



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

IDELMIR JÚNIOR SANTANA DUARTE

**DINÂMICA ESPACIAL DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS DE
MINERAÇÃO NO DISTRITO AURÍFERO DO LOURENÇO (CALÇOENE, AP),
2016–2023: ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO**

MACAPÁ-AP

2026

IDELMIR JÚNIOR SANTANA DUARTE

**DINÂMICA ESPACIAL DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM ÁREAS DE
MINERAÇÃO NO DISTRITO AURÍFERO DO LOURENÇO (CALÇOENE, AP),
2016–2023: ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Colegiado do Curso de Bacharelado em
Ciências da Ambientais da Universidade
Federal do Amapá, como requisito necessário
para a obtenção do título de Bacharel em
Ciências Ambientais

Orientador (a): Marcelo José de Oliveira

MACAPÁ-AP

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

Duarte, Idelmir Júnior Santana.
D812d Dinâmica espacial da degradação ambiental em áreas de mineração no Distrito Aurífero do Lourenço (Calçoene, AP), 2016–2023: análise por sensoriamento remoto / Idelmir Júnior Santana Duarte. - Macapá, 2026.
1 recurso eletrônico.
53 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Ciências Ambientais, Macapá, 2026.
Orientador: Marcelo José de Oliveira.

Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Amazônia . 2. Mineração Artesanal. 3. Degradação Ambiental . I. Oliveira, Marcelo José de, orientador. II. Universidade Federal do Amapá . III. Título.

CDD 23. ed. – 338.209811

DUARTE, Idelmir Júnior Santana. **Dinâmica espacial da degradação ambiental em áreas de mineração no Distrito Aurífero do Lourenço (Calçoene, AP), 2016–2023**: análise por sensoriamento remoto. Orientador: Marcelo José de Oliveira. 2026. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2026.

IDELMIR JÚNIOR SANTANA DUARTE

**MAPEAMENTO E QUANTIFICAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO DA
DEGRADAÇÃO AMBIENTAL CAUSADA PELO GARIMPO E MINERAÇÃO
INDUSTRIAL NO DISTRITO AURÍFERO DO LOURENÇO EM
CALÇOENE-AMAPÁ**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo José de Oliveira – (UNIFAP)

Orientador

Prof. Dr. Herondino dos Santos Filho (UNIFAP)

Membro avaliador

Prof. Msc. Wagner José Pinheiro (IEPA)

Membro avaliador (Externo)

MACAPÁ-AP

2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me dar alicerce e ajudar nas adversidades e a me tornar quem sou hoje. Agradeço à minha família, em especial minha mãe Alana Trindade, minha avó Angélica Trindade e minha irmã Andressa Duarte, por serem essenciais na minha trajetória não somente acadêmica, mas também da minha vida. À minha namorada Laíza Fortaleza, que em muitos momentos me ajudou dando suporte emocional em momentos difíceis, me levando sempre a escolher o melhor para mim a cada momento.

Agradeço à todos os professores do curso de ciências ambientais, em especial ao professor Marcelo Oliveira por me orientar e me permitir fazer parte do projeto que deu vida a este presente trabalho, além de proporcionar viagens de campo que agregaram muito a minha experiência acadêmica, profissional e até mesmo de vida. Agradeço ao professor Herondino Filho, responsável por me ensinar uma boa base do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, conhecimentos valiosos que me auxiliaram na estruturação e finalização deste trabalho. Agradeço também à FAPEAP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amapá), entidade pública que financiou o projeto e permitiu a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos da universidade Antonio Carvalho, Milena Martins e Cauã Cristian, por proporcionarem boas lembranças desse período importante da minha caminhada.

Agradeço aos meus amigos de longa data Hitallo Pastana e Julyene Nascimento pelo apoio, conselhos e por estarem presentes nesse período importante, sempre me ajudando a me desenvolver como pessoa.

RESUMO

A mineração tem sido historicamente relevante para a economia da Amazônia, mas também figura entre as principais atividades antrópicas causadoras de impactos ambientais significativos, como desmatamento, degradação do solo e alterações em corpos hídricos. No estado do Amapá, o distrito aurífero do Lourenço se destaca como um dos mais antigos polos de extração artesanal de ouro na Amazônia e principal do estado, hospedando também mineração industrial da mesma substância. A região é marcada por um histórico de intensificação da exploração mineral, geração de passivos ambientais e limitações no controle ambiental. Desse modo, este estudo teve como objetivo mapear e quantificar a evolução das áreas degradadas pela garimpagem (legal e ilegal) e pela mineração industrial no distrito do Lourenço entre 2016 e 2023. A metodologia da pesquisa consistiu em levantamento bibliográfico e classificação do uso e cobertura da terra em sete classes temáticas (vegetação, vegetação secundária, solo exposto, corpo hídrico, corpo hídrico alterado, pasto e área urbanizada) por meio de técnicas de classificação supervisionada no software QGIS, com uso de imagens de satélite de alta resolução (5 m) da plataforma *PlanetScope*. Os resultados indicam aumento expressivo da degradação ambiental no período analisado, com a área total degradada passando de aproximadamente 1.698 ha em 2016 para 3.375 ha em 2023, representando um acréscimo de cerca de 1.677 (um incremento de 98,76%) ha e taxa média anual de 239 ha/ano, considerando o conjunto: garimpo legal, ilegal e mineração industrial. O garimpo ilegal destacou-se como responsável pelo maior acréscimo absoluto de áreas degradadas (54% de participação na degradação), enquanto o garimpo legalizado apresentou as maiores taxas relativas de degradação (41% na participação). A mineração industrial apresentou menores valores absolutos e relativos (5%). Observou-se ainda uma redução expressiva da cobertura vegetal, reforçando a necessidade de ações de monitoramento e fiscalização, principalmente quanto à presença de garimpo ilegal na região.

Palavras-chave: Amazônia; mineração artesanal; degradação ambiental; sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Mining has historically been relevant to the Amazon's economy, but it also ranks among the main anthropogenic activities that cause significant environmental impacts, such as deforestation, soil degradation, and changes in water bodies. In the state of Amapá, the Lourenço gold district stands out as one of the oldest artisanal gold mining centers in the Amazon and the main one in the state, also hosting industrial mining activities of the same mineral. The region is marked by a recent intensification of mineral exploitation, generation of environmental liabilities, and limitations in environmental control and monitoring. Therefore, this study aimed to map and quantify the evolution of degraded areas caused by artisanal mining (legal and illegal) and industrial mining in the Lourenço district between 2016 and 2023. The methodology consisted of a bibliographic survey and land use and land cover classification into seven thematic classes (vegetation, secondary vegetation, exposed soil, water body, altered water body, pasture, and urban area) using supervised classification techniques in QGIS software, based on high-resolution satellite images (5 m) from the PlanetScope platform. The results indicate a significant increase in environmental degradation during the analyzed period, with the total degraded area increasing from approximately 1,698 ha in 2016 to 3,375 ha in 2023, representing an increase of about 1,677 ha and an average annual rate of 239 ha/year, considering legal mining, illegal mining, and industrial mining together. Illegal mining accounted for the highest absolute increase in degraded areas (53% of total degradation), while legalized artisanal mining presented the highest relative degradation rates (43%), and industrial mining showed lower absolute and relative values (5%). A marked reduction in vegetation cover was also observed, reinforcing the need to strengthen monitoring and enforcement actions, particularly regarding illegal mining activities in the region.

Keywords: Amazon; artisanal mining; environmental degradation; remote sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Mapa 1 – Mapa de localização do distrito aurífero do Lourenço..... | 19 |
| Imagem 1 – Pontos amostrais gerados pelo AcAtaMA para a validação da classificação do ano de 2023..... | 25 |
| Mapa 2 – Classificação do uso da terra de áreas de mineração legalizadas: 2016 (a) e 2023 (b)..... | 28 |
| Mapa 3 – Classificação de uso da terra de áreas de garimpagem ilegal para os anos de 2016 (a) e 2023 (b)..... | 35 |
| Mapa 4 – Mancha de degradação nas Bacias Hidrográficas no garimpo do Lourenço em 2023 | 40 |
| Mapa 5 – Mancha de degradação nas Unidades de Conservação no garimpo do Lourenço em 2023..... | 41 |
| Mapa 6 – Pontos amostrados em campo para a validação da classificação..... | 45 |
| Gráfico 1 – Participação percentual na degradação ambiental total – Distrito do Lourenço (2023)..... | 42 |
| Gráfico 2 – Taxas médias anuais de degradação ambiental por modalidade (2016–2023)..... | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Classificação de uso da terra nas áreas de concessão mineral no Distrito do Lourenço. Área total das concessões legalizadas: 11.565,98 ha..... | 27 |
| Tabela 2 – Classificação do uso e ocupação da terra nas áreas de garimpo legalizado (COOGAL) em 2016 e 2023..... | 30 |
| Tabela 3 – Cálculos das áreas estimadas de degradação ambiental (classes solo exposto + corpo hídrico alterado) por processos da COOGAL..... | 30 |
| Tabela 4 – Classificação do uso e ocupação da terra nas áreas de mineração industrial (ORO Amapá e EMPA) nos anos de 2016 e 2023..... | 32 |
| Tabela 5 – Classificação do uso e ocupação da terra na área sob responsabilidade da ORO Amapá em 2016 e 2023..... | 33 |
| Tabela 6 – Classificação do uso e ocupação da terra na área sob responsabilidade da EMPA em 2016 e 2023..... | 33 |
| Tabela 7 – Classificação de uso da terra nas áreas sem concessão mineral no Distrito do Lourenço..... | 34 |
| Tabela 8 – Síntese da degradação ambiental (solo exposto + corpo hídrico alterado), taxas absolutas e relativas por modalidade de exploração mineral no distrito do Lourenço (2016–2023)..... | 36 |
| Tabela 9 – Matriz de confusão da classificação de 2016..... | 44 |
| Tabela 10 – Matriz de confusão da classificação de 2023..... | 44 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 13 |
| 2.1 MINERAÇÃO, GARIMPAGEM E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL..... | 14 |
| 2.2 GARIMPAGEM NO AMAPÁ..... | 14 |
| 2.3 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL OCACIONADA PELA MINERAÇÃO E PELO GARIMPO..... | 16 |
| 2.4 GEOTECNOLOGIAS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL..... | 17 |
| 3 METODOLOGIA..... | 18 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO..... | 19 |
| 3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 21 |
| 3.2.1 Aquisição dos dados e pré-processamento..... | 21 |
| 3.2.2 Classificação dos dados geoespaciais..... | 22 |
| 3.2.3 Validação da classificação..... | 23 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 26 |
| 4.1 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NAS ÁREAS DE MINERAÇÃO LEGALIZADAS..... | 27 |
| 4.1.1 Degradação ambiental no garimpo legalizado (COOGAL)..... | 29 |
| 4.1.1.1 Degradação ambiental no garimpo legalizado (COOGAL) por processos minerais..... | 30 |
| 4.1.2 Degradação ambiental nas áreas de mineração industrial (ORO Amapá e EMPA)..... | 31 |
| 4.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL POR GARIMPOS CLANDESTINOS..... | 33 |
| 4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL..... | 36 |
| 4.3.1 Degradação ambiental total no distrito do Lourenço (2016–2023)..... | 36 |
| 4.3.2 Comparativo Mineração Legal x Ilegal..... | 37 |
| 4.3.3 Comparativo nas áreas legalizadas: Mineradoras X COOGAL..... | 38 |
| 4.3.4 Comparação dos indicadores de degradação ambiental nas áreas da COOGAL..... | 38 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.5 Comparativo entre as empresas Oro Amapa e Empa..... | 39 |
| 4.3.6 Degradação nas Bacias Hidrográficas e Unidades de Conservação..... | 40 |
| 4.3.7 Comparação da participação na degradação das diferentes modalidades de mineração no distrito do Lourenço..... | 41 |
| 4.4 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO..... | 43 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 46 |
| REFERÊNCIAS..... | 48 |

1 INTRODUÇÃO

O avanço da sociedade contemporânea, impulsionado pelo processo de industrialização e pelo desenvolvimento econômico, tem intensificado os danos ao meio ambiente, resultando em uma degradação ambiental progressiva (Rabelo, 2017). Nesse contexto, a atividade mineradora está frequentemente associada a esses processos. Segundo Araújo, Olivier e Fernandes (2014), embora seja uma das principais formas de geração de riqueza e de fomento à economia, a mineração também se destaca entre as atividades antrópicas que provocam os maiores impactos negativos ao meio socioeconômico e ambiental.

A atividade minerária, seja na forma industrial ou artesanal, caracteriza-se pela capacidade de alterar profundamente o meio físico e biótico, promovendo mudanças na cobertura vegetal, no solo e nos sistemas hídricos. No caso da mineração artesanal, conhecida como garimpagem, tais transformações tendem a se intensificar em função da dificuldade de controle e fiscalização, especialmente em regiões ambientalmente sensíveis e de difícil acesso.

A garimpagem foi inicialmente conceituada no Código de Mineração de 1967 como uma atividade individual baseada no uso de instrumentos rudimentares e equipamentos simples para a extração de minerais preciosos em depósitos superficiais (Brasil, 1967). Contudo, esse conceito foi ampliado ao longo do tempo, passando a abranger a extração de substâncias minerais consideradas garimpáveis, independentemente do porte da atividade. O Decreto nº 9.406/2018 define a lavra garimpeira como o aproveitamento imediato dessas substâncias, conforme critérios estabelecidos pela Agência Nacional de Mineração – ANM (Brasil, 2018).

A ampliação desse conceito também contribuiu para o aumento das externalidades ambientais associadas às áreas de garimpo e intensificando seus impactos. Dentre esses impactos, destacam-se o desmatamento e a degradação do solo, que ocasiona o assoreamento de rios, bem como a inserção de mercúrio associado à matéria orgânica nos sistemas de drenagem - entre outros impactos relevantes temos a erosão, mudanças nos cursos d'água, perdas na biodiversidade (Veiga et al., 2002). No contexto amazônico, esses impactos têm sido amplamente discutidos, sendo associados a crises socioambientais e sanitárias decorrentes do uso inadequado do mercúrio em atividades de garimpo (Basta, 2023).

Dados do MapBiomas (2023) indicam que, em 2022, a Amazônia concentrava quase a totalidade da área desmatada pelo garimpo no Brasil, correspondendo a 92% do total, o que

representa aproximadamente 241 mil hectares, sendo 93,1% dessa área destinada à extração de ouro. Considerando conjuntamente o garimpo e a mineração industrial, observa-se uma média anual de 323,9 mil hectares desmatados entre 2012 e 2022, evidenciando a intensificação recente da degradação ambiental associada à atividade mineral, especialmente na Amazônia.

Diante desse cenário, torna-se imperativo o desenvolvimento de estratégias eficazes para detectar e monitorar a degradação ambiental de forma ágil e com menor custo. Nesse sentido, estudos voltados à identificação, ao mapeamento e à quantificação da degradação ambiental associada às atividades minerárias são fundamentais para subsidiar ações de gestão, fiscalização e planejamento ambiental. O sensoriamento remoto e as geotecnologias destacam-se nesse processo por possibilitarem a análise espacial e temporal das alterações na paisagem, permitindo o acompanhamento sistemático da expansão das áreas degradadas em diferentes escalas espaciais (Schmitt et al., 2008).

À luz desse contexto regional, a realização de estudos em escala local torna-se essencial para compreender a dinâmica espacial e temporal desses impactos em áreas historicamente marcadas pela exploração mineral. A análise de distritos auríferos consolidados, como o distrito de Lourenço, no estado do Amapá, possibilita não apenas a identificação do avanço das áreas degradadas, mas também o fornecimento de subsídios técnicos para o fortalecimento das ações de monitoramento e fiscalização ambiental.

O distrito aurífero do Lourenço, localizado no município de Calçoene, constitui um importante exemplo dessa problemática. Reconhecido como o principal polo de extração artesanal de ouro do estado, destaca-se também por sua longa trajetória histórica, sendo uma das mais antigas frentes de garimpagem em atividade no Brasil. Apesar dessa relevância, a região apresenta histórico de intensificação da exploração mineral, associado a expressivos passivos ambientais e a limitações nos processos de monitoramento e recuperação das áreas degradadas.

Diante desse quadro, este estudo parte da seguinte questão norteadora: quais padrões espaciais e temporais caracterizam a evolução das áreas degradadas pelo garimpo e pela mineração industrial no distrito do Lourenço, no município de Calçoene, entre os anos de 2016 e 2023? Parte-se da hipótese de que a evolução das áreas degradadas no distrito do Lourenço apresentou crescimento progressivo ao longo do período analisado, com padrões espaciais predominantemente associados à dinâmica da garimpagem, tanto legal quanto ilegal, considerando a menor efetividade dos mecanismos de fiscalização sobre essa atividade.

Assim, o objetivo geral deste estudo consiste em mapear e quantificar a evolução das áreas degradadas pela garimpagem (legal e ilegal) e pela mineração industrial no distrito do Lourenço entre 2016 e 2023, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e análise multitemporal. Como objetivos específicos, busca-se: (i) identificar e classificar as áreas degradadas associadas às atividades de garimpo e mineração industrial a partir de imagens de sensoriamento remoto; (ii) analisar a evolução temporal das áreas degradadas no período de 2016 a 2023; e (iii) avaliar os padrões espaciais da degradação ambiental, relacionando-os à dinâmica das atividades de garimpagem, com ênfase na distinção entre áreas legalizadas e não legalizadas.

Para tanto, foi realizada uma análise multitemporal com classificação do uso e ocupação da terra por meio de imagens de sensoriamento remoto, abrangendo o distrito do Lourenço e seu entorno, buscando verificar se os padrões observados localmente acompanham a intensificação da degradação ambiental associada à atividade mineral observada em outras áreas da Amazônia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MINERAÇÃO, GARIMPAGEM E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

A mineração possui importância histórica na economia brasileira, estando presente em diferentes momentos da trajetória sociopolítica do país e assumindo distintas formas de exploração ao longo do tempo. No contexto nacional, a atividade mineral se diferencia principalmente entre mineração industrial e mineração artesanal, sendo esta última conhecida como garimpo, ambas desempenhando papel relevante no desenvolvimento econômico, mas também associadas a significativos impactos ambientais.

Apesar da relevância socioeconômica da atividade garimpeira, especialmente por garantir fonte de renda e subsistência para pequenos garimpeiros (Sarmiento e Sousa, 2012; Herraiz e Silva, 2016), essa forma de exploração mineral está associada a impactos ambientais severos. Entre os principais impactos destacam-se o desmatamento e a degradação do solo, que contribuem para o assoreamento de cursos d'água, além da inserção de mercúrio associado à matéria orgânica nos sistemas de drenagem (Veiga et al., 2002).

Esses impactos têm sido amplamente discutidos no contexto amazônico, sendo o uso inadequado do mercúrio apontado como um dos principais fatores associados a crises socioambientais e sanitárias decorrentes da atividade garimpeira, como evidenciado no caso da Terra Indígena Yanomami, em Roraima (Basta, 2023).

Diante da magnitude e da complexidade dos impactos ambientais associados às atividades de mineração e garimpagem, torna-se fundamental a adoção de ferramentas capazes de auxiliar na compreensão e no monitoramento dessas transformações ambientais. Nesse contexto, as geotecnologias destacam-se como instrumentos essenciais para a análise espacial e temporal das alterações na paisagem.

2.2 GARIMPAGEM NO AMAPÁ

A Amazônia apresenta histórico expressivo de exploração mineral, especialmente associado à garimpagem de ouro, atividade que se consolidou ao longo de diferentes períodos e permanece relevante no contexto socioeconômico regional. Na região amazônica, o garimpo caracteriza-se por sua ampla distribuição espacial e pela recorrente fragilidade dos mecanismos de controle e fiscalização ambiental, fatores que contribuem para a intensificação dos impactos ambientais associados à atividade.

No estado do Amapá, a atividade garimpeira insere-se no próprio processo histórico de ocupação e desenvolvimento territorial. De acordo com Oliveira (2010a), o estado apresenta

aptidão metalogenética significativa e possui importantes jazidas e ocorrências minerais, destacando-se Serra do Navio (manganês), Rio Vila Nova (cromo) e o distrito do Lourenço (ouro), entre outros depósitos distribuídos no território. Nesse sentido, o setor mineral assume relevância no contexto econômico e territorial do estado, com destaque para a exploração aurífera associada à garimpagem.

A descoberta de ouro no distrito do Lourenço consolidou a região como um dos principais polos garimpeiros do Amapá. Embora a atividade extrativista mineral no estado tenha se iniciado ainda no século XVII, foi a intensificação da garimpagem aurífera no Lourenço, a partir do século XIX, que marcou de forma decisiva a ocupação e a dinâmica socioeconômica da região (Oliveira, 2010a; Mathis, 2012). O distrito do Lourenço destaca-se, assim, como uma das mais antigas frentes de extração mineral artesanal do Brasil, com atividades contínuas de garimpo ao longo de mais de um século (Chagas, 2019; Oliveira, 2010b).

Apesar de sua relevância histórica e econômica, o garimpo no distrito do Lourenço apresenta forte associação com impactos ambientais significativos. Chagas (2019) aponta que a região figura entre as mais impactadas pelo uso indiscriminado do mercúrio na Amazônia, impacto atribuído tanto à garimpagem quanto à mineração industrial desenvolvida ao longo do tempo.

Estudos anteriores buscaram quantificar parte dessa degradação. Silva (2005) avaliou o Plano de Recuperação Ambiental (PRAD) elaborado em 1995, o qual apontava uma área degradada de 69,75 ha pela antiga empresa de mineração Novo Astro, cuja área é hoje da cooperativa, concluindo a baixa efetividade do PRAD. Oliveira (2010a) identificou que, em 2009, a área degradada no distrito do Lourenço somava aproximadamente 473,73 hectares, sem a ocorrência de processos adequados de recuperação ambiental.

Brito (2021), ao analisar a degradação ambiental em áreas sob concessão da Cooperativa de Garimpeiros do Lourenço (COOGAL), identificou, em 2014, cerca de 311,05 hectares de áreas degradadas, além de constatar que aproximadamente 80,4% dos processos erosivos estavam concentrados nessas áreas. Cabe destacar, entretanto, que o estudo de Brito (2021) se restringiu a duas áreas de concessão de lavra da COOGAL, totalizando cerca de 2.000 hectares, não abrangendo áreas de garimpo clandestino nem frentes associadas à mineração industrial, o que evidencia o caráter parcial das estimativas existentes.

Dessa forma, o garimpo na Amazônia, e particularmente no Amapá, configura-se como uma atividade de elevada relevância econômica e social, mas também marcada por expressivos passivos ambientais. No caso do distrito do Lourenço, a existência de estudos

anteriores, ainda que limitados espacialmente, reforça a necessidade de investigações que permitam compreender de forma integrada e atualizada a evolução espacial e temporal da degradação ambiental associada às diferentes modalidades de exploração mineral na região.

2.3 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL OCASIONADA PELA MINERAÇÃO E PELO GARIMPO

A mineração, embora desempenhe papel relevante no desenvolvimento econômico, está entre as atividades antrópicas que geram os maiores impactos negativos ao meio socioeconômico e ambiental. De acordo com Araújo, Olivier e Fernandes (2014), a extração mineral figura como uma das principais fontes de degradação ambiental, em razão da intensidade e da abrangência das transformações impostas ao meio físico e aos sistemas naturais.

Os impactos ambientais associados à mineração e à lavra garimpeira ocorrem ao longo de todas as fases da atividade, desde a abertura da frente de lavra até o transporte, beneficiamento do minério e, em muitos casos, permanecem mesmo após o encerramento das atividades. Essas atividades provocam alterações significativas no meio físico, incluindo desmatamento, intensificação de processos erosivos, contaminação dos corpos hídricos, dispersão de metais pesados, modificação da paisagem e degradação dos solos, além de comprometer a fauna e a flora locais. Tais impactos afetam também o modo de vida e a qualidade de vida das populações estabelecidas nas áreas mineradas e em seu entorno (Araújo; Olivier; Fernandes, 2014).

No contexto amazônico, diversos exemplos evidenciam a magnitude dos passivos ambientais associados à atividade minerária. Um caso emblemático no estado do Amapá refere-se à exploração de manganês pela Indústria e Comércio de Minérios de Ferro e Manganês (ICOMI), no município de Serra do Navio. Após cerca de quatro décadas de exploração mineral, a paralisação das atividades resultou na permanência de pilhas de rejeitos contendo arsênio, que passaram a contaminar solos, rios e lençóis freáticos, com dispersão desses contaminantes ao longo da bacia hidrográfica até o rio Amazonas e, posteriormente, ao Oceano Atlântico (Araújo; Fernandes, 2016). Esse episódio tornou-se um dos casos mais representativos de contaminação ambiental associada à mineração na Amazônia, evidenciando a necessidade de instrumentos eficazes de controle e recuperação ambiental.

Diante desses impactos, a legislação ambiental brasileira estabelece a obrigatoriedade da recuperação das áreas degradadas por atividades minerárias. O Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989, determina que empreendimentos destinados à exploração de recursos minerais

devem apresentar, juntamente com o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), submetido à aprovação do órgão ambiental competente (Brasil, 1989). Esse instrumento visa orientar as ações de mitigação, compensação e recuperação dos danos ambientais decorrentes da atividade minerária.

No caso da garimpagem, embora se trate de uma atividade caracterizada historicamente por práticas individuais e independentes, isso não exclui a responsabilidade ambiental dos garimpeiros. O Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227/1967) estabelece a obrigatoriedade de solicitação de permissão e certificação da atividade junto aos órgãos competentes, prevendo sanções e apreensão do material extraído em situações de desconformidade. Além disso, o mesmo dispositivo legal atribui ao titular da concessão mineral a responsabilidade pela prevenção, mitigação e compensação dos impactos ambientais, pela preservação da saúde e segurança dos trabalhadores, pela prevenção de desastres ambientais e pela recuperação das áreas impactadas (Brasil, 1967).

A obrigatoriedade constitucional da recuperação de áreas degradadas decorre do reconhecimento da mineração como atividade de significativo impacto ambiental. Nesse sentido, Ribeiro e Iasbik (2019) ressaltam que a exploração mineral impõe a necessidade de adoção de medidas efetivas de mitigação e reparação dos danos ambientais causados, reforçando o papel do Estado e dos empreendedores na promoção de práticas ambientalmente responsáveis. Assim, a degradação ambiental ocasionada pela mineração e pelo garimpo configura-se como um desafio persistente, especialmente em regiões como a Amazônia, onde a combinação entre elevada sensibilidade ambiental e atividades minerárias intensivas demandam instrumentos contínuos de monitoramento e gestão ambiental.

2.4 GEOTECNOLOGIAS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL

As geotecnologias constituem um conjunto de ferramentas fundamentais para a análise, o planejamento e o monitoramento ambiental, especialmente em áreas sujeitas a intensas transformações antrópicas, como aquelas associadas à atividade minerária.

Segundo Rosa (2005), as geotecnologias correspondem ao conjunto de tecnologias utilizadas na coleta, processamento e análise de dados com referência geográfica, englobando sistemas de informação geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistemas de posicionamento global e topografia.

Dentre as geotecnologias, o sensoriamento remoto destaca-se pela capacidade de obter informações da superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os alvos. De

acordo com Florenzano (2011), o termo sensoriamento refere-se à aquisição de dados por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas — como balões e aeronaves — e orbitais, enquanto o termo remoto indica a distância entre o sensor e o objeto observado. Essa característica possibilita o acompanhamento sistemático de grandes áreas, com periodicidade temporal e diversidade de resoluções espaciais.

O potencial de aplicação do sensoriamento remoto é amplo e abrange o monitoramento dinâmico do uso e ocupação do solo, da evolução da biodiversidade, dos recursos naturais e hídricos, bem como o inventário e acompanhamento da degradação ambiental, dos processos erosivos e de eventos catastróficos (Liu, 2006). Em áreas afetadas pela mineração industrial e pelo garimpo, essas técnicas permitem identificar alterações na paisagem, como a expansão de áreas de solo exposto, a supressão da cobertura vegetal e modificações na rede de drenagem, elementos diretamente associados à degradação ambiental.

Do ponto de vista operacional, o sensoriamento remoto envolve basicamente duas etapas principais. A primeira corresponde à aquisição dos dados, relacionada às informações da radiação eletromagnética, aos sistemas sensores e ao comportamento espectral dos alvos. A segunda etapa refere-se à manipulação e ao processamento desses dados, possibilitando diferentes formas de aplicação e análise das informações obtidas (Rosa, 2005). A integração do sensoriamento remoto com outras geotecnologias amplia a análise ambiental. Segundo Fitz (2008), há uma forte relação entre sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, como na interpretação e classificação de imagens. Esse uso conjunto permite análises espaciais mais precisas, essenciais para o planejamento e gestão ambiental em áreas mineradas.

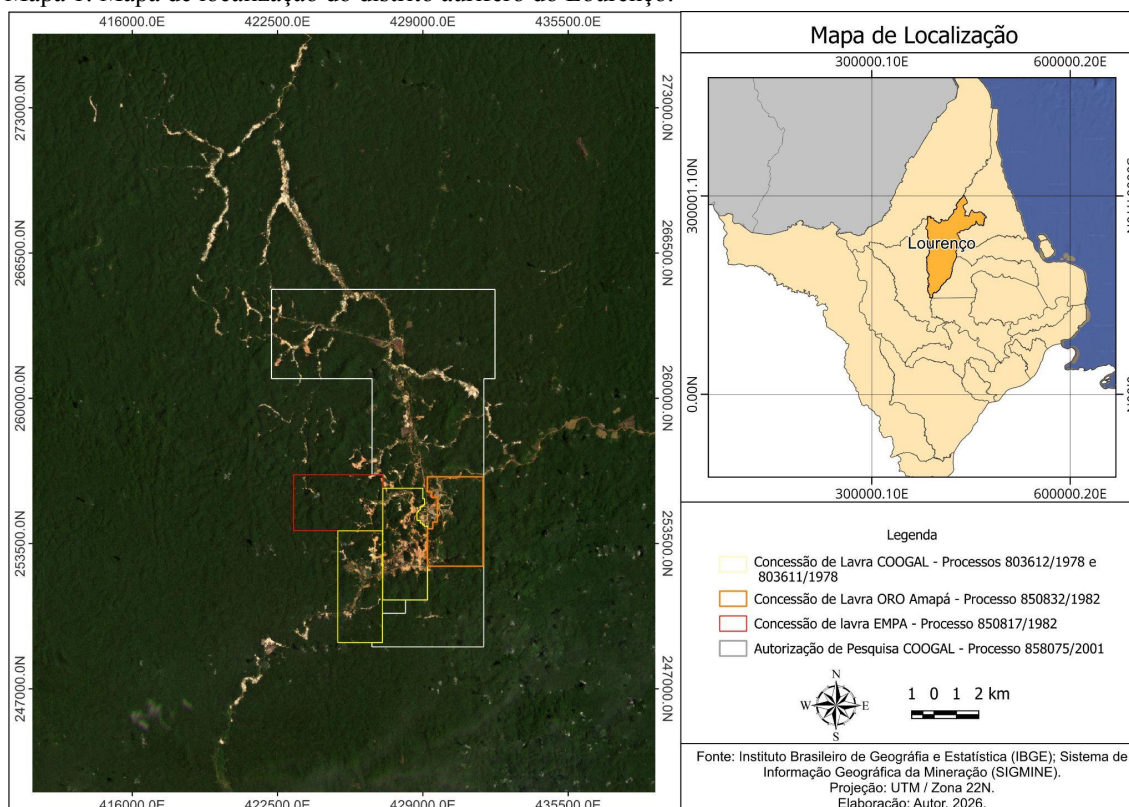
As etapas anteriormente citadas permitem transformar dados brutos em produtos cartográficos e informações ambientais relevantes, conhecido como geoprocessamento, que, por sua vez, envolve principalmente as análises geoespaciais, sendo definido como o conjunto de técnicas e métodos computacionais, que englobam a coleta, entrada, armazenamento e processamento dos dados, assim, gerando novos dados que auxiliam na compreensão e tomada de decisão quanto aos recursos físicos, bióticos, e socioeconômicos (Paranhos, 2021; Carrara, 2018; Silva, 2016).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa teve seu foco direcionado ao distrito do Lourenço, situado a 80 km na direção oeste do município de Calçoene, dentro das coordenadas 02°18.477' de latitude norte e 051°37.913' de longitude oeste. O Distrito fica localizado na porção centro norte do estado do Amapá, próximo à nascente do Rio Cassiporé, em um alto topográfico denominado como Serra Lombarda (Oliveira, 2010a, p. 34) (Mapa 1). Além disso, a região configura-se como um limite de bacias hidrográficas, sendo a Serra Lombarda o principal divisor entre o alto do rio Araguari e o rio Oiapoque, tornando-a importante para os processos de manutenção destas bacias (Chagas, 2019. p. 12).

Mapa 1: Mapa de localização do distrito aurífero do Lourenço.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

De acordo com o IBGE (2019), o Distrito do Lourenço possui uma área de 5576,9 km². Conforme dados do Censo Demográfico de 2022, a população recenseada era de 2.371 habitantes, distribuídos em aproximadamente 1.001 domicílios, dos quais 971 eram particulares e 30 coletivos. Entre esses, 680 domicílios estavam efetivamente ocupados, com uma média de 3,3 moradores por domicílio (IBGE, 2024).

Dados do IBGE (2020) mostram que o uso e ocupação do solo na região é caracterizado pela presença de vegetação florestal, áreas artificiais (onde predominam

superfícies antrópicas não agrícolas) e ocupações em áreas florestais (ocupação mista de pastagem, área agrícola e silvicultura associada ou não a remanescentes florestais).

De acordo com o SIGMINE (Sistema de Informação Geográfica da Mineração) da ANM (Agência Nacional de Mineração) há três áreas destinadas à extração mineral por garimpagem, sendo duas concessões de lavra mineral que totalizam 1952,45 hectares e uma de autorização de pesquisa com guia de utilização de 7689,89 hectares, todas de domínio da Cooperativa de Mineração dos Garimpeiros do Lourenço (COOGAL).

Além dos setores voltados ao garimpo, há duas frentes de mineração industrial. Uma delas corresponde a uma concessão de lavra de 936 hectares para exploração aurífera pela empresa ORO Amapá. Outra empresa atuante na área de estudo é a Empresa de Mineração, Exportação e Pesquisa do Amapá (EMPA), que detém uma concessão de 1.000 hectares. No total, são 11.578 hectares destinados à exploração legalizada, o que corresponde a aproximadamente 2% da área total do distrito.

A área de garimpo ilegal foi delimitada a partir do entorno das áreas legalizadas, com base na identificação da mancha de degradação fora desses limites, resultando em um polígono de aproximadamente 68.899,24 hectares no Distrito do Lourenço. Assim, a análise abrangeu um total de aproximadamente 80.477,24 hectares, o que corresponde a cerca de 14,4% da área total do Distrito do Lourenço (5.576,9 km²).

Quanto à geologia, segundo a CPRM (2018) no distrito ocorrem rochas como metagranitoides e faixas de rochas metavulcanossedimentares com potencial mineral para metais nobres como por exemplo o ouro e para metais ferrosos como tantalita e columbita. De acordo com Nogueira (2002) a principal rocha encaixante da mineralização quartzo-aurífera é a associação tonalítica-granodiorítica.

A pedologia da região mostra a predominância do latossolo vermelho-amarelo distrófico (IBGE, 2004a). O relevo compreende as unidades geomorfológicas denominadas 1) colinas do Amapá com aprofundamento fraco de 50 a 100 metros e 2) planaltos residuais do Amapá com aprofundamento médio de 100 a 150 metros, apresentando modelados de dissecação homogênea ou diferencial com densidade de drenagem fina e médio aprofundamento das incisões (IBGE, 2004b).

A região é caracterizada por uma cobertura vegetal de floresta ombrófila densa submontana com dossel emergente e floresta ombrófila densa das terras baixas com dossel emergente, além da presença de vegetação secundária (IBGE, 2004c). É marcada pelo clima tropical quente úmido, com isoietas anuais médias variando entre 3500 a 3600 mm (IBGE, 2002; CPRM, 2016).

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo foi realizado em diversas etapas, iniciando pela aquisição das imagens, o tratamento ou processamento dos dados espaciais e por fim a classificação temática das imagens e sua validação.

3.2.1 Aquisição dos dados e pré-processamento

Os dados referentes aos produtos de imagens utilizados neste estudo foram obtidos através da base de dados da *Planet Labs*, com imagens de satélite de alta resolução espacial (5m). As imagens utilizadas correspondem aos meses de junho de 2016 e outubro de 2023, escolhidas principalmente por apresentarem menor incidência de nuvens, totalizando 9 cenas para cada ano.

Após a aquisição, foi necessário realizar o pré-processamento das imagens com a utilização do software gratuito Quantum Gis (QGIS) versão 3.28 Firenze, primeiramente gerando um mosaico com as cenas de cada ano a partir da equalização dos valores mínimos e máximos de cada banda espectral (RGB). A equalização dos valores mínimos e máximos de cada banda é gerada criando um *raster* virtual das cenas e em seguida convertendo este *raster* para um arquivo *geotiff* utilizando os parâmetros adicionais “-b 3 -b 2 -b1”, sendo as bandas azul, verde e vermelho respectivamente, para assim gerar um mosaico com composição em cores verdadeiras, mosaico este que servirá de base para a realização da classificação de uso e cobertura do solo.

As imagens da base de dados da Planet originalmente são obtidas com projeção EPSG:3857 - WSG 84 / *Pseudo-Mercator*, e para dar prosseguimento a classificação das imagens foi necessário padronizar o sistema de coordenadas das imagens. Com uso da função “reprojetar coordenadas” no QGIS as imagens foram padronizadas para o sistema de coordenadas EPSG:31976 - SIRGAS 2000 / UTM Zone 22N a fim de tornar mais coeso os resultados obtidos com a classificação das imagens.

Além das imagens de satélite, também foram utilizados dados da ANM (Agência Nacional de Mineração), com os arquivos vetoriais no formato “*shapefiles*” contendo as poligonais dos processos minerários de interesse, utilizados como camada de máscara para fazer o recorte da área de estudo utilizando a ferramenta “recortar *raster* pela camada de máscara” no QGIS.

3.2.2 Classificação dos dados geospaciais

Após a aquisição e pré-processamento dos dados foi possível realizar a classificação das imagens, a fim de determinar e quantificar as classes de uso e ocupação do solo juntamente com a quantidade da parcela florestal suprimida pelas atividades desenvolvidas no garimpo do Lourenço. Para a classificação das imagens de satélite foi utilizado o plugin *Dzetsaka Classification Tool*, disponibilizado no QGIS para realizar classificação supervisionada, sendo definidas 7 classes distintas para classificar a área de estudo, entre elas estão: Corpo hídrico, Corpo hídrico alterado, Solo exposto, Vegetação secundária, Vegetação, Área urbanizada e Pasto (Quadro 1).

Quadro 1: Descrição das classes identificadas.

| Classe | Descrição |
|------------------------|---|
| Corpo hídrico alterado | Corpos d'água com coloração anormal, que foram ou estão sendo utilizados para outros fins como por exemplo bacia de rejeitos, não possuindo características naturais. |
| Solo exposto | Áreas sem a presença de cobertura vegetal, sendo inseridos nesta categoria principalmente: áreas de extração mineral ou frentes de lavra. |
| Vegetação secundária | Vegetação natural em processo de regeneração, que já sofreu alteração ou supressão anteriormente. |
| Corpo hídrico | Corpo d'água que ainda possui suas características naturais ou artificiais como rios, lagos, açudes ou represas. |
| Vegetação | Áreas com vegetação natural que não sofreram alteração de suas características naturais. |
| Área urbanizada | Áreas destinadas à concentração populacional como vilas, cidades ou núcleos metropolitanos, com presença de arruamentos, casas, prédios ou edificações públicas. |
| Pasto | Áreas rurais predominantemente plantadas, relacionadas com a atividade agropecuária. |

Fonte: elaboração realizada pelo autor com base nas definições propostas por Jacques e Shinzato (2000), Brito (2021), TerraClass (2022) e MapBiomias (2024).

Com as classes definidas, foram retiradas 5 amostras das imagens de satélites para cada classe descrita, totalizando 35 amostras para cada ano, com o intuito de realizar o treinamento dessas amostras no plugin e assim obter a classificação das imagens. Após a classificação, foi possível fazer os recortes dos diferentes processos minerários e realizar a quantificação em área de cada classe utilizando a ferramenta de processamento do QGIS *"r.report"*. Os números então foram apresentados em tabelas que retratam o crescimento ou redução no tamanho de cada classe no intervalo de tempo considerado no estudo, diferenciando os resultados das classes nas áreas de mineração legal e ilegal.

Os resultados apresentam a área de estudo devidamente classificada, nos diferentes anos analisados e a quantificação destas classes, para que seja possível demonstrar os resultados obtidos e embasar as futuras discussões.

Para fins analíticos, a degradação ambiental foi operacionalmente definida como a soma das áreas classificadas nas classes Solo Exposto e Corpo Hídrico Alterado, por representarem, de forma direta, superfícies impactadas pela remoção da cobertura vegetal, movimentação de solo e alteração dos sistemas hídricos associados à atividade minerária.

Para o cálculo dos indicadores de degradação ambiental¹, considerou-se inicialmente a área total classificada como degradada (AD), definida como a soma das classes *solo exposto* e *corpo hídrico alterado* em cada ano analisado. A variação total da área degradada (ΔAD) foi obtida pela diferença entre os valores observados em 2023 e 2016.

A taxa média anual absoluta de degradação (TDA) foi calculada conforme a Equação (1):

$$TDA = \frac{\Delta AD}{\Delta t}$$

em que ΔAD corresponde à variação da área degradada (em hectares) no período analisado e Δt representa o intervalo de tempo, em anos, entre as duas datas consideradas.

A taxa média anual ponderada de degradação (TDP) foi calculada conforme a Equação (2):

$$TDP = \frac{\Delta AD}{A_T} \times \frac{100}{\Delta t}$$

em que A_T corresponde à área total analisada em cada contexto (mineração legalizada, mineração industrial ou garimpo ilegal). Esse indicador expressa a proporção média anual da área total que passou a integrar classes diretamente associadas à degradação ambiental, permitindo a comparação da intensidade do processo entre áreas de diferentes dimensões.

3.2.3 Validação da classificação

A fim de validar os resultados obtidos com a classificação das imagens, foi utilizado o *plugin Accuracy Assessment of Thematic Maps (AcATaMA)* disponibilizado por Llano (2024) no QGIS para verificação da acurácia de mapas temáticos, além da utilização do índice Kappa.

¹ **Exemplo:** Considerando-se, os dados posteriormente apresentados, uma área total de 80.465,22 ha, com aumento da área degradada (solo exposto + corpo hídrico alterado) de 1.698,08 ha em 2016 para 3.375,16 ha em 2023, a variação total seria de 1677,08 ha em sete anos, resultando em uma taxa média anual absoluta de 239,58 ha/ano. A taxa média anual ponderada corresponderia a aproximadamente 0,3% da área total ao ano.

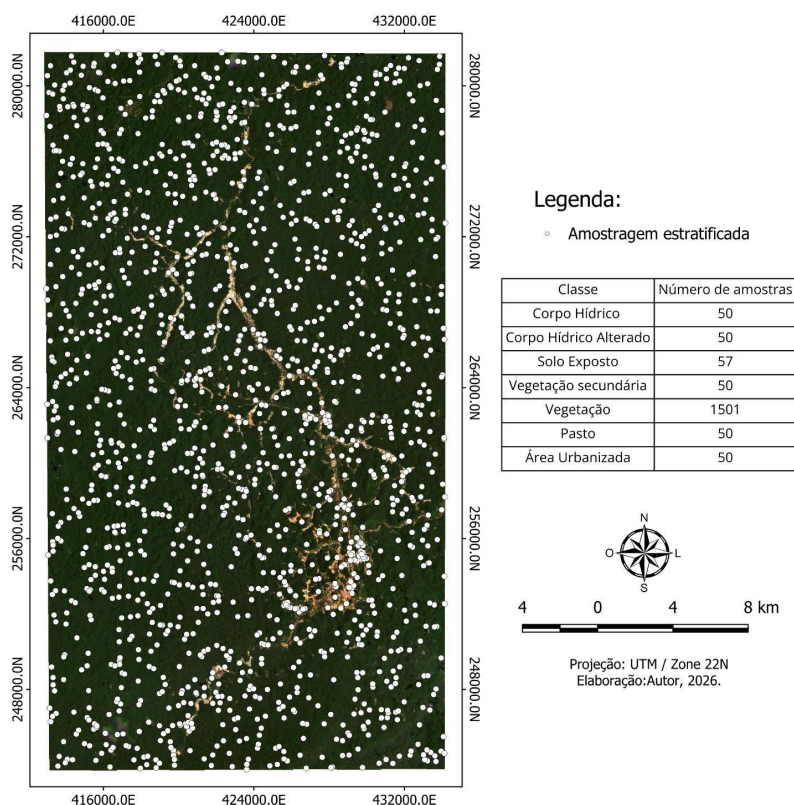
Neste estudo, foi utilizada a ferramenta de amostragem aleatória estratificada, no qual o tamanho da amostra e o número de pontos para cada estrato (classe) identificada são calculados a partir da área proporcional de cada um desses estratos (W_i), do erro padrão da precisão geral e o desvio padrão (Silva, et al. 2023). Além disso, foi definido que cada classe tivesse no mínimo 50 pontos amostrais, a fim de tornar mais robustos os resultados obtidos. A imagem 1 mostra a quantidade de pontos por classe amostrada e a dispersão dos pontos utilizados para validação da classificação.

Foram gerados 1808 pontos para o mapa temático de 2023 e 1800 pontos para o ano de 2016, dado que, cada ponto foi analisado e comparado individualmente com as imagens de satélite Planet (dados de referência), verificando se o pixel do ponto amostral da classificação corresponde com a realidade mostrada no dado de referência.

Realizada a verificação dos pontos, é possível visualizar dados importantes para a comprovação da validação como a matriz de confusão dos dados, acurácia global, assim como métricas ponderadas como acurácia do usuário e a acurácia do produtor e índice Kappa.

A matriz de confusão é uma matriz quadrada representada por linhas (que indicam a classificação gerada a partir do processamento dos dados), colunas (que representam os dados de referência ou “verdade terrestre”), células na diagonal (mostram quando a classificação está em concordância com os dados de referência) e células fora da diagonal (que mostram classificações incorretas), demonstrando assim a relação do número de unidades atribuídas a cada classe nas diferentes imagens analisadas (Congalton e Green, 2008; Stehman e Czaplewski, 1998; Olofsson *et al.* 2014).

Imagem 1. Pontos amostrais gerados pelo AcAtaMA para a validação da classificação do ano de 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A acurácia global é a soma da diagonal principal da matriz, contendo as unidades que foram corretamente classificadas (Congalton e Green, 2008). A acurácia do produtor ou erro de omissão, mostra o quão bem classificada está a referida classe, podendo ser calculada a partir da divisão do número total de amostras classificadas corretamente pelo número total de amostras de determinada classe (Story e Congalton, 1986; Congalton e Green, 2008). Já a acurácia do usuário ou erro de comissão, representa o quão bem o mapa classificado representa a realidade mostrada nos dados de referência, demonstrando a confiabilidade do mapa ao usuário (Story e Congalton, 1986).

De acordo com Congalton e Green (2008) o índice Kappa pode ser calculado a partir da equação (3):

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}$$

Onde K é o índice Kappa; x_{ij} são os valores nas colunas e linhas i ; x_{i+} é a soma da linha i ; x_{+i} é a soma da coluna i da matriz de confusão; n é o número total de Amostras e c é o número total de classes.

Além disso, foi realizada a validação dos dados em campo, o qual foram visitados e georreferenciados 40 pontos para verificar se a classificação corresponde com o observado em campo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NAS ÁREAS DE MINERAÇÃO LEGALIZADAS

O Mapa 2 ilustra a distribuição espacial das classes de uso e ocupação da terra nas áreas de mineração legalizadas em 2016 e 2023, evidenciando visualmente a expansão das áreas classificadas como solo exposto e a redução da cobertura vegetal, cujos valores quantitativos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação de uso da terra nas áreas de concessão mineral no Distrito do Lourenço.

| CLASSES | Área 2016 (ha) | Área 2016 (%) | Área 2023 (ha) | Área 2023 (%) | Variação (ha) | Variação (%) |
|------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Vegetação | 10.188,00 | 88,09 | 9.367,60 | 80,99 | -820,40 | -8,1 |
| Solo exposto | 760,09 | 6,57 | 1.400,37 | 12,11 | +640,28 | +84,2 |
| Vegetação secundária | 415,56 | 3,59 | 516,65 | 4,47 | +101,09 | +24,3 |
| Corpo hídrico alterado | 128,12 | 1,11 | 150,74 | 1,30 | +22,62 | +17,7 |
| Corpo hídrico | 0,00 | 0,00 | 22,00 | 0,19 | +22,00 | — |
| Pasto | 53,94 | 0,47 | 54,14 | 0,47 | +0,20 | +0,4 |
| Área urbana | 20,27 | 0,18 | 54,48 | 0,47 | +34,21 | +168,8 |
| Total da área | 11.565,98 | 100,00 | 11.565,98 | 100,00 | — | — |

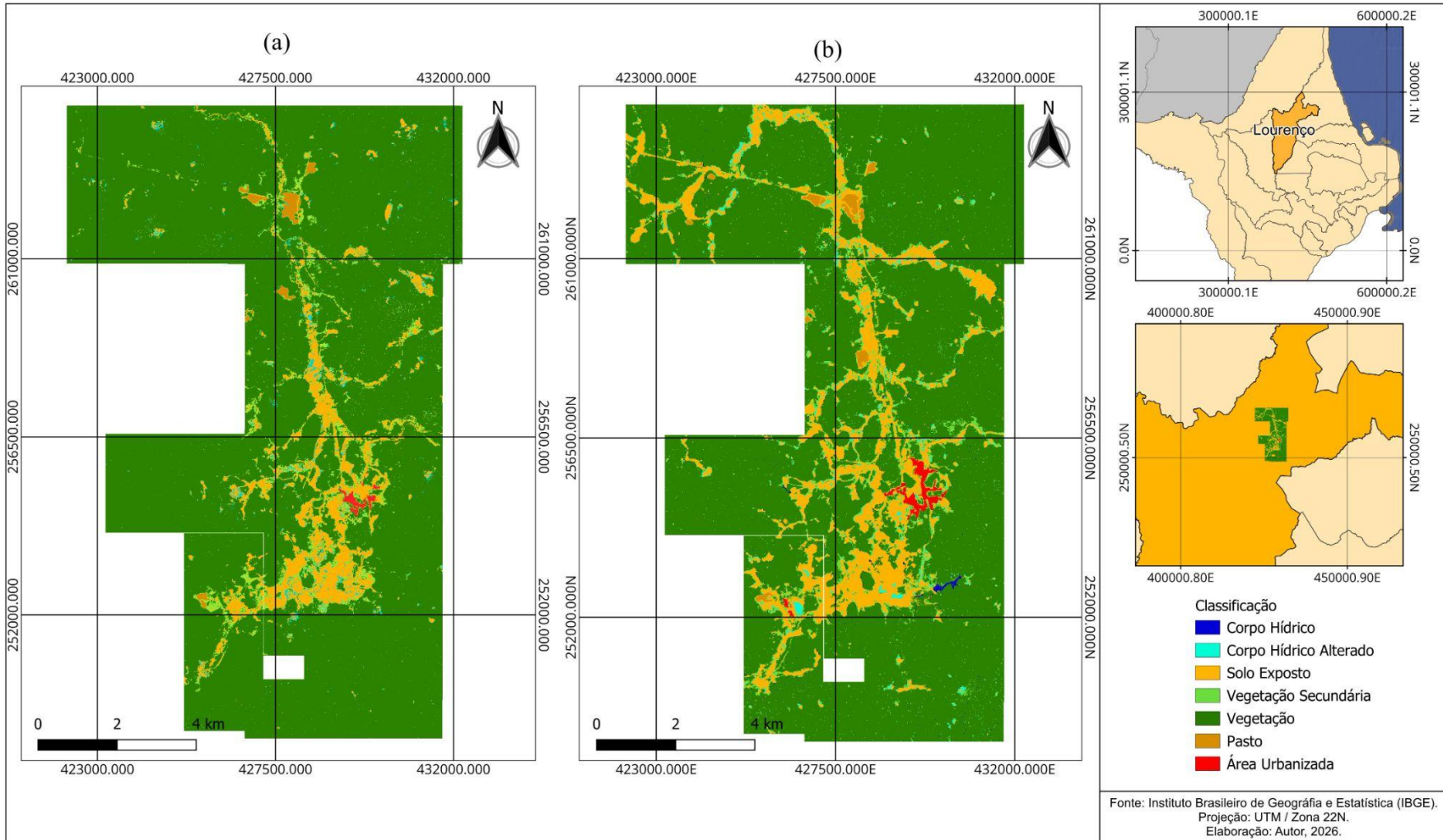
Fonte: Elaborado pelo autor, 2026. Nota: % calculada com base na área total das concessões legalizadas: 11.565,98 ha.

A Tabela 1 sintetiza a classificação do uso e ocupação da terra nas áreas de mineração legalizadas do distrito do Lourenço (COOGAL, ORO Amapá e EMPA), para os anos de 2016 e 2023, com a quantificação das classes em valores absolutos (hectares) e percentuais em relação à área total das concessões, que corresponde a 11.565,98 ha.

Entre 2016 e 2023, a classe solo exposto apresentou o maior incremento absoluto, passando de 760,09 ha (6,57%) para 1.400,37 ha (12,11%), o que representa um aumento de 640,28 ha (+84,2%). Já a classe corpo hídrico alterado aumentou de 128,12 ha (1,11%) para 150,74 ha (1,30%), totalizando um incremento de 22,62 ha (+17,7%). A classe corpo hídrico, ausente em 2016, passou a ocupar 22,00 ha (0,19%) das áreas de concessão em 2023.

No mesmo período, a classe vegetação sofreu redução de 820,40 ha, passando de 10.188,00 ha (88,09%) para 9.367,60 ha (80,99%), correspondendo a uma perda relativa de 8,1% da cobertura vegetal nas áreas legalizadas. Enquanto a classe vegetação secundária apresentou acréscimo de 101,09 ha, passando de 415,56 ha (3,59%) para 516,65 ha (4,47%),

Mapa 2. Classificação do uso da terra de áreas de mineração legalizadas: 2016 (a) e 2023 (b).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A área urbana apresentou crescimento de 20,27 ha (0,18%) para 54,48 ha (0,47%), correspondendo a um acréscimo absoluto de 34,21 ha (+168,8%), enquanto a classe pasto manteve-se praticamente estável, com variação inferior a 1 ha no período analisado.

De forma geral, os resultados mostram que em 2023, as classes diretamente associadas à degradação ambiental nas áreas de mineração legalizadas — solo exposto e corpo hídrico alterado — totalizavam 1.551,11 ha, o que correspondia a 13,4% da área total das concessões analisadas. Quando comparado ao cenário de 2016, no qual essas classes somavam 888,21 ha, observa-se um acréscimo absoluto de 662,90 ha ao longo de sete anos.

4.1.1 Degradação ambiental no garimpo legalizado (COOGAL)

A Tabela 2 apresenta a classificação do uso e ocupação da terra nas áreas sob responsabilidade da Cooperativa de Garimpeiros do Lourenço (COOGAL), para os anos de 2016 e 2023, com a quantificação das classes em valores absolutos (hectares) e percentuais calculados em relação à área total da concessão, que corresponde a aproximadamente 9.619 ha.

No período analisado, a classe solo exposto apresentou a variação mais expressiva, passando de 625,75 ha (6,50%) em 2016 para 1.247,96 ha (12,97%) em 2023, o que representa um incremento absoluto de 622,21 ha, correspondente a um aumento relativo de aproximadamente 99,5%. A classe corpo hídrico alterado também apresentou crescimento, aumentando de 110,72 ha (1,15%) para 128,52 ha (1,34%), com acréscimo de 17,80 ha (+16,1%). A classe corpo hídrico, ausente no mapeamento de 2016, passou a ocupar 12,67 ha (0,13%) da área da concessão em 2023.

Em sentido oposto, a classe vegetação apresentou redução significativa, passando de 8.459,56 ha (87,95%) em 2016 para 7.717,42 ha (80,21%) em 2023, o que corresponde a uma perda absoluta de 742,14 ha, equivalente a uma diminuição relativa de 8,8% da cobertura vegetal na área da COOGAL. A classe vegetação secundária apresentou aumento de 79,02 ha, passando de 356,88 ha (3,71%) para 435,90 ha (4,53%), enquanto a classe área urbana cresceu de 12,12 ha (0,13%) para 22,91 ha (0,24%), totalizando um acréscimo de 10,79 ha (+89,0%). A classe pasto manteve-se praticamente estável, com variação inferior a 0,5 ha no período analisado.

Tabela 2 – Classificação do uso e ocupação da terra nas áreas de garimpo legalizado (COOGAL) em 2016 e 2023.

| CLASSES | Área (ha) | 2016 Área (%) | 2016 Área (ha) | 2023 Área (%) | 2023 Variação (ha) | Variação (%) |
|------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|--------------------|--------------|
| Vegetação | 8.459,56 | 87,95 | 7.717,42 | 80,23 | -742,14 | -8,8 |
| Solo exposto | 625,75 | 6,51 | 1.247,96 | 12,97 | +622,21 | +99,4 |
| Vegetação secundária | 356,88 | 3,71 | 435,90 | 4,53 | +79,02 | +22,1 |
| Corpo hídrico alterado | 110,72 | 1,15 | 128,52 | 1,34 | +17,80 | +16,1 |
| Corpo hídrico | 0,00 | 0,00 | 12,67 | 0,13 | +12,67 | — |
| Pasto | 53,98 | 0,56 | 53,64 | 0,56 | -0,34 | -0,6 |
| Área urbana | 12,12 | 0,13 | 22,91 | 0,24 | +10,79 | +89,0 |
| Total da área | 9.619,01 | 100,00 | 9.619,02 | 100,00 | — | — |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

De forma integrada, observa-se que, em 2023, as áreas diretamente associadas à degradação ambiental na concessão da COOGAL — representadas pelas classes solo exposto e corpo hídrico alterado — totalizavam 1.376,48 ha, correspondendo a aproximadamente 14,3% da área total da concessão. Em comparação com 2016, quando essas classes somavam 736,47 ha, verificou-se um incremento absoluto de 640,01 ha ao longo de sete anos.

4.1.1.1 Degradação ambiental no garimpo legalizado (COOGAL) por processos minerais

A Tabela 3 apresenta a evolução da degradação ambiental nas áreas sob responsabilidade da COOGAL, discriminada por processo minerário, para os anos de 2016 e 2023, considerando como indicador de degradação direta a soma das classes solo exposto e corpo hídrico alterado.

Tabela 3. Cálculos das áreas estimadas de degradação ambiental (classes solo exposto + corpo hídrico alterado) por processos da COOGAL.

| Processo COOGAL | Regime | Área total (ha) | Degradação 2016 (ha) | Degradação 2023 (ha) | Acréscimo (ha) |
|-----------------|-------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------|
| 803611/1978 | Concessão de Lavra | 992,2 | 64,9 | 179,3 | +114,5 |
| 803612/1978 | Concessão de Lavra | 943,71 | 269,3 | 338,1 | +68,8 |
| 858075/2001 | Autorização de Pesquisa | 7.683 | 402,3 | 859 | +456,7 |

Fonte: Elaboração do Autor, 2026.

Observa-se que o processo nº 858075/2001, operando sob regime de Autorização de Pesquisa com Guia de Utilização e com maior extensão territorial, concentrou o maior crescimento absoluto da degradação ambiental no período. A área degradada passou de 402,32 ha em 2016 para 859,05 ha em 2023, o que representa um acréscimo de 456,73 ha ao longo de sete anos.

Nos processos mais antigos, sob concessão de lavra, a evolução da degradação ocorreu em ritmo distinto. O Processo nº 803611/1978 apresentou aumento da área degradada de 64,88 ha em 2016 para 179,35 ha em 2023, resultando em um acréscimo de 114,47 ha. Já o Processo nº 803612/1978 apresentou crescimento mais moderado, com aumento de 68,81 ha no período, passando de 269,28 ha para 338,10 ha.

4.1.2 Degradação ambiental nas áreas de mineração industrial (ORO Amapá e EMPA)

As Tabelas 4, 5 e 6 apresentam a classificação do uso e ocupação da terra nas áreas sob responsabilidade das empresas ORO Amapá e EMPA, para os anos de 2016 e 2023, com a quantificação das classes em valores absolutos (hectares) e percentuais calculados em relação à área total de cada concessão, que corresponde a aproximadamente 927 ha para a ORO Amapá e 999 ha para a EMPA.

A classe vegetação ocupava 1.710,59 ha em 2016, reduzindo-se para 1.634,59 ha em 2023, menos 76,00 ha, ou seja, uma perda de 4,4% da cobertura vegetal. O solo exposto aumentou em cerca de 13,5% (17,98 ha): passando de 132,73 ha em 2016 para 150,71 ha em 2023. Esse incremento ocorreu de forma diferenciada entre as empresas, com redução na área da ORO Amapá e aumento mais expressivo na área sob responsabilidade da EMPA (Tabelas 5 e 6).

Tabela 4. Classificação do uso e ocupação da terra nas áreas de mineração industrial (ORO Amapá e EMPA) nos anos de 2016 e 2023.

| CLASSES | ORO (ha) | 2016 EMPA (ha) | 2016 TOTAL (ha) | ORO (ha) | 2023 EMPA (ha) | 2023 TOTAL (ha) |
|-------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| Vegetação | 753,76 | 956,83 | 1.710,59 | 727,78 | 906,81 | 1.634,59 |
| % | 81,31 | 95,77 | 88,79 | 78,53 | 90,77 | 84,79 |
| Solo exposto | 106,31 | 26,42 | 132,73 | 90,96 | 59,75 | 150,71 |
| % | 11,46 | 2,64 | 6,89 | 9,80 | 5,98 | 7,82 |
| Vegetação secundária | 48,68 | 8,26 | 56,94 | 54,57 | 23,55 | 78,12 |
| % | 5,25 | 0,83 | 2,96 | 5,88 | 2,36 | 4,05 |
| Área urbana | 8,13 | 0,00 | 8,13 | 31,94 | 0,00 | 31,94 |
| % | 0,88 | 0,00 | 0,42 | 3,44 | 0,00 | 1,66 |
| Corpo hídrico alterado | 10,04 | 7,22 | 17,26 | 13,88 | 6,63 | 20,51 |
| % | 1,08 | 0,72 | 0,90 | 1,50 | 0,66 | 1,06 |
| Corpo hídrico | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7,78 | 1,99 | 9,77 |
| % | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,84 | 0,20 | 0,51 |
| Total da área | 927,00 | 999,00 | 1.926,00 | 927,00 | 999,00 | 1.926,00 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026. Nota: Os percentuais foram calculados com base na área total de cada concessão mineral (ORO Amapá ≈927 ha; EMPA ≈999 ha).

A vegetação secundária também apresentou aumento, passando de 56,94 ha em 2016 para 78,12 ha em 2023, um acréscimo de 21,18 ha (+ 37,2%) no período analisado.

A classe área urbana apresentou a maior variação proporcional, passando de 8,13 ha em 2016 para 31,94 ha em 2023. Esse crescimento absoluto de 23,81 ha corresponde a um aumento de aproximadamente 293%.

A classe corpo hídrico alterado aumentou de 17,26 ha em 2016 para 20,51 ha em 2023, o que representa um acréscimo de 3,25 há (+ 18,8%). Já a classe corpo hídrico, ausente no mapeamento de 2016, passou a ocupar 9,77 ha em 2023, indicando o surgimento ou a melhor individualização de corpos hídricos superficiais no período mais recente.

De forma integrada, observa-se que, em 2023, as áreas diretamente degradadas nas concessões de mineração industrial — representadas pelas classes solo exposto e corpo hídrico alterado — totalizam 171,22 ha, correspondendo a aproximadamente 8,9% da área total. Em relação a 2016, quando essas classes somavam 149,99 ha, houve um incremento de 21,23 ha, equivalente a um crescimento de cerca de 14,1% da área degradada no interior das concessões industriais.

A análise comparativa entre as áreas sob responsabilidade da ORO Amapá (Tabela 4) e da EMPA (Tabela 6) evidencia diferenças importantes na dinâmica da degradação ambiental entre 2016 e 2023. A ORO Amapá apresentou redução da cobertura vegetal de 753,76 ha para

727,78 ha, correspondendo a uma perda de 25,98 ha (-3,4%), enquanto a EMPA registrou uma redução mais expressiva, de 956,83 ha para 906,81 ha, totalizando 50,02 ha de perda (-5,2%).

Tabela 5. Classificação do uso e ocupação da terra na área sob responsabilidade da ORO Amapá em 2016 e 2023.

| CLASSES | Área 2016 (ha) | Área 2016 (%) | Área 2023 (ha) | Área 2023 (%) | Varição (ha) | Varição (%) |
|------------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|--------------|-------------|
| Vegetação | 753,76 | 81,32 | 727,78 | 78,45 | -25,98 | -3,4 |
| Solo exposto | 106,31 | 11,47 | 90,96 | 9,8 | -15,35 | -14,4 |
| Vegetação secundária | 48,68 | 5,25 | 54,57 | 5,88 | 5,89 | 12,1 |
| Corpo hídrico alterado | 10,04 | 1,08 | 13,88 | 1,5 | 3,84 | 38,2 |
| Corpo hídrico | 0 | 0 | 7,78 | 0,84 | 7,78 | — |
| Área urbana | 8,13 | 0,88 | 31,94 | 3,44 | 23,81 | 292,9 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026. Nota: Área de concessão de 927 ha.

Em termos de áreas degradadas, a ORO apresentou redução do solo exposto (de 106,31 ha para 90,96 ha; -14,4%), ao passo que a EMPA apresentou aumento significativo dessa classe, que passou de 26,42 ha para 59,75 ha, representando um crescimento de 126,1%. Esses resultados indicam que, embora ambas as concessões apresentem perda de cobertura vegetal, a EMPA concentra atualmente os maiores incrementos relativos de degradação ativa, enquanto a área da ORO apresenta tendência de estabilização ou redistribuição espacial das classes degradadas no período recente.

Tabela 6 – Classificação do uso e ocupação da terra na área sob responsabilidade da EMPA em 2016 e 2023.

| CLASSES | Área 2016 (ha) | Área 2016 (%) | Área 2023 (ha) | Área 2023 (%) | Varição (ha) | Varição (%) |
|------------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|--------------|-------------|
| Vegetação | 956,83 | 95,77 | 906,81 | 90,77 | -50,02 | -5,2 |
| Solo exposto | 26,42 | 2,64 | 59,75 | 5,98 | 33,33 | 126,1 |
| Vegetação secundária | 8,26 | 0,83 | 23,55 | 2,36 | 15,29 | 185,1 |
| Corpo hídrico alterado | 7,22 | 0,72 | 6,63 | 0,66 | -0,59 | -8,2 |
| Corpo hídrico | 0 | 0 | 1,99 | 0,2 | 1,99 | — |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026. Nota: Área de concessão de 999 ha.

4.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL POR GARIMPOS CLANDESTINOS

O Mapa 3 apresenta a classificação do uso e ocupação da terra nas áreas de garimpo clandestino do distrito do Lourenço, considerando exclusivamente as áreas sem concessão

mineral registrada junto à Agência Nacional de Mineração (ANM). A quantificação das classes para os anos de 2016 e 2023 encontra-se sistematizada na Tabela 7, com valores absolutos (hectares) e percentuais em relação à área total analisada, correspondente a 68.899,24 ha.

A classe solo exposto apresentou o maior incremento absoluto no período analisado, passando de 532,22 ha (0,77%) em 2016 para 1.452,01 ha (2,11%) em 2023, o que representa um acréscimo de 919,79 ha, equivalente a um crescimento percentual de 172,8%.

A classe corpo hídrico alterado aumentou de 277,65 ha (0,40%) para 372,04 ha (0,54%), totalizando um acréscimo de 94,39 ha, correspondente a uma variação percentual de 34,0% no período. A classe corpo hídrico, não identificada no mapeamento de 2016, passou a ocupar 41,98 ha (0,06%) em 2023.

Tabela 7. Classificação de uso da terra nas áreas sem concessão mineral no Distrito do Lourenço.

| CLASSES | Área ilegal (2016) | Área 2016 (%) | Área Ilegal (2023) | Área 2023 (%) |
|------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| Corpo Hídrico | 0,00 | 0,00 | 41,980 | 0,06 |
| Corpo Hídrico alterado | 277,65 | 0,40 | 372,04 | 0,54 |
| solo exposto | 532,22 | 0,77 | 1452,01 | 2,11 |
| vegetação Secundária | 315,72 | 0,46 | 935,12 | 1,36 |
| vegetação | 67773,63 | 98,37 | 66098,07 | 95,93 |
| Total da área | 68899,24 | 100,00 | 68899,24 | 100,00 |

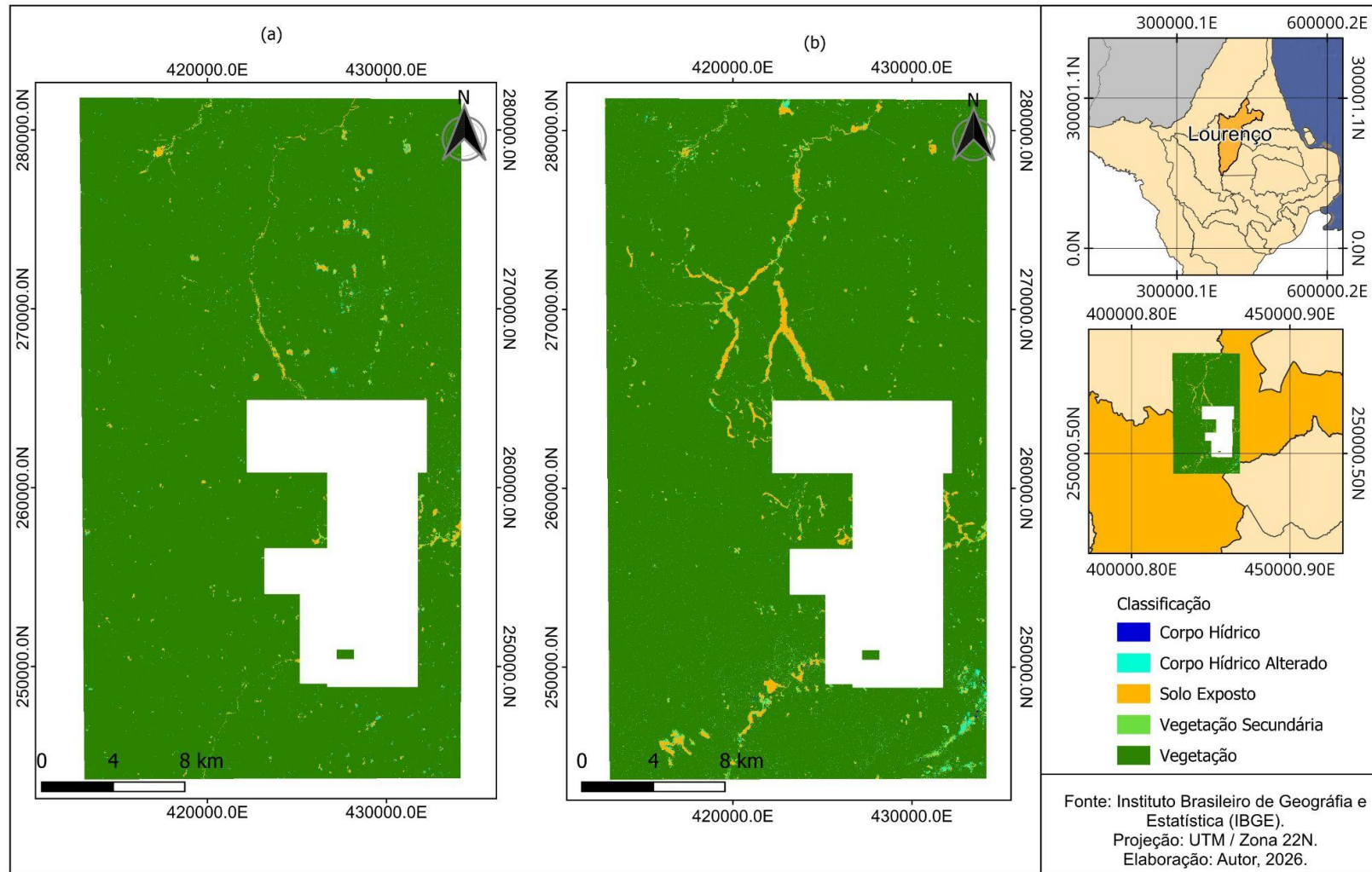
Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

É importante ressaltar que, as classes de pasto e área urbanizada não foram quantificadas pois ocorrem exclusivamente dentro das áreas de concessão mineral. A classe vegetação secundária apresentou aumento expressivo, passando de 315,72 ha (0,46%) em 2016 para 935,12 ha (1,36%) em 2023, o que corresponde a um acréscimo de 619,40 ha, equivalente a uma variação de 196,2%.

Em contrapartida, a classe vegetação apresentou redução significativa de área, passando de 67.773,63 ha (98,37%) para 66.098,07 ha (95,93%), o que representa uma supressão de 1.675,56 ha de cobertura vegetal no período analisado.

As classes pasto e área urbana não foram identificadas nas áreas de garimpo clandestino em nenhum dos anos analisados. De forma sintética, em 2023, as classes diretamente associadas à degradação ambiental nas áreas ilegais — solo exposto e corpo hídrico alterado — totalizaram 1.824,05 ha, correspondendo a 2,65% da área total analisada. Em 2016, essas mesmas classes somavam 809,87 ha.

Mapa 3. Classificação de uso da terra de áreas de garimpeagem ilegal para os anos de 2016 (a) e 2023 (b).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

4.3.1 Degradação ambiental total no distrito do Lourenço (2016–2023)

De acordo com a Tabela 8 e considerando o conjunto das modalidades de exploração mineral analisadas no distrito do Lourenço: garimpo legalizado (COOGAL), mineração industrial (ORO Amapá e EMPA) e garimpo ilegal — a área total diretamente degradada (classes *solo exposto* e *corpo hídrico alterado*), passou de 1.698 ha em 2016 para 3.375 ha em 2023. Um incremento estimado em 1.677 ha ao longo de sete anos, o que se traduz em uma taxa anual de 239,35 ha/ano, que foi incorporada ao passivo ambiental do distrito.

Quando ponderado pela área total analisada de 80.465,22 ha, o avanço da degradação corresponde a uma taxa relativa média anual de aproximadamente 0,3% ao ano. Embora esse percentual seja numericamente reduzido, sua implicação espacial é relevante: mantido esse ritmo, em uma década cerca de 3% do território do distrito poderá ser incorporado às áreas degradadas associadas à atividade minerária.

Tabela 8 - Síntese da degradação ambiental (solo exposto + corpo hídrico alterado), taxas absolutas e relativas por modalidade de exploração mineral no distrito do Lourenço (2016–2023).

| Modalidade / recorte | Área total (ha) | Degradado 2016 (ha) | Degradado 2023 (ha) | Varição (ha) | Taxa anual (ha/ano) | Degrad. 2016 (%) | Degrad. 2023 (%) | Taxa relativa (%/ano) |
|--|------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| Legalizadas | 11.565,98 | 888,21 | 1.551,11 | 662,90 | 94,70 | 7,68% | 13,41 | 0,82% |
| COOGAL | 9.619,01 | 736,47 | 1.376,48 | 640,01 | 91,43 | 7,66% | 14,31 | 0,95% |
| ↳ Processo 803611/1978 | 992,231 | 64,879 | 179,348 | 114,469 | 16,353 | 6,54% | 18,08% | 1,65% |
| ↳ Processo 803612/1978 | 943,741 | 269,283 | 338,096 | 68,813 | 9,830 | 28,53% | 35,83% | 1,04% |
| ↳ Proc. 858075/2001 (Guia Utilização) | 7.683,073 | 402,322 | 859,050 | 456,728 | 65,247 | 5,24% | 11,18% | 0,85% |
| Mineração industrial (ORO+EMPA) | 1.926,00 | 149,99 | 171,22 | 21,23 | 3,03 | 7,79 | 8,89 | 0,16 |
| ORO Amapá | 927,00 | 116,35 | 104,84 | -11,51 | -1,64 | 12,55% | 11,31 | -0,18% |
| EMPA | 999,00 | 33,64 | 66,38 | 32,74 | 4,68 | 3,37% | 6,64 | 0,47% |
| Ilegal (clandestino) | 68.899,24 | 809,87 | 1.824,05 | 1.014,18 | 144,88 | 1,18 | 2,65 | 0,21% |
| Total (legal + ilegal) | 80.465,22 | 1.698,08 | 3.375,16 | 1.677,08 | 239,58 | 2,11 | 4,19 | 0,30 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

4.3.2 Comparativo Mineração Legal x Ilegal

A análise comparativa dos indicadores de degradação ambiental evidencia contrastes relevantes entre as áreas de mineração legalizadas e aquelas submetidas ao garimpo ilegal no distrito do Lourenço. Embora a mineração legal apresente valores absolutos expressivos de áreas degradadas, o garimpo ilegal se destaca pela maior velocidade de expansão da degradação ambiental em termos absolutos.

Entre 2016 e 2023, as áreas legalizadas registraram um incremento de 662,90 ha de áreas degradadas, correspondendo a uma taxa média anual de 94,70 ha/ano e a uma taxa relativa de 0,82% ao ano, considerando a área total das concessões (11.565,98 ha). Em contraste, o garimpo ilegal apresentou um acréscimo de 1.014,18 ha no mesmo período, resultando em uma taxa média anual bem superior de 144,88 ha/ano, indicando que o avanço da degradação ambiental é mais intenso nas áreas clandestinas.

Quando os valores são ponderados pela extensão territorial de cada modalidade, observa-se que a taxa relativa de degradação anual nas áreas ilegais (0,21% ao ano) é inferior à registrada nas áreas legalizadas (0,82% ao ano). Essa diferença, contudo, não indica menor gravidade ambiental do garimpo ilegal, mas reflete a maior dimensão territorial das áreas clandestinas (68.899,24 ha), que dilui percentualmente o avanço da degradação, ou seja, o garimpo ilegal responde pelo maior incremento absoluto de áreas degradadas no distrito.

Em 2023, as áreas degradadas nas zonas legalizadas totalizavam 1.551,11 ha, representando 13,41% das áreas sob concessão, enquanto nas áreas ilegais esse valor alcançou 1.824,05 ha, correspondendo a 2,65% de sua extensão total.

Em comparação com os resultados apresentados por Oliveira (2010), que estimou em 2009 cerca de 473,73 ha de áreas degradadas associadas à mineração legalizada e ao entorno imediato do distrito do Lourenço, observa-se que a degradação ambiental mais que triplicou ao longo dos últimos 15 anos, atingindo aproximadamente 1.511 ha nas áreas legalizadas analisadas neste estudo. Esse avanço evidencia que, mesmo sob regimes formais de exploração, a dinâmica recente da mineração tem ampliado de forma consistente os passivos ambientais, independentemente da expansão mais recente do garimpo ilegal.

4.3.3 Comparativo nas áreas legalizadas: Mineradoras X COOGAL

Nas áreas da COOGAL, a degradação ambiental estimada em 2016 foi de 736,47 há, passando para 1.376,48 ha em 2023, um crescimento de + 640,01 ha, o qual corresponde a uma taxa média anual de 91,43 ha/ano e a uma taxa relativa de degradação de aproximadamente 0,95% ao ano, considerando a área total da concessão (9.619,01 ha).

Em contraste, nas áreas de mineração industrial, a degradação apresentou crescimento substancialmente mais reduzido. A soma das classes degradadas passou de 149,99 ha em 2016 para 171,22 ha em 2023, correspondendo a um incremento absoluto de 21,23 ha no período. Esse valor equivale a uma taxa média anual de apenas 3,03 ha/ano, cerca de 30 vezes inferior à observada nas áreas da COOGAL. Quando ponderado pela área total das concessões industriais (1.926 ha), o avanço da degradação corresponde a uma taxa relativa média de 0,16% ao ano, significativamente inferior à registrada no garimpo legalizado.

Do ponto de vista espacial, em 2023 as áreas degradadas na mineração industrial correspondiam a 8,89% da área total das concessões, enquanto no garimpo legalizado da COOGAL esse percentual alcançava 14,31%, reforçando a maior intensidade de degradação associada ao modelo de exploração garimpeira, mesmo quando formalmente regularizado.

4.3.4 Comparação dos indicadores de degradação ambiental nas áreas da COOGAL

Concessões de lavra × Autorização de pesquisa com guia de utilização

De acordo com a Tabela 7, é possível verificar que os dois processos de concessão de lavra de 1978, embora apresentem percentuais elevados de degradação em relação às suas áreas totais, demonstram um crescimento mais moderado em termos absolutos e taxas anuais.

O Processo nº 803611/1978 passou de 64,88 ha degradados em 2016 para 179,35 ha em 2023, com incremento de 114,47 ha, correspondendo a uma taxa média anual de 16,35 ha/ano e a uma taxa relativa de 1,65% ao ano, a mais elevada entre os processos da COOGAL. Já o Processo nº 803612/1978 apresentou crescimento mais contido, com aumento de 68,81 ha no período, taxa anual de 9,83 ha/ano e taxa relativa de 1,04% ao ano, mantendo, contudo, os maiores percentuais absolutos de degradação, que atingiram 35,83% da área total em 2023.

Em contraste, o Processo nº 858075/2001, sob regime de autorização de pesquisa com guia de utilização (autorização de lavra precária), destaca-se pela maior magnitude absoluta e pela maior contribuição ao avanço recente da degradação ambiental na área da COOGAL. A degradação passou de 402,32 ha em 2016 para 859,05 ha em 2023, resultando em um

incremento de 456,73 ha ao longo de sete anos, ou 65,25 ha/ano, . Taxa bem superior às demais, embora a taxa relativa anual (0,85%/ano) seja inferior em razão da grande extensão territorial da área (7.683 ha). Assim, verifica-se que, os processos de lavra mais antigos concentram os maiores níveis proporcionais de degradação, enquanto o processo mais recente, sob autorização precária, lidera a expansão absoluta e a velocidade de avanço das áreas degradadas.

Em 2014, Brito (2021) estimou cerca de 311 ha de áreas degradadas nas duas concessões mais antigas da cooperativa. Em 2016, esse valor já havia aumentado para 334,16 ha, representando um acréscimo de 23,16 ha (7,4%) em aproximadamente dois anos. Em 2023, a área degradada nessas mesmas concessões atingiu 517,44 ha, configurando um aumento adicional de 183,28 ha em relação a 2016 (54,9%). No intervalo total de 2014 a 2023, a degradação cresceu 206,44 ha, o que corresponde a um incremento acumulado de 66,4%, com taxa média anual próxima de 23 ha/ano. Esses resultados demonstram uma clara aceleração do processo de degradação ambiental ao longo da última década, mesmo em áreas formalmente regularizadas.

4.3.5 Comparativo entre as empresas Oro Amapá e Empa

A ORO Amapá apresentou redução absoluta das áreas degradadas passando de 116,35 ha em 2016 para 104,84 ha em 2023, uma variação negativa de -11,51 há (2016 -2023) ou - 1,64 ha/ano e em uma taxa relativa de -0,18% ao ano, indicando um processo de estabilização das áreas impactadas dentro da concessão. Em termos proporcionais, a degradação na área da ORO reduziu-se de 12,55% para 11,31% da área total (927 ha).

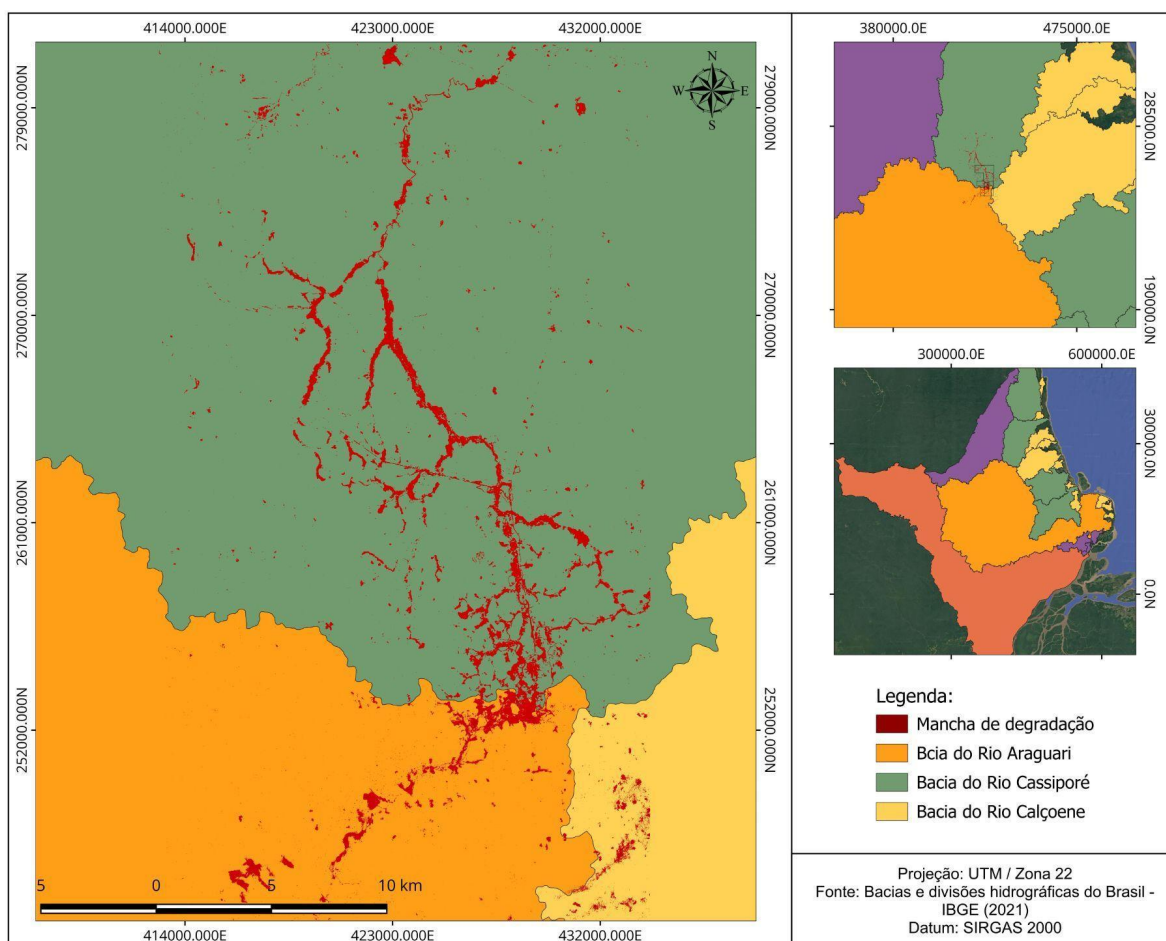
Em contraste, a EMPA apresentou um crescimento expressivo da degradação ambiental, com as áreas degradadas passando de 33,64 ha em 2016 para 66,38 ha em 2023, correspondendo a um incremento absoluto de 32,74 ha. Esse aumento equivale a uma taxa média anual de 4,68 ha/ano e a uma taxa relativa de degradação de 0,47% ao ano, considerando a área total da concessão (999 ha). Proporcionalmente, a degradação na EMPA quase dobrou, passando de 3,37% para 6,64% da área concedida.

A ORO Amapá possui as maiores áreas degradadas, mas a EMPA apresenta os maiores aumentos relativos e aceleração recente da degradação ambiental. Enquanto a ORO tende à estabilização, a EMPA intensifica e amplia rapidamente suas áreas de impacto.

4.3.6 Degradação nas Bacias Hidrográficas e Unidades de Conservação.

O Mapa 4 evidencia a relação espacial entre as áreas degradadas e as bacias hidrográficas da região, mostrando que a maior concentração de áreas degradadas (solo exposto e corpo hídrico alterado) encontram-se inserida na bacia do rio Cassiporé, onde foram quantificados aproximadamente 2.421,92 ha dessa classe em 2023, seguida pela bacia do Rio Araguari com 763,96 hectares de área degradada, e por fim a Bacia do Rio Calçoene com 189,12 ha degradados. Essa configuração torna as bacia particularmente suscetível aos processos erosivos e ao carreamento de sedimentos para a rede de drenagem, com potencial de impactar não apenas os cursos d'água locais, mas também áreas a jusante, reforçando o caráter sistêmico dos impactos ambientais associados à atividade garimpeira no distrito do Lourenço.

Mapa 4: Mancha de degradação nas Bacias Hidrográficas no garimpo do Lourenço em 2023.

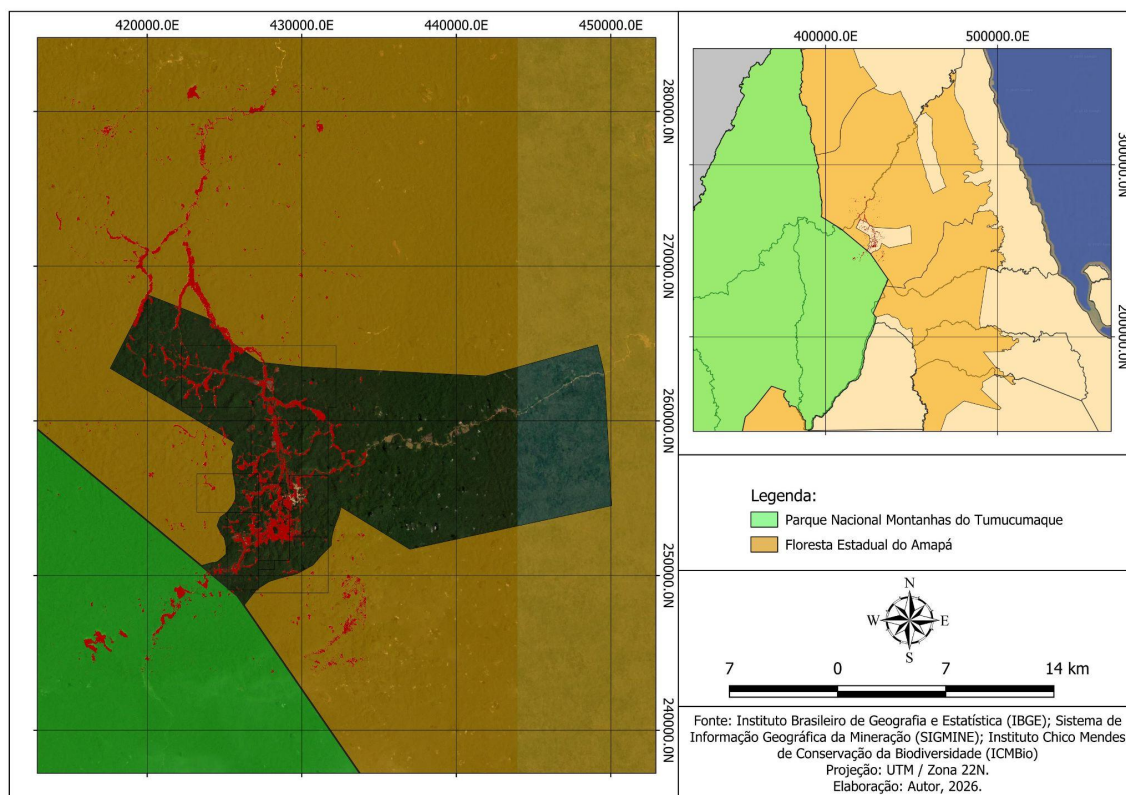


Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Nas unidades de conservação também tem-se a presença dessa mancha de degradação na forma de garimpo ilegal, impactando diretamente duas unidades de

conservação presentes no estado do Amapá, sendo o Parque Montanhas do Tumucumaque e a Floresta Estadual do Amapá, como mostra o mapa 5.

Mapa 5: Mancha de degradação nas Unidades de Conservação no garimpo do Lourenço em 2023.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

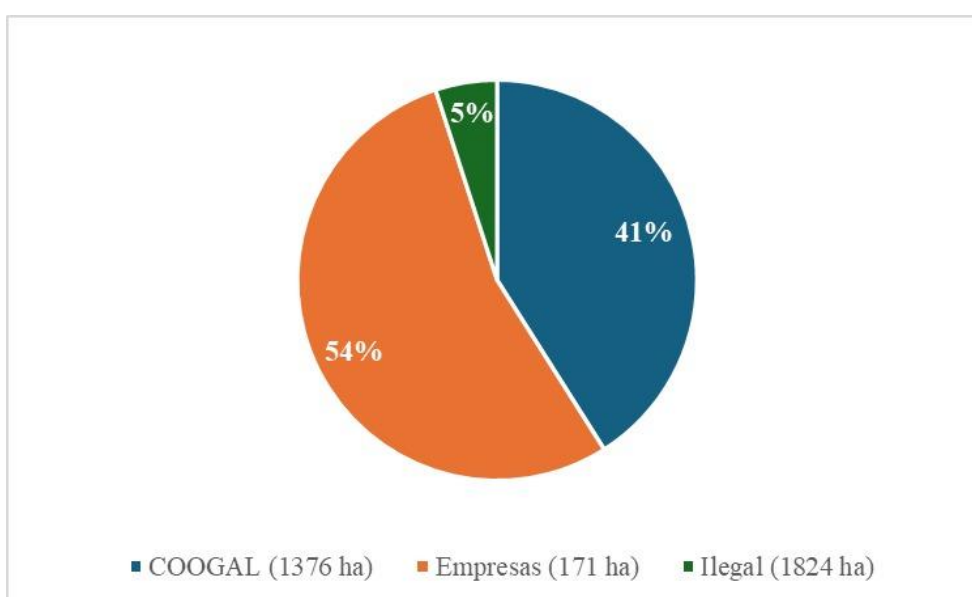
Na Floresta Estadual do Amapá, foi quantificado aproximadamente 1.211,63 hectares de áreas degradadas, caracterizadas principalmente por solo exposto e alterações em corpos hídricos. Em comparação, no Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque, a extensão de áreas degradadas é significativamente inferior, totalizando cerca de 318,84 hectares. Com isso, surge a relevância e a gravidade dos processos de degradação ambiental observados no interior das unidades de conservação impactadas pelas atividades ilegais no distrito do Lourenço, evidenciando a necessidade de monitoramento contínuo e de estratégias eficazes de recuperação ambiental.

4.3.7 Comparação da participação na degradação das diferentes modalidades de mineração no distrito do Lourenço.

Com base nos dados apresentados no gráfico 1 evidencia-se que o garimpo ilegal é o principal responsável de degradação ambiental no distrito do Lourenço, concentrando aproximadamente 1.824,05 ha de áreas degradadas em 2023, o que corresponde a cerca de

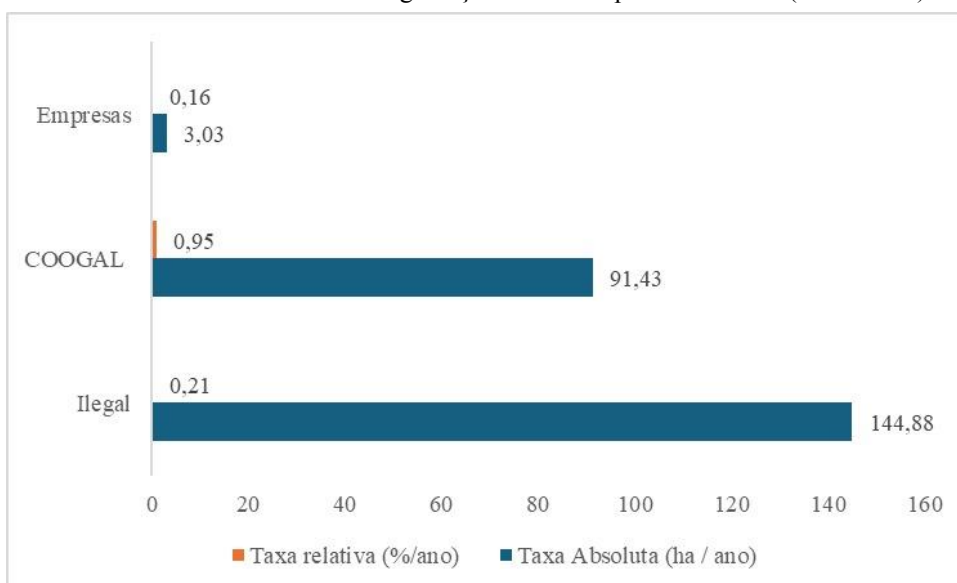
54% do total regional. Em contraste, o garimpo legalizado da COOGAL, embora responda por parcela menor do passivo total (1.376,48 ha; $\approx 41\%$), apresenta as maiores taxas relativas de avanço da degradação, com incremento médio de aproximadamente 0,95% ao ano em relação à área concedida (Gráfico 2). Por outro lado, a mineração industrial (ORO Amapá e EMPA) apresenta os menores valores absolutos e relativos, totalizando cerca de 171,22 ha degradados em 2023 ($\approx 5\%$ do total) e uma taxa relativa anual de aproximadamente 0,16%, indicando um padrão de impacto ambiental significativamente menos intenso e mais estável no período analisado.

Gráfico 1. Participação percentual na degradação ambiental total – Distrito do Lourenço (2023).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Gráfico 2. Taxas médias anuais de degradação ambiental por modalidade (2016–2023).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Esses resultados indicam que a degradação ambiental no distrito do Lourenço configura-se como um processo contínuo, cumulativo e territorialmente relevante, reforçando a necessidade de análises diferenciadas por modalidade de exploração mineral, bem como de estratégias específicas de monitoramento, controle e mitigação dos impactos ambientais. Ademais, diante dos resultados expressivos de degradação ambiental identificados neste estudo, especialmente o aumento das áreas de solo exposto, a supressão da cobertura vegetal e a expansão de corpos hídricos alterados, torna-se fundamental ressaltar as implicações desses processos sobre a dinâmica hidrológica regional. Tal preocupação é ampliada pelo fato de o distrito do Lourenço estar inserido em uma área de divisor de águas, o que potencializa a propagação dos impactos ambientais para diferentes sistemas hidrográficos.

Conforme destacado por Fearnside (2022), a supressão da vegetação está diretamente associada ao aumento da erosão e da compactação do solo, à intensificação do escoamento superficial e às alterações nos regimes hidrológicos, comprometendo o funcionamento ambiental das bacias hidrográficas. Nesse contexto, os resultados obtidos neste trabalho indicam que os efeitos da degradação associada ao garimpo no Lourenço extrapolam as áreas diretamente mineradas.

4.4 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO

A validação da classificação foi realizada por meio do plugin AcATaMA, a partir da geração das matrizes de confusão para os anos de 2016 e 2023 (Tabelas 4 e 5). A classificação de 2016 apresentou acurácia global de 98%, com valores de acurácia do produtor variando entre 98% e 100%. A acurácia do usuário apresentou valores entre 72% e 100%, sendo a classe *corpo hídrico alterado* a que apresentou o menor desempenho.

Tabela 9. Matriz de confusão da classificação de 2016.

| | Validação | | | | | | Total | Acurácia do Usuário | Total class area (ha) | Wi |
|---------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|--------------|----------|--------------------|-------|---------------------|-----------------------|---------|
| | 2- Corpo Hídrico Alterado | 3- Solo Exposto | 4- Vegetação Secundária | 5- Vegetação | 6- Pasto | 7- Área Urbanizada | | | | |
| 2- Corpo Hídrico Alterado | 36 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 50 | 0,72 | 405,770 | 0,00504 |
| 3- Solo Exposto | 0 | 40 | 0 | 9 | 1 | 0 | 50 | 0,80 | 1.292,310 | 0,01606 |
| 4- Vegetação Secundária | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 50 | 1,00 | 731,280 | 0,00969 |
| 5- Vegetação | 0 | 0 | 0 | 1550 | 0 | 0 | 1550 | 1,0 | 77.961,645 | 0,96889 |
| 6- Pasto | 0 | 0 | 0 | 1 | 49 | 0 | 50 | 0,98 | 53,923 | 0,00069 |
| 7- Área Urbanizada | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 50 | 50 | 1 | 20,270 | 0,00025 |
| total | 36 | 40 | 50 | 1574 | 50 | 50 | 1800 | - | 80.465,198 | |
| Acurácia do Produtor | 1,0 | 1,000 | 1,000 | 0,985 | 0,980 | 1,000 | - | 0,986 | | |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Para o ano de 2023, a classificação também apresentou acurácia global de 98%, com acurácia do produtor variando entre 92% e 100% e acurácia do usuário entre 80% e 100%, indicando elevada confiabilidade dos resultados. Em ambos os anos, o índice Kappa foi de 0,94, o que representa excelente concordância entre os dados classificados e as amostras de referência.

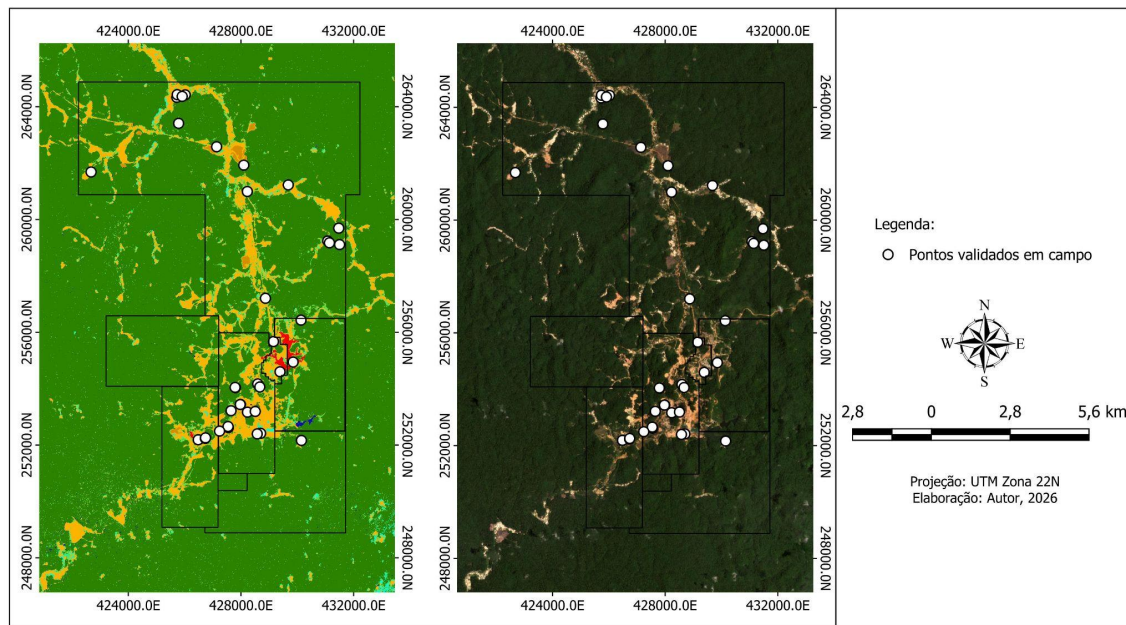
Adicionalmente, a validação em campo realizada a partir de 40 pontos amostrados confirmou a consistência da classificação, uma vez que todos os pontos foram corretamente identificados, reforçando a robustez da metodologia empregada e a confiabilidade dos mapas gerados.

Tabela 10. Matriz de confusão da classificação de 2023.

| | Validação | | | | | | | Total | Acurácia do Usuário | Total class area (ha) | Wi |
|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|--------------|----------|--------------------|-------|---------------------|-----------------------|---------|
| | 1- Corpo Hídrico | 2- Corpo Hídrico Alterado | 3- Solo Exposto | 4- Vegetação Secundária | 5- Vegetação | 6- Pasto | 7- Área Urbanizada | | | | |
| 1- Corpo Hídrico | 40 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 50 | 0,8 | 63,980 | 0,00080 |
| 2- Corpo Hídrico Alterado | 0 | 40 | 0 | 2 | 8 | 0 | 0 | 50 | 0,8 | 522,780 | 0,00650 |
| 3- Solo Exposto | 0 | 0 | 54 | 0 | 3 | 0 | 0 | 57 | 0,940 | 2.852,380 | 0,03542 |
| 4- Vegetação Secundária | 0 | 0 | 0 | 48 | 2 | 0 | 0 | 50 | 0,960 | 1.451,770 | 0,01804 |
| 5- Vegetação | 0 | 0 | 0 | 2 | 1499 | 0 | 0 | 1501 | 0,999 | 75.465,670 | 0,93787 |
| 6- Pasto | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 0 | 50 | 1,0 | 54,149 | 0,00070 |
| 7- Área Urbanizada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 50 | 1,0 | 54,469 | 0,00068 |
| total | 40 | 40 | 54 | 52 | 1522 | 50 | 50 | 1808 | - | 80.465,198 | |
| Acurácia do Produtor | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,923 | 0,985 | 1,000 | 1 | - | 0,985 | | |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Mapa 6. Pontos amostrados em campo para a validação da classificação.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que a degradação ambiental na região apresentou crescimento expressivo ao longo do período analisado, confirmando a hipótese inicialmente formulada.

De forma geral, verificou-se aumento significativo das classes diretamente associadas à degradação ambiental (especialmente solo exposto e corpo hídrico alterado) acompanhado por redução consistente da cobertura vegetal. Em 2023, as áreas diretamente degradadas totalizavam aproximadamente 3.375 ha, correspondendo a um incremento médio de cerca de 239 ha por ano no período analisado, evidenciando a intensificação dos impactos ambientais decorrentes da atividade minerária no distrito do Lourenço.

No âmbito das áreas legalizadas, os resultados indicaram diferenças marcantes entre o garimpo cooperativado da COOGAL e a mineração industrial. As áreas sob responsabilidade da COOGAL apresentaram as maiores taxas relativas de degradação, com incremento médio de aproximadamente 0,95% ao ano em relação à área concedida, valor significativamente superior ao observado nas concessões industriais ($\approx 0,16\%$ ao ano). Em 2023, a COOGAL concentrava cerca de 1.376 ha de áreas degradadas, evidenciando que a formalização da atividade garimpeira, por si só, não elimina os impactos ambientais associados à dinâmica de expansão das frentes de lavra.

A análise das áreas de mineração industrial revelou comportamentos distintos entre as empresas atuantes na região. Enquanto a ORO Amapá apresentou tendência de estabilização ou redução relativa das áreas degradadas, a EMPA concentrou os maiores incrementos relativos de degradação ativa, indicando padrões diferenciados de uso e manejo do território mineral.

De forma semelhante, a avaliação dos diferentes processos minerários da COOGAL demonstrou que o processo mais recente, autorizado por meio de guia de utilização, concentrou a maior magnitude absoluta e a maior velocidade de expansão da degradação ambiental, enquanto os processos mais antigos mantiveram os maiores percentuais proporcionais de degradação.

A perda de cobertura vegetal configurou-se como um dos principais efeitos da degradação ambiental, com taxas anuais mais elevadas nas áreas ilegais quando comparadas às áreas legalizadas. Embora tenha sido observado aumento da classe vegetação secundária em ambos os contextos, esse comportamento não pode ser interpretado como recuperação

ambiental efetiva, mas sim como regeneração natural incipiente em áreas previamente degradadas, frequentemente sujeitas à reincidência das atividades minerárias.

As alterações identificadas nas classes “corpo hídrico” e “corpo hídrico alterado” indicam mudanças relevantes na dinâmica hidrológica da região, associadas ao aumento dos processos erosivos e ao transporte de sedimentos decorrentes da retirada da cobertura vegetal e da intensificação do solo exposto, tornando-se particularmente críticas por se tratar de uma região de divisor de águas.

O crescimento da classe “área urbanizada” indica expressiva expansão do núcleo urbano do distrito do Lourenço, associada ao aumento da atividade garimpeira. A ausência ou insuficiência de planejamento territorial e de infraestrutura pública potencializa a pressão sobre os recursos naturais, amplia a geração de passivos socioambientais e favorece a ocupação de áreas ambientalmente sensíveis, reforçando a complexidade dos impactos associados à dinâmica minerária no distrito.

Do ponto de vista metodológico, conclui-se que o uso integrado de sensoriamento remoto e geotecnologias mostrou-se eficiente para o monitoramento e a quantificação da degradação ambiental em áreas de mineração, permitindo inclusive a construção de indicadores absolutos e relativos de degradação ambiental, úteis à comparação entre modalidades de exploração. A confiabilidade dos resultados foi comprovada pelos elevados índices de acurácia global, pelo índice Kappa, pela validação em campo e pela análise por meio do plugin AcATaMA, atestando a robustez e a aplicabilidade da abordagem empregada.

Por fim, considerando a complexidade socioambiental da região, conclui-se que, apesar da existência de áreas destinadas ao garimpo legal e à mineração industrial, persiste fragilidade nos processos de fiscalização e controle ambiental por parte dos órgãos competentes.

A expansão do garimpo ilegal, configura-se como o principal vetor de intensificação da degradação ambiental no distrito do Lourenço (taxa de 144,88ha/ano), tendo um processo de degradação mais acelerado do que nas áreas legalizadas (taxa de 94,70ha/ano quando somados garimpo legalizado e mineração industrial), reforçando a necessidade de fortalecimento das ações de monitoramento contínuo, fiscalização ambiental e planejamento territorial, bem como da implementação de estratégias efetivas de recuperação das áreas degradadas, visando à mitigação dos passivos ambientais e à promoção de uma exploração mineral ambientalmente mais responsável na região.

REFERÊNCIAS

ANM (Agência Nacional de Mineração). SIGMINE (Sistema de Informações Geográficas da Mineração). Disponível em:

<https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>. Acesso em: 16 out. 2025.

ARAÚJO, E. R.; FERNANDES, F.R.C. Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais. In: Conflitos ambientais na indústria mineira e metalúrgica. Rio de Janeiro: **CETEM/CICP**, 2016, p.65-88. Disponível em:

<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1909>. Acesso em: 27 out. 2025.

ARAÚJO, E. R.; OLIVIERI, R. D.; FERNANDES, F. R. C. Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente. In: Recursos minerais e sociedade: impactos humanos - socioambientais - econômicos. Rio de Janeiro:

CETEM/MCTI, 2014.

BASTA, P. C. Garimpo de ouro na Amazônia: A origem da crise sanitária Yanomami.

Cadernos de Saúde Pública. v. 39, n. 12, p. 1-6, dez. 2023.

BRASIL. Código de Mineração (**Decreto Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967**).

Brasília: Senado Federal, 1967.

BRASIL. **Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989**. Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, DF: Presidência da República, 1989. Disponível em:

<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1989/decreto-97632-10-abril-1989-448270-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 02 jan. 2026.

BRASIL. **Decreto nº 9.405, de 12 de junho de 2018**. Diário Oficial da União, Brasília, 2018.

BRITO, E. de J. **Avaliação preliminar da degradação ambiental por sensoriamento remoto das áreas de concessão mineral para extração de ouro no distrito garimpeiro de Lourenço/AP**. Macapá, 2021. 61 f. Trabalho de conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Ambientais) - Curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2021.

CARRARA, A. A.; ZAIDAN, R. T.; DE PAULA, L. P. Geoprocessamento aplicado à história agrária: vínculo da Jaguará. **Revista de História**, São Paulo, n. 177, 2018. Disponível em:

https://revistas.usp.br/revhistoria/pt_BR/article/view/134995/140203. Acesso em: 22 mar. 2026.

CHAGAS, M. A. A geopolítica do garimpo do Lourenço, norte do Amapá: trajetória, contradições e insustentabilidade. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 39, p. 1–18, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/55253>. Acesso em: 02 dez. 2025.

CONGALTON, R. G.; GREN, K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. 2ª ed. Boca Raton. **CRC Press**, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781420055139>. Acesso em: 20 out. 2025.

CPRM - **Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Geologia e recursos minerais da folha Lourenço NA.22-V-D: estado do Amapá**. Relatório técnico, 1ª ed. Belém, 2018. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/20409>. Acesso em: 30 nov. 2025.

CPRM. **Geodiversidade do estado do Amapá**. Belém: CPRM, 2016.

FEARNSIDE, P.M. 2022. Política de conservação na Amazônia brasileira: Entendendo os dilemas. p. 213-237. In: Fearnside, P.M. (ed.) **Destruição e Conservação da Floresta Amazônica**. Editora do INPA, Manaus. 356 p.

FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. 1. ed. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2008.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3.ed. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2011.

HERRAIZ, A. D; SILVA, M. de N. S. da.. Diagnóstico socioambiental do extrativismo mineral familiar (garimpo) na calha do Rio Madeira, em Humaitá, Amazonas. Pegada - A **Revista Da Geografia Do Trabalho**. v. 16, n. 2, p. 202-226, abr. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Clima**. Rio de Janeiro, 2002.

Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html>. Acesso em: 25 nov. 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pedologia por Estado**. Rio de Janeiro, 2004a. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15828-pedologia-do-estado-de-ro-rr-to-ac-am-ap-ma-mt-pa-e-rs.html>. Acesso em: 25 nov. 2025

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geomorfologia por Estado**.

Bahia, 2004b. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/16028-geomorfologia-do-estado-de-ro-rr-to-ac-am-ma-mt-e-pa.html>. Acesso em: 25 nov. 2025

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Vegetação por Estado**. Goiás,

2004c. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/22460-vegetacao-por-estado.html>. Acesso em: 25 nov. 2025

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências**. 2019. Disponível

em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 26 nov. 2025

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Monitoramento da cobertura e uso da terra**. 2020. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html>. Acesso em: 26 nov. 2025

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2022: Dados agregados por distritos cor ou raça – Calçoene**. 2024. Dados vetoriais. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?=&t=downloads>. Acesso em: 26 nov. 2025

JACQUES, P. D.; SHINZATO, E. **Estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro: uso e cobertura do solo**. Relatório técnico, Brasília. CPRM, 2000.

LIU, W. T. H. Aplicações de sensoriamento remoto. 2ª ed. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

LLANO, X. C. (2024). **AcATaMa - QGIS plugin for Accuracy Assessment of Thematic Maps**. v. 24.10 , <https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa/>.

MAPBIOMAS, 2023. **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022** - Coleção 8. Disponível em:

<https://brasil.mapbiomas.org/2023/09/22/amazonia-concentra-mais-de-90-do-garimpo-no-brasil/#>. Acesso em: 25 out. 2025.

MAPBIOMAS. **Códigos da Legenda: Uso e Cobertura da Terra**. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/codigos-de-legenda/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

MATHIS, A. Extração versus conservação – garimpagem de ouro e política de conservação no estado do Amapá. **Papers do NAEA**, v. 1, n. 1, p. 1-23, jan. 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.ufpa.br/index.php/pnaea/article/view/11323>. Acesso em: 10 dez. 2025.

NOGUEIRA, S. A. A. **Contribuição ao estudo metalogenético do depósito de ouro de Salamangone, Distrito Aurífero de Lourenço**, Amapá. São Paulo, 2002. 250 f. Tese (doutorado) - Instituto de Geociências, São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, M. J. de. (coord.). **Diagnóstico do setor mineral do Estado do Amapá**. Macapá: Iepa. 2010a. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/diagnostico-do-setor-mineral-do-estado-do-amapa.pdf/view>. Acesso em: 24 out. 2024.

OLIVEIRA, M. J. de. **Mineração e desenvolvimento local: benefícios e desafios aos municípios amapaenses**. Belém, 2010b. 293 f. Tese (doutorado) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

OLOFSSON, P.; FOODY, G. M.; HEROLD, M.; STEHMAN, S. V.; WOODCOCK, C. E.; WULDER, M. A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**, v. 148, p. 42-57, mai. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>. Acesso em: 21 nov. 2025.

PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; PESSI, D. D.; GAMARRA, R. M.; SILVA, N. M.; RIBEIRO, V. O.; CHAVES, J.R. Geotecnologias para aplicações ambientais. Maringá - PR: Ed. **Uniedusul**, 2021.

RABELO, A. M. P. Qualidade ambiental e mineração: percepção de moradores de Carmo da Mata/MG. **Pesquisa em educação ambiental**. v. 12, n. 1, p. 129-145, mar. 2017.

RIBEIRO, L. G. G; IASBIK, T. A. O Garimpo ilegal e sua (in) significância no âmbito do direito penal ambiental. Marília, **Revista Argumentum**, v. 20, n. 1, pp. 165-184, Jan. abr. 2019. Disponível em: <https://ojs.unimar.br/index.php/revistaargumentum/article/view/596>. Acesso em: 02 jan. 2025.

ROSA, R. (2005). Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista Do Departamento De Geografia**, v. 16, n. 81-90. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 06 nov. 2025.

SARMENTO, A. M.; SOUSA, L. D. A. Atividade mineradora de água-marinha em Tenente Ananias/RN. **Sociedade e Território**, v. 21, n. 1–2 (Edição Especial), p. 15 -30, mar. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/3473>. Acesso em: 24 out. 2025.

SCHMITT, J.; COSTA, D. P. da.; VIEIRA, U. O. Monitoramento da mineração ilegal em áreas protegidas na Amazônia. **OLAM: Ciência & Tecnologia**, Rio Claro, v. 8, n. 2, p. 197-217, ago. 2008. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/olam/article/view/1241>. Acesso em: 24 out. 2024.

SILVA, E. de F. G. da. **Análise da implementação dos planos de recuperação de áreas degradadas pela mineração em Lourenço (AP)**. Belém, 2005. 175 f. Dissertação (Mestre em planejamento do desenvolvimento) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

SILVA, J. X. Geoprocessamento no apoio à decisão. **Revista Continentes**, Rio de Janeiro, n. 9, 2016. Disponível em: <http://observatoriodageografia.uepg.br/files/original/da499c290c15f8679efbcb2a0757a154144b4458.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2026.

SILVA, J. G. M. da; QUINTANILLA, J. A.; GROHMANN, C. H.; COSTA, D. R. da; COSTA, J. D. M. da; SILVA, J. M. S. da. Distribuição da Biomassa vegetal e sequestro de carbono na sub-bacia do Rio Pirajibu no município de Sorocaba/SP. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1647–1656, jun. 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/256662>. Acesso em: 22 nov. 2025.

STEHMAN, S. V.; CZAPLEWSKI, R. L. Design and Analysis for Thematic Map Accuracy Assessment: Fundamental Principles. **Remote Sensing of Environment**, v. 64, n. 3, p. 331-344, jun. 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00010-8). Acesso em: 23 nov. 2025.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. Accuracy Assessment: A User's Perspective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, [s.l.]. **Remote Sensing**, v. 52, n. 3, p. 397-399, mar. 1986.

TERRACLASS. Classes - Terraclass Amazônia. 2022. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br/classes?bioma=amazonia>. Acesso em: 21 out. 2025.

VEIGA, M. M.; SILVA, A. R. B.; HINTON, J. J. O garimpo de ouro na amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. In: **Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente**. Cap. 11, p. 277-305. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.