

VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS DANOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS GARIMPOS ILEGAIS DE OURO E CASSITERITA NA TERRA INDÍGENA YANOMAMI

ECONOMIC VALUATION OF ENVIRONMENTAL DAMAGES CAUSED BY ILLEGAL ARTISANAL MINING IN THE BRAZILIAN YANOMAMI INDIGENOUS TERRITORY

VALOR ECONÓMICO DE LOS DAÑOS AMBIENTALES CAUSADOS POR LA MINERÍA ARTESANAL ILEGAL EN EL TERRITORIO INDÍGENA YANOMAMI BRASILEÑO

David Domingues Pavanelli^{1*}, Uilian Stefanello de Mello², Raí Roberto Dantas da Cunha³, Rommel da Costa Pereira⁴, Erich Adam Moreira Lima⁵, Mauro Mendonça Magliano⁶

1. Bacharel em Química (USP-1999), doutor em Ciências – Bioquímica (USP-2006), mestre em Perícias Criminais Ambientais (UFSC-2013) e pós-doutorado em Valoração Econômica de Danos Ambientais (Imperial College London-2017). Perito Criminal Federal (2003-atual), gestor do Grupo de Perícias em Meio Ambiente do Núcleo de Criminalística do Setor Técnico-Científico da Superintendência Regional da Polícia Federal em São Paulo.

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2966585820796339>

***Autor para correspondência:** david.ddp@pf.gov.br

2. Perito Criminal Federal lotado no Setor Técnico-Científico da Superintendência Regional da Polícia Federal em Roraima. Atuação profissional é destacada na área de perícias ambientais, com ênfase em desmatamento e extração mineral ilegal. Formado em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre e Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), com linha de pesquisa em Melhoramento de Plantas, Recursos Genéticos e Biotecnologia.

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2303005198155127>

3. Técnico em Geologia e Mineração e geólogo graduado pela UFRN. Atuou como pesquisador nas áreas de Prospecção e Pesquisa Mineral (IFRN) e Geologia e Geofísica do Petróleo (UFRN). Atualmente ocupa o cargo de Perito Criminal Federal lotado no Setor Técnico-Científico da Superintendência Regional da Polícia Federal em Roraima.

Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3240863088054047>

4. Perito Criminal Federal aposentado. Engenheiro de Minas pela Escola de Minas e Metalurgia da Universidade Federal de Ouro Preto (1973-1978). Experiência profissional na pesquisa e extração de minérios de ouro, cassiterita, tantalita e esmeralda. Agente de Polícia Federal no período de 2002 a 2007. Perito Criminal Federal no período de 2007 a 2017.

5. Graduado e mestre em Geologia pela UnB, ingressou como Pesquisador em Geociências no Serviço Geológico Brasileiro em 2013. Desde 2014, ocupa o cargo de Perito Criminal Federal. Chefiou o Núcleo de Gestão Estratégica da Diretoria de Investigação e Combate ao Crime Organizado e o Setor de Perícias de Meio Ambiente da PF. Ocupa a chefia do Setor de Perícias em Geologia.

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5760790719480964>

6. Doutor em Ciências Florestais pela UnB. Mestre em Perícias Criminais Ambientais pela UFSC. Especialista em Geoprocessamento pela UnB, com aperfeiçoamento no Remote Sensing Technology Center - RESTEC - Japão, Engenheiro Florestal graduado pela Universidade de Brasília, Perito Criminal Federal da Polícia Federal - Instituto Nacional de Criminalística.

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3444810471029773>



Resumo

A Terra Indígena Yanomami (TIY) é conhecida por sua riqueza mineral, incluindo ouro e cassiterita. O alto valor desses minerais no mercado internacional possibilitou a viabilidade econômica da mineração artesanal ilegal em áreas remotas do TIY. Como resultado, houve um influxo de garimpeiros, levando a uma crise humanitária entre a população Yanomami em 2023, caracterizada por danos ambientais, deslocamento de aldeias, mudanças no modo de vida indígena, disseminação de doenças e insegurança alimentar. No contexto jurídico brasileiro, a determinação do valor econômico dos danos ambientais é crucial para determinar fianças, multas, apreensões de ativos e custos de reparação. Peritos criminais federais desenvolveram uma metodologia para essa avaliação, considerando a dinâmica de exploração mineral monitorada por satélites, dados volumétricos obtidos por aeronaves remotamente pilotadas, custos operacionais de escavação e custos de recuperação ambiental de áreas degradadas. O valor econômico dos danos ambientais causados pelo garimpo ilegal de ouro e cassiterita na TIY variou de 440 a 613 mil dólares americanos por hectare de área minerada (taxa de câmbio: 1 dólar americano igual a 5 reais), com teor de ouro variando entre 0,069 e 0,178 g Au/m³.

Palavras-chave: valoração; dano ambiental; garimpo; ouro; Yanomami.

Abstract

The Yanomami Indigenous Territory (YIT) is renowned for its mineral wealth, including gold and cassiterite. The high value of these minerals in the international market has enabled the economic viability of illegal artisanal mining in remote areas of YIT. Consequently, an influx of miners has occurred, leading to a humanitarian crisis among the Yanomami population in 2023 involving environmental damage, displacement of villages, changes in the indigenous way of life, disease spreading and food insecurity. Within the Brazilian legal framework, assessing the economic value of environmental damage is crucial for determining bail amounts, fines, asset seizures, and repair costs. Forensic experts from the Brazilian Federal Police have devised a methodology for this assessment, considering mineral exploitation dynamics monitored by satellites, volumetric data from remotely piloted aircraft, operational costs of pit excavation, and environmental recovery expenses for degraded areas. The economic value of environmental damage caused by illegal artisanal mining in YIT ranged from USD 440,000.00 to 613,000.00 per hectare of mined area (1.00 USD = 5,00 BRL), with gold content varying between 0.069 and 0.178 g Au/m³.

Keywords: valuation; environmental damage; mining; gold; Yanomami.

Resumen

El Territorio Indígena Yanomami (TIY) es conocido por su riqueza mineral, que incluye oro y casiterita. El alto valor de estos minerales en el mercado internacional ha permitido la viabilidad económica de la minería artesanal ilegal en áreas remotas del TIY. Como resultado, ha habido un flujo de mineros, lo que ha llevado a una crisis humanitaria entre la población Yanomami en 2023, con daños ambientales, desplazamiento de aldeas, cambios en el modo de vida indígena, propagación de enfermedades e inseguridad alimentaria. Dentro del marco legal brasileño, evaluar el valor económico de los daños ambientales es crucial para determinar fianzas, multas, confiscaciones de activos y costos de reparación. Los expertos forenses de la Policía Federal Brasileña han desarrollado una metodología para esta evaluación, considerando la dinámica de explotación mineral monitoreada por satélites, datos volumétricos de aeronaves pilotadas de forma remota, costos operativos de excavación de minas y gastos de recuperación ambiental para áreas degradadas. El valor económico de los daños ambientales causados por la minería artesanal ilegal en el TIY osciló entre USD 440,000.00 y 613,000.00 por hectárea de área minada (1.00 USD = 5,00 BRL), con un contenido de oro que varía entre 0.069 y 0.178 g Au/m³.

Palabras clave: valoración; daño ambiental; minería; oro; Yanomami.



1. Introdução

As atividades garimpeiras causam profundas alterações nas áreas exploradas, requerendo licenciamento mineral e ambiental para o desenvolvimento das lavras. O licenciamento das atividades garimpeiras rege o modo como essas atividades devem ser realizadas, devendo os benefícios produzidos serem maiores que os prejuízos socioeconômicos e ambientais.

Dentro do marco legal brasileiro (BRASIL, 1998; BRASIL, 1941; BRASIL, 2019), a valoração econômica dos crimes ambientais é crucial para determinação de valores de fiança, multas, arresto de bens e custos de reparação. BARBIERI et al. (2022) apresenta os principais componentes para a determinação do valor econômico total de áreas submetidas a crimes ambientais e os principais métodos de valoração utilizados. A valoração econômica dos danos ambientais é parte integrante das perícias criminais realizadas em garimpos, especialmente se ocorrerem em áreas protegidas e em prejuízo de comunidades vulneráveis.

A Terra Indígena Yanomami (TIY) é reconhecidamente rica em minérios, como ouro e cassiterita, e possui histórico de exploração garimpeira de ouro desde a década de 1980. A partir de 2020, com a elevação do preço internacional do ouro, a TIY recebeu grande influxo de garimpeiros, resultando em uma crise humanitária vivenciada pela população indígena em 2023, com danos ambientais, deslocamento de aldeias, mudanças no modo de vida indígena, disseminação de doenças e insegurança alimentar.

Os garimpos ilegais na área da TIY ocorrem sem qualquer licenciamento mineral e ambiental, logo os lucros são privados e todo custo de recuperação ambiental é repassado à sociedade. Em razão do ouro e da cassiterita serem explorados em garimpos de aluvião na TIY, o valor elevado desses minerais no mercado internacional permite a viabilidade econômica das explorações nessas áreas remotas. Por ocorrerem de forma ilegal, a quantidade de minérios extraídos nos garimpos da TIY é de difícil mensuração, inviabilizando estimativas do valor de uso direto dos bens explorados ilicitamente, parte integrante da valoração econômica de crimes ambientais conforme normativo da Polícia Federal (BRASIL, 2023a). O custo monetário da abertura das cavas garimpeiras apresenta uma alternativa para a quantificação dos minérios extraídos ilegalmente pelos garimpos.

A abertura de cavas garimpeiras apresenta elevados custos monetários de instalação, operação e manutenção de equipamentos. O custo operacional é proporcional à velocidade de expansão das cavas: quanto maior a velocidade, maior a necessidade de maquinário em operação e mais altos os custos de expansão das frentes de extração. Tecnologias de imageamento remoto são instrumentos na determinação da velocidade de expansão das cavas garimpeiras, como o monitoramento da evolução das cavas por meio de constelações satelitais com frequência diária de revisitação (BRASIL, 2020) e a determinação da volumetria das cavas por aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) (VASCONCELOS, 2018; PAVANELLI et al., 2018; NEVES et al., 2022), permitindo a

inferência do custo monetário das cavas garimpeiras, importante parcela da valoração econômica dos danos ambientais causados por essas atividades.

Este trabalho propõe metodologia para a valoração econômica do dano ambiental causado por garimpos ilegais de ouro e cassiterita na TIY conforme normativos da Polícia Federal (BRASIL, 2023a; BRASIL, 2023b), incorporando conceitos de dano interino e sua reparação (NOAA, 1995; EUROPEAN PARLIAMENT, 2004; PAVANELLI & VOULVOULIS, 2019; BEZERRA et al. 2020; PAVANELLI et al., 2022). A metodologia foi desenvolvida a partir de exames de campo, exames em materiais apreendidos e da investigação de atividades garimpeiras na TIY, permitindo o cálculo do valor mínimo do dano ambiental causado pelo garimpo a partir do volume das cavas de extração e da velocidade de expansão do garimpo.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A área examinada se localiza às margens do rio Catrimani, dentro da TIY, em área remota do estado de Roraima, acessada somente por via aérea ou fluvial. Por via fluvial, a partir de Boa Vista, a área periciada pode ser acessada pelo rio Branco por aproximadamente 400km, até sua confluência com o rio Catrimani, posteriormente pelo rio Catrimani por aproximadamente 600km.

Os exames de campo foram realizados em 01/04/2023 e constataram maquinários e equipamentos (motores, dragas, mangueiras, motosserra, ferramentas, entre outros), frente de exploração ativa, pilhas de estéril, cavas de exploração pretérita formando lagoas, corte de árvores e permitiram a amostragem do aluvião¹. As figuras 1 a 5 ilustram alguns elementos observados durante os exames na área do garimpo.

¹ Aluvião ou depósito aluvionar é uma região com acúmulo de detritos ou sedimentos de qualquer natureza carregados e depositados pelos rios.



Figura 1: Motor e bomba d'água utilizados no garimpo às margens do rio Catrimani.



Figura 2: Frente ativa de exploração constatada na data dos exames de campo.



Figura 3: Altura de talude remanescente e amostragem do aluvião.



Figura 4: Calha concentradora.



Figura 5: Jigue.

Um voo fotogramétrico foi realizado por RPA modelo Mavic 2 Pro, marca DJI, sobre as áreas exploradas e suas adjacências. O processamento computacional dos dados do voo fotogramétrico foi realizado utilizando o programa Agisoft Metashape Profissional v.1.5.3, visando a produção do ortomosaico e do modelo digital de elevação da área examinada (figuras 6 e 7). A frente de extração ativa, ou a área de rebaixamento do nível freático (aquífero livre) causado pelo bombeamento ocorrido durante o processo de extração mineral, foi delimitada pelo polígono amarelo nas figuras 6 e 7 a partir do ortomosaico, do modelo digital de elevação e dos dados de exames de campo.

Uma análise multitemporal da área examinada realizada a partir de imagens Planet² e Maxar³ encontra-se disponibilizada no arquivo *Análise multitemporal.pdf*⁴. A análise multitemporal revelou que parte da área foi explorada por atividades de garimpo entre setembro de 2019 e junho de 2020. Em 30/09/2022 houve a retomada do garimpo na área, permanecendo até a data dos exames de campo (abril de 2023). Uma área de aproximadamente 25.000m² foi calculada como diretamente atingida pelo garimpo entre setembro de 2022 e março de 2023, não sendo contabilizadas as áreas atingidas por atividades garimpeiras anteriores a esse período.

² Programa Brasil MAIS. Disponível em <<https://plataforma-pf.scon.com.br/#/>>

³ Imagens de altíssima resolução com satélites da MAXAR, disponibilizadas pelo SEGEIO/DITEC/PF via sistema Inteligeo (Disponível em <<https://wiki.ditec.pf.gov.br/wiki/Inteligeo>>), por intermédio do contrato DITEC/PF 025/2022.

⁴ Disponível em <<https://drive.google.com/file/d/1jZclsj1yc8mGjg0rDN0RGRUx0j9DdpsB/view?usp=sharing>>



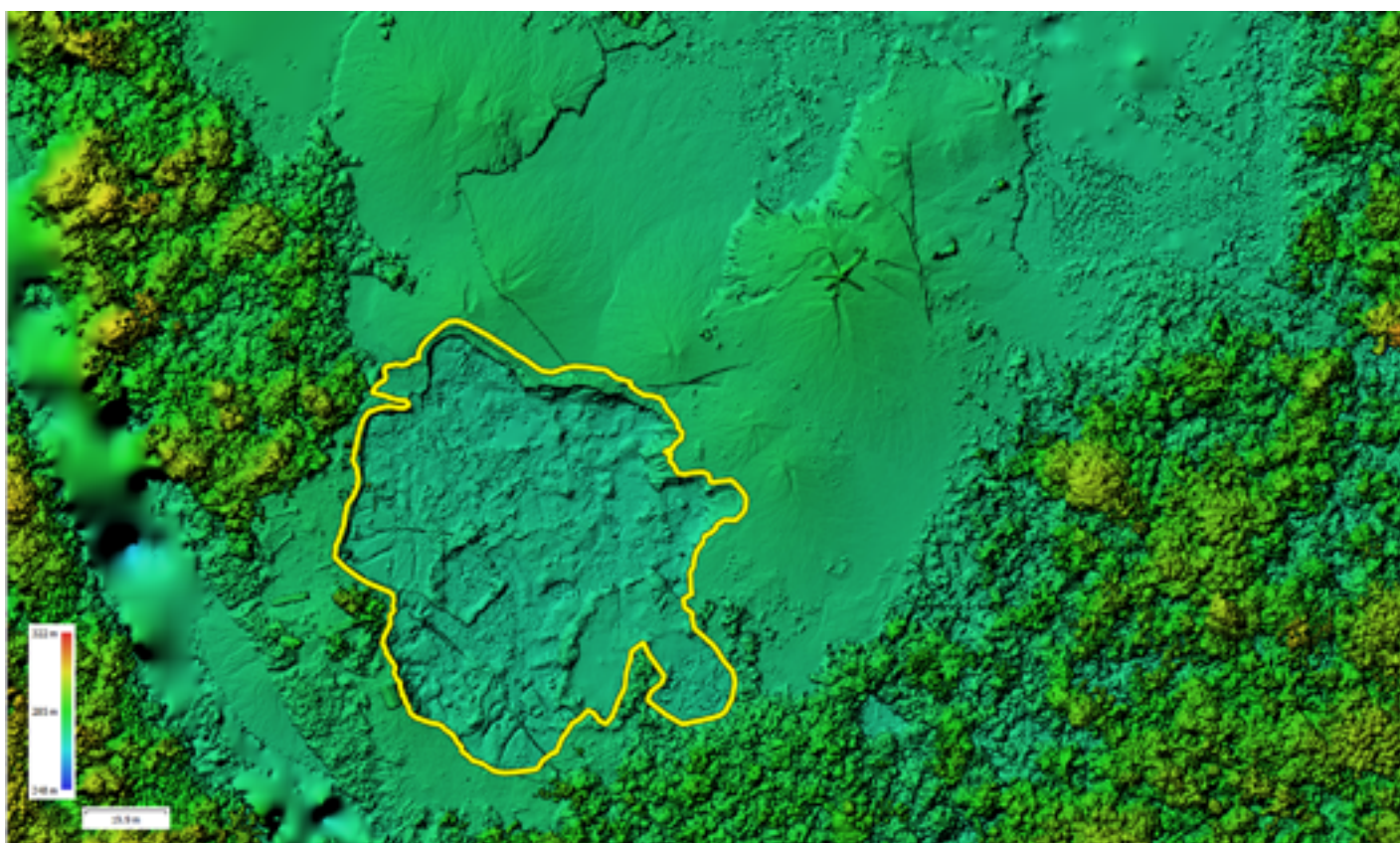
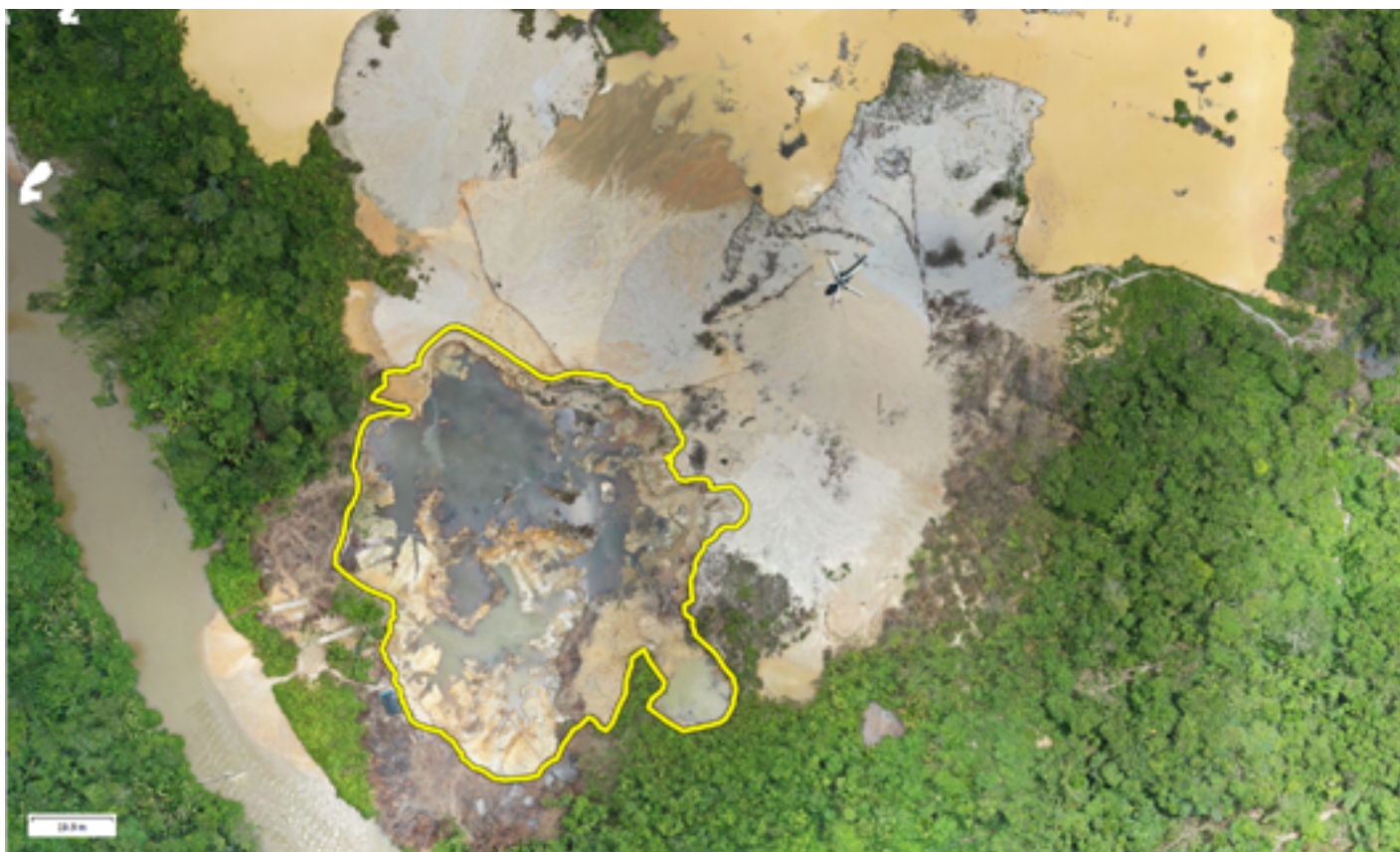


Figura 6 e 7: Ortomosaico e modelo digital de elevação da área periciada, gerado a partir do processamento do voo fotogramétrico realizado durante os exames de campo. O polígono amarelo ilustra a frente de extração ativa constatada durante os exames de campo.

A partir do ortomosaico e do modelo de digital de elevação foi calculada uma área de 7.332 m² de frente ativa, com um volume extraído estimado em 20.939 m³ e uma profundidade média de 2,85 m. A análise multitemporal revelou que a exploração na frente ativa iniciou em 26/01/2023, sem indícios de exploração pretérita na área da frente ativa.

A volumetria das cavas da área total explorada considerou a área de 25.000 m² diretamente atingida pelo garimpo entre setembro de 2022 e março de 2023 e a profundidade média de 2,85 m calculada na área da frente ativa, gerando um volume extraído de 71.250 m³.

2.2. Processo de garimpagem de ouro e cassiterita

A concentração natural dos minérios na área examinada se formou em antigos meandros do rio, que posteriormente foram recobertos por sedimentos seguido da instalação da vegetação nativa.

Na área pôde-se constatar que a garimpagem efetuada é típica de extração mineral aluvionar por meio de cavas abertas por desmonte hidráulico, também conhecido como garimpo de baixão. Também foi observado que, por meio das características de garimpagem e perfis de relevo/solo não revolvidos que preservavam o estado morfológico original, o minério de interesse se encontrava sob uma espessa camada de sedimentos, recoberto pela vegetação nativa local.

Foi observado que a estrutura estratificada da parede vertical do solo originalmente submetido ao processo de garimpagem é constituída inicialmente por uma camada enriquecida em material orgânico, contendo raízes e troncos das árvores derrubadas seguido por material mais fino e argiloso gradando para material mais arenoso e, por fim, ocorre a camada de cascalho onde se encontra a principal concentração ou teor do minério.

Para permitir a extração de minério (ouro e/ou cassiterita) faz-se necessário a supressão da vegetação e limpeza do terreno, seguido da abertura de uma cava inicial cujos taludes sofrem desmonte por meio de jatos d'água produzidos por motobomba e dirigidos à base da camada sedimentar. Essa atividade é realizada por uma pessoa (jateiro), responsável pelo desmonte hidráulico dos taludes da cava.

O material em suspensão formado pelo desmonte hidráulico (lama) é bombeado por conjunto motobomba até as instalações de concentração para apuração do minério. Essa atividade é realizada por uma pessoa (maraqueiro), responsável por direcionar e manter a maraca (extremidade) da mangueira no local dos sedimentos.

O processo de concentração de ouro utilizado no garimpo é realizado por meio de uma calha rudimentar inclinada construída com madeira obtida no entorno do garimpo (Figura 4). Normalmente, uma caixa com peneira localiza-se no topo da calha para separação e descarte do cascalho (granulometria geralmente acima de 1 cm). Em seguida, a calha é forrada com carpetes para receber o material granulado menor que 1 cm oriundo da peneira, com a finalidade de reter os minerais mais densos. A alta densidade relativa do mineral/minério é utiliza-

da como propriedade para sua separação dos demais minerais mais leves em correntes de água. O material retido nos carpetes é posteriormente misturado com mercúrio metálico para o processo de amalgamação, concentrando o ouro no amálgama. O ouro é recuperado pela queima do amálgama e volatilização do mercúrio.

A suspensão lamacenta com materiais que não ficam retidos nos carpetes é descartada nas cavas já mineradas, ocorrendo a decantação nesses locais dos materiais mais grosseiros com a lama, constituída por partículas finas em suspensão, fluindo para o canal do rio, gerando assoreamento, turbidez e comprometendo a qualidade do ecossistema do rio.

Quando há ocorrência de cassiterita, a separação do minério ocorre como complemento do mesmo sistema rudimentar. A concentração de cassiterita é realizada por meio de equipamentos denominados jigues (figura 5), localizados logo após as calhas carpetadas de concentração e acionados por motores elétricos ou a combustão. O seu funcionamento consiste num mecanismo que imprime um movimento oscilatório vertical da água injetada em uma caixa metálica armada com uma tela em sua parte superior por onde o minério é alimentado. O movimento oscilante da polpa estratifica o minério, separando os mais densos na parte de baixo da caixa por onde é conduzido até um reservatório ou para sacos já prontos para comercialização. Normalmente, há um duplo sistema de "jigagem", sendo que o primeiro equipamento recebe o minério dragado e faz uma primeira concentração dos minerais mais densos; já o segundo jigue tem por função melhorar o teor do mineral-minério contido no concentrado proveniente do primeiro jigue. Dados de investigação informam uma produção média de 300kg cassiterita/par-de-máquinas x dia.

O processo de garimpagem desestrutura solo e subsolo. As escavações das frentes de lavra esauridas deixam de ter o rebaiamento do aquífero livre (freático) e se transformam em lagoas, parcialmente aterradas com material estéril de granulometria grossa, sem capacidade de suporte de reflorestamento.

2.3. Estimativa de custo operacional de abertura das cavas

A relação entre o volume de material extraído da cava (minério de ouro) com o número de pares-de-máquinas em operação no garimpo, a eficiência de dragagem desse material, o número de dias trabalhados e o número de horas trabalhadas por dia é apresentada na equação 1. O volume extraído pode ser inferido a partir dos demais parâmetros. O número de dias trabalhados pode ser inferido a partir de análise multitemporal. Assim, a equação 1 define o número de pares-de-máquinas utilizados para a abertura da cava, parâmetro essencial para a estimativa do custo operacional, dado pela equação 2. As equações 3 a 8 descrevem parâmetros da equação 2. Alguns valores são fatores operacionais tradicionalmente usados em garimpo ou obtidos pelos dados coletados pela investigação.



$$Volume_{mat.mov.} = N \times Flux_{nom.} \times Ef_{op.} \times Ef_{drag.} \times \%_{sól.} \times d_{trab.} \times h_{dia}$$

Volume_{mat.mov.} = volume de material movimentado (m³) = área alagada (m²) x profundidade média (m)

N = número de pares de máquinas

Flux_{nom.} = fluxo nominal da draga (m³/h) = 200m³/h

Ef_{op.} = eficiência operacional = 0,7 (70%)

Ef_{drag.} = eficiência de dragagem = 0,8 (80%)

%_{sól.} = percentual de sólidos na suspensão dragada = 0,25 (25%)

d_{trab.} = número de dias trabalhados

h_{dia} = número de horas trabalhadas por dia

$$Custo_{oper.} = N \times Custo_{inst.} + Custo_{transp.} + Fator_{pagto.trab.} \left[d_{trab.} \left(Custo_{comb.} + Custo_{manut.} + Custo_{alim.} \right) + d_{tot.} \left(Custo_{depr.} + Custo_{cap.} \right) \right] + Custo_{Hg}$$

Custo_{oper.} = custo operacional de material movimentado (R\$)

Custo_{inst.} = custo de instalação de 01 par-de-máquinas no garimpo = R\$200.000,00

Custo_{transp.} = custo de transporte do ouro extraído

Fator_{pagto.trab.} = fator de pagamento dos trabalhadores (garimpeiros). Considerado que os garimpeiros dividem 35% da produção total em ouro (Fator_{pagto.trab.} = 100/65)

Custo_{comb.} = custo de combustível por dia (R\$)

Custo_{manut.} = custo de manutenção (R\$/dia)

Custo_{alim.} = custo de alimentação (R\$/dia)

d_{tot.} = dias totais (d_{tot.} = d_{trab.} x 365/300)

Custo_{depr.} = custo de depreciação dos pares-de-máquinas (R\$/dia)

Custo_{cap.} = custo de capital imobilizado (pares-de-máquinas) (R\$/dia)

Custo_{Hg} = custo do mercúrio. Considerando que não há o uso de retorta (perda de 0,85kgHg/kgAu) e R\$1.400,00/kgHg (FRITZ et al., 2024).

$$Custo_{transp.} = d_{trab.} \times Valor\ 1g\ Au_{garimpo}$$

Valor 1g Au_{garimpo} = R\$230,00

$$Custo_{comb.} = N \times 2 \times Cons._{motor} \times h_{dia} \times Valor_{diesel}$$

Cons._{motor} = consumo de um motor = 7L/h

Valor_{diesel} = valor do diesel no garimpo = R\$30,00/L

$$Custo_{manut.} = 0,3 \times Custo_{comb.}$$

$$Custo_{alim.} = N \times Alim._{equipe}$$

Alim._{equipe} = custo de alimentação por equipe (8 pessoas) em torno de 1 par-de-máquina = R\$780,00/dia

$$Custo_{depr.} = N \times \frac{Custo_{inst.}}{5 \times 365}$$

$$Custo_{cap.} = \frac{6\% \text{ a.a. do } Custo_{inst.} \text{ por 5 anos}}{5 \times 365}$$

O custo operacional calculado nessa etapa é utilizado como fator de estimativa da produtividade mínima de ouro, que garantiria a atratividade mínima do empreendedor, remunerada por uma margem de lucro estimada em 30%.

2.4. Valoração econômica dos danos ambientais causados pelo garimpo ilegal

Normativos da Polícia Federal (BRASIL, 2023a; BRASIL, 2023b) e literatura científica (NOAA, 1995; EUROPEAN PARLIAMENT, 2004; PAVANELLI & VOULVOULIS, 2019; BEZERRA et al. 2020; PAVANELLI et al., 2022) preconizam que a valoração econômica de danos resultantes de crimes ambientais seja composta de parcelas referentes ao valor econômico dos bens degradados e explorados ilicitamente, da reparação primária e compensatória do dano am-

biental, incluídos os danos interinos, e de eventuais outras parcelas de danos ambientais.

O valor econômico dos minérios explorados ilicitamente foi minimamente estimado a partir dos custos operacionais do garimpo, considerando que os expressivos custos operacionais de abertura das cavas garimpeiras são, no mínimo, equivalentes à receita obtida com a comercialização dos minérios extraídos.

A recuperação do dano ambiental constatado nas áreas garimpadas foi baseada na recomposição topográfica e florestal



das áreas garimpadas, considerando o dano interino da perda da cobertura florestal originalmente presente nessas áreas. A recuperação do dano ambiental também considerou processos de dragagem para a retirada material de granulometria fina lançado no rio Catrimani durante os processos de concentração dos minérios. Considerou-se que as operações de recuperação ambiental serão executadas por via fluvial, a partir de Boa Vista/RR.

A valoração econômica dos danos ambientais causados pelo garimpo também incluiu o custo de compensação de carbono referente ao dióxido de carbono lançado no meio ambiente durante a abertura das cavas e processos de recuperação ambiental da área garimpada.

Os danos ambientais relacionados ao mercúrio são discutidos na seção 3.

As subseções 2.4.i a 2.4.v apresentam as parcelas consideradas na valoração econômica dos danos ambientais causados pelo garimpo.

Os memoriais de cálculos estão integralmente disponibilizados no arquivo *Valoração do dano ambiental em garimpos na TIY.xlsx*⁵.

i. Valor econômico dos minérios explorados ilicitamente

O valor econômico dos minérios explorados ilicitamente foi minimamente estimado pelo custo operacional de abertura das cavas, calculado pelas equações 1 a 8.

O custo operacional de abertura das cavas foi majorado em 30% relativo ao lucro presumido da operação. O memorial de cálculo é apresentado na planilha *Custo operacional* do arquivo *Valoração do dano ambiental em garimpos na TIY.xlsx*.

ii. Custo de recomposição topográfica

O custo de recomposição topográfica foi estimado a partir dos serviços descritos no Sistema de Custos Referenciais de Obra – SI-CRO⁶, Roraima – Abril/2023⁷ (Tabelas 1 e 2):

Código	Descrição do Serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)
5919716	Transporte fluvial de materiais diversos com pontão flutuante - capacidade de 500 t	km	233,07
4413984	Regularização de bota-fora com espalhamento e compactação	m ³	4,21
4413014	Recuperação ambiental de pedreiras ou áreas degradadas com biomanta vegetal de fibras de coco	m ²	17,11

Tabela 1: Composição de custos de recomposição topográfica

Código	Descrição do Serviço
E9606	Embarcação rebocadora - 2 x 268 kW
E9620	Pontão flutuante de 15 x 30 x 1,8 m com capacidade de 500 t

Tabela 2: Equipamentos

Conforme descrição do serviço de código 5919716, a produtividade no transporte do pontão flutuante é de 4,27km/h.

A composição de custo de recomposição topográfica foi majorada em 30% relativo aos Benefícios e Despesas Indiretas (BDI). O memorial de cálculo é apresentado na planilha *Rec. Topográfica* do arquivo *Valoração do dano ambiental em garimpos na TIY.xlsx*.

iii. Custo de recomposição florestal

O custo de recomposição florestal foi calculado conforme Manual de Procedimentos Periciais – Valoração Econômica de Crimes

Ambientais (BRASIL, 2023c; PAVANELLI et al, 2024). O memorial de cálculo é apresentado nas planilhas *Rec. Florestal 1 a 6* do arquivo *Valoração do dano ambiental em garimpos na TIY.xlsx*.

iv. Custo de dragagem

O volume a ser dragado foi considerado como 35% do volume total da cava, referente aos sedimentos de granulometria fina que não são retidos nas cavas anteriormente abertas pelo processo de extração dos minérios e/ou nas calhas durante processo de concentração dos minerais.

⁵ Disponível em <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1LSY7WfK-iL3Nd8WN88igDnQMGxntbppt/edit?usp=drive_link&ouid=108680052632544637238&rtopf=true&sd=true>

⁶ O Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes apresenta as metodologias, as premissas e as memórias adotadas para o cálculo dos custos de referência dos serviços necessários à execução de obras de infraestrutura de transportes e suas estruturas auxiliares. Por efeito de economia de escala, os valores apresentados no SICRO tendem a ser inferiores aos constantes no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), outra fonte oficial de orçamentos, mantendo assim o caráter de valor mínimo do procedimento de valoração do dano ambiental.

⁷ RR 04-2023 Relatório Analítico de Composições de Custos. Disponível em <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro_antiga/norte/oraima/2023/abril/abril-2023>.

⁸ RR 04-2023 Relatório Analítico de Composições de Custos. Disponível em <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro_antiga/norte/oraima/2023/abril/abril-2023>.

O custo de dragagem foi estimado a partir dos equipamentos e serviços descritos no Sistema de Custos Referenciais de Obra – SI-CRO, Roraima – Abril/2023⁸ (Tabelas 3 e 4):

Código	Descrição do Serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)
1917229	Dragagem de areia fina com draga de sucção e recalque - bomba de 294 kW e cortador de 30 kW - distância de recalque de 2.900 a 3.100 m	m³	11,27

Tabela 3: Composição de custos de dragagem

Código	Descrição do Serviço
E9635	Draga de sucção e recalque com potência da bomba de 294 kW e cortador de 30 kW
E9603	Embarcação empurradora multipropósito com guindaste hidráulico de 74 kN.m – 165 kW

Tabela 4 Equipamentos

Conforme descrição do serviço de código 1917229, a produtividade de dragagem é de 86,40m³/h.

Conforme DNIT (2017), os custos de mobilização e desmobilização dos equipamentos descritos na Tabela 2 são dados pela equação 9:

9

$$CMob = \left(\frac{DM \times K \times FU}{V} \right) \times CH$$

- CMob** = custo de mobilização;
- DM** = distância de mobilização;
- K** = fator relacionado à necessidade de retorno do veículo a sua origem (2);
- FU** = fator de utilização do veículo transportador (1);
- V** = velocidade média de transporte; e
- CH** = custo horário do veículo transportador (empurradora: R\$451,10; draga: R\$124,17).

A composição do custo de dragagem foi majorada em 30% relativo ao BDI. O memorial de cálculo é apresentado na planilha *Dragagem* do arquivo *Valoração do dano ambiental em garimpos na TIY.xls*.

v. *Custo de compensação de carbono*

O custo de compensação de carbono emitido (em tCO₂ equivalente) foi calculado a partir do consumo de combustíveis (diesel) das

operações de abertura das cavas e de recuperação ambiental (recomposição topográfica e de dragagem, incluindo mobilização e desmobilização). Os seguintes parâmetros foram utilizados nos cálculos:

- Densidade diesel: 0,85kg/L;
- Fator emissão Diesel: 3,140kg CO₂/kg Diesel) (ALVAREZ & LINKE, 2001);
- Distância fluvial Boa Vista/RR-Garimpo: 1.000km;

10

$$\text{Consumo horário de diesel} = \text{potência nominal} \times \text{fator de potência} \times \text{coeficiente de consumo}$$

- Potência nominal** = valor em CV
- Fator de potência** = 0,55 (55%); e
- Coeficiente de consumo** = 0,15L/CV x h.
- US\$8,51/tCO₂ equivalente⁹;e
 - R\$5,00/US\$.

⁹ Valor médio apresentado no Laudo de Perícia Criminal Federal Nº 603/2024 – INC/DITEC/PF.



O memorial de cálculo é apresentado na planilha *Comp. de Carbono* do arquivo *Valoração do dano ambiental em garimpos na TIY.xlsx*.

3. Resultados e discussão

A valoração do dano ambiental produzido pelo garimpo na frente ativa de exploração constatada em abril/2023 e na área garimpada entre setembro/2022 e abril/2023 é apresentada na Tabela 5 e planilha *Valoração do dano ambiental* do arquivo *Valoração do dano ambiental em garimpos na TIY.xlsx*.

Os custos de operação de abertura das cavas garimpeiras podem ser abatidos pela produção e venda de somente ouro ou

de ouro e cassiterita, no caso de extração conjunta dos minérios. A extração conjunta de cassiterita considerou dados obtidos em investigações, com a produção de até 300kg cassiterita/par-de-máquinas x dia e um valor de R\$40,00/kg cassiterita no garimpo.

As produções minerais das áreas exploradas, considerando somente a produção de ouro ou a produção em conjunto de ouro e cassiterita (300kg cassiterita/par-de-máquinas x dia), são apresentadas na Tabela 6.

As produtividades das áreas exploradas, considerando somente a produção de ouro ou a produção em conjunto de ouro e cassiterita (300kg cassiterita/par-de-máquinas x dia), são apresentadas na Tabela 7.

Parcelas	Valor (R\$)	
	Frente ativa (fev-abr/2023)	Área total (set/22-abr/23)
Minérios explorados ilicitamente	1.199.449,67	3.384.588,41
Recomposição topográfica (com 30%BDI)	743.824,82	1.412.166,25
Recomposição florestal	55.391,59	188.990,97
Dragagem (com 30%BDI)	243.344,96	501.332,22
Compensação de carbono	5.298,71	9.425,41
Total	2.247.309,75	5.496.503,27
Total por hectare	3.065.070,59	2.198.601,31

Tabela 5: Valoração econômica dos danos ambientais causados pelo garimpo, considerando a produção somente ouro

Área explorada	Produção considerada		
	Ouro	Ouro e Cassiterita*	
Frente ativa (fev-abr/23)	3.737 g Au	1.732 g Au	16,0 t SnO ₂
Área total (set/22-abr/23)	10.544 g Au	4.900 g Au	45,1 t SnO ₂

Tabela 6: Produção mineral das áreas exploradas

* considerando produtividade de 300kg cassiterita/par-de-máquina x dia.

Área de exploração	Produção considerada	
	Ouro	Ouro e Cassiterita*
Frente ativa (fev-abr/23)	0,178 g Au/m ³	0,083 g Au/m ³
Área total (set/22-abr/23)	0,148 g Au/m ³	0,069 g Au/m ³

Tabela 7: Estimativas do teor de ouro recuperado das áreas exploradas

* considerando produtividade de 300kg cassiterita/par-de-máquina x dia.

Os valores apresentados na Tabela 5 consideram o trabalho ininterrupto de um par-de-máquinas por 14,0 horas por dia, durante 53 dias, para a abertura da frente de exploração ativa (7.332 m²) e/ou de um par-de-máquinas operando ininterruptamente 16,9 horas por dia, durante 150 dias, para a abertura da área total explorada (25.000 m²) entre setembro de 2022 e abril de 2023. Qualquer redução no número de horas trabalhadas pelo par-de-máquinas por dia implica na instalação de um par-de-máquina adicional, aumentando o custo de operação da abertura das cavas e, por consequência, o valor do dano ambiental causado pelo garimpo.

As produções minerais das áreas exploradas apresentadas na Tabela 6 foram calculadas considerando a quantidade mínima de mineral/minério extraída para cobrir os custos operacionais de abertura das cavas com um lucro de 30%.

Os teores de ouro apresentados na Tabela 7 foram estimados a partir dos custos de abertura das cavas e representam médias da distribuição do teor do minério na área garimpada. Os teores calculados apresentam caráter de valores mínimos, sendo inferiores aos reportados na região da Amazônia Oriental (BEZERRA et al., 1998) e em usina de beneficiamento de mina a céu aberto¹⁰ (PERES et al., 2002).

Destaca-se que teores locais inferiores aos estimados não cobrirão os custos da abertura das cavas, tornando o garimpo antieconômico, enquanto teores superiores, tendo em conta a produtividade de um conjunto de par-de-máquinas, representarão um lucro maior que os 30% considerados. Os teores de ouro e da cassiterita determinam o potencial de exploração das áreas de garimpo, importante elemento para a atratividade econômica das atividades garimpeiras nessas regiões.

Os processos de recuperação ambiental foram propostos a partir da constatação dos danos ambientais observados durante os exames e objetivam apresentar uma estimativa dos custos de reparação do dano. Os custos de recuperação ambiental aumentam expressivamente em razão da dificuldade de acesso à área a ser recuperada.

Os valores de compensação de carbono dependem de mercado ainda em desenvolvimento. O valor da tonelada de CO₂ equivalente foi considerada US\$8,51 pela média de 59 transações, com valores mínimos e máximos de US\$1,00 a US\$14,82. No mercado futuro (dez/24) os valores superam €71,00/tCO₂ equivalente¹¹. Recentes trabalhos científicos consideram valores superiores a US\$95,00/tCO₂ equivalente (ZHANG et al., 2024). Embora seu valor seja pouco representativo no custo total de recuperação ambiental, sua importância tende a aumentar no futuro.

O uso de mercúrio metálico no garimpo de ouro causa importante contaminação ambiental. O mercúrio é utilizado para amalgamar o ouro durante processo de concentração do mineral. O ouro concentrado é recuperado pela queima do amálgama, com

vaporização e liberação do mercúrio para a atmosfera, que retorna para o solo e/ou sedimentos de águas superficiais com as chuvas. Dada sua ampla dispersão, a remoção do mercúrio no solo/sedimentos, quando possível, é de extrema dificuldade.

O mercúrio pode participar de processos de biotransformação que aumentam sua toxicidade e biodisponibilidade para a cadeia trófica, onde desenvolve processo de biomagnificação até os animais de topo de cadeia.

A intoxicação humana pelo mercúrio ocorre por múltiplas vias de exposição, como durante processo de queima do amálgama ou pela ingestão de alimentos contaminados, em especial de animais de topo de cadeia alimentar. Estudo recente (FIOCRUZ, 2024) demonstrou o alto impacto do mercúrio nas populações Yanomami.

As etapas de valoração do dano ambiental causada pelo garimpo consideram danos passíveis de serem individualizados e atribuídos ao garimpo em análise. Embora normativos internos (BRASIL, 2023a) e literatura científica (BARBIERI et al., 2022; MEA, 2005) preconizem que danos ambientais relacionados à poluição também sejam valorados, a valoração da poluição causada pelo mercúrio é desafiadora dada a existência de fontes naturais do metal, sua ampla dispersão e persistência no meio ambiente, múltiplas vias de exposição, e dificuldade da vinculação do nível de contaminação constatado com atividades atuais, pretéritas ou devido a movimentação do mercúrio no meio ambiente.

Mesmo sem considerar o dano ambiental referente à contaminação causada pelo mercúrio, a Tabela 5 demonstra que o dano ambiental causado pelo garimpo ilegal alcançou valores superiores ao valor-padrão de R\$2.185.422,00/ha¹² calculado pela Calculadora do Garimpo (GASPARINETTI et al., 2024). Trabalhos em andamento buscam a inserção de parcela relacionada ao mercúrio utilizado nos garimpos às parcelas apresentadas na seção 2.4.

4. Conclusão

Este trabalho apresenta método para valoração econômica dos danos ambientais causados por garimpos ilegais de ouro e cassiterita em áreas da TIY, a partir de custos de abertura das cavas e dos processos de recuperação ambiental das áreas degradadas, independente da proporção entre os minérios explorados.

O valor econômico do dano ambiental causado pelo garimpo variou de R\$2.198.582,00 a R\$3.065.048,00 por hectare de área garimpada. Considerando que os garimpos são economicamente viáveis, o teor de ouro nas áreas garimpadas variou de 0,069 a 0,178 g Au/m³, dependendo da velocidade de abertura das cavas e da extração de somente ouro ou extração conjunta de ouro e cassiterita, com a produção de 300kg cassiterita por par-de-máquinas por dia. O teor de ouro e sua produção nas áreas garimpadas representam importante informação relacionada à atratividade das

¹⁰ Considerando a densidade de 2,76 ton/m³ de material movimentado (LIMA et al., 2007).

¹¹ Disponível em <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>>. Acesso em 03 mai. 2024.

¹² Disponível em <<https://miningcalculator.conservation-strategy.org/calculator>>. Acesso em 16 mai. 2024.

atividades de garimpo ilegal no contexto regional, corroborando para a compreensão das causas e efeitos socioeconômicos e ambientais dos garimpos ilegais na TIY.

Atividades em andamento buscam a inserção de parcelas ainda não consideradas no cálculo do dano ambiental causado pelos garimpos ilegais na TIY, como a que representa os danos ambientais causados pelo uso de mercúrio nos garimpos de ouro. A inserção dessas parcelas majorará os valores apresentados neste trabalho referentes aos danos ambientais causados pelos garimpos ilegais.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES JR, O.M. & LINKE, R.R.A. Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil. São Paulo: CETESB. 2001. Disponível em <https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/gases_efeito_estufa.pdf> Acesso em 06 mar. 2024

BARBIERI, C.B., FADANELLI, C., PAVANELLI, D.D. e MAYRINK, R.R. Exames periciais em crimes de meio ambiente - Recomendações técnicas para padronização de procedimentos e metodologias. In: **Criminalística – Procedimentos e Metodologias**, 5ª ed. Campinas/SP: Millennium Editora, 2022, v.1, p. 207 - 232. ISBN: 9788576253792

BEZERRA, A. C.; DOMINGUES, D.F.; PAVANELLI, D.D. et al. (2020). Aplicação da Análise de Equivalência de Habitat (HEA) na valoração do dano interino em áreas desmatadas de mata atlântica no estado de São Paulo. **Perícia Federal**, 45, 20-25. Disponível em <https://apcf.org.br/wp-content/uploads/2020/07/REVISTA-45_FINAL.pdf>

BEZERRA, O., VERÍSSIMO, A. e UHL, C. Impactos da garimpagem de ouro na Amazônia Oriental. Série Amazônia Nº 2 – Belém: IMAZON, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 1998.

BRASIL. **Decreto-Lei Nº 3.689, de 3 de outubro de 1941**. Código de Processo Penal.

BRASIL. **Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 13.964, de 24 de dezembro de 2019**. Aperfeiçoa a legislação penal e processual penal.

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 535, de 22 de setembro de 2020**. Institui o Programa Brasil MAIS.

BRASIL (a). Polícia Federal. Diretoria Técnico-Científica. **Portaria DITEC/PF nº 1323, de 13 de julho de 2023**. Dispõe sobre normas gerais para a realização de exames periciais envolvendo valoração econômica de crimes ambientais.

BRASIL (b). Polícia Federal. Diretoria Técnico-Científica. **Portaria DITEC/PF nº 1352/2023, de 01 de dezembro de 2023**. Aprova o Manual de Procedimentos Periciais de Valoração Econômica de Crimes Ambientais.

BRASIL (c). Instituto Nacional de Criminalística. **Manual de Procedimentos Periciais – Valoração Econômica de Crimes Ambientais** / Alexandre Bacellar Raupp, Alexandre Otto Klotz,

David Domingues Pavanelli, Gustavo Ferraz de Oliveira, Helder Marques Vieira da Silva, Marcus Holanda Barbosa Pereira, Mauro Mendonça Magliano. 1ª. ed. – Brasília: Instituto Nacional de Criminalística, 2023. 81 p.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Coordenação-Geral de Custos de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes. Volume 09: Mobilização e Desmobilização**. 1ª Edição - Brasília, 2017. Disponível em <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro>>

EUROPEAN PARLIAMENT. **Directive 2004/35/CE of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on environmental liability with regard to the prevention and remedying of environmental damage**. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02004L0035-20190626>>. Acesso em: 27 set. 2024.

FIOCRUZ. Impacto do mercúrio em áreas protegidas e povos da floresta na Amazônia: Uma abordagem integrada saúde-ambiente. **Relatório Técnico**. Org. Paulo César Basta. 2024. Disponível em <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/63148/Relatorio%20Mucajai_v3.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em 04 mai. 2024.

FRITZ, B., PEREGOVIH, B., da SILVA TENÓRIO, L. et al. Mercury and CO2 emissions from artisanal gold mining in Brazilian Amazon rainforest. **Nature Sustainability** 7, 15–22 (2024). Disponível em <<https://doi.org/10.1038/s41893-023-01242-1>>

GASPARINETTI, P., BAKKER, L.B., QUEIROZ, L.M. e VILELA, T. Economic valuation of artisanal small-scale gold mining impacts: A framework for value transfer application. **Resources Policy**, 2024, 88, 104259. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104259>>

LIMA, L.R.P.A., BERNARDEZ, L.A. e BARBOSA, L.A.D. Gold processing residue from Jacobina Basin: chemical and physical Properties. **Revista Brasileira de Geociências**, 37(4): 848-852, 2007.

MEA. Concepts of ecosystem value and valuation approaches. In. **Ecosystems and Human Well-Being. A Framework for Assessment, Millenium Ecosystem Assessment**. Washington, D.C.: Island Press, 2005. p. 127-147. Disponível em: <http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf> . Acesso em: 27 out. 2023.

NEVES, M.L.D., TRINDADE, C.A., COELHO, C.W.G.A. e SILVA, M.V.T. Avaliação da Precisão do Cálculo de Volume a Partir de Levantamento de *Remotely-Piloted Aircraft* (RPA), Mavic 2 Pro. 2022. 66f. **Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária)** – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

NOAA. **Habitat equivalency analysis: an overview**. Damage Assessment and Restoration Program, National Oceanic and Atmospheric Administration, Department of Commerce, 1995. Disponível em: <https://crrc.unh.edu/sites/default/files/migrated_unmanaged_files/hea_metrics/heaoverv_paper.pdf>. Acesso em: 27 set. 2024.

PAVANELLI, D.D. & VOULVOULIS, N. Habitat Equivalency Analysis, a framework for forensic cost evaluation of environmental damage. **Ecosystem Services** (2019), 38, 100953. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100953> >

PAVANELLI, D.D., DOMINGUES, D.F., HOCH, P.G. ET AL. Transient Alterations in Streamwater Quality Induced by Pollution Incidents: Interim Losses Calculations and Compensation Alternatives Based on Habitat Equivalency Analysis. **Environmental Management** (2022). Disponível em <<https://doi.org/10.1007/s00267-021-01571-x> >

PAVANELLI, D.D., DOMINGUES, D.F., HOCH, P.G., ALVES, R.A.L., BEZERRA, A.C., PEREIRA, M.H.B., RAUPP, A.B., KLOTZ, A.O e MAGLIANO, M.M. Economic valuation of illegal Brazilian Amazon deforestation: a framework based on Habitat Equivalency Analysis and ecosystem services restoration. **Forensic Science International**. (367 (2025) 112307. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112307>>.

PAVANELLI, D.D.; DOMINGUES, D.F.; HURTADO, S.N. Cálculo de volume mineral extraído de cava aberta de mineração por meio de imageamento por aeronave remotamente pilotada (RPA): um estudo de caso. **Perícia Federal**, 42, 34-37, 2018. Disponível em <https://apcf.org.br/wp-content/uploads/2020/06/Revista_APCF42.pdf >

PERES, A.E.C., CHAVES, A.P., LINS, F.A.F. E TOREM, M.L. Beneficiamento de minérios de ouro. In: **Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente**. Cap.2. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p.23-58.

VASCONCELOS, S., DE SOUZA, J., ROCHA, S., RODRIGUES, H., MARIZ, J. e SILVA, R. Determinação de volumes e áreas em mineração a céu aberto utilizando drones. **9º Congresso Brasileiro de Minas a Céu Aberto e Minas Subterrâneas**: Belo Horizonte, 2018.

ZHANG, B., IMBULANA ARACHCHI, J. e MANAGI, S. Forest carbon removal potential and sustainable development in Japan. **Scientific Reports** 14, 647 ,2024. Disponível em <<https://doi.org/10.1038/s41598-024-51308-z> >

COMO CITAR ESTE ARTIGO

PAVANELLI, D. D. et al. Economic valuation of environmental damages caused by illegal artisanal mining in the Brazilian Yanomami indigenous territory. *Perícia Federal*, v. 1, n. 54, p. 57–70, 2024. <https://doi.org/10.29327/266815.1.54-3>

