Revista Eletrônica
Acervo Saúde
Electronic Journal Collection Health ISSN 2178-2091

Impactos do mercúrio na região norte do Brasil: efeitos em pescados e na saúde humana

Impact of mercury in northern Brazil: effects on fish and human health

Impacto del mercurio en el norte de Brasil: efectos en los peces y en la salud humana

Annie Antônia Ângela Pinheiro Rocha[1], Diely Pinheiro Corrêa[1], Gisella Yasmin de Assis Costa[1], Luiz Henrique Campos Holanda[1], Sleimann Augusto El Souki Cerbino[1].

RESUMO

Objetivo: Analisar os impactos ambientais e à saúde humana decorrentes da contaminação do solo e do ecossistema aquático por metilmercúrio. **Métodos:** Revisão integrativa com abordagem qualitativa, baseada em artigos científicos publicados entre 2015 e 2025 nas bases SciELO, PubMed, BVS e Google Acadêmico, utilizando a estratégia PICO para formulação da questão de pesquisa. **Resultados:** A revisão apontou que o garimpo ilegal é a principal fonte de mercúrio na Amazônia. O metilmercúrio formado acumula-se em peixes carnívoros, representando risco à saúde humana. Pesquisas recentes demonstram níveis acima dos limites da OMS, especialmente em comunidades indígenas e ribeirinhas da região amazônica brasileira atual. Alternativas como o uso do pau-de-balsa (Ochroma pyramidale) surgem como substituto promissor do mercúrio na mineração artesanal. **Considerações finais:** A contaminação mercurial é um problema ambiental, social e de saúde pública na Amazônia, por conta disso, se faz necessário a implementação de políticas públicas e tecnologias limpas para mitigar os impactos.

Palavras-chave: Mercúrio, Amazônia, Contaminação, Garimpo ilegal.

ABSTRACT

Objective: To analyze the environmental and human health impacts resulting from soil and aquatic ecosystem contamination by methylmercury. **Methods:** Integrative review with a qualitative approach, based on scientific articles published between 2015 and 2025 in the SciELO, PubMed, BVS, and Google Scholar databases, using the PICO strategy to formulate the research question. **Results:** The review pointed out that illegal mining is the main source of mercury in the Amazon. The methylmercury formed accumulates in carnivorous fish, posing a risk to human health. Recent research shows levels above WHO limits, especially in indigenous and riverine communities in the current Brazilian Amazon region. Alternatives such as the use of balsa wood (Ochroma pyramidale) emerge as a promising substitute for mercury in artisanal mining. **Final considerations:** Mercury contamination is an environmental, social, and public health problem in the Amazon. Therefore, it is necessary to implement public policies and clean technologies to mitigate its impacts.

Keywords: Mercury, Amazon, Poisoning, Illegal mining.

RESUMEN

Objetivo: Analizar los impactos ambientales y en la salud humana derivados de la contaminación del suelo y del ecosistema acuático por metilmercurio. **Métodos:** Revisión integradora con enfoque cualitativo, basada

[1] Centro Universitário da Amazônia (UNIESAMAZ), Belém - PA.

SUBMETIDO EM: 3/2026 | **ACEITO EM: 4/2026** | **PUBLICADO EM: 5/2026**

en artículos científicos publicados entre 2015 y 2025 en las bases SciELO, PubMed, BVS y Google Académico, utilizando la estrategia PICO para formular la pregunta de investigación. **Resultados:** La revisión señaló que la minería ilegal es la principal fuente de mercurio en la Amazonía. El metilmercurio formado se acumula en los peces carnívoros, lo que representa un riesgo para la salud humana. Investigaciones recientes muestran niveles superiores a los límites de la OMS, especialmente en comunidades indígenas y ribereñas de la actual región amazónica brasileña. Alternativas como el uso del pau-de-balsa (Ochroma pyramidale) surgen como un sustituto prometedor del mercurio en la minería artesanal. **Consideraciones finales:** La contaminación por mercurio es un problema ambiental, social y de salud pública en la Amazonia, por lo que es necesario implementar políticas públicas y tecnologías limpias para mitigar los impactos.

Palabras clave: Mercurio, Amazonía, Intoxicación, Minería ilegal.

INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg) é um elemento químico altamente tóxico, um metal pesado, inodoro, de coloração prateada, e persistente no ambiente, com ampla distribuição em compartimentos como água, solo e atmosfera, devido à sua capacidade de transformação entre três estados químicos: metálico, inorgânico e orgânico, é o único metal a permanecer no estado líquido em temperatura ambiente, sendo o mercúrio no seu estado orgânico, especialmente o metilmercúrio (MeHg), a forma mais tóxica. Apesar de seus efeitos deletérios à saúde humana e ambiental, o mercúrio ainda é amplamente utilizado em setores industriais, odontológicos e, principalmente, na mineração de ouro (SOUZA LA e ZAITUNE MPA, 2021).

A atividade garimpeira, notadamente na região amazônica, é uma das maiores fontes de contaminação por mercúrio. Desde a década de 1980, destaca-se a intensa poluição na bacia do Rio Madeira (RO), onde estima-se que cerca de 130 toneladas de mercúrio sejam lançadas anualmente no meio ambiente (LAUTHARTTE LC, et al., 2018). Durante o processo de extração aurífera, o metal é liberado na atmosfera e no solo, e, por meio de processos como erosão e lixiviação, atinge os corpos d'água (SOUZA LA e ZAITUNE MPA, 2021). No ambiente aquático, microrganismos convertem o mercúrio em MeHg, via biometilação (SOUSA EP, et al., 2024).

O MeHg acumula-se na biota aquática, afetando especialmente peixes predadores, por meio da biomagnificação, processo que intensifica a concentração de toxinas ao longo da cadeia trófica (GOMES MVT, et al., 2021). Essa contaminação compromete a segurança alimentar e afeta populações humanas que consomem pescados como principal fonte nutricional, é considerado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), um problema de saúde pública devido à multiplicidade de formas em que a população pode ser expostas e contaminadas por este metal. Nos garimpos ilegais, o mercúrio é utilizado na amalgamação, em sua forma inorgânica, e é frequentemente descartado de maneira inadequada. Nos leitos dos rios, a presença de microrganismos facilita a biotransformação do mercúrio, formando o metilmercúrio, (PEINADO TG E AMARANTE JOP, 2024). No ecossistema aquático, esse processo desencadeia dois fenômenos distintos: a bioacumulação e a biomagnificação.

A bioacumulação é o processo pelo qual o metal é absorvido pelo organismo, podendo ocorrer de forma direta, quando as substâncias são assimiladas do ambiente (solo, sedimento ou água), ou de forma indireta, por meio da ingestão de alimentos que já contêm esses compostos. Esses dois mecanismos frequentemente ocorrem simultaneamente, especialmente em ambientes aquáticos. A biomagnificação, por sua vez, refere-se ao acúmulo progressivo dessas substâncias ao longo da cadeia alimentar, à medida que se avança de um nível trófico para o outro (JARDIN S, 2022).

A exposição humana ao mercúrio pode causar severos distúrbios neurológicos e fisiológicos, uma vez que o metal é capaz de atravessar a barreira hematoencefálica (LAUTHARTTE LC, et al., 2018). A intoxicação por mercúrio pode causar náusea, vômitos, diarreia e dor abdominal, além de alterações neurológicas e de humor, como irritabilidade, alterações comportamentais e ansiedade, dependendo da forma química e via de exposição humana, e o seu tratamento é de difícil acesso, principalmente se considerarmos a população ribeirinha como fonte de exposição, visto que o tratamento padrão ouro para intoxicação aguda é através da administração intramuscular do dimercaprol, o que torna uma dificuldade perante à realidade de algumas

populações (WU WS, et al., 2024). Em resposta a esses impactos, foi estabelecida, em 2013, a Convenção de Minamata sobre o Mercúrio (CMM), com o objetivo de reduzir as emissões globais do metal e incentivar o uso de alternativas menos danosas (FENNER ALD, et al., 2017).

MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo. O estudo foi desenvolvido a partir da análise de artigos científicos publicados entre 2015 e 2025, disponíveis nas bases de dados SciELO, PubMed, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e Google Acadêmico. As estratégias de busca foram estruturadas com o auxílio de operadores booleanos (“AND” e “OR”), de modo a refinar e ampliar a precisão dos resultados (**Quadro 1**). Adicionalmente, empregou-se a estratégia PICO (População, Intervenção, Comparação e Outcome) para a formulação da pergunta norteadora da pesquisa (**Quadro 2**).

Os critérios de inclusão adotados contemplaram: artigos publicados em português ou inglês, disponíveis na íntegra e com acesso gratuito, que abordassem diretamente o tema proposto. Por outro lado, foram definidos como critérios de exclusão: estudos que não tratavam especificamente da temática central, publicações em idiomas distintos do português e do inglês, trabalhos indisponíveis na íntegra ou restritos, estudos duplicados e revisões sem dados originais relevantes.

A análise dos dados seguiu as etapas sistemáticas propostas para uma revisão integrativa, compreendendo seis fases principais: Formulação da pergunta norteadora da pesquisa; Definição dos critérios de busca e seleção da literatura; Extração e categorização dos dados relevantes dos estudos incluídos; Avaliação da qualidade metodológica das publicações selecionadas; Interpretação e síntese dos resultados obtidos; Apresentação dos achados de forma clara, organizada e fundamentada.

Essa abordagem metodológica possibilitou uma análise abrangente e aprofundada das evidências disponíveis sobre os efeitos da exposição ao mercúrio na região amazônica, contribuindo para a identificação de lacunas no conhecimento científico e para o fortalecimento das discussões em saúde pública e meio ambiente.

Quadro 1 - Metodologia de busca de acordo e palavras-chave.

PICO	Palavras-chaves (SciELO, BVS, PubMed e Google Acadêmico)
Ribeirinhos e Indígenas	SciELO: (Ribeirinhos OR Indigenas AND Mercúrio AND Garimpo) PubMed: (Riverine Communities OR Indigenous Peoples AND Mercury AND Illegal Mining) BVS: (Riverine Communities OR Indigenous Peoples AND Mercury AND Illegal Mining) Google Acadêmico: (Ribeirinhos OR Indigenas AND Mercúrio AND Garimpo)
Bioacumulação de mercúrio em ecossistemas e seus transtornos causados	SciELO: (Mercúrio AND Garimpo AND Amazônia) PubMed: (Mercury AND Illegal Mining AND Amazon) BVS: (Mercury AND Illegal Mining AND Amazon) Google Acadêmico: (Mercúrio AND Garimpo AND Amazônia)
Medidas para reduzir a emissão de Mercúrio	SciELO: (Mercúrio AND Alternativas). PubMed: (Mercury AND Alternatives). BVS: (Mercury AND Alternatives). Google Acadêmico: (Mercúrio AND Alternativas).

Fonte: Rocha AAAP, et al., 2026.

Quadro 2 - Estratégia PICO e determinação das perguntas norteadoras.

Estratégia Pico	Na pesquisa	Pergunta
População/Paciente	Famílias que vivem à margem de rios (ribeirinhos) e comunidades indígenas prejudicadas com a ação do garimpo ilegal.	Quais são os principais impactos ambientais e de saúde pública decorrentes da bioacumulação de metilmercúrio em peixes na região Norte do Brasil, especialmente em comunidades indígenas e ribeirinhas, e quais métodos podem ser utilizados para mitigar o uso desse metal?
Intervenção	Reunir informações sobre o processo de bioacumulação em distintos ecossistemas e os possíveis transtornos gerados por essa ação.	
Comparação	Alternativa com o uso do vegetal pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale*).	
Desfecho (Outcome)	Busca de alternativas para a mitigação do uso de Mercúrio em atividades econômicas.	

Fonte: Rocha AAAP, et al., 2026.

RESULTADOS

A seleção final resultou em 11 artigos publicados entre 2015 e 2025 (**Fluxograma 1**) (**Quadro 3**), abrangendo diferentes regiões da Amazônia brasileira e abordando tanto matrizes ambientais quanto biomarcadores humanos. Os estudos apresentaram diversidade metodológica, incluindo análises ambientais (água e sedimentos), estudos toxicológicos com espécies de peixes e pesquisas epidemiológicas em comunidades tradicionais.

Os achados foram organizados em quatro eixos temáticos principais: (1) fontes de contaminação e dinâmica ambiental do mercúrio; (2) bioacumulação e biomagnificação em peixes amazônicos; (3) exposição humana e biomarcadores em populações vulneráveis; (4) impactos à saúde e implicações para políticas públicas.

Fontes de contaminação e dinâmica ambiental do mercúrio

A literatura analisada evidencia forte associação entre contaminação por mercúrio e atividades de mineração aurífera, especialmente em áreas de garimpo ilegal. O uso de Hg metálico no processo de amalgamação favorece a liberação do contaminante para o ambiente, contaminando rios e solos. Além disso, estudos indicam que o desmatamento e a erosão contribuem para a remobilização de Hg previamente retido em sedimentos, aumentando a disponibilidade para processos de metilação.

Em diversos locais, foram relatadas concentrações elevadas de mercúrio em sedimentos fluviais e em áreas próximas a atividades garimpeiras, sugerindo que a poluição não se restringe a pontos específicos, mas pode se espalhar ao longo das bacias hidrográficas. A formação de metilmercúrio é favorecida em ambientes aquáticos com elevada matéria orgânica e condições anaeróbias, comuns em várzeas e igarapés amazônicos, ampliando o risco ecológico.

Bioacumulação e biomagnificação em peixes amazônicos

Grande parte dos estudos avaliou mercúrio total e/ou metilmercúrio em diferentes espécies de peixes amazônicos. Os resultados convergem ao indicar que espécies carnívoras e piscívoras, localizadas em níveis tróficos superiores, apresentam maiores concentrações de Hg em comparação a espécies herbívoras e detritívoras. Esse padrão confirma o processo de biomagnificação, no qual o contaminante se acumula progressivamente ao longo da cadeia alimentar.

Os estudos destacam que o consumo frequente de espécies carnívoras representa risco aumentado para comunidades locais. Em algumas regiões, valores observados em peixes consumidos rotineiramente aproximaram-se ou excederam limites considerados seguros por órgãos reguladores, indicando potencial risco de intoxicação crônica. A presença predominante de metilmercúrio nos tecidos musculares de peixes reforça sua importância como principal via de exposição humana.

Exposição humana e biomarcadores em populações tradicionais

Diversos estudos incluídos analisaram biomarcadores humanos, especialmente mercúrio em cabelo e sangue, por serem indicadores confiáveis de exposição ao metilmercúrio proveniente do consumo de pescado. As evidências apontam que comunidades ribeirinhas e indígenas em áreas próximas ao garimpo apresentam níveis mais elevados, frequentemente acima dos limites de referência estabelecidos por instituições internacionais.

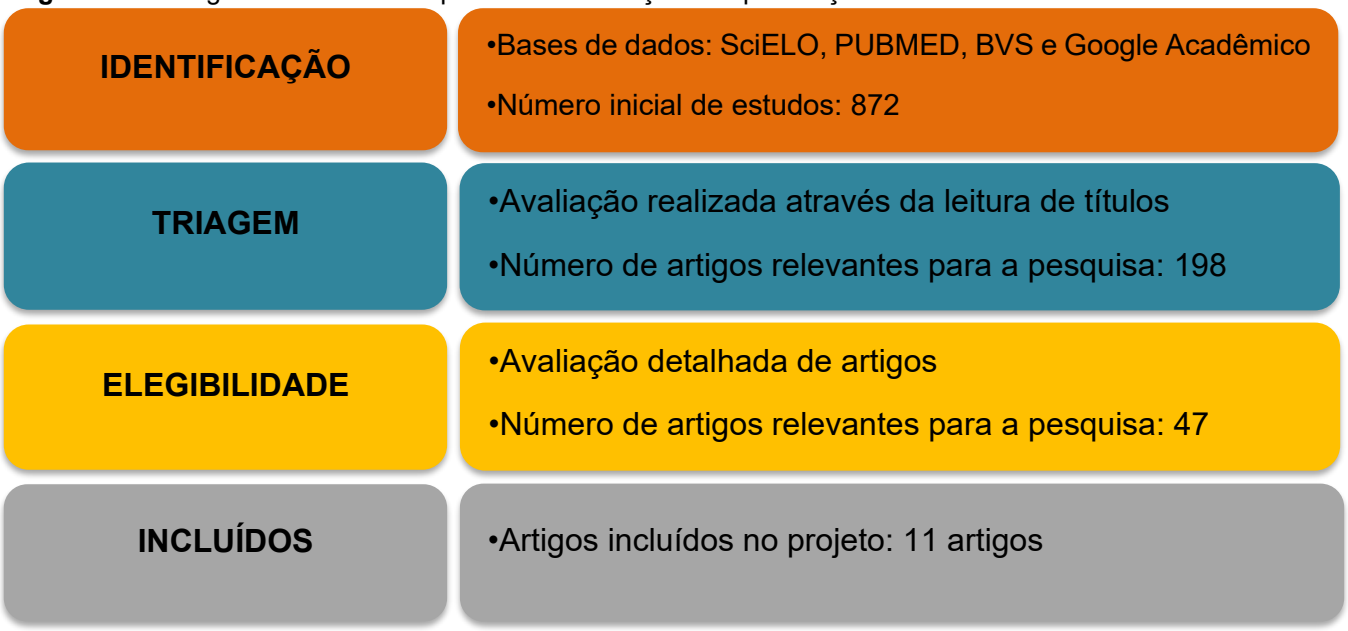
A dieta baseada em peixe é elemento determinante da exposição, uma vez que o pescado representa a principal fonte proteica dessas populações. A literatura também sugere que a vulnerabilidade é intensificada por fatores socioeconômicos, dificuldade de acesso a serviços de saúde e ausência de programas contínuos de monitoramento ambiental e biomonitoramento humano.

Impactos à saúde e implicações para políticas públicas

Os estudos revisados apontam associação entre exposição ao metilmercúrio e efeitos adversos à saúde, sobretudo relacionados ao sistema nervoso central. Entre os impactos descritos destacam-se alterações neurológicas, prejuízos cognitivos, distúrbios motores e sintomas compatíveis com intoxicação crônica. Crianças e gestantes foram identificadas como grupos prioritários, devido ao risco de comprometimento do desenvolvimento neuropsicomotor e aos efeitos da exposição intrauterina.

A análise dos artigos evidencia ainda que a contaminação por mercúrio configura um problema de saúde pública persistente e subnotificado. Embora haja recomendações de redução do consumo de espécies carnívoras, muitos estudos reconhecem limitações culturais e nutricionais para implementação dessa estratégia. Assim, os autores frequentemente destacam a necessidade de políticas integradas que envolvam fiscalização ambiental, combate ao garimpo ilegal, educação em saúde e monitoramento sistemático dos níveis de Hg em peixes e em populações expostas.

Figura 1 - Fluxograma referente ao processo de seleção das publicações.



Fonte: Rocha AAAP, et al., 2026.

Quadro 3 - Análise dos dados obtidos a partir dos estudos selecionados.

Autor/Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Basta PC, et al. (2021)	Avaliar a exposição ao mercúrio em comunidades indígenas Munduruku na Amazônia.	Estudo transversal em três aldeias (n=200); dados sociodemográficos, exames de saúde e análise de Hg em cabelo e peixes.	Hg entre 1,4–23,9 µg/g; 57,9% ≥ 6,0 µg/g; maior risco associado à ausência de renda, hipertensão e gravidez.
Jacques AD, et al. (2025)	Elaborar modelo teórico dos determinantes do neurodesenvolvimento em crianças indígenas expostas ao MeHg.	Estudo teórico baseado em revisão e checklist epidemiológico.	Exposição pré- e pós-natal associada a atraso no neurodesenvolvimento; até 25% com alterações; demanda políticas materno-infantis.
Oliveira RB, et al. (2022)	Avaliar consumo de peixe e exposição ao Hg em gestantes de Itaituba (Tapajós).	Estudo com 110 gestantes; Hg em cabelo e peixes; comparação sazonal.	48% acima do limite da EPA; Hg em peixes excedeu limites; recomendação de evitar piscívoros na gravidez.
Silva RR, et al. (2017)	Analisar impactos socioambientais do período de moratória da Convenção de Minamata.	Modelo DPSIR; estudo de caso e dados setoriais.	Emissão estimada de 18,6 mil t durante a moratória; prazo não se justifica frente a alternativas sem Hg.
Vasconcellos ACS, et al. (2021)	Avaliar risco à saúde pelo consumo de peixes contaminados (Munduruku, Médio Tapajós).	Coleta de 88 espécimes (17 espécies); análise de Hg; avaliação OMS (2008).	Ingestão diária 3–25× acima dos limites EPA/FAO/OMS; consumo atual não é seguro.
Chagas MA, (2019)	Analisar trajetória e contradições do garimpo no Lourenço (AP).	Estudo qualitativo; revisão, entrevistas e observação de campo.	Garimpo artesanal degrada cursos d'água e contamina por Hg; atividade ambientalmente insustentável.
Castro FXM, (2024)	Investigar a estrutura logística e criminosa do garimpo ilegal em TIs Yanomami.	Estudo documental e observação participante.	Relação entre garimpo ilegal, redes criminosas e uso descontrolado de Hg, ampliando impactos socioambientais.
Cunha WT, (2023)	Avaliar impactos do garimpo ilegal na saúde Yanomami.	Análise documental e dados epidemiológicos.	Aumento de doenças e distúrbios neurológicos ligados à exposição crônica ao mercúrio e desestruturação social.
Azevedo-Silva CE, et al. (2016)	Avaliar a biomagnificação do mercúrio na cadeia alimentar aquática amazônica.	Análise isotópica ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) e cálculo de fatores tróficos.	Aumento progressivo do mercúrio em níveis tróficos superiores, confirmando biomagnificação.
Escobar-Camacho D, et al. (2024)	Determinar concentrações de mercúrio em ecossistemas aquáticos amazônicos.	Amostragem de água, sedimentos e peixes em comunidades indígenas.	Espécies piscívoras com níveis de mercúrio acima dos limites internacionais, sobretudo próximas a garimpos.

Fonte: Rocha AAAP, et al., 2026.

DISCUSSÃO

Impactos ambientais ocasionados pelo mercúrio em distintos ecossistemas

De acordo com Vasconcellos ACS, et al. (2021), atividades antropogênicas, como a mineração artesanal de ouro, a construção de barragens hidrelétricas e o avanço do agronegócio, configuram-se como as principais fontes de emissão de Hg em ecossistemas da região amazônica. Essas práticas contribuem significativamente para o aumento dos índices de despejo e acúmulo do metal no solo, na água e na atmosfera da floresta equatorial úmida. Ressalta-se, ainda, que a Bacia Amazônica apresenta solos naturalmente ricos em mercúrio, o que potencializa as taxas de contaminação na região (PAIVA T, et al., 2025).

O mercúrio volatilizado, também denominado mercúrio elementar (Hg^0), pode ser transportado pelo ar por extensas áreas de floresta. Contudo, devido às suas propriedades químicas, esse elemento não se degrada facilmente e tende a ser capturado pelas copas e folhas das árvores, sendo então fixado na vegetação. Entretanto, Crespo-Lopez ME, et al. (2020) registraram um aumento de aproximadamente 51% no desmatamento da Amazônia em relação a 2019, intensificado por atividades econômicas ligadas à exportação de soja e carne bovina. O processo de desmatamento seguido de queimadas devolve Hg à atmosfera, parte do qual é convertido em mercúrio inorgânico (Hg^{2+}). Durante as precipitações, esse metal é transportado para o solo e para os corpos d'água, onde microrganismos metilantes podem transformá-lo em metilmercúrio. Já em áreas constituídas por barragens, o mercúrio passa por transformações químicas graças as condições específicas de temperatura, oxigenação, matéria orgânica e potencial redox, além de possuir áreas compostas por microrganismos que intensificam o processo de Bioacumulação e Biomagnificação ao longo da cadeia trófica.

Os principais afetados por essa contaminação, segundo Vasconcellos ACS, et al. (2021) são os povos indígenas, como a comunidade Yanomami, os quais possuem como fonte de proteínas pescados piscívoros, como o Tucunaré (Cichla ocellaris) e o Peixe Cachorro (Rhaphiodon vulpinus). A alta exposição a carne de tais peixes, facilita a intoxicação pelo metal, permitindo a contaminação de adultos, crianças e principalmente gestantes. Além disso um fator adicional que deve ser considerado é a prevalência da ascendência ameríndia na população amazônica. Pesquisas apontam que habitantes originários das Américas apresentam a variação Ɛ4 do gene APOE (APOE4), relacionada à síntese da Apolipoproteína E. Esse polimorfismo confere maior suscetibilidade à neurodegeneração e ao desenvolvimento de Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNTs) (CRESPO-LOPEZ ME, 2020).

O garimpo na contribuição da contaminação de peixes na região norte do Brasil

A atividade garimpeira na Região Norte do Brasil é reconhecida como uma das principais fontes de contaminação por mercúrio (Hg) nos ecossistemas aquáticos amazônicos. O garimpo, sobretudo em sua forma artesanal e ilegal, caracteriza-se pelo uso intensivo e descontrolado de mercúrio metálico para a separação do ouro, liberando grandes quantidades do elemento no solo e na água (CHAGAS MA, 2019). Essa prática promove a degradação ambiental, altera a qualidade dos recursos hídricos e contribui diretamente para a poluição dos ecossistemas (SANTOS DM, et al., 2021).

Dessa forma, o garimpo ilegal provoca desdobramentos sociais e sanitários. Em comunidades indígenas da Terra Yanomami, observa-se o aumento de doenças e sintomas relacionados à contaminação por mercúrio, além da intensificação da desestruturação social e da insegurança alimentar (CUNHA WT, 2023). A presença de garimpos em territórios protegidos favorece a disseminação de agentes infecciosos, a destruição de áreas de subsistência e a contaminação das fontes de água utilizadas pelas aldeias.

Outro aspecto relevante é a ligação do garimpo com redes criminosas e com o tráfico de insumos utilizados na extração ilegal. A atividade, além de degradar o ambiente, está inserida em um contexto de criminalidade organizada que emprega o mercúrio de forma clandestina, sem controle e fiscalização adequadas (CASTRO FXM, 2024). Assim, a mitigação desses efeitos requer políticas públicas integradas que envolvam fiscalização ambiental, educação comunitária, monitoramento da qualidade da água e do pescado, além da aplicação rigorosa de acordos internacionais, como a Convenção de Minamata, voltados à eliminação do uso de mercúrio na mineração artesanal.

Meios alternativos para o uso do Hg

Em 1960, as discussões acerca da emissão e contaminação por mercúrio no ecossistema ganharam destaque mundial devido ao grave incidente ocorrido na Baía de Minamata, no Japão. Diante do reconhecimento dos impactos adversos do mercúrio sobre a saúde humana e o meio ambiente, em 2013 foi estabelecido um tratado internacional com o objetivo de reduzir as emissões desse metal, visando proteger especialmente as populações mais diretamente expostas (SILVA RR, et al., 2017).

A fim de reduzir as emissões de mercúrio no meio ambiente, diversos processos tecnológicos vêm sendo aplicados para essa finalidade, destacando-se os métodos de remoção e imobilização. A técnica de remoção consiste em separar o mercúrio do ambiente contaminado e converter espécies altamente tóxicas em formas menos nocivas. Esse processo faz uso de adsorventes capazes de formar quelatos (complexos resultantes da interação entre íons metálicos e compostos orgânicos), além de carreadores que se ligam a minerais, facilitando o processo de sorção. Por sua vez, o método de imobilização tem como objetivo restringir a mobilidade do mercúrio no meio ambiente. Entre as técnicas empregadas destaca-se a estabilização, que utiliza elementos químicos como enxofre, tiossulfato ou pirita para reagir com o Hg (0) presente no solo, convertendo-o em sulfeto de mercúrio (HgS), uma forma altamente insolúvel. Contudo, é importante salientar que, nesse método, o metal não é efetivamente removido do solo, o que exige um monitoramento ambiental contínuo (WANG L, et al., 2019).

Além dessas abordagens, a redução da concentração de mercúrio no ambiente também pode ser realizada por meio de tecnologias aplicadas na metalurgia extrativa. Entre elas, destacam-se: a metalurgia física, que utiliza propriedades intrínsecas do mineral, como forma, tamanho, densidade e cor, para promover sua separação; a hidrometalurgia, que emprega agentes lixiviantes para a extração dos metais; e a pirometalurgia, que envolve processos como fundição, torrefação, refino e calcinação, visando à remoção do metal (KEANE S, et al., 2023).

Adicionalmente, o uso de organismos vegetais tem se mostrado uma alternativa eficiente para mitigar a contaminação por mercúrio, processo denominado biorremediação. Essa técnica explora a capacidade das plantas em remover ou estabilizar poluentes presentes no solo. Dentre os mecanismos envolvidos, destaca-se a biossorção de metais, que consiste na captura de íons metálicos por microrganismos, nos quais o mercúrio é predominantemente retido nas paredes celulares bacterianas e a Fitorremediação, uma técnica que utiliza organismos vivos para realizar a descontaminação do solo e da água através da transformação de elementos tóxicos em não-tóxicos (GONZÁLEZ-REGUERO D, et al., 2023).

Na Amazônia, região responsável pela maior emissão de mercúrio na América do Sul, pesquisas têm sido direcionadas à busca de alternativas que minimizem os impactos ambientais da atividade garimpeira. Nesse contexto, estudos vêm avaliando a eficiência do uso do pau-de-balsa (Ochroma pyramidale) como substituto do mercúrio no processo de extração de ouro. O extrato obtido dessa planta tem se mostrado eficaz na separação do ouro em relação aos demais minerais, apresentando resultados cada vez mais consistentes. Essa inovação pode, futuramente, reduzir tanto os custos quanto os danos ambientais associados à mineração artesanal (CASTIGO P, et al., 2021).

A separação do ouro em relação a outros elementos ocorre por meio da extração de um líquido esverdeado obtido a partir da trituração da planta em conjunto com água. Esse extrato apresenta propriedades semelhantes às de um detergente, atuando na remoção de substâncias húmicas responsáveis pelo transporte de mercúrio para os ecossistemas aquáticos, além de promover a separação dos minerais de acordo com sua densidade. Contudo, é importante destacar que o processo apresenta eficácia limitada, sendo capaz de separar apenas partículas de maiores dimensões. Diante disso, tornam-se necessários estudos mais aprofundados para compreender de forma detalhada os mecanismos de ação do pau-de-balsa (Ochroma pyramidale) no beneficiamento mineral (CASTIGO P, et al., 2021).

Limitações de estudo

Como limitações, destaca-se a heterogeneidade metodológica entre os estudos incluídos, especialmente quanto aos métodos laboratoriais e unidades de medida utilizadas para quantificação de Hg/MeHg. Além disso, a inclusão do Google Acadêmico, embora relevante para capturar literatura regional, pode incorporar estudos com qualidade variável. O recorte temporal (2015–2025) pode ter excluído publicações clássicas anteriores importantes para contextualização histórica do problema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contaminação por mercúrio na Amazônia constitui um problema ambiental, social e de saúde pública de grande complexidade. Atividades como o garimpo artesanal, o desmatamento e a construção de barragens contribuem para a liberação e dispersão do metal nos ecossistemas aquáticos. Assim, os efeitos sobre a saúde são expressivos e envolvem alterações neurológicas, cognitivas e sensoriais em adultos, além de riscos acentuados para gestantes e crianças, devido à transferência do metilmercúrio pela barreira hematoencefálica e pela placenta. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de intensificar ações de fiscalização ambiental, ampliar o monitoramento da saúde das comunidades amazônicas e fomentar práticas sustentáveis na atividade mineradora. O presente estudo contribui para o entendimento da relação entre o garimpo e a bioacumulação de mercúrio, servindo de base para futuras pesquisas e para o fortalecimento de estratégias que conciliem desenvolvimento e preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

1. ANDRADE YV, et al. Educação em saúde como estratégia de enfrentamento a exposição de crianças ribeirinhas ao mercúrio ambiental na região do Xingu, Amazônia, Brasil. Revista Eletrônica Acervo Saúde, 2024; 24(9): e15258.
2. AZEVEDO-SILVA CE, et al. Mercury biomagnification and the trophic structure of the ichthyofauna from a remote lake in the Brazilian Amazon. Environmental Research, 2016; 151: 286–296.
3. BELTRAN-PEDREROS S. Mercúrio em componentes bióticos e abióticos do Lago Grande de Manacapuru, Amazonas. 2012. 121 f. Tese (Doutorado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.
4. BUENO PC, et al. Exposição humana a mercúrio: subsídios para o fortalecimento das ações de vigilância em saúde. Biblioteca Virtual em Saúde, 2011.
5. BASTA PC, et al. Mercury Exposure in Munduruku Indigenous Communities from Brazilian Amazon: Methodological Background and an Overview of the Principal Results. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021; 18(17): 9222.
6. COELHO-SOUZA AS, et al. A importância das macrófitas aquáticas no ciclo do mercúrio na bacia do rio tapajós (pa). Oncologia Brasiliensis, 2025; 11(2): 252–263.
7. CESAR B. Distribuição e caracterização da labilidade relativa de cobre, chumbo e mercúrio em amostras de sedimentos e substâncias húmicas extraídas de sedimentos coletados em mananciais com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica. Repositório institucional UNESP, 2017.
8. CRESPO-LOPEZ ME, et al. Mercury: What can we learn from the Amazon? Environment International, 2021; 146: 106223.
9. CRESPO-LOPEZ ME, et al. Environmental pollution challenges public health surveillance: the case of mercury exposure and intoxication in Brazil. The Lancet Regional Health - Americas, 2024; 39: 100880–100880.
10. CASTIGO P, et al. Avaliação da eficácia da aplicação das folhas da ochroma pyramidale na concentração gravítica do ouro na sub-bacia do Alto Revué. Develp, 2021.
11. CASTRO FXM. A rede logística-criminal do narcogarimpo e do garimpo ilegal em terras indígenas Yanomami: evidências e propostas de neutralização pelo poder público. Pro Lege Vigilanda, 2024.
12. CHAGAS MA. A geopolítica do garimpo do Lourenço, norte do Amapá: trajetória, contradições e insustentabilidade. Boletim Goiano de Geografia, 2019; 39: 1–18.
13. CUNHA WT. O garimpo ilegal e a saúde dos Yanomamis. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, 2023.
14. COUTINHO SN. Estudo de bioacumulação de metais tóxicos e elementos traço em amostras de macrófitas aquáticas flutuantes do reservatório Guarapiranga, São Paulo - SP, Brasil. Biblioteca digital de Teses e Dissertações da USP, 2018.
15. DOMINGUES GF. História da mineração no território brasileiro: uma análise dos tratados políticos que legislam a atividade mineradora (1934-1967). Revista Ensaios de História, 2022; XXIII: 1.
16. DAMAS GB, et al. Mercúrio: da Antiguidade aos Dias Atuais. Rev Virt de Química, 2014; 6(4): 1010-1020.
17. DAMASCENO EP. Toxicidade, toxicocinética e bioacumulação de cádmio e mercúrio nos microcrustáceos marinhos Artemia sp. E Mysidopsis juniae. Repositorio.ufc.br, 2016.
18. EIRÓ LG. Exposição ao MeHg provoca danos na medula espinhal: percepções a partir da análise proteômica e estresse oxidativo. 2020. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências da Saúde, Belém, 2020.

19. ESCOBAR-CAMACHO D, et al. Mercury in aquatic ecosystems of two indigenous communities in the Piedmont Ecuadorian Amazon: evidence from fish, water, and sediments. Ecotoxicology, 2024; 33(4-5): 440–456.
20. FRANKLIN RL. Determinação de mercúrio total e orgânico e avaliação dos processos de metilação e desmetilação em sedimentos do reservatório Rio Grande, Estado de São Paulo. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
21. GONZÁLEZ-REGUERO D, et al. Bioremediation of environments contaminated with mercury. Present and perspectives. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2023; 39(9).
22. JARDIN S. Bioacumulação de metais no gastrópode *Hastula* cinerea ao longo de um gradiente de urbanização. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em ciência e tecnologia do mar) – Instituto do mar da Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2022; 43p.
23. JOSÉ J. Análise das manifestações emocionais e motoras de ribeirinhos expostos ao mercúrio na Amazônia. Ufpa.br, 2016.
24. KEANE S, et al. Mercury and artisanal and small-scale gold mining: Review of global use estimates and considerations for promoting mercury-free alternatives. Ambio, 2023; 52(5): 833–852.
25. LAUTHARTTE LC, et al. Potencial exposição ao mercúrio atmosférico no ambiente ocupacional de comércios de Ouro de Porto Velho, Rondônia. Química Nova, 2018.
26. MIRANDA MR, et al. Mercúrio em sistemas aquáticos: fatores ambientais que afetam a metilação. Oncologia Brasiliensis (Impresso), 2007; 11(2): 240–251.
27. OLIVEIRA RB, et al. Fish consumption habits of pregnant women in Itaituba, Tapajós River basin, Brazil: risks of mercury contamination as assessed by measuring total mercury in highly consumed piscivore fish species and in hair of pregnant women. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology, 2022; 73(2): 131–142.
28. PEINADO TG, et al. Ciências do Ambiente: Ciclo Biogeoquímico do Mercúrio [recurso eletrônico]. São Carlos: Centro de Estudos em Democracia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos (CEDA-UFSCar), 2024; 15 p.
29. PAIVA T, et al. Mercury Scenario in Fish from the Amazon Basin: Exploring the Interplay of Social Groups and Environmental Diversity. Toxics, 2025; 13(7): 580–580.
30. REBELO RS. Toxicidade Do Mercúrio E Seus Efeitos Neurodegenerativos. Repositório comum, Nov. 2016, comum.rcaap.pt/entities/publication/deb21a1f-c9eb-42a9-9acf-48a11fc7f51a.
31. SÁ AL, et al. Metilmercúrio e o sistema nervoso central: uma revisão. Revista do Instituto Evandro Chagas, 2006; 10(1): 47-55.
32. SOUSA LA, et al. Uma revisão de escopo de revisões sistemáticas sobre exposição humana ao mercúrio. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 2022; 47.
33. SINAMOR M. et al. Impacto do consumo de peixes contaminados por mercúrio na saúde humana em habitantes da Amazônia brasileira: revisão sistemática. Brazilian Journal of Health Review, 2023; 6(4): 15111–15124.
34. SOUSA EP, et al. Contaminação por mercúrio em peixes na Amazônia brasileira. Revista Eletrônica Acervo Saúde, 2024; 24(8): e15348.
35. VASCONCELLOS ACS, et al. Health Risk Assessment of Mercury Exposure from Fish Consumption in Munduruku Indigenous Communities in the Brazilian Amazon. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021; 18(15): 7940.
36. VINÍCIUS M, et al. Determination and evaluation of mercury concentration in fish in the São Francisco River Watershed, Brazil. Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 2021; 16(2): 1–1.
37. WANG L, et al. Remediation of mercury contaminated soil, water, and air: A review of emerging materials and innovative technologies. Environment International, 2020; 134: 105281.