

MERCÚRIO, GARIMPO ILEGAL E CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS AMAZÔNICAS: VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E INSUFICIÊNCIA ESTATAL NA PROTEÇÃO AMBIENTAL

MERCURY, ILLEGAL MINING AND CONTAMINATION OF AMAZONIAN WATERS: SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITY AND STATE INSUFFICIENCY IN ENVIRONMENTAL PROTECTION

Fausto Araújo Nunes de Almeida¹

Renato Ferreira Ribeiro Matta²

Rejane da Silva Viana³

RESUMO: O presente estudo analisa a utilização do mercúrio no garimpo ilegal amazônico, considerando sua dinâmica de contaminação ambiental e seus reflexos socioambientais na Amazônia. Busca-se identificar os fatores que sustentam a utilização do mercúrio na atividade garimpeira ilegal, compreender o ciclo ambiental do contaminante e seus impactos sobre ecossistemas aquáticos e populações vulneráveis, além de examinar as relações entre garimpo ilegal e insuficiência estatal na proteção ambiental da região. Para tanto, adotou-se metodologia qualitativa, de caráter bibliográfico e documental, fundamentada na análise de artigos científicos, relatórios institucionais, dissertações e publicações especializadas relacionadas ao uso do mercúrio na Amazônia, ao garimpo ilegal e à contaminação ambiental. A pesquisa evidenciou que o mercúrio permanece amplamente empregado na mineração ilegal em razão de sua eficiência técnica, baixo custo e facilidade de manejo, fatores que favorecem sua utilização em contextos de baixa fiscalização. Concluiu-se que a persistência do uso do mercúrio na Amazônia constitui problema associado à expansão do garimpo ilegal, à contaminação dos ecossistemas aquáticos e às limitações dos mecanismos de fiscalização e governança ambiental na região.

1

Palavras-chave: Mercúrio. Garimpo ilegal. Contaminação ambiental. Águas amazônicas. Vulnerabilidade socioambiental.

ABSTRACT: This study analyzes the use of mercury in illegal mining activities in the Amazon, considering its dynamics of environmental contamination and its socio-environmental impacts in the region. The research aims to identify the factors that sustain the use of mercury in illegal mining activities, understand the environmental cycle of the contaminant and its impacts on aquatic ecosystems and vulnerable populations, as well as examine the relationship between illegal mining and state insufficiency in environmental protection in the region. To this end, a qualitative bibliographic and documentary methodology was adopted, based on the analysis of scientific articles, institutional reports, dissertations, and specialized publications related to the use of mercury in the Amazon, illegal mining, and environmental contamination. The research demonstrated that mercury remains widely used in illegal mining due to its technical efficiency, low cost, and ease of handling, factors that favor its use in contexts of limited oversight. It was concluded that the persistence of mercury use in the Amazon constitutes a problem associated with the expansion of illegal mining, the contamination of aquatic ecosystems, and the limitations of environmental governance and inspection mechanisms in the region.

Keywords: Mercury. Illegal mining. Environmental contamination. Amazonian waters. Socio-environmental vulnerability.

¹Mestrando em Direito Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação Strictu Sensu da Universidade do Estado do Amazonas – PPGDA/UEA.

²Mestrando em Direito Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação Strictu Sensu da Universidade do Estado do Amazonas – PPGDA/UEA.

³Doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Direito Ambiental pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Professora adjunta da UEA e advogada.

INTRODUÇÃO

A intensificação do garimpo ilegal na Amazônia tem ampliado os debates acerca dos impactos decorrentes da utilização do mercúrio na extração do ouro, sobretudo em razão de sua elevada toxicidade, persistência ambiental e capacidade de incorporação aos ecossistemas aquáticos. Historicamente associado à mineração artesanal, o mercúrio permanece amplamente empregado em razão de sua eficiência técnica, baixo custo e facilidade de manejo, características que favorecem sua utilização em contextos marcados pela ilegalidade e pela baixa exigência tecnológica da atividade garimpeira. Nesse cenário, a contaminação ambiental provocada pelo metal ultrapassa os limites físicos das áreas de exploração mineral, alcançando rios, organismos aquáticos e populações que dependem diretamente desses recursos para sua subsistência.

No contexto amazônico, a dinâmica hidrográfica da região, associada à utilização intensiva do mercúrio no garimpo ilegal, contribui para a dispersão do contaminante e sua incorporação progressiva à cadeia alimentar. A transformação do metal em metilmercúrio, sua bioacumulação nos organismos aquáticos e sua biomagnificação ao longo da cadeia trófica fazem com que os impactos ambientais atinjam também populações indígenas e ribeirinhas, em razão, entre outros fatores, da dependência alimentar em relação ao pescado. Paralelamente, a persistência da atividade garimpeira em áreas remotas evidencia limitações estruturais relacionadas à fiscalização, ao monitoramento ambiental e à efetividade dos mecanismos de controle estatal, favorecendo a continuidade da degradação ambiental e da exposição humana ao contaminante.

A relevância do tema decorre da necessidade de compreender o uso do mercúrio não apenas como elemento técnico da extração mineral, mas como componente inserido em uma dinâmica mais ampla, relacionada à organização econômica do garimpo ilegal, à circulação de insumos, à contaminação ambiental e às limitações da governança ambiental na Amazônia. Nesse sentido, a permanência da utilização do metal evidencia a articulação entre fatores técnicos, econômicos e sociais que sustentam a atividade garimpeira, mesmo diante dos impactos ambientais e humanos amplamente documentados pela literatura científica.

Diante desse contexto, o presente estudo busca responder de que modo o uso do mercúrio no garimpo ilegal amazônico se relaciona com processos de contaminação ambiental, vulnerabilidade socioambiental e insuficiência estatal na proteção ambiental da região. Parte-se da compreensão de que a persistência do uso do metal não decorre exclusivamente de sua funcionalidade técnica na extração do ouro, mas também de fatores estruturais ligados à

dinâmica econômica da atividade garimpeira, à circulação do ouro e às limitações institucionais para fiscalização e controle ambiental.

O objetivo geral do artigo consiste em analisar a utilização do mercúrio no garimpo ilegal amazônico, considerando sua dinâmica de contaminação ambiental e seus reflexos socioambientais na Amazônia.

Como objetivos específicos, busca-se identificar os fatores que sustentam a utilização do mercúrio na atividade garimpeira ilegal; compreender o ciclo ambiental do contaminante e seus impactos sobre ecossistemas aquáticos e populações vulneráveis; e examinar as relações entre garimpo ilegal e insuficiência estatal na proteção ambiental da região.

Quanto à metodologia, o estudo adota abordagem qualitativa, de caráter bibliográfico e documental, fundamentada na análise de artigos científicos, relatórios institucionais, dissertações e publicações especializadas relacionadas ao uso do mercúrio na Amazônia, ao garimpo ilegal e à contaminação ambiental.

1 O MERCÚRIO NO GARIMPO ILEGAL: FUNDAMENTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E HISTÓRICOS

O mercúrio no garimpo ilegal amazônico insere-se como elemento de uma lógica produtiva específica, historicamente consolidada e socialmente condicionada. Nesse sentido, a literatura especializada aponta que:

3

A utilização do mercúrio na atividade de mineração é um problema indissociável da mineração artesanal do ouro na Amazônia. Os procedimento e métodos, rústicos, simples e rudimentares, inerentes a essa forma de extração de minério utilizam o mercúrio como insumo básico para a obtenção do ouro, assim como o combustível e a mão-de-obra barata e não especializada. O encadeamento das atividades empregadas na rede artesanal produtiva de ouro - consequência do atual contexto político-social, do ambiente amazônico, do nível técnico-científico adotado - unem o mercúrio e o ouro na complexa relação ambiental e social, assim como estes metais se unem quimicamente na natureza para formar o amalgama (MARQUES et al., 2022, p. 4)

Nesse contexto, o mercúrio constitui um componente essencial da própria organização do garimpo, de modo que sua persistência decorre de sua funcionalidade econômica e operacional.

Do ponto de vista técnico, o uso do mercúrio está relacionado ao processo de amalgamação, mecanismo fundamental para a separação do ouro de outros sedimentos. Conforme destacado por Ramos, Oliveira e Rodrigues (2020, p. 5), o metal “é utilizado no processo de extração de ouro [...] em face de suas propriedades de se agregar ao ouro”. O processo evidencia a eficiência físico-química do mercúrio, que permite a extração do ouro de

maneira relativamente simples, dispensando tecnologias complexas. Nesse contexto, a facilidade de manipulação e a eficácia do método tornam o mercúrio atrativo para contextos de mineração informal.

Corroborando essa perspectiva, Marques et al. (2022, p. 4) observam que “os métodos, rústicos, simples e rudimentares [...] utilizam o mercúrio como insumo básico para a obtenção do ouro”. Tal característica evidencia a baixa exigência técnica do processo, permitindo a operação na atividade garimpeira sem uma necessidade de formação especializada. A simplicidade operacional constitui, portanto, um dos fatores que explicam a difusão do mercúrio no garimpo ilegal.

Ainda no campo técnico, a literatura aponta que “o mercúrio destaca-se por ser elemento fundamental para amalgamação do ouro [...] não existindo substância similar que apresente a mesma disponibilidade e facilidade de manejo” (SOUSA et al., 2024, p. 7). Reforça-se, portanto, a ideia de dependência estrutural do garimpo ilegal em relação ao mercúrio, evidenciando que sua substituição não se dá de forma imediata ou trivial.

Para além da dimensão técnica, o fator econômico desempenha papel determinante na manutenção do uso do mercúrio. Nesse sentido, “o mercúrio [...] não chega a atingir 0,4% do valor do ouro” (MARQUES et al., 2022, p. 5). Tal discrepância evidencia uma relação vantajosa para o garimpo, na medida em que o investimento necessário para aquisição do insumo é mínimo diante do potencial retorno econômico proporcionado pela extração do ouro.

Essa lógica econômica é reforçada pela facilidade de acesso ao mercúrio, inclusive por vias informais. Conforme observado, trata-se de insumo de fácil obtenção, permitindo operações sem grandes custos iniciais (SOUSA et al., 2024). Tal característica reduz significativamente as barreiras de entrada na atividade garimpeira.

Outro aspecto percebido diz respeito à eficiência prática do método, mesmo diante de perdas ambientais significativas. Conforme observado, “cerca de 20% do mercúrio [...] é despejado diretamente no rio, os outros 80% evaporam” (RAMOS; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020, p. 5). Ainda que esse dado revele elevada perda do insumo, tal fato não inviabiliza sua utilização, uma vez que o custo de reposição é relativamente baixo.

A adaptabilidade do mercúrio ao contexto do garimpo ilegal também constitui fator relevante. Observa-se que “o metal líquido é de fácil transporte e não é necessário em grandes quantidades” (RAMOS; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020, p. 14). Essa característica permite que o insumo acompanhe a dinâmica móvel do garimpo ilegal.

A dimensão histórica também contribui para compreender a persistência do mercúrio. Com efeito, “o garimpo remonta ao período colonial do país” (COSTA; COSTA, 2023, p. 13), de modo que o uso dessas técnicas, de algum modo, faz parte de uma tradição da atividade.

Ademais, a dinâmica do garimpo está relacionada às oscilações do mercado internacional. Nesse sentido, observa-se que “a escalada nos preços do ouro [...] intensificou as atividades de mineração artesanal” (MARQUES et al., 2022, p. 5), demonstrando que o garimpo se expande em ciclos econômicos.

De outro lado, a análise socioeconômica revela que “o garimpo é uma alternativa de trabalho [...] para mão de obra não especializada” (MARQUES et al., 2022, p. 6), revelando que a permanência do mercúrio está associada à ausência de alternativas econômicas. Não por acaso, a atividade “absorve jovens com pouca ou nenhuma educação” (MARQUES et al., 2022, p. 6).

Quanto aos impactos ambientais decorrentes do uso do mercúrio, estes são amplamente documentados na literatura, sobretudo em razão de suas propriedades físico-químicas que favorecem sua persistência e disseminação nos ecossistemas. Nesse sentido, “o mercúrio é um metal pesado tóxico e acumulativo na cadeia trófica [...] sua permanência no ambiente é longa” (MARQUES et al., 2022, p. 5). Tal característica demonstra que os efeitos do uso do mercúrio não se limitam ao momento da atividade garimpeira, se estendendo no tempo e no espaço, alcançando diferentes níveis da cadeia alimentar.

5

A dinâmica de contaminação ambiental é aprofundada quando se observa que “o despejo desse metal no meio ambiente contamina os rios e os seres aquáticos [...] aumentando a concentração do mercúrio em seu organismo” (COSTA; COSTA, 2023, p. 13). Esse processo, conhecido como bioacumulação, evidencia que o mercúrio se concentra progressivamente nos organismos vivos, sobretudo nos níveis mais altos da cadeia trófica. Desse modo, a contaminação ultrapassa o ambiente imediato do garimpo, atingindo amplas regiões hidrográficas e comprometendo a biodiversidade aquática. A partir desse fenômeno, é possível compreender que o impacto do mercúrio possui natureza sistêmica, afetando não apenas o meio físico, mas toda a dinâmica ecológica.

Essa contaminação ambiental possui reflexos diretos sobre a saúde humana, sobretudo em populações que dependem dos recursos naturais para sua subsistência. Conforme destacado, “ao consumir esses animais aquáticos contaminados [...] o corpo humano acumula o metal gerando diversas doenças” (COSTA; COSTA, 2023, p. 13). Tal constatação evidencia que a problemática do mercúrio transcende a esfera ambiental, configurando-se também como uma

questão de saúde pública. A ingestão contínua de alimentos contaminados potencializa os efeitos tóxicos do metal, resultando em doenças de natureza neurológica, cardiovascular e respiratória. Nesse contexto, observa-se uma relação direta entre degradação ambiental e vulnerabilidade humana, notadamente em regiões onde há forte dependência dos recursos naturais.

Os efeitos do uso do mercúrio se mostram ainda mais gravosos quando analisados sob a perspectiva da desigualdade socioambiental. Isso porque “os povos indígenas e ribeirinhos [...] são os principais impactados [...] pois seu modo de vida é extremamente ligado [...] aos rios” (COSTA; COSTA, 2023, p. 13). Evidencia-se que os danos decorrentes do garimpo ilegal não são distribuídos de forma homogênea, recaindo de maneira mais intensa sobre populações historicamente vulnerabilizadas. A dependência direta em relação aos recursos naturais faz com que a contaminação ambiental comprometa saúde, segurança alimentar, cultura e modos de vida tradicionais desses grupos.

Pelo exposto, conclui-se que a permanência do uso do mercúrio está associada a uma lógica que combina fatores técnicos, econômicos e sociais e, ainda que seus efeitos nocivos sejam amplamente conhecidos, o mercúrio continua sendo utilizado por se inserir em um contexto de necessidade econômica e exclusão social.

6

Em outras palavras, a continuidade do uso do mercúrio pelo garimpo ilegal, a despeito de seus conhecidos efeitos adversos, ocorre em razão de sua inserção em uma lógica multifacetada que articula eficiência técnica, viabilidade econômica, tradição histórica e vulnerabilidade social. Trata-se de um fenômeno complexo, cuja superação exige uma abordagem integrada, capaz de conciliar medidas de controle ambiental, desenvolvimento socioeconômico e fortalecimento institucional. Nesse sentido, a compreensão dos fundamentos que sustentam o uso do mercúrio constitui etapa essencial para a formulação de estratégias eficazes de enfrentamento da problemática na Amazônia.

2 O CICLO AMBIENTAL DO MERCÚRIO: CONTAMINAÇÃO, BIOACUMULAÇÃO E IMPACTOS ECOLÓGICOS

A compreensão do ciclo ambiental do mercúrio exige uma análise integrada de seus mecanismos de liberação, transformação, dispersão e incorporação na biota, revelando um fenômeno complexo e de elevada persistência ecológica. Conforme apontam Barbosa e Souza (2000, p. 4), o “mercúrio de origem antropogênica (originário de atividades humanas, fábricas, garimpos, mineração etc.) e o natural (...) são lançados no meio ambiente (atmosfera, corpos

d'água e solos)", evidenciando que a presença desse metal não se restringe às atividades humanas, embora estas intensifiquem sua mobilização ambiental. Assim, o ciclo do mercúrio possui caráter sistêmico, envolvendo múltiplos compartimentos ambientais e diferentes fontes de emissão.

No contexto amazônico, a principal forma de intensificação desse ciclo decorre da atividade garimpeira, responsável pela introdução massiva do metal no ambiente. Nesse sentido, observa-se que "a extração de ouro (...) utiliza grandes quantidades de mercúrio e contamina a água dos rios e os peixes" (VASCONCELLOS et al., 2023, p. 5), o que demonstra que a contaminação se inicia diretamente nos corpos hídricos, atingindo de imediato organismos aquáticos. Trata-se, portanto, de uma inserção do contaminante na base dos ecossistemas, com potencial de propagação ao longo de toda a cadeia trófica.

A dinâmica de dispersão do mercúrio amplia a gravidade do problema. Conforme observam Wasserman, Hacon e Wasserman (2001, p. 48), "o mercúrio, como elemento volátil, teria na atmosfera sua principal via de transporte", evidenciando sua capacidade de deslocamento. Essa característica reforça que a contaminação não permanece restrita ao local de origem, podendo atingir regiões geograficamente distantes, o que contribui para a difusão do poluente.

Além da dispersão atmosférica, o transporte hídrico desempenha papel central na propagação do mercúrio. Nesse sentido, destaca-se que ele "pode chegar a água de rios e igarapés, onde é carregado até outras regiões. Assim, alcança os mais diferentes ecossistemas" (COSTA; COSTA, 2023, p. 136), o que demonstra a capacidade do metal de se deslocar ao longo dos cursos d'água, contaminando múltiplos ambientes aquáticos. Essa mobilidade contribui para a ampliação do impacto ambiental, atingindo diferentes comunidades biológicas e humanas.

Uma vez presente no ambiente aquático, o mercúrio passa por transformações químicas decisivas para sua toxicidade. "Os íons de mercúrio (...) podem se ligar a grupos orgânicos, transformando-se em (...) metilmercúrio" (BARBOSA; SOUZA, 2000, p. 4), processo que altera significativamente suas propriedades. Essa transformação marca a transição entre uma forma menos biodisponível e uma forma altamente tóxica, capaz de interagir diretamente com os organismos vivos.

A importância desse processo é reforçada pela constatação de que "a metilação do mercúrio é o passo mais importante para a sua entrada na cadeia alimentar" (BARBOSA;

SOUZA, 2000, p. 5), mecanismo este que viabiliza sua incorporação biológica. Assim, o ambiente aquático atua não apenas como receptor, mas como transformador do contaminante.

Essa transformação ocorre, em grande medida, pela ação de microrganismos. O mercúrio “sofre processo de metilação pela ação das bactérias, transformando-se em metilmercúrio (MeHg), forma orgânica e a mais tóxica para os seres vivos” (SOUSA et al., 2024, p. 2).

A partir dessa transformação, inicia-se o processo de bioacumulação, caracterizado pela retenção progressiva do contaminante nos organismos. Nesse contexto, cabe a exposição das observações de Vasconcellos et al. (2023, p. 5),

Metais pesados são elementos químicos que têm alta toxicidade, têm capacidade de reagir com outras substâncias químicas e não podem ser destruídos ou modificados pelo homem. Esses metais têm propriedade bioacumulativa nos organismos, o que os torna muito perigosos para a saúde. Em contato com o organismo, eles atraem enzimas e proteínas essenciais para o bom funcionamento do corpo e se alojam nas células, dificultando o transporte de nutrientes. (...) O mercúrio é um dos metais pesados mais nocivos à saúde. Ele é bastante utilizado na indústria, mas também está presente no garimpo de ouro, atividade muito comum na região amazônica.

Portanto, a característica do mercúrio de bioacumulatividade nos organismos implica na sua permanência prolongada nos tecidos vivos, tornando-o perigoso, uma vez que sua eliminação ocorre de forma lenta e incompleta.

No ambiente aquático, esse fenômeno manifesta-se de forma evidente nos peixes. Nesse sentido, “o metil-mercúrio se acumula nos peixes, que são o maior veículo de transmissão para o ser humano” (RAMOS; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020, p. 2), evidenciando sua centralidade na cadeia alimentar. Os peixes atuam, assim, como reservatórios do contaminante, funcionando como elo entre o ambiente e níveis tróficos superiores.

A intensificação desse processo ocorre por meio da biomagnificação, fenômeno pelo qual a concentração do contaminante aumenta ao longo da cadeia alimentar. Razão pela qual “as espécies de peixes tendem a possuir maior concentração de metilmercúrio, quanto mais próximo do topo da cadeia alimentar, for a sua posição” (SOUSA et al., 2024, p. 2). Portanto, o mercúrio não apenas se acumula, mas se amplifica biologicamente, atingindo níveis elevados em predadores.

A magnitude desse processo pode atingir níveis extremos, como evidenciado pelo fato de que alguns tipos de “peixes (...) apresentam concentrações até um milhão de vezes superiores às da água” (WASSERMAN; HACON; WASSERMAN, 2001, p. 48) contaminada. Tal dado demonstra a intensidade da biomagnificação, evidenciando que mesmo menores concentrações ambientais do metal na água podem resultar em níveis altamente tóxicos nos organismos.

Outro aspecto do ciclo do mercúrio é sua persistência ambiental. Nesse sentido, destaca-se que o mercúrio permanece na forma ativa por aproximadamente 100 anos (COSTA; COSTA, 2023, p. 138), o que evidencia sua longa permanência nos ecossistemas. Tal característica contribui para a continuidade do ciclo de contaminação, mesmo após a interrupção das fontes emissoras.

Por fim, a integração desses processos revela que o mercúrio percorre um ciclo contínuo entre ambiente e organismos. Com efeito, “o mercúrio é transferido do ambiente para os organismos vivos (...) e nele estabelecem relações tróficas” (COSTA; COSTA, 2023, p. 143), evidenciando sua inserção estrutural nos ecossistemas, de tal modo que o contaminante deixa de ser um elemento isolado e passa a integrar a dinâmica ecológica.

Diante desse panorama, verifica-se que o mercúrio não permanece restrito ao local de sua liberação, mas se transforma, se dispersa, se acumula e se intensifica ao longo da cadeia ecológica. O ciclo ambiental do mercúrio, portanto, caracteriza-se por sua complexidade, persistência e capacidade de amplificação biológica, configurando um grave desafio ambiental, sobretudo em regiões como a Amazônia, onde sua dinâmica se associa diretamente às atividades antrópicas de exploração mineral.

3 IMPACTOS À SAÚDE E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NA AMAZÔNIA

9

A compreensão do uso do mercúrio na atividade garimpeira ilegal e sua dinâmica de dispersão nos ecossistemas amazônicos conduz, necessariamente, à análise dos efeitos sobre a saúde humana. Assim, torna-se relevante examinar a forma como esse contaminante atinge o organismo humano, quais são as principais vias de exposição e como seus impactos se distribuem entre diferentes grupos sociais. Tal abordagem permite evidenciar que os efeitos da contaminação não se manifestam de maneira uniforme, incidindo com maior intensidade sobre populações em situação de vulnerabilidade, especialmente aquelas que mantêm relação direta de subsistência com os recursos naturais da região.

3.1 Toxicidade do mercúrio e efeitos no organismo humano

O mercúrio é reconhecido como um dos metais pesados de maior relevância toxicológica, sobretudo em razão de sua capacidade de causar danos ao sistema nervoso central. Conforme destacam Bastos e Lacerda (2004, p. 99), trata-se de elemento de elevado risco à saúde humana, especialmente quando inalado sob a forma de vapor ou ingerido como metilmercúrio. Seus

efeitos incluem alterações neurológicas graves e irreversíveis, podendo comprometer funções sensoriais, motoras e cognitivas, além de, em casos agudos, levar ao coma e à morte.

No contexto amazônico, a principal via de exposição ao contaminante ocorre por meio do consumo de peixes contaminados, em razão da presença de metilmercúrio na cadeia alimentar aquática. Bastos e Lacerda (2004, p. 99) apontam que a ingestão de alimentos contendo organomercuriais, principalmente o metilmercúrio, representa o maior risco de intoxicação para populações ribeirinhas. De forma convergente, Costa e Costa (2023, p. 140) indicam que o consumo de pescado constitui a principal fonte de exposição humana ao mercúrio na região.

Além disso, a exposição ao metal está associada a impactos relevantes sobre a saúde, especialmente em grupos mais vulneráveis, como gestantes e crianças. Costa e Costa (2023, p. 140-142) apontam que o mercúrio pode afetar o comportamento neuropsicológico, a capacidade motora e o desenvolvimento físico, podendo ainda comprometer a gestação e o desenvolvimento fetal.

3.2 Vias de exposição ao mercúrio na Amazônia

A exposição ao mercúrio na Amazônia ocorre por diferentes vias, destacando-se a alimentar como a principal forma de contaminação humana. O consumo de peixes contaminados assume papel central, uma vez que o mercúrio presente no ambiente aquático é incorporado aos organismos e transferido ao longo da cadeia alimentar. Conforme apontado por Costa e Costa (2023, p.142) o consumo de peixe é a principal fonte de exposição das pessoas ao mercúrio.

Sousa et al. (2024, p. 1) indicam que a contaminação por mercúrio nos ecossistemas aquáticos se concentra sobretudo em espécies predadoras, que apresentam maiores níveis do metal em seus tecidos.

Nesse contexto, Wasserman, Hacon e Wasserman (2001, p. 46) explicam que o comportamento do mercúrio no ambiente amazônico envolve processos de transformação e circulação que permitem sua transferência ao longo da cadeia trófica, favorecendo sua incorporação pelos organismos.

Além da via alimentar, a exposição ao mercúrio também pode ocorrer por inalação de vapores liberados durante o processo de queima do amálgama nos garimpos, afetando diretamente trabalhadores e, indiretamente, populações próximas, em razão da dispersão atmosférica do contaminante (COSTA; COSTA, 2023, p. 138). Dessa forma, observa-se que a

contaminação por mercúrio na Amazônia não se limita a uma única forma de exposição, mas resulta da combinação de fatores ambientais e atividades antrópicas que ampliam sua distribuição e seus efeitos sobre a saúde humana.

3.3 Vulnerabilidade socioambiental na Amazônia

Sousa et al. (2024, p. 2) demonstram que a contaminação por mercúrio na Amazônia afeta diversas espécies de peixes, incluindo aquelas predadoras amplamente consumidas por populações ribeirinhas, com concentrações que, em muitos casos, ultrapassam os limites estabelecidos para consumo humano. Esse cenário reforça que a exposição ao contaminante está diretamente associada à dependência alimentar dessas populações em relação aos recursos aquáticos. Trata-se, portanto, de um contexto em que a vulnerabilidade não decorre apenas da presença do contaminante, mas da impossibilidade prática de evitar sua ingestão.

Nesse mesmo sentido, Bastos e Lacerda (2004, p. 99) apontam que o mercúrio permanece distribuído em diferentes compartimentos ambientais, sendo passível de remobilização e incorporação biológica, o que contribui para sua permanência como ameaça à saúde humana, especialmente entre populações ribeirinhas. Tal persistência ambiental intensifica os riscos em contextos nos quais a exposição ocorre de forma contínua. Nesse sentido, a contaminação assume caráter estrutural, afastando-se de eventos pontuais e configurando-se como condição permanente de risco.

A partir dessa dinâmica, Ramos, Oliveira e Rodrigues (2020, p. 2) evidenciam que a atividade garimpeira em territórios indígenas provoca não apenas degradação ambiental, mas também contaminação de rios, fauna e populações humanas, destacando que o peixe constitui o principal veículo de transmissão do mercúrio para essas comunidades. Nesse contexto, a dependência do pescado como fonte proteica amplia significativamente a vulnerabilidade dessas populações.

Wasserman, Hacon e Wasserman (2001, p. 46) destacam que a metilação do mercúrio no ambiente amazônico favorece a formação de sua forma mais tóxica e sua incorporação ao longo da cadeia alimentar. Esse processo permite que o contaminante alcance o ser humano, estando associado a efeitos graves à saúde, especialmente de natureza neurológica (BASTOS; LACERDA, 2004, p. 99).

Como consequência direta, Costa e Costa (2023, p. 140–142) indicam que o consumo de peixe constitui a principal fonte de exposição ao mercúrio na Amazônia, afetando diretamente

populações que dependem desse recurso para sua subsistência. Nesse mesmo sentido, Sousa et al. (2024, p. 1) demonstram que diversas espécies de peixes consumidas na região apresentam níveis elevados do contaminante, o que reforça o risco associado à ingestão frequente desses organismos.

Além disso, a exposição ao mercúrio está associada a impactos relevantes sobre a saúde humana, especialmente em grupos mais vulneráveis, como gestantes e crianças, podendo comprometer funções neurológicas e o desenvolvimento físico (BASTOS; LACERDA, 2004, p. 99).

Sob a perspectiva institucional, Marques et al. (2022, p. 2) afirmam que a atividade garimpeira na Amazônia opera com tecnologia rudimentar e elevada dependência do mercúrio, estando frequentemente associada à ilegalidade e à insuficiência da atuação estatal no controle da contaminação. De forma complementar, a Agência Brasileira de Inteligência, o Fórum Brasileiro de Segurança Pública e o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (2025, p. 9–11) destacam que a persistência da contaminação por mercúrio na Amazônia está associada à atuação de redes criminosas estruturadas, que operam ao longo da cadeia do ouro e dificultam a rastreabilidade do produto. Além disso, os autores apontam que a extensão territorial da região, aliada às limitações logísticas e institucionais, compromete a fiscalização em áreas remotas, fragilizando os mecanismos de governança ambiental e favorecendo a continuidade das atividades ilegais.

12

Em uma perspectiva mais ampla, Souza e Barbosa (2000, p. 3) ressaltam que a mineração constitui uma das principais fontes antropogênicas de emissão de mercúrio, reforçando o papel das atividades humanas na intensificação da contaminação ambiental. Nesse sentido, a sobreposição entre fatores naturais e antrópicos amplia a complexidade do problema na região amazônica.

No campo jurídico e dos direitos fundamentais, Rocha Neto (2022) destaca que os impactos do uso do mercúrio no garimpo ultrapassam a dimensão ambiental, atingindo diretamente os direitos humanos de povos indígenas e ribeirinhos, o que exige a adoção de mecanismos jurídicos mais amplos de proteção. De forma convergente, Vasconcellos et al. (2023) apontam que a contaminação por mercúrio está associada a efeitos relevantes sobre a saúde e o meio ambiente, com impactos mais intensos sobre populações tradicionais.

Dessa forma, a contaminação por mercúrio na Amazônia revela um quadro de vulnerabilidade socioambiental caracterizado pela sobreposição entre degradação ambiental, exposição contínua ao contaminante e insuficiência estrutural de mecanismos de controle.

Nesse contexto, os impactos recaem de forma desproporcional sobre populações historicamente vulneráveis, evidenciando a desigualdade na distribuição dos riscos ambientais na região.

4 MERCÚRIO, ECONOMIA ILÍCITA E INSUFICIÊNCIA ESTATAL NA AMAZÔNIA

A análise da vulnerabilidade socioambiental associada à contaminação por mercúrio na Amazônia revela que seus impactos não se restringem às dimensões ambiental e sanitária, estando inseridos em um contexto mais amplo, marcado por dinâmicas econômicas informais e limitações na atuação estatal. Assim, o uso do mercúrio no garimpo ilegal não se apresenta como um fenômeno isolado, mas como parte de um conjunto de práticas que envolvem exploração de recursos naturais, circulação de insumos e fragilidades institucionais, evidenciando sua inserção em uma lógica sistêmica de degradação ambiental.

Marques et al. (2022, p. 1) apontam que a mineração artesanal na Amazônia opera com baixo controle institucional e elevada dependência do mercúrio, característica que favorece a expansão da atividade garimpeira em áreas de difícil acesso e com reduzida capacidade de fiscalização. Nesse contexto, a simplicidade técnica do processo de extração, aliada à ampla disponibilidade do insumo, contribui para a disseminação da atividade, ampliando seus impactos ambientais.

De forma complementar, a Agência Brasileira de Inteligência, o Fórum Brasileiro de Segurança Pública e o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (2025, p. 9–11) destacam que a persistência do garimpo ilegal está associada à atuação de redes estruturadas ao longo da cadeia do ouro, bem como às dificuldades de monitoramento e controle em regiões remotas da Amazônia, o que compromete a efetividade das políticas públicas ambientais.

Sob essa perspectiva, Souza e Barbosa (2000, p. 3) ressaltam que a mineração constitui uma das principais fontes antropogênicas de emissão de mercúrio, reforçando a relação entre a expansão da atividade garimpeira e o agravamento da contaminação ambiental. Tal dinâmica evidencia que a persistência do uso do metal está associada a fatores estruturais que dificultam sua substituição e controle.

Nesse cenário, a compreensão do papel do mercúrio na Amazônia exige a análise de sua inserção em cadeias econômicas, das formas de organização da atividade garimpeira e dos limites institucionais para sua regulação. A partir dessa perspectiva, torna-se possível examinar, de forma mais aprofundada, os elementos que contribuem para a manutenção do uso do metal e para a reprodução dos impactos socioambientais na região.

4.1 Mercúrio como insumo estratégico da atividade garimpeira

O mercúrio ocupa posição central na dinâmica do garimpo ilegal na Amazônia, constituindo-se como insumo essencial para a viabilização técnica da extração do ouro. Sua utilização no processo de amalgamação permite a separação do ouro de forma simples e de baixo custo, o que explica sua ampla adoção em contextos de mineração artesanal.

Nesse sentido, Marques et al. (2022, p. 1) destacam que “o processo de extração do ouro neste modelo opera com tecnologia rudimentar e altamente dependente do mercúrio”, evidenciando a centralidade desse insumo na estrutura produtiva da atividade. Tal dependência reduz significativamente as exigências técnicas do garimpo, possibilitando sua realização em áreas remotas e com limitada infraestrutura.

Além disso, a literatura indica que a utilização do mercúrio está diretamente associada à lógica operacional da mineração artesanal, marcada pela simplicidade dos métodos e pela baixa exigência tecnológica. Como ressaltam Souza e Barbosa (2000, p. 3), a mineração constitui uma das principais fontes antropogênicas de emissão de mercúrio, o que reforça o papel desse metal não apenas como instrumento técnico, mas também como vetor de contaminação ambiental.

A facilidade de transporte, armazenamento e manuseio do mercúrio contribui para sua ampla difusão entre os agentes envolvidos na atividade garimpeira, ampliando sua utilização mesmo em contextos de restrição normativa. Nesse sentido, a Agência Brasileira de Inteligência, o Fórum Brasileiro de Segurança Pública e o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (2025, p. 9–11) destacam que a circulação de insumos e a atuação de redes estruturadas ao longo da cadeia do ouro favorecem a continuidade da atividade em regiões de difícil fiscalização, evidenciando a dimensão econômica e organizacional do garimpo ilegal.

Dessa forma, o mercúrio não se apresenta como componente acessório do garimpo, mas como base material de seu funcionamento, cuja disponibilidade condiciona diretamente a execução da atividade. Essa centralidade constitui, portanto, ponto de partida para a compreensão das dinâmicas econômicas e organizacionais que sustentam o garimpo ilegal na Amazônia.

4.2 Cadeia econômica ilícita do ouro e organização da atividade garimpeira

A atividade garimpeira ilegal na Amazônia insere-se em uma cadeia econômica complexa, que ultrapassa o momento da extração e envolve diferentes etapas de circulação e inserção do ouro no mercado. Nesse contexto, o produto da atividade ilegal passa a integrar

fluxos comerciais que dificultam a identificação de sua origem, permitindo sua progressiva incorporação a circuitos formais.

Marques et al. (2022, p. 1) destacam que a expansão da mineração artesanal na região está diretamente associada a fatores econômicos, especialmente à valorização do ouro, o que estimula a formação de novas frentes de exploração. Essa dinâmica evidencia que o garimpo ilegal não se limita a práticas isoladas, mas se insere em uma lógica de mercado mais ampla, orientada por incentivos econômicos relevantes.

A partir dessa perspectiva, a cadeia produtiva do ouro envolve etapas que vão desde a extração até a comercialização, passando por processos de transporte e intermediação. Ao longo desse percurso, o ouro extraído ilegalmente tende a ser misturado a produtos de origem regular, dificultando sua rastreabilidade e comprometendo os mecanismos de controle. Esse processo contribui para a aparente “legalização” do produto, mascarando sua origem ilícita. Tal mecanismo evidencia a fragilidade dos sistemas de rastreabilidade do ouro, permitindo a integração de produtos ilegais a circuitos formais.

Além disso, a organização da atividade garimpeira revela a atuação de múltiplos agentes, com divisão de funções e especialização de tarefas, o que contribui para a eficiência operacional do sistema. Tal configuração indica que o garimpo ilegal apresenta grau de organização superior ao de uma atividade meramente artesanal, aproximando-se de estruturas produtivas mais complexas.

15

De forma complementar, a literatura aponta que a circulação de insumos e a logística da atividade integram essa cadeia econômica, evidenciando a interdependência entre os diferentes elementos que sustentam o garimpo. Nesse sentido, a mineração configura-se como importante fonte antropogênica de emissão de mercúrio, reforçando o vínculo entre atividade econômica e contaminação ambiental (SOUZA; BARBOSA, 2000, p. 3).

Dessa forma, a cadeia econômica do ouro ilegal na Amazônia revela-se como um sistema articulado, no qual a exploração de recursos naturais, a circulação de insumos e a inserção em mercados formais e informais se combinam para sustentar a atividade. Essa estrutura constitui elemento essencial para a compreensão das dinâmicas que permitem a manutenção e a expansão do garimpo ilegal na região.

4.3 Insuficiência estatal, governança e proteção ambiental na Amazônia

A dinâmica do garimpo ilegal e a persistência do uso do mercúrio na Amazônia evidenciam que a manutenção dessa atividade não decorre apenas de fatores técnicos ou econômicos, mas também de limitações estruturais na atuação estatal. Nesse contexto, a dificuldade de fiscalização em regiões extensas e de difícil acesso, aliada à complexidade das cadeias produtivas envolvidas, compromete a efetividade das medidas de controle e contenção dos impactos ambientais.

A literatura aponta que a exploração de ouro na Amazônia ocorre, em grande medida, em contextos de baixa presença institucional, o que favorece a continuidade de práticas ilegais e a ampliação da degradação ambiental (MARQUES et al., 2022, p. 1). De forma convergente, a Agência Brasileira de Inteligência, o Fórum Brasileiro de Segurança Pública e o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (2025, p. 9–11) destacam que a atuação de redes ilícitas e a dificuldade de monitoramento em áreas remotas constituem obstáculos relevantes à governança ambiental na região.

Nesse contexto, merece destaque a Convenção de Minamata sobre Mercúrio, tratado internacional adotado em 2013 no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e incorporado ao ordenamento jurídico brasileiro por meio do Decreto n. 9.470/2018. O instrumento estabelece obrigações voltadas à redução das emissões e liberações de mercúrio, ao controle de seu comércio e ao enfrentamento dos riscos decorrentes de sua utilização em atividades como a mineração artesanal e de pequena escala de ouro. Embora represente importante avanço no plano normativo internacional, a realidade amazônica evidencia desafios significativos para a efetiva implementação de seus objetivos, sobretudo diante da expansão do garimpo ilegal, da dificuldade de fiscalização em áreas remotas e da atuação de redes ilícitas ligadas à cadeia produtiva do ouro. Assim, a persistência da contaminação por mercúrio na Amazônia demonstra que a existência de compromissos internacionais, por si só, não é suficiente para assegurar a proteção ambiental, exigindo o fortalecimento das capacidades institucionais do Estado e a adoção de medidas concretas de monitoramento, controle e responsabilização.

Quanto à insuficiência dos mecanismos de controle, ela não se limita à ausência de normas, mas envolve dificuldades concretas de implementação, fiscalização e coordenação institucional, o que contribui para a permanência de atividades com impactos significativos

sobre o meio ambiente e sobre populações que dependem diretamente dos recursos naturais, especialmente em territórios indígenas.

Ramos, Oliveira e Rodrigues (2020, p. 2) demonstram que a atuação do garimpo em terras indígenas ocorre de forma clandestina, produzindo impactos ambientais e sociais expressivos em um contexto de respostas institucionais limitadas. Essa realidade evidencia que os efeitos da contaminação por mercúrio ultrapassam a dimensão ambiental, alcançando diretamente a esfera dos direitos humanos dessas populações.

Diante desse quadro, a proteção ambiental na Amazônia revela-se insuficiente para conter os impactos decorrentes do garimpo ilegal, especialmente no que se refere à prevenção da contaminação por mercúrio. Como destaca Rocha Neto (2022), a complexidade do problema exige a articulação de mecanismos jurídicos mais amplos, capazes de responder às múltiplas dimensões envolvidas na proteção de povos indígenas e ribeirinhos.

Dessa forma, a persistência do uso do mercúrio na Amazônia evidencia não apenas a ilegalidade da atividade garimpeira, mas falhas estruturais na governança ambiental, que dificultam a efetivação das normas existentes e revelam a incapacidade do Estado em interromper ciclos de degradação ambiental associados à exploração econômica de alta rentabilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo deste estudo permitiu compreender que a utilização do mercúrio no garimpo ilegal amazônico ultrapassa a dimensão estritamente técnica da extração mineral, inserindo-se em uma dinâmica marcada por fatores econômicos, ambientais e institucionais. Conforme demonstrado, a permanência do uso do metal está associada à sua eficiência operacional, ao baixo custo e à facilidade de manejo, características que favorecem sua utilização em contextos de mineração ilegal e baixa fiscalização.

No decorrer da pesquisa, verificou-se que o mercúrio apresenta elevada capacidade de dispersão e persistência ambiental, sendo incorporado aos ecossistemas aquáticos por meio de processos de transformação química, bioacumulação e biomagnificação. Observou-se, ainda, que os impactos da contaminação atingem de forma mais intensa populações indígenas e ribeirinhas, sobretudo em razão da dependência alimentar em relação ao pescado contaminado.

O estudo também demonstrou que a persistência da contaminação por mercúrio na Amazônia está relacionada à expansão do garimpo ilegal, à circulação do ouro e às limitações

dos mecanismos de fiscalização e governança ambiental. Assim, constatou-se que a problemática do mercúrio não decorre apenas da atividade garimpeira em si, mas também de fragilidades estruturais relacionadas ao controle estatal e à efetividade da proteção ambiental na região.

Dessa forma, entende-se que o problema proposto no presente artigo foi adequadamente enfrentado, na medida em que se demonstrou a relação entre o uso do mercúrio no garimpo ilegal amazônico, os processos de contaminação ambiental, a vulnerabilidade socioambiental e a insuficiência estatal na proteção ambiental da Amazônia. Nesse contexto, o estudo identificou os fatores que sustentam a utilização do mercúrio na atividade garimpeira ilegal, compreendeu o ciclo ambiental do contaminante e seus impactos sobre ecossistemas aquáticos e populações vulneráveis, além de examinar as relações entre garimpo ilegal e insuficiência estatal na proteção ambiental da região.

Conclui-se, portanto, que a persistência do uso do mercúrio na Amazônia evidencia um problema estrutural, cuja superação demanda o fortalecimento da governança ambiental, da fiscalização estatal e de mecanismos capazes de reduzir os impactos decorrentes do garimpo ilegal sobre os ecossistemas aquáticos e populações vulneráveis da região.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE INTELIGÊNCIA; FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Mercúrio na Amazônia: redes criminosas transnacionais, vulnerabilidade socioambiental e desafios para a governança**. São Paulo: Fórum Brasileiro de Segurança Pública, 2025. Disponível em: <https://publicacoes.forumseguranca.org.br/handle/123456789/284>. Acesso em: 9 abr. 2026.

BARBOSA, Antonio Carneiro; SOUZA, Jurandir Rodrigues de. Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 12, p. 3-7, nov. 2000. Disponível em: <https://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc12/v12a01.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2026.

BASTOS, W. R.; LACERDA, L. D. A contaminação por mercúrio na bacia do Rio Madeira: uma breve revisão. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 99-114, 2004. Disponível em: <https://geobrasiliensis.emnuvens.com.br/geobrasiliensis/article/view/215>. Acesso em: 9 abr. 2026.

BRASIL. Decreto n.º 9.470, de 14 de agosto de 2018. Promulga a Convenção de Minamata sobre Mercúrio, firmada pela República Federativa do Brasil, em Kumamoto, em 10 de outubro de 2013. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 ago. 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9470.htm. Acesso em: 24 jun. 2026.

COSTA, Karina da Silva Lopes; COSTA, Josivan da Silva. Poluição por mercúrio na Amazônia: efeitos sobre o meio ambiente e a saúde humana. **Cidades Verdes**, Tupã, v. 11, n. 32, 2023. Disponível em:

https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/pt_BR/article/view/4423.

Acesso em: 9 abr. 2026.

LACERDA, Luís Drude de; SALOMONS, Win. **Mercúrio na Amazônia: uma bomba-relógio química?** Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992. Disponível em:

<https://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/404>. Acesso em: 9 abr. 2026.

MARQUES, Ricardo Lívio Santos et al. Uso de mercúrio na Amazônia brasileira: contaminação, problemas e legislação vigente. **Revista Catalana de Dret Ambiental**, Tarragona, v. 13, n. 2, p. 1-34, 2022. Disponível em:

<https://www.raco.cat/index.php/rcda/article/view/414158>. Acesso em: 9 abr. 2026.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **Convenção de Minamata sobre Mercúrio**. Kumamoto, Japão, 2013. Disponível em:

<https://www.mercuryconvention.org>. Acesso em: 24 jun. 2026.

RAMOS, Alan Robson Alexandrino; OLIVEIRA, Keyty Almeida de; RODRIGUES, Francilene dos Santos. Mercúrio nos garimpos da Terra Indígena Yanomami e responsabilidades. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 23, 2020. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20180326r2vu2020L5AO>. Acesso em: 9 abr. 2026.

ROCHA NETO, Gilberto. **O transconstitucionalismo na proteção dos povos indígenas e ribeirinhos da Amazônia frente à utilização do mercúrio nos garimpos**. 2022. 154 f. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: <https://pos.uea.edu.br/data/area/titulado/download/131-12.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2026.

SOUSA, E. P. et al. Contaminação por mercúrio em peixes na Amazônia brasileira. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, São José dos Campos, v. 24, n. 8, e15348, 2024. Disponível em: <https://acervomais.com.br/index.php/saude/article/view/15348>. Acesso em: 9 abr. 2026.

VASCONCELLOS, Ana Claudia Santiago de et al. **Mercúrio na Amazônia: consequências na saúde e no meio ambiente**. Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio/Fundação Oswaldo Cruz, 2023. Disponível em: <https://arca.fiocruz.br/items/27aff001-b7b8-4fo8-aac8-6d1e1539c22f/full>. Acesso em: 9 abr. 2026.

WASSERMAN, Julio Cesar; HACON, Sandra S.; WASSERMAN, Maria Angélica. O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico. **Mundo & Vida**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1/2, 2001. Disponível em:

<https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/l2d00023.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2026.