).

Os compostos inorgânicos, como os sais de calomelano (Hg_2Cl_2), apresentam baixa lipossolubilidade, dificultando sua passagem nas membranas. Por outro lado, os compostos orgânicos, especialmente o metilmercúrio (MeHg), são altamente lipossolúveis devido à sua estrutura apolar, que facilita sua interação com as membranas celulares, compostas principalmente por lipídios. Isso os torna uma das

formas mais tóxicas do mercúrio, responsáveis pela intoxicação oral, podendo se acumular em órgãos como fígado e cérebro (FRANCISCO, 2021).

Devido à sua capacidade de atravessar as barreiras biológicas e de se acumular nos organismos, o MeHg tornou-se um problema ambiental e social. Isso se deve ao processo de biomagnificação do mercúrio, ou seja, ao fato de a concentração do MeHg se elevar a cada nível trófico da cadeia alimentar (SALAS, 2023).

No processo do garimpo, o mercúrio metálico é usado para formar uma amálgama com o ouro, que, quando aquecida, permite a evaporação do mercúrio, resultando na obtenção de ouro puro. Essa queima ao ar livre resulta na liberação de grandes quantidades de vapor de mercúrio na atmosfera (CRESPO-LOPEZ et al., 2021).

O mercúrio presente proveniente dos processos de obtenção de ouro puro pode se depositar em solos e rios, onde se transforma em formas mais tóxicas, como o metilmercúrio (MeHg), contaminando ainda mais a natureza. Além disso, resíduos contaminados com mercúrio frequentemente permanecem expostos em diversas áreas de mineração, colocando o meio ambiente e a saúde humana em perigo constante. (BERZAS NEVADO et al., 2010; ARRIFANO et al., 2018; CRESPO-LOPEZ et al., 2021).

A contaminação por metilmercúrio em alimentos é uma preocupação significativa, pois o consumo regular de alimentos contaminados pode afetar a saúde humana. O metilmercúrio tende a se acumular em organismos aquáticos e pode ser absorvido por humanos através da ingestão de peixes contaminados (CRESPO-LOPEZ, 2021).

Devido à sua alta toxicidade e tendência a se acumular ao longo da cadeia alimentar, o metilmercúrio não apenas impacta as populações locais, mas também gera implicações regionais abrangentes. No ambiente aquático, o mercúrio liberado pela Mineração Artesanal e de Pequena Escala (ASGM) é submetido a um processo de metilação, mediado por microrganismos, que o transforma em metilmercúrio (SALES, 2020).

Concentrações elevadas de mercúrio são frequentemente detectadas em peixes de níveis tróficos superiores, devido ao processo de biomagnificação, onde praticamente todo o mercúrio acumulado nos tecidos dos peixes predadores é metilmercúrio. Esse fenômeno de biomagnificação resulta em concentrações de

metilmercúrio que podem crescer exponencialmente conforme se avança na cadeia trófica, tornando essa substância uma preocupação crescente tanto para a saúde ecológica quanto para a saúde humana (GOMES, 2021).

O mercúrio metálico, quando inalado, é absorvido pelos pulmões e rapidamente entra na corrente sanguínea. Ele se distribui por todo o corpo e consegue atravessar a barreira hematoencefálica, acumulando-se no cérebro, onde é convertido em formas mais tóxicas, como mercúrio inorgânico, podendo causar danos neurológicos. Embora o mercúrio também se distribua por outros órgãos, suas concentrações geralmente são inferiores (BLANCO FUENTES, 2023).

OLIVEIRA ROSA et al. (2024) classificaram os estágios de intoxicação por mercúrio em agudo e crônico, de acordo com os sintomas apresentados. Segundo os autores, dores intensas, vômitos e sangramentos gengivais, são típicos da intoxicação aguda, ao passo que transtornos do sistema digestivo, nervoso e reanal, são apontados como sintomas da intoxicação crônica. Essa distinção entre intoxicação aguda e crônica é crucial para entender a gravidade dos sintomas.

A toxicidade do MeHg está diretamente relacionada à sua capacidade de biomagnificação nas cadeias tróficas aquáticas e ao fato de ultrapassar as barreiras hematoencefálica e placentária (OLIVEIRA et al., 2021). Ao atingir o sistema nervoso central (SNC), o MeHg sofre oxidação e se acumula, o que pode causar danos irreversíveis ao tecido cerebral (OLIVEIRA et al., 2021).

2.2 Impactos ambientais e sociais

O uso ilegal do mercúrio, e a escassez de fiscalização geram grandes impactos ao meio ambiente, à fauna, flora e a saúde humana. Como uma tentativa de regimentar sua utilização, o Parlamento Europeu lançou o Regulamento (UE) nº 2017/852 que impõe restrições rigorosas ao uso do mercúrio (FERNANDES, 2022).

Este regulamento proíbe a fabricação e comercialização de mercúrio em determinados produtos e processos, além de impor restrições à sua exportação e importação. Contudo, não há uma proibição total da fabricação, exportação ou importação de mercúrio. O objetivo principal é reduzir a liberação de mercúrio no ambiente e proteger a saúde pública, restringindo seu uso em contextos específicos onde os riscos são mais evidentes (UE, 2017).

Entretanto, existe uma persistência da ausência de um controle eficaz sobre a comercialização de ouro, o que resulta na introdução de grandes volumes de minério extraído ilegalmente no mercado. Isso compromete a integridade do meio ambiente e a saúde das comunidades locais, atraindo ainda mais grupos que buscam movimentações financeiras discretas e facilitadas, o que dificulta a proteção ambiental (FIGUEIREDO, GUIMARÃES, 2024).

A principal via de exposição ao mercúrio elementar é a inalação, enquanto os sais inorgânicos de mercúrio, devido à sua forma química, são geralmente ingeridos, o que aumenta os riscos de contaminação em ambientes aquáticos e afeta diretamente a saúde humana (FERNANDES, 2022). A contaminação de peixes e rios com mercúrio constitui um problema ambiental grave, especialmente para os povos indígenas, que dependem desses recursos para sua sobrevivência. O uso indiscriminado de mercúrio e seu descarte inadequado em rios prejudicam gravemente a vida dessas comunidades, violando seus direitos humanos e causando diversos problemas de saúde (BASTA, 2023).

A ingestão de organismos contaminados pode levar à absorção de metilmercúrio, que se acumula e afeta o Sistema Nervoso Central, prejudicando regiões específicas do cérebro, como os lobos temporais e o cerebelo (JINADASA; FOWLER, 2019 apud FREITAS, 2022; FERNANDES, 2022). Entretanto, a forte dependência da pesca como fonte primária de proteína torna as comunidades ribeirinhas e indígenas particularmente suscetíveis à contaminação por mercúrio, uma vez que o mercúrio se acumula nos peixes.

Essa situação é ainda mais grave devido à limitada acessibilidade aos cuidados de saúde apropriada, o que dificulta a identificação e o tratamento dos problemas de saúde derivados da exposição ao mercúrio (MARTINS, 2022). Além disso, a poluição atmosférica gerada por atividades de mineração não afeta apenas áreas próximas, mas se espalha por toda a região amazônica (MARTINS, 2022).

2.3 Estratégias sustentáveis de descontaminação

2.3.1 Casca de banana

O Brasil é um dos maiores produtores de banana, cultivando diversas variedades desse fruto, que, além de ser um alimento nutritivo, possui em sua casca

compostos orgânicos e minerais que a torna eficiente na interação com íons metálicos devido à presença de diversos grupos funcionais orgânicos, como hidroxila (-OH), carbonila (C=O) e carboxila (-COOH), que facilitam a formação de complexos e interações com íons metálicos, incluindo o mercúrio (SANTANA, SANTOS e RESENDE, 2020).

O ciclo de manejo do mercúrio, desde sua liberação na atmosfera até a sua remoção, pode ser otimizado por meio do uso da casca de banana. Esse processo é possível, devido às suas propriedades de adsorção, sendo uma estratégia sustentável para a remoção de mercúrio da água e do solo, contribuindo para a redução da contaminação por Hg, conforme ilustrado na Figura 1 (LAREX, 2018).



Figura 1 – Tratamento do efluente da mineração artesanal de ouro contaminado com cianeto de mercúrio através de biossorventes. Fonte: LAREX. Acesso em: 29 abr. 2024.

A Figura 1 destaca o ciclo de impacto e gerenciamento do mercúrio na extração de ouro, evidenciando como essa atividade ilegal resulta na liberação de mercúrio e cianeto, poluindo tanto o ar quanto a água. Fica evidente a urgência de se desenvolver métodos eficazes para a eliminação desses compostos.

Como alternativa, a utilização de casca de banana desidratada e triturada surge como uma solução inovadora e sustentável para a adsorção de poluentes como mercúrio e cianeto, contribuindo para a diminuição da contaminação (PIETEZAK, MARTINS, ANDREZZA, 2024).

2.3.2. Biorremediação

A biorremediação é uma técnica que utiliza organismos vivos e seus processos metabólicos para transformar contaminantes em formas menos tóxicas ou menos biodisponíveis, o que a torna uma alternativa econômica e eficiente. A utilização de microorganismos capazes de biotransformar o mercúrio pode ser considerada uma possível alternativa para reduzir as emissões de mercúrio no meio ambiente, desde que os processos de transformação resultem em formas menos tóxicas ou mais facilmente removíveis (VALLENAS-ARÉVALO, 2020).

Freitas (2022) descreve o potencial de plantas aquáticas, como *Typha domingensis*, e de microrganismos como bactérias, fungos e leveduras para a descontaminação de metais pesados em áreas poluídas. O autor baseia-se em diversos estudos que demonstram a eficácia desses organismos na absorção e redução de metais como o mercúrio, evidenciando que esses organismos têm um papel crucial na remediação de ambientes contaminados por mercúrio e outros metais pesados.

Ambas as técnicas, biorremediação e bioissorção, possuem vantagens distintas: a biorremediação é altamente específica, permitindo seu direcionamento para contaminantes específicos, enquanto a bioissorção é mais flexível e adequada para uma ampla gama de situações. A bioissorção é o processo pelo qual materiais biológicos, como a casca de banana, adsorvem contaminantes presentes no ambiente, como metais pesados, devido à sua estrutura celular e propriedades químicas. Todavia, ambas as técnicas exigem um entendimento profundo das condições ambientais e dos processos biológicos envolvidos para assegurar sua efetividade.

De forma concisa, tanto a biorremediação quanto a bioissorção são métodos inovadores e ecologicamente corretos para lidar com a contaminação por metais pesados, fornecendo opções viáveis para reduzir os impactos negativos da mineração e para preservar o meio ambiente e a saúde pública. Assim sendo, a constante elaboração de estratégias para diminuir os riscos do mercúrio e demais poluentes é um processo contínuo, no qual a criatividade, a parceria e a dedicação à sustentabilidade são elementos-chave (ROSA, 2021).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão bibliográfica incluindo artigos científicos em português e inglês, bem como monografias disponíveis em sites de instituições de pesquisa. Além disso, foram consultadas fontes científicas reconhecidas como a Organização Mundial da Saúde (OMS), e bancos de dados como PubMed, Scielo e Google Scholar, em busca de informações relevantes sobre o tema, abrangendo os anos de 2020 à 2024.

Foram utilizadas palavras-chaves como “Mercúrio”, “toxic mercury”, “contaminação”, “Amazônia” e “metais pesados”, para garantir uma ampla cobertura das informações disponíveis e uma compreensão abrangente do assunto.

4. RESULTADOS E DISCURSSÃO

Segundo Pozzett (2022), com base nos estudos de Silva et al. (1996), o mercúrio metálico é liberado no ambiente durante as operações de mineração no Brasil de duas formas principais: líquida ou amalgamada. Este mercúrio muitas vezes é descartado diretamente nos sistemas de drenagem, ou liberado como vapor resultante da queima do amálgama nas minas e da fusão do ouro em lojas de compra próximas às áreas de mineração.

A contaminação por mercúrio representa sérios desafios ambientais e de saúde pública, especialmente em áreas da Amazônia brasileira afetadas pela mineração ilegal. Comunidades locais, principalmente as indígenas e ribeirinhas, apresentam altos índices de intoxicação por mercúrio devido à exposição contínua através da ingestão de peixes contaminados. Este envenenamento tem causado sérios problemas de saúde, como distúrbios neurológicos e renais, e em alguns casos, resultou em mortes. Além disso, a exposição ao mercúrio está associada à diminuição da qualidade de vida, comprometendo a saúde das futuras gerações devido à contaminação ambiental (TAVARES, 2020).

Pesquisas de Pietezak, Martins e Andrezza (2024) e Dantas et al. (2020) evidenciam a capacidade da casca de banana de remover metais pesados, corantes e outros compostos químicos em soluções aquosas, incluindo o mercúrio. Além disso, a biorremediação, um processo que combina mecanismos biológicos e engenharia ambiental, também se apresenta como uma alternativa eficaz para a remoção de

mercúrio da água, conforme descrito por Rosa et al. (2021).

De acordo com Arevalo (2020), a biodegradação de sofre a influência de diversos fatores. Dentre elas, estão as condições ambientais (como temperatura, pH, presença de oxigênio e umidade), que incluem temperatura, pH, presença de oxigênio e umidade, todas essenciais para a atividade dos organismos que promovem a degradação. Além disso, as características do poluente, como toxicidade, solubilidade, estrutura química e concentração, podem impactar a dificuldade de sua degradação. Por último, as condições internas do processo, que dizem respeito ao estado dos organismos ou sistemas empregados na biorremediação, como saúde, capacidade de adaptação e oferta de nutrientes, também desempenham um papel importante. São esses fatores que vão influenciar a eficiência da biorremediação. Duas classes primordiais de tecnologias de biorremediação são abordadas para a eliminação de metais de águas residuais: fitorremediação, com auxílio de plantas, e remediação apoiada por microrganismos (FREITAS, 2022).

Estudos demonstram que alternativas de remediação, como o uso de cascas de banana e outras frutas, são eficazes na adsorção de metais pesados, como o mercúrio, e outros poluentes. Um estudo realizado por Santana, Santos e Rezende (2020) demonstrou que a casca de banana possui uma capacidade de adsorção de metais pesados comparável à do carvão ativado, um adsorvente convencional, e é mais econômica. Os testes mostraram que a casca de banana tem uma capacidade de adsorção comparável à do carvão ativado, que é um adsorvente convencional mais caro.

Comparativamente, a biomassa proveniente da laranja tem se destacado como um método eficaz na remoção de contaminantes, como o glifosato, devido ao seu alto teor de pectina (PINTO et al, 2023). A pectina, um polissacarídeo encontrado nas paredes celulares das plantas, favorece a adsorção de substâncias químicas, tornando a casca de laranja uma opção eficiente para remover mercúrio (Hg) de águas residuais. Suas interações com íons metálicos permitem a adsorção do mercúrio, oferecendo uma alternativa sustentável e econômica para a descontaminação de águas contaminadas com Hg (PINTO et al., 2023).

Outro exemplo é o bagaço de cana-de-açúcar, rico em lignina, celulose e hemicelulose, pode ser utilizado para adsorver mercúrio (Hg) de soluções aquosas, devido às suas propriedades adsorventes. Além de ser uma alternativa sustentável,

sua abundância no Brasil torna o bagaço de cana uma opção viável e econômica para o tratamento de águas contaminadas com Hg (MENEZES, 2023).

Em síntese, a utilização de recursos naturais, como os resíduos agrícolas, para a remoção de poluentes configura uma abordagem promissora e sustentável para a preservação ambiental. Essas alternativas se destacam por serem provenientes de produtos agrícolas de baixo custo e biodegradáveis, oferecendo uma solução viável e ecologicamente correta. (SALAS, 2023).

5. CONCLUSÃO

A contaminação por Hg representa sérios desafios ambientais e de saúde pública, especialmente em áreas da Amazônia brasileira afetadas pela mineração ilegal. Este trabalho destaca o impacto do envenenamento por mercúrio nas comunidades vulneráveis, destacando as formas de exposição e suas consequências.

Foi comprovado que alternativas de remediação, como especificamente as cascas de banana, e outras frutas, adsorvem eficazmente metais pesados e outros tipos de poluentes, fornecendo soluções sustentáveis e promovendo uma economia circular. Além disso, a biorremediação através do uso de microrganismos torna-se uma estratégia inovadora e econômica para a purificação ambiental.

Adotar estratégias sustentáveis é crucial para salvaguardar a saúde das comunidades e cuidar do meio ambiente. A pesquisa constante e a aplicação de políticas eficientes são indispensáveis para mitigar os riscos de contaminação por mercúrio e promover um desenvolvimento sustentável nas áreas de mineração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARÉVALO, Amzy Tania Vallenias. **Biorremediação na gestão de áreas contaminadas**: Princípios, Aplicações e Perspectivas. Universidade De São Paulo; 2020.
- BASTA, Paulo Cesar. Garimpo de ouro na Amazônia: a origem da crise sanitária Yanomami. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 39, n. 12, p. 1-15, jan. 2023.
- BLANCO FUENTES, María Victoria. **Concentração de mercúrio no sangue e sua relação com o consumo de peixe em uma população infantil**. Universidade Complutense de Madrid; 2024.
- CRESPO-LOPEZ, Maria Elena et al. **Mercury: What can we learn from the Amazon?** *Environmental International*, v. 146, p. 106223, jan. 2021. doi: 10.1016/j.envint.2020.106223. Epub 27 out. 2020. PMID: 33120229.
- DANTAS, Sandra Cristina et al. Adsorção do corante verde de malaquita utilizando casca de banana e sabugo de milho como adsorvente. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 5, n. 2, p. 124-139, 2020.
- FERNANDES, Bruna Filipa Lopes. **Química e toxicidade do mercúrio**. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade de Lisboa, Faculdade de Farmácia, Lisboa, 2022.
- FIGUEIREDO, Ana; GUIMARÃES, Ryanny. **Esquemas criminais**: a emergência do primeiro comando da capital no garimpo ilegal da Terra Indígena Yanomami, 2024.
- FRANCISCO, Ana Rita Correia. **Química e toxicidade do mercúrio**. Trabalho final de Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas – Universidade de Lisboa, Faculdade de Farmácia, Lisboa, 2021.
- FREITAS, Moara Cardoso de. **Avaliação da resistência a mercúrio em *Yarrowia lipolytica* UENF-F, uma levedura modelo para estudos com metais**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Bociências e Biotecnologia, Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.
- GOMES, Bárbara Leticia Corrêa et al. Análise temporal da exposição ao mercúrio na população ribeirinha da Amazônia: revisão integrativa. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 13, n. 5, p. e7172-e7172, 2021.
- IRAVANI, S.; VARMA, R. S. **Bacteria in heavy metal remediation and nanoparticle biosynthesis**. *ACS Sustainable Chemical Engineering*, v. 8, n. 14, p. 5395-5409, 2020.
- LAREX. **Tratamento do efluente da mineração artesanal de ouro contaminado com cianeto de mercúrio através de bioissorventes**. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://larex.poli.usp.br/tratamento-do-efluente-da-mineracao-artesanal-de-ouro-contaminado-com-cianeto-de-mercurio-atraves-de-bioissorventes/>>. Acesso em: 29 abr. 2024.

- MARTINS, Renata Krüger. **Divulgação científica para a conscientização sobre a exposição ao mercúrio em populações indígenas e ribeirinhas na Amazônia.** Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Porto Alegre, 2022.
- MENEZES, Vinícius Niederle de Abreu e. **Estudos de equilíbrio de adsorção de contaminantes emergentes em meio aquoso utilizando biossorvente pirolisado à base de cana-de-açúcar.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Florianópolis, 2023.
- OLIVEIRA, Rogério Adas Ayres de et al. **Neurological impacts of chronic methylmercury exposure in Mundurucu indigenous adults: somatosensory, motor, and cognitive abnormalities.** *International journal of environmental research and public health*, v. 18, n. 19, p. 10270, 2021.
- Organização Mundial da Saúde (OMS).** Mercúrio e saúde. Genebra: Organização Mundial da Saúde; 2017. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>. Acesso em: 12 out. 2024.
- PAVITHRA, K. Grace et al. **Mercury sources, contamination, mercury cycle, detection and treatment techniques: a review.** *Elsevier*, v. 312, p. 137314, jan. 2023.
- PIETEZAK, Daniel Felipe; MARTINS, Tainá Cristina; ANDREAZZA, Janaína Karine. Um composto de biomassa de casca de banana e laranja como adsorvente para tratamento de efluentes: obtenção, caracterização e viabilidade. *Revista UNICREA: Revista Técnico-Científica da Universidade Corporativa do CREA/SC*, v. 2, n. 1, p. 240-273, 2024.
- PINTO, Amanda de Azevedo et al. **Biomassa proveniente da laranja como biossorvente do glifosato para descontaminação em meio aquoso.** 2023. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em Química) - ETEC Professor Armando José Farinazzo, Fernandópolis, 2023.
- POZZETTI, Valmir César et al. **Use of mercury in the Brazilian Amazon: contamination, problems and current legislation.** *Revista Catalana de Dret Ambiental*, v. XIII, n. 2, p. 1-34, 2022.
- ROSA, Júlio César Oliveira et al. **Os efeitos do mercúrio: e o risco à vida dos povos tradicionais brasileiros / The effects of mercury: and the risk to people's lives Brazilian traditionals.** *Revista Extensão*, v. 8, n. 2, p. 109-117, 2024.
- ROSA, Thatiane Duarte; SILVA, Gabriel Rodrigues; SOUZA, Cleide Barbieri de. **BIORREMEDIAÇÃO: mecanismos de resistência bacteriana frente ao íon metálico mercúrio.** *UNILUS Ensino e Pesquisa*, v. 18, n. 51, p. 115-128, 2021.
- SALAS, Angie Paola Santacruz. **Reaproveitamento de Bagaço de Cana De Açúcar Para a Remoção de Mercúrio em Soluções Aquosas.** Dissertação (Mestrado

em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2023.

SALES, Mayk da Silva. **Dinâmica do mercúrio total e metilmercúrio na água do médio Rio Machado e principais afluentes (Rondônia)**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos) – Campus de Ji-Paraná, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2020.

SANTANA, Jeferson Santos; SANTOS, Bianca Rodrigues dos; RESENDE, Brenda de Oliveira. Utilização da casca de banana como biossorvente para adsorção de metais pesados viabilizando sua utilização em águas residuárias da indústria galvânica. *INOVAE - Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797)*, v. 8, n. 1, p. 143–157, 2020.

TAVARES, Henrique Neuto. **Exposição humana ao mercúrio associada aos hábitos alimentares de comunidades no Alto Rio Madeira**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina, Brasília, 2020.

UNIÃO EUROPEIA. REGULAMENTO (UE) nº 2017/852 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de maio de 2017. Disponível em: <https://www.lexpoint.pt/conteudos/1084/74730/legislacao/regulamento-ue-2017852-do-parlamento-europeu-e-do-conselho-de-17052017#:~:text=Estabelece%20medidas%20e%20condi%C3%A7%C3%B5es%20relativas%20%C3%A0%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0>. Acesso em: 6 set. 2024.

VALLENAS-ARÉVALO, Amzy Tania. **Biorremediação na gestão de áreas contaminadas: princípios, aplicações e perspectivas**. 2020. 48 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.