contecc 2026
CONGRESSO TÉCNICO-CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA

MOBILIZAÇÃO DE MERCÚRIO POR USO DA TERRA NO PARÁ: MINERAÇÃO, PECUÁRIA E SOLUÇÕES FLORESTAIS

SUEDE FERNANDA SANTOS BAIMA[1], BRISSA KAROLINY DE ANDRADE PARENTONI SENRA[2] e EVERTON MATHEUS CARDOSO MORAES[3]

[1]Engenheira Florestal, UEPA, Marabá-PA, engsuedefernanda@gmail.com;
[2]Engenheira de Minas, UNIFESSPA, Marabá-PA, engbrissaparentoni@gmail.com;
[3]Engenheiro Florestal, UEPA, Marabá-PA, evertonmcmoraes@gmail.com;

RESUMO: O mercúrio da Amazônia paraense não nasce só do garimpo. Estudos de referência já haviam encontrado teores altos do metal em água de rio sem qualquer mineração por perto, sinal de que o próprio desmatamento libera mercúrio geogênico acumulado havia séculos em solos argilosos profundos. Como a pecuária puxa a maior parte do desmatamento direto na Amazônia, seguida pela agricultura de grãos, o risco de mobilizar esse mercúrio se espalha por uma área bem maior do que a ocupada pelo garimpo, mesmo este continuando a ser a fonte mais concentrada de contaminação direta. Propomos três respostas de engenharia para três frentes distintas de uso da terra no Pará. Para o garimpo, fitorremediação aquática com macrófitas nativas somada a cinturões florestais que ajudam a capturar mercúrio do ar. Para pecuária e agricultura, sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, já testados pela Embrapa como tecnologia de balanço de carbono negativo e via prioritária para recuperar pastagem degradada na Amazônia, tirando parte da pressão sobre áreas ainda florestadas. Para a mineração formal, defendemos sua relevância estratégica diante da transição energética, com a produção de cobre em Carajás projetada para quase triplicar até 2035, sem deixar de reconhecer que a movimentação de estéril também libera mercúrio geogênico e por isso exige monitoramento. Fechamos com ações práticas de engenharia e uma agenda de política pública.

PALAVRAS-CHAVE: Itaituba; Fitorremediação; ILPF; Transição Energética; MapBiomas.

MERCURY MOBILIZATION FROM LAND USE IN PARÁ: MINING, CATTLE RANCHING AND FOREST-BASED SOLUTIONS

ABSTRACT: Mercury in the Pará Amazon does not come from artisanal mining alone. Landmark studies had already found high mercury levels in river water with no mining nearby, a sign that deforestation itself releases geogenic mercury stored for centuries in deep clay soils. Since cattle ranching drives most direct deforestation in the Amazon, followed by grain agriculture, the risk of mobilizing this mercury spreads across an area far larger than the one occupied by artisanal mining, even though mining remains the most concentrated source of direct contamination. We propose three engineering responses for three distinct land-use fronts in Pará. For artisanal mining, aquatic phytoremediation with native macrophytes together with forest belts that help capture airborne mercury. For cattle ranching and agriculture, Integrated Crop-Livestock-Forest systems, already tested by Embrapa as a carbon-negative technology and a priority path for recovering degraded pasture in the Amazon, easing pressure on still-forested land. For formal mining, we defend its strategic relevance amid the energy transition, with copper output in Carajás projected to nearly triple by 2035, while acknowledging that waste-rock movement also releases geogenic mercury and therefore calls for monitoring. We close with practical engineering actions and a public policy agenda.

KEYWORDS: Itaituba; Phytoremediation; ICLF; Energy Transition; MapBiomas.

INTRODUÇÃO

Um estudo hoje considerado referência mostrou, já em 2001, que a água do rio Negro trazia teores de mercúrio elevados mesmo em pontos onde não havia mineração por perto (FADINI & JARDIM, 2001). A explicação encontrada pelos autores foi que o próprio desmatamento mobiliza mercúrio geogênico, guardado havia muito tempo nos solos argilosos e profundos da região, e que a

chuva e a erosão levam esse metal até rios e lagos. Depois que o garimpo recuou no rio Madeira, essa lixiviação de mercúrio de solos marginais passou a responder por boa parte da contaminação medida ali, mesmo sem garimpo ativo.

Essa descoberta muda o tamanho do problema. Na Amazônia brasileira, quem mais desmata diretamente é a pecuária, à frente até da mineração em área total convertida, com a agricultura de grãos, sobretudo a soja, aparecendo logo atrás quando se cruzam dados do Prodes com o rebanho bovino por município (RIVERO *et al.*, 2009). Ou seja, o risco de mobilizar mercúrio geogênico se reparte por três frentes de uso da terra no Pará: o garimpo, mais concentrado e mais estudado; a pecuária e a agricultura, de escala territorial bem maior; e a mineração formal, cuja expansão recente mira minerais críticos para a transição energética.

Sobre essa última frente, vale reconhecer sua relevância estratégica. A Vale projeta ampliar a produção de cobre em Carajás de 280 mil para 450 mil toneladas em 2030, chegando a 600 mil em 2035, dentro do programa Novo Carajás, orçado em R$ 70 bilhões e apresentado pela empresa como fornecimento de minerais essenciais à descarbonização global, discurso reforçado pelo Instituto Brasileiro de Mineração, que aposta no Pará como protagonista nacional dessa cadeia. Essa relevância estratégica não isenta a mineração formal do mesmo risco de mobilizar mercúrio geogênico pela movimentação de estéril e de solo, ainda que o beneficiamento a seco do ferro em Carajás dispense o uso de água nessa etapa específica.

Para o garimpo, já existe base técnica suficiente para propor fitorremediação aquática e cinturões florestais de captura atmosférica de mercúrio, apoiados em precedentes reais no Pará e em evidência publicada internacionalmente sobre a capacidade do dossel florestal de reter mercúrio do ar. Para pecuária e agricultura, a resposta técnica já validada em nível nacional é a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, tecnologia prevista na Lei nº 12.805/2013, com balanço de carbono negativo já demonstrado no bioma Amazônia. Este trabalho busca reunir essas três frentes numa mesma análise, propondo uma resposta de engenharia específica para cada uma e discutindo a relevância estratégica da mineração formal diante da transição energética, sem deixar de lado seus próprios riscos de solo e água.

MATERIAL E MÉTODOS

Este é um trabalho de revisão técnica com proposta de piloto, não um levantamento de campo. Reunimos cinco blocos de literatura: estudos sobre mobilização de mercúrio geogênico por desmatamento na Amazônia; dados do Prodes e da Embrapa sobre pecuária e agricultura como causas de desmatamento; estudos institucionais sobre espécies nativas e macrófitas aquáticas já usadas ou validadas para recuperação ambiental no Pará; pesquisas sobre captura de mercúrio atmosférico pelo dossel florestal; e dados institucionais da Vale e do IBRAM sobre a expansão de minerais críticos em Carajás.

Para o garimpo, mantivemos a proposta já esboçada em etapas anteriores deste estudo: módulos flutuantes contidos, com lentilha-d'água e Salvinia, cuidando do compartimento água, e cinturão florestal de espécies de dossel denso, como o lacre, cuidando do compartimento ar, com mercúrio monitorado em água, solo e biomassa por espectrometria de absorção atômica.

Para pecuária e agricultura, a resposta técnica escolhida foi a adoção de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta em áreas de pastagem já degradada, priorizando essa recuperação em vez de abrir área nova, na linha da própria estratégia nacional de priorização por bioma, que coloca a Amazônia entre os biomas prioritários. A escolha do arranjo, lavoura-pecuária, pecuária-floresta ou o sistema completo, segue o que já está publicado para o bioma, sem propor combinação inédita e não testada.

Para a mineração formal, organizamos dados públicos de produção projetada de cobre e de investimento do programa Novo Carajás, cruzando essa informação com o levantamento de requerimentos minerários sobrepostos a assentamentos de reforma agrária, de modo a apresentar tanto

o argumento estratégico quanto a tensão territorial que o acompanha, sem tomar posição normativa sobre o mérito de cada requerimento específico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evidência de mobilização geogênica muda o tamanho do problema do mercúrio no Pará. Não se trata de algo restrito ao garimpo, mas de um risco ligado a qualquer movimentação de terra em solo amazônico, o que inclui, em ordem crescente de escala territorial, a pecuária, a agricultura de grãos, o garimpo e a mineração formal. Essa hierarquia de escala não torna o garimpo menos grave, que segue sendo a fonte mais concentrada e mais estudada de contaminação direta por uso ativo de mercúrio metálico, mas mostra que uma política de mercúrio pensada só para o garimpo deixaria de fora a maior parte do solo efetivamente mobilizado no estado. O Quadro 1 resume a resposta proposta para cada frente.

Quadro 1: Respostas de engenharia por frente de uso da terra

Frente	Risco de mercúrio identificado	Resposta técnica proposta
Garimpo	Fonte mais concentrada de contaminação direta por uso de mercúrio metálico.	Fitorremediação aquática (lentilha-d'água e Salvinia) e cinturão florestal de dossel denso, com monitoramento por espectrometria de absorção atômica.
Pecuária e agricultura	Maior causa direta de desmatamento; maior escala territorial de solo mobilizado.	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta em pastagem já degradada, priorizada sobre abertura de área nova.
Mineração formal	Movimentação de estéril mobiliza mercúrio geogênico, mesmo com beneficiamento a seco.	Monitoramento de mercúrio em solo como rotina técnica, independentemente do mineral extraído.

Para o garimpo, a proposta de fitorremediação aquática com lentilha-d'água e Salvinia, somada a cinturão florestal de espécies de dossel denso, segue apoiada nos mesmos precedentes já discutidos em etapas anteriores: o uso já consolidado de espécies nativas em áreas mineradas do Pará (ABORI, 2024), a validação de macrófitas amazônicas para outros metais pesados (PIO *et al.*, 2013) e a evidência publicada de captura de mercúrio atmosférico pelo dossel florestal (GERSON *et al.*, 2022; TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Para pecuária e agricultura, a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta já é resposta validada e escalável: o Brasil soma hoje 15 milhões de hectares sob sistemas integrados, com meta de dobrar essa área até 2030, e pesquisas no bioma Amazônia mostram balanço de carbono negativo mesmo em arranjos mais simples de pecuária manejada (EMBRAPA, 2023). Ao recuperar pastagem já degradada em vez de abrir área nova, a ILPF reduz a movimentação de solo justamente na fronteira ainda florestada, atacando de frente o mecanismo de mobilização de mercúrio geogênico discutido aqui, além de manter componente arbóreo com alguma capacidade de captura atmosférica do metal, ainda que menor que a de uma floresta primária.

Para a mineração formal, o argumento estratégico é real e mensurável: a expansão de cobre em Carajás responde a uma demanda internacional por minerais críticos para eletrificação e energias renováveis, e o Pará já concentra fatia relevante da produção mineral do país (SIMINERAL, 2026). Esse argumento, no entanto, convive com uma tensão territorial documentada: levantamento jornalístico independente identificou centenas de requerimentos minerários de cobre, níquel e manganês sobrepostos a dezenas de assentamentos de reforma agrária na província mineral (REPÓRTER BRASIL, 2026). Defender a relevância estratégica da mineração formal não significa dispensá-la de monitoramento: a movimentação de estéril de qualquer lavra, mesmo com beneficiamento a seco do minério principal, mobiliza o mesmo mercúrio geogênico que ameaça pecuária, agricultura e garimpo, o que recomenda estender a essa frente o mesmo monitoramento de solo já proposto para as demais.

Papel da engenharia consultora

A partir desses achados, cabe à engenharia consultora atuar nas três frentes ao mesmo tempo: conduzir piloto de fitorremediação e cinturão florestal em áreas de garimpo; apoiar a adoção de ILPF em propriedades de pecuária como condicionante de crédito rural ou de regularização ambiental; e incluir monitoramento de mercúrio em solo como rotina técnica em operações de mineração formal, independentemente do mineral extraído ou do discurso de sustentabilidade associado ao empreendimento.

CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou que a mobilização de mercúrio no Pará é, no fundo, um problema de uso da terra em sentido amplo, não uma exclusividade do garimpo, com pecuária e agricultura respondendo pela maior parte da área de solo efetivamente mobilizada no estado. Propusemos três respostas de engenharia integradas: fitorremediação aquática e cinturão florestal para o garimpo, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta para pecuária e agricultura, e monitoramento de solo estendido à mineração formal, cuja expansão de minerais críticos consideramos relevante diante da transição energética global, sem que essa relevância dispense o mesmo rigor técnico de controle ambiental.

As três respostas compartilham um mesmo princípio: aproveitar tecnologia e espécie já validada, em vez de propor solução inédita e não testada, o que torna a proposta tecnicamente defensável e replicável em escala estadual. Fica como agenda para pesquisa e política pública perguntar se o monitoramento de mercúrio em solo deveria valer igualmente para garimpo, pecuária de fronteira, agricultura de grãos e mineração formal; se a adoção de ILPF poderia virar condicionante de crédito rural nos municípios de fronteira de desmatamento; e que papel o sistema Confea/Crea pode assumir na responsabilização técnica, via ART, por planos de monitoramento de mercúrio em qualquer atividade que movimente terra em escala relevante.

REFERÊNCIAS

ABORI. **Reabilitação ambiental de áreas de mineração com espécies nativas.** 2024. Disponível em: https://abori.com.br/ambiente/reabilitacao-ambiental-de-areas-de-mineracao-com-especies-nativas/. Acesso em: 13 ago. 2026.

BRASIL. Lei nº 12.805, de 29 de abril de 2013. **Institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12805.htm. Acesso em: 13 ago. 2026.

BRASILMINERAL. **10 anos do S11D: a mina que redefiniu Carajás e ajudou a redesenhar o futuro da mineração brasileira.** 2026. Disponível em: https://www.brasilmineral.com.br/noticias/10-anos-do-s11d-a-mina-que-redefiniu-carajas-e-ajudou-a-redesenhar-o-futuro-da-mineracao. Acesso em: 13 ago. 2026.

EMBRAPA. **Sistemas ILPF mitigam emissão de gases de efeito estufa no bioma Amazônia.** 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/84883877/sistemas-ilpf-mitigam-emissao-de-gases-de-efeito-estufa-no-bioma-amazonia. Acesso em: 13 ago. 2026.

FADINI, P. S.; JARDIM, W. F. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? **Science of the Total Environment,** v. 275, n. 1-3, p. 71-82, 2001.

GERSON, J. R. *et al.* Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. **Nature Communications,** v. 13, artigo 559, 2022.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Combate às mudanças climáticas acelera corrida por minerais críticos para a transição energética.** 2025. Disponível em: https://acervo.socioambiental.org/acervo/noticias/combate-mudancas-climaticas-acelera-corrida-por-minerais-criticos-para-transicao. Acesso em: 13 ago. 2026.

PIO, M. C. S.; SOUZA, K. S.; SANTANA, G. P. Capacidade da Lemna aequinoctialis para acumular metais pesados de água contaminada. **Acta Amazonica,** v. 43, n. 2, p. 203-210, 2013.

PORTAL FIOCRUZ. **Estudo analisa a contaminação por mercúrio entre o povo indígena munduruku.** 2020. Disponível em: https://fiocruz.br/noticia/2020/11/estudo-analisa-contaminacao-por-mercurio-entre-o-povo-indigena-munduruku. Acesso em: 13 ago. 2026.

REDE ILPF. **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.** Disponível em: https://redeilpf.org.br/. Acesso em: 13 ago. 2026.

REPÓRTER BRASIL. **Minerais críticos avançam em Carajás e pressionam áreas de reforma agrária.** 2026. Disponível em: https://reporterbrasil.org.br/2026/02/corrida-por-minerais-criticos-avanca-em-carajas-e-pressiona-areas-de-reforma-agraria/. Acesso em: 13 ago. 2026.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia,** v. 19, n. 1, p. 41-66, 2009.

SIMINERAL. **Pará, protagonista da mineração estratégica para a transição energética global.** 2026. Disponível em: https://www.simineral.org.br/simineral-on/74/para-protagonista-da-mineracao-estrategica-para-a-transicao-energetica-global. Acesso em: 13 ago. 2026.

TEIXEIRA, D. C.; LACERDA, L. D.; SILVA-FILHO, E. V. Mercury sequestration by rainforests: the influence of microclimate and different successional stages. **Chemosphere,** v. 168, p. 1186-1193, 2017.