



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO

DÉBORAH CRISTINA TRINDADE MOREIRA MARQUES

SABRINA TORRES CARDOSO

**INTEGRAÇÃO DE DADOS NO AMBIENTE SIG PARA A AVALIAÇÃO DE ÁREAS
MINERADAS EM CANAÃ DOS CARAJÁS, ESTADO DO PARÁ**

ANANINDEUA, PA

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO

DÉBORAH CRISTINA TRINDADE MOREIRA MARQUES
SABRINA TORRES CARDOSO

**INTEGRAÇÃO DE DADOS NO AMBIENTE SIG PARA A AVALIAÇÃO DE ÁREAS
MINERADAS EM CANAÃ DOS CARAJÁS, ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Tecnóloga em Geoprocessamento pela Faculdade de Tecnologia em Geoprocessamento da Universidade Federal do Pará, Campus Ananindeua.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Correia Miranda

ANANINDEUA, PA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M357i Marques, Déborah Cristina Trindade Moreira.
Integração de Dados no Ambiente SIG para a Avaliação de
Áreas Mineradas em Canaã dos Carajás, Estado do Pará / Déborah
Cristina Trindade Moreira Marques, Sabrina Torres Cardoso . —
2025.
24 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Lúcio Correia Miranda
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário de Ananindeua, Curso de
Geoprocessamento, Ananindeua, 2025.

1. Geoprocessamento. 2. Mineração. 3. Monitoramento
ambiental. I. Título.

CDD 016.55

DÉBORAH CRISTINA TRINDADE MOREIRA MARQUES

SABRINA TORRES CARDOSO

**INTEGRAÇÃO DE DADOS NO AMBIENTE SIG PARA A AVALIAÇÃO DE ÁREAS
MINERADAS EM CANAÃ DOS CARAJÁS, ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Curso apresentado para obtenção do grau de Tecnólogo em Geoprocessamento pela Faculdade de Tecnologia em Geoprocessamento da Universidade Federal do Pará, Campus Ananindeua.

Data de aprovação: 27 / 02 / 2025

Conceito: Excelente

Ananindeua – PA

Prof. Dr. Lúcio Correia Miranda
Orientador(a) – Presidente(a) da Banca Avaliadora
UFPA

Prof. Dr. Enilson da Silva Sousa
Primeiro examinador
UFPA

Discentes
Déborah Cristina Trindade Moreira Marques
Sabrina Torres Cardoso

INTEGRAÇÃO DE DADOS NO AMBIENTE SIG PARA A AVALIAÇÃO DE ÁREAS MINERADAS EM CANAÃ DOS CARAJÁS, ESTADO DO PARÁ:

Déborah Cristina Trindade Moreira Marques¹
Sabrina Torres Cardoso²
Lúcio Correia Miranda³

RESUMO

Este artigo explora a integração das Geotecnologias na avaliação e no monitoramento das ações de recuperação de áreas mineradas em Canaã dos Carajás. O uso do geoprocessamento, especialmente o cálculo do Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI) por meio de produtos de Sensoriamento Remoto, permite monitorar com precisão a regeneração da vegetação e a recuperação do solo, além de avaliar os impactos causados pelas atividades mineradoras. A pesquisa utiliza dados adquiridos junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), combinados com ferramentas como o QGIS e imagens do Google Satélite, para criar modelos detalhados do terreno e acompanhar mudanças ambientais ao longo do período de 2013 a 2023. Os resultados evidenciam como a aplicação dessas tecnologias auxilia na gestão ambiental, fornecendo informações essenciais para ações de mitigação e prevenção da degradação ambiental.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Mineração; Monitoramento ambiental.

ABSTRACT

This article explores the integration of Geotechnologies in the assessment and recovery of mined areas in Canaã dos Carajás. The use of geoprocessing, particularly the calculation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) through Remote Sensing products, allows for precise monitoring of vegetation regeneration and soil recovery, as well as the evaluation of the impacts caused by mining activities. The research utilizes data acquired from the United States Geological Survey (USGS), combined with tools such as QGIS and Google Satellite images, to create detailed terrain models and track environmental changes over the period from 2013 to 2023. The results highlight how the application of these technologies aids environmental management, providing essential information for mitigation actions and the prevention of environmental degradation.

Key words: Geoprocessing; Mining; Environmental Monitoring.

¹ Graduanda do curso de Tecnólogo em Geoprocessamento pela Universidade Federal do Pará – UFPA, Campus Ananindeua – Canan. E-mail: marquesdeborah@hotmail.com

² Graduanda do curso de Tecnólogo em Geoprocessamento pela Universidade Federal do Pará – UFPA, Campus Ananindeua – Canan. E-mail: cardososabrina2411@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A mineração apesar de ser um setor econômico essencial para o desenvolvimento global, causa impactos ambientais significativos, especialmente em regiões de intensa atividade extrativa. Canaã dos Carajás, localizada no estado do Pará, Brasil, é um dos principais polos de mineração do país e um exemplo dessa dualidade. A extração mineral na região impulsiona a economia e gera empregos, mas também resulta em degradação ambiental, incluindo desmatamento, alterações no solo e perda de biodiversidade. Diante desse cenário, a recuperação de áreas impactadas tornou-se uma prioridade, exigindo práticas sustentáveis e o uso de tecnologias avançadas para monitoramento e restauração ambiental.

Este estudo investiga a aplicação de ferramentas tecnológicas avançadas, com ênfase na integração de dados em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para avaliar a degradação ambiental em áreas afetadas pela mineração em Canaã dos Carajás. A pesquisa explora como as tecnologias de geoprocessamento permitem uma análise detalhada dos impactos ambientais pós-mineração, fornecendo sugestões para a gestão e recuperação dessas áreas. São abordadas o uso das técnicas de sensoriamento remoto, como ferramentas fundamentais para análise e o monitoramento contínuo dos impactos ambientais. Enfatiza-se a utilização do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para avaliar a regeneração da vegetação, por meio de composições Landsat 8, buscando analisar o impacto ambiental causado pelas mineradoras da região.

Canaã dos Carajás, inserida na Floresta Nacional de Carajás, apresenta grande relevância ecológica e mineral, sendo um caso de estudo ideal para a aplicação dessas tecnologias. A região abriga ecossistemas sensíveis, e com uma pouca biodiversidade, o que reforça a necessidade de planejamento estratégico aliado à inovação tecnológica para garantir a sustentabilidade das operações minerárias. Nesse contexto, o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas é destacado como uma ferramenta essencial para mitigar os impactos da mineração e promover a recuperação ambiental de forma eficaz e sustentável (ALMEIDA, 2017).

Assim, a combinação de tecnologias avançadas, planejamento estratégico e conformidade com as legislações ambientais é fundamental para promover uma mineração sustentável. A aplicação desta análise em Canaã dos Carajás se destaca como um estudo de caso relevante, demonstrando como a inovação tecnológica pode ser aplicada para monitorar e mostrar esses impactos ambientais da mineração. De acordo com Moraes (2012), a gestão ambiental da mineração de ferro em Carajás exige a integração de diversas tecnologias para

monitorar e minimizar os impactos ambientais. O uso de ferramentas de geoprocessamento e análise espacial possibilita um acompanhamento detalhado das mudanças na paisagem e dos minérios permitindo a adoção de estratégias mais sustentáveis. Esse modelo de gestão reforça a importância da inovação tecnológica na busca por um equilíbrio entre a exploração mineral e a conservação ambiental.

2. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

2.1 MINERAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

A mineração é uma atividade econômica de grande relevância, responsável por gerar renda, empregos e impulsionar o desenvolvimento de regiões ricas em recursos minerais. Essas áreas degradadas representam um dos maiores desafios ambientais da atualidade. Essas regiões sofrem perda significativa de suas características naturais devido a ações humanas ou processos naturais intensificados. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2025), a degradação pode comprometer a biodiversidade, o solo, os recursos hídricos e a qualidade ambiental, tornando essencial a adoção de estratégias eficazes para mitigação e recuperação. Uma área degradada é um ambiente que sofreu alterações significativas em sua estrutura e funcionalidade devido a impactos ambientais adversos. Essas mudanças podem resultar na redução da capacidade produtiva do solo, na perda de cobertura vegetal e na contaminação de recursos hídricos. A recuperação de áreas degradadas é, portanto, um processo essencial, que demanda planejamento estratégico e a adoção de técnicas eficazes para restaurar o equilíbrio ambiental (BARRETO, 2001).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), o setor mineral brasileiro enfrenta desafios para se tornar mais competitivo e reduzir sua dependência externa de insumos minerais estratégicos. Para aproveitar de forma eficiente seus recursos em benefício da sociedade, é fundamental incentivar a pesquisa, o desenvolvimento tecnológico e a inovação. Isso inclui a necessidade de investimentos em ciência e tecnologia, bem como a adoção de práticas sustentáveis e competitivas (IBRAM, 2024; IBRAM, 2025)

Segundo IPEA (2022) o objetivo a longo prazo é posicionar o Brasil como líder mundial em desenvolvimento tecnológico e inovação, transformando-se em exportador de matérias-primas minerais. Para isso, é necessário estabelecer a pesquisa, desenvolvimento, inovação e engenharia (PDI&E) como prioridades estratégicas, visando aumentar a produtividade, a sustentabilidade e a competitividade do setor (IPEA, 2022). Dessa forma, as

empresas enfrentarão cenários econômicos adversos e contribuirão para o desenvolvimento econômico, social e ambiental do país.

Minas Gerais, por exemplo, possui grande potencial mineral, mas enfrenta desafios relacionados ao baixo desenvolvimento econômico e ambiental em algumas áreas mineradoras (PEREIRA, 2020). Esse cenário evidencia a necessidade de políticas públicas e privadas que integrem exploração mineral e sustentabilidade, garantindo que os benefícios econômicos sejam acompanhados por práticas de preservação ambiental e melhoria da qualidade de vida das comunidades locais.

O setor tem enorme potencial para impulsionar o desenvolvimento regional e melhorar a infraestrutura local, desde que sejam adotadas práticas sustentáveis que favoreçam o equilíbrio ambiental. Tecnologias avançadas de geoprocessamento tem se mostrado fundamentais para monitorar e mitigar os impactos ambientais. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), por exemplo, é essencial para avaliar a saúde da vegetação e a cobertura do solo em áreas mineradas, permitindo o monitoramento contínuo da regeneração florestal e conseqüentemente a recuperação ambiental.

Em resumo, embora a mineração ofereça oportunidades significativas para o desenvolvimento econômico, exige um compromisso firme com a sustentabilidade. A integração de tecnologias avançadas, a adoção de práticas responsáveis e o cumprimento das legislações ambientais são fundamentais para que a exploração mineral seja realizada de forma equilibrada, promovendo o desenvolvimento socioeconômico e a preservação ambiental.

2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS

A extração mineral é uma atividade essencial para o desenvolvimento econômico, fornecendo matérias-primas fundamentais para diversos setores industriais. No entanto, gera impactos ambientais significativos em todas as suas etapas: planejamento, implantação, operação e desativação. De acordo com a Resolução Conama-001/1986 (Conselho Nacional do Meio Ambiente), impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por atividades humanas, afetando direta ou indiretamente a saúde, o bem-estar da população, as atividades socioeconômicas, a biodiversidade e a qualidade dos recursos naturais (CONAMA, 1986). Este referencial teórico aborda os principais impactos ambientais da extração mineral no Brasil.

Principais Impactos Ambientais na Extração Mineral

A mineração a céu aberto provoca a remoção de grandes extensões de vegetação e a alteração do relevo. Em estados como Minas Gerais, Canaã dos Carajás e Mato Grosso do Sul, a exploração de minério de ferro e bauxita expõe o solo, tornando-o suscetível à erosão. A criação de cavas e barragens de rejeitos modifica drasticamente a paisagem e afeta ecossistemas locais. Além disso, a compactação do solo e a perda de matéria orgânica comprometem sua regeneração (MEDEIROS, 2018).

Poluição e Contaminação dos Recursos Hídricos

As atividades de extração mineral frequentemente contaminam rios, lagos e aquíferos. O uso de mercúrio na garimpagem de ouro, comum no Pará, Minas Gerais e Mato Grosso, compromete a qualidade da água e afeta comunidades ribeirinhas e indígenas. Um caso grave ocorreu em Barcarena (PA), onde o vazamento de resíduos da Hydro Alunorte atingiu o Rio Murucupi. Além disso, rejeitos químicos e metais pesados, como chumbo e arsênio, podem tornar a água imprópria para consumo e agricultura (PEREIRA; SANTOS, 2020).

Poluição Atmosférica

A extração e o processamento de minérios emitem poluentes como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado, afetando a qualidade do ar e a saúde da população local. A produção de alumínio pela Hydro Alunorte tem sido associada a emissões atmosféricas, prejudicando comunidades vizinhas. Além disso, a poeira gerada durante a extração mineral pode comprometer a vegetação e os ecossistemas (FERREIRA; HENNING, 2023).

Redução da Biodiversidade

A destruição de habitats naturais compromete a fauna e a flora locais. A extração de ferro e bauxita elimina vastas áreas de vegetação, fragmentando ecossistemas e reduzindo a disponibilidade de recursos para os animais. A Amazônia, uma das regiões mais biodiversas do mundo, tem sido afetada pela expansão da extração mineral, impactando a polinização e a regulação climática (FEARNSIDE, 2019).

Geração de Resíduos e Disposição Inadequada

A atividade mineradora gera grandes volumes de resíduos, incluindo rejeitos tóxicos. A má gestão desses materiais pode levar a desastres ambientais. O rompimento das barragens de Fundão, em Mariana (MG), em 2015, e de Brumadinho (MG), em 2019, resultou na contaminação de rios e na destruição de comunidades. O descarte inadequado também pode afetar o solo e os recursos hídricos subterrâneos (SILVA; PEREIRA, 2020).

Impactos Socioeconômicos e Culturais

Além dos danos ambientais, a extração mineral afeta populações tradicionais, como indígenas e ribeirinhos, comprometendo sua subsistência e cultura. A contaminação de água e solo impacta atividades como pesca e agricultura, enquanto o deslocamento forçado gera conflitos sociais. Em muitos casos, os benefícios econômicos da mineração não são distribuídos de forma equitativa, ampliando desigualdades sociais (SILVA; PEREIRA, 2020). A extração mineral, apesar de sua relevância econômica, causa impactos ambientais significativos, afetando ecossistemas, comunidades e a saúde pública. Desastres como os de Mariana e Brumadinho, bem como os problemas em Barcarena, demonstram a necessidade de maior compromisso com práticas sustentáveis. A implementação de medidas de mitigação e recuperação, aliada ao avanço de tecnologias menos agressivas ao meio ambiente, é fundamental para garantir um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental. O aprimoramento das políticas de recuperação de áreas degradadas é crucial para um futuro sustentável e socialmente justo.

2.3 GEOPROCESSAMENTO E SUAS CONTRIBUIÇÕES NAS ATIVIDADES DA MINERAÇÃO

O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e do Sensoriamento Remoto tem se destacado como ferramentas fundamentais para o monitoramento ambiental, especialmente em regiões mineradas. Essas tecnologias permitem a análise espacial detalhada de paisagens modificadas, facilitando a identificação de impactos ambientais e o planejamento de medidas mitigadoras (SILVA et al., 2020).

Conforme Thiago (2023), a integração de dados geoespaciais, como imagens de satélite e dados topográficos, é essencial para o planejamento e monitoramento das

operações mineradoras. Essa abordagem combina tecnologias avançadas para otimizar operações, garantir segurança e minimizar impactos ambientais. A integração de dados no contexto do geoprocessamento envolve a coleta, processamento e análise de informações georreferenciadas, fundamentais para o planejamento, monitoramento e gestão de atividades minerárias, tanto em minas a céu aberto quanto subterrâneas.

Uma das principais ferramentas utilizadas nesse processo é o mapeamento 3D, que permite a criação de ortomosaicos tridimensionais e ambientes imersivos em 360°. Esses modelos são fundamentais para o planejamento de operações de lavra, monitoramento de áreas de exploração e avaliação de impactos ambientais. De acordo com Damasceno et al. (2012), o uso de mapeamento 3D em pátios de estocagem contribui para a otimização das operações e a prevenção de falhas., é amplamente utilizado para a vigilância de infraestruturas críticas, como minerodutos, adutoras e rejeitodutos, bem como para o acompanhamento de sistemas móveis de correias transportadoras, visando à prevenção de falhas e à identificação de oportunidades de melhoria.

A utilização de drones tem revolucionado a forma como os dados são coletados e integrados no geoprocessamento. De acordo com Senra, Pinto e Almeida (2022), o uso de geotecnologias como drones e RTK em empreendimentos mineiros auxilia na mitigação dos impactos ambientais e na recuperação de áreas degradadas e esses dispositivos permitem o registro detalhado de imagens e informações, que são armazenadas em bancos de dados robustos para análises técnicas pós-detonação e os drones são empregados no monitoramento periódico de áreas de preservação ambiental e barragens de rejeito, gerando sequências mensais de *time-lapse* que auxiliam no acompanhamento da evolução das áreas mineradas. Essa tecnologia proporciona uma visão abrangente e atualizada do terreno, facilitando a tomada de decisões estratégicas.

Outro componente essencial na integração de dados é o uso de Estações Totais e sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System), que realizam levantamentos topográficos detalhados e permitem a criação de Modelos Digitais do Terreno (MDT). Esses modelos são cruciais para o planejamento de minas, pois oferecem uma representação precisa do terreno, auxiliando na identificação de áreas de interesse e na definição de estratégias de exploração.

Para DMT Group (2025) e Sigma Earth (2025), o uso de softwares especializados e tecnologias de sensoriamento remoto aprimora significativamente o planejamento e o monitoramento em projetos de mineração, o geoprocessamento se beneficia de softwares especializados, como o GEOVIA Surpac, Leapfrog e Datamine, que oferecem ferramentas

avançadas para modelagem geológica e planejamento de minas. Essas plataformas permitem a integração de dados geológicos, topográficos e operacionais, facilitando a simulação de cenários e a otimização de processos. Além disso, tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e sensoriamento remoto, incluindo imagens de satélite e o Google Earth Engine, são amplamente utilizadas para o monitoramento ambiental e espacial, proporcionando uma visão holística das áreas mineradas e suas adjacências.

A integração de dados é reforçada pelo uso de simuladores de lavra, que permitem testar diferentes cenários operacionais, melhorando a eficiência e reduzindo custos. Esses simuladores são ferramentas computacionais que ajudam a modelar e otimizar a operação de extração mineral, especialmente em minas a céu aberto, são usados para simular diferentes cenários operacionais, proporcionando uma visão detalhada e estratégica de como os recursos podem ser extraídos da forma mais eficiente, segura e econômica possível, são fundamentais para a tomada de decisões, pois possibilita a avaliação de diferentes abordagens antes da implementação no campo (MARTINS et al., 2015).

Em resumo, a integração de dados no geoprocessamento tem se mostrado uma ferramenta indispensável para a mineração moderna, proporcionando maior precisão, redução de custos e garantia de sustentabilidade. Ao combinar tecnologias como mapeamento 3D, drones, Estações Totais, GNSS, softwares especializados e simuladores, a mineração se torna uma atividade cada vez mais inovadora e eficiente, alinhada com as demandas ambientais e operacionais do século XXI. Essa abordagem integrada não apenas otimiza os processos de extração e processamento, mas também contribui para a preservação do meio ambiente e a segurança das operações, consolidando a mineração como uma atividade sustentável e tecnologicamente avançada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No recorte temporal de 2013 a 2023, a pesquisa analisa as mudanças ambientais em Canaã dos Carajás, com foco nos impactos da mineração na região e nas alterações associadas na cobertura do solo e vegetação. Este período abrange a intensificação das atividades mineradoras e as consequentes transformações ambientais, permitindo uma avaliação detalhada das variações no uso do solo e da degradação ambiental resultante. Para isso, são utilizados dados de sensoriamento remoto, como as imagens do Landsat 8, além de ferramentas de geoprocessamento para identificar e monitorar as áreas afetadas. A integração desses dados com sistemas de informação geoespacial, como o SIGMINE (Sistema de Informação Geoespacial para

Mineração), é crucial para o mapeamento preciso das áreas mineradas e suas interações com diferentes tipos de cobertura do solo.

O SIGMINE desempenha um papel fundamental na identificação de sobreposições entre as áreas mineradas e a vegetação, permitindo a análise dos impactos ambientais da mineração, como o desmatamento, a degradação do solo e as mudanças nos ecossistemas. Além disso, essa ferramenta contribui para o planejamento sustentável, fornecendo subsídios para o desenvolvimento de estratégias de recuperação e manejo ambiental. O uso do SIGMINE no ambiente SIG permite uma abordagem mais robusta e abrangente na análise dos processos de degradação ambiental e na implementação de ações corretivas, como reflorestamento e regeneração natural, alinhadas aos princípios de recuperação de áreas degradadas (PRAD). Essa abordagem integrada, que combina sensoriamento remoto, geoprocessamento e SIG, oferece uma visão mais precisa das dinâmicas espaciais e temporais relacionadas à mineração e ao uso do solo, possibilitando o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de manejo mais eficazes para a conservação e recuperação de áreas impactadas.

3.1 Coleta de Dados

As imagens utilizadas neste estudo foram obtidas da plataforma USGS Earth Explorer, correspondendo aos sensores OLI/TIRS dos satélites Landsat 8. Para garantir a qualidade e consistência dos dados, foram aplicados os seguintes critérios de seleção: período: 2013 a 2023; cobertura máxima de nuvens de 20%; nível de processamento, Collection 2, Level 1; *Path/Row*: 224/064, correspondente à região de Canaã dos Carajás, Pará (PA).

A escolha do período de 2013 a 2023 permite uma análise espaço temporal, identificando as mudanças na cobertura vegetal e no uso do solo. A limitação de cobertura de nuvens a 20% minimiza interferências nas análises, enquanto o uso da Collection 2, Level 1 garante que as imagens estejam calibradas radiometricamente e geometricamente, proporcionando maior precisão.

3.2 Pré-processamento

O pré-processamento das imagens foi realizado utilizando o software Orfeo ToolBox (OTB), seguindo as etapas:

1. Organização das bandas: As bandas espectrais foram organizadas na ordem correta para o processamento. Para composições coloridas, foram utilizadas as bandas RGB (6, 5 e 4) Infravermelho de Ondas Curtas - SWIR 1, Infravermelho Próximo – NIR e Vermelho, para o cálculo do NDVI para os anos de 2013 e 2023.

2. Recorte das imagens: As imagens foram recortadas para os limites geográficos do município de Canaã dos Carajás (PA), utilizando um shapefile da área de estudo.

3.3 Geração de Índices Físicos

Foram geradas diferentes composições espectrais para destacar elementos específicos da paisagem. Uma das principais análises realizadas foi o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), utilizando a equação:

$$NDVI = \left(\frac{NIR-Red}{NIR+Red} \right)$$

Onde:

- B5 corresponde à banda do infravermelho próximo (NIR);
- B4 corresponde à banda do vermelho (RED).

Interpretação dos valores de NDVI:

- Valores próximos a **1** indicam vegetação densa e saudável;
- Valores próximos a **0** ou negativos indicam áreas de solo exposto, água ou áreas urbanas.

Foram calculados para complementar e avaliar a presença e a regeneração da vegetação ao longo do tempo. Embora uma área minerada tenha pouca ou nenhuma cobertura vegetal ativa, o NDVI pode ser útil para diferenciar o solo exposto e vegetação, avaliar seus impactos ambientais, dentre outros.

3.4 Análise Temporal

O NDVI foi calculado para o ano de 2013 e 2023, permitindo a análise das mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo na região de estudo.

3.5 Ferramentas Utilizadas

- Orfeo ToolBox (OTB): Pré-processamento e análise das imagens;
- QGIS: Manipulação de shapefiles e visualização dos resultados;
- USGS Earth Explorer: Aquisição de imagens de satélite
- SIGMINE: Aquisição dos shapes

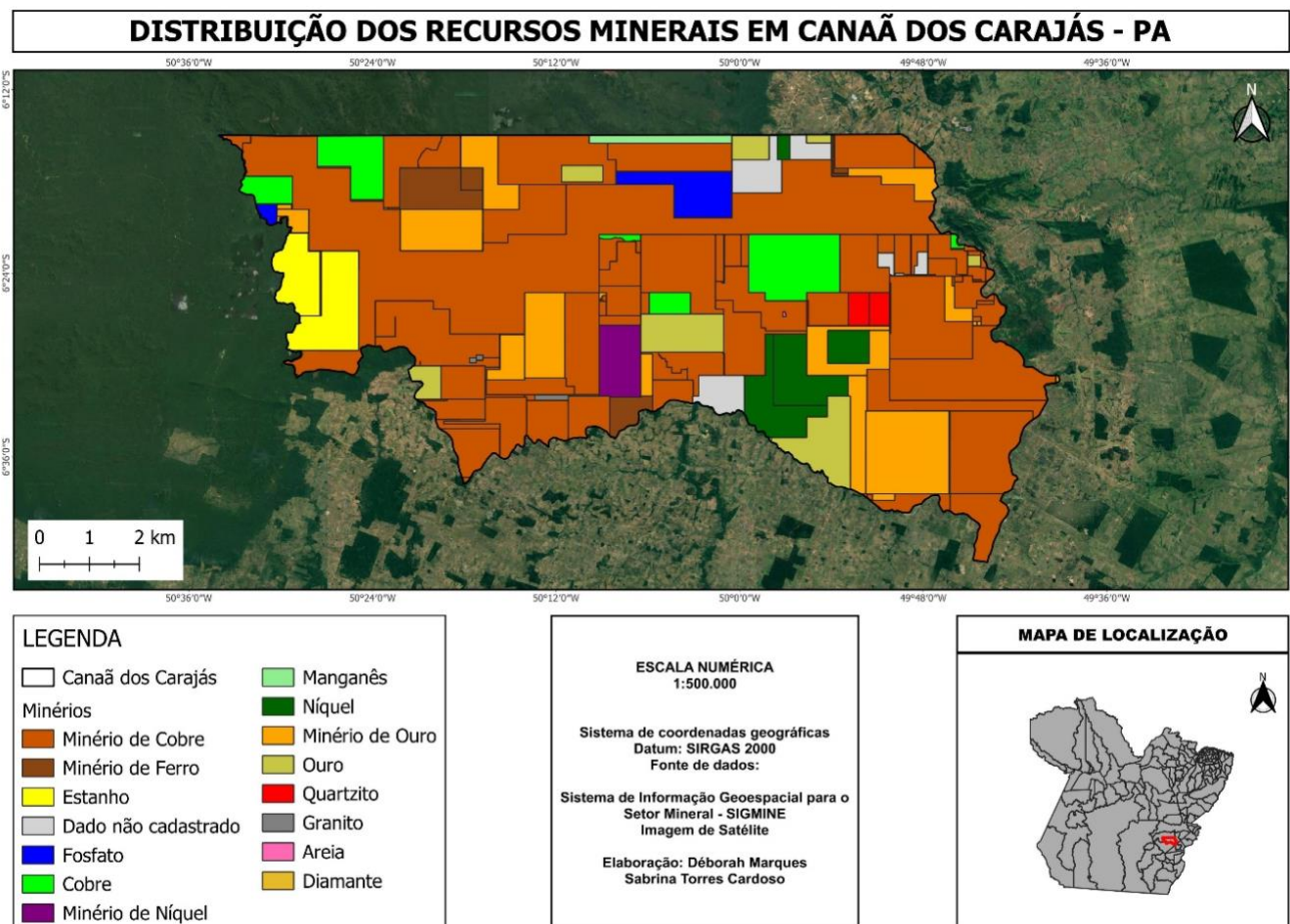
Essa metodologia foi adaptada para o município de Canaã dos Carajás, com foco na análise temporal das mudanças na cobertura vegetal, classificação mineraria e no uso do solo. A

abordagem detalhada e a utilização de ferramentas robustas garantem a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A distribuição dos recursos minerais em Canaã dos Carajás, conforme ilustrado no mapa (figura 01), revela a rica diversidade mineral da região, destacando-se a predominância de minério de ferro, cobre, ouro e níquel. A disposição espacial desses minerais reflete a intensa atividade mineradora local, com vastas áreas dedicadas à extração desses recursos estratégicos. A exploração mineral na região é marcada pela extração de matérias-primas essenciais, que desempenham um papel vital tanto para a economia nacional quanto para o mercado global.

Figura 01: Principais depósitos minerais em Canaã dos Carajás



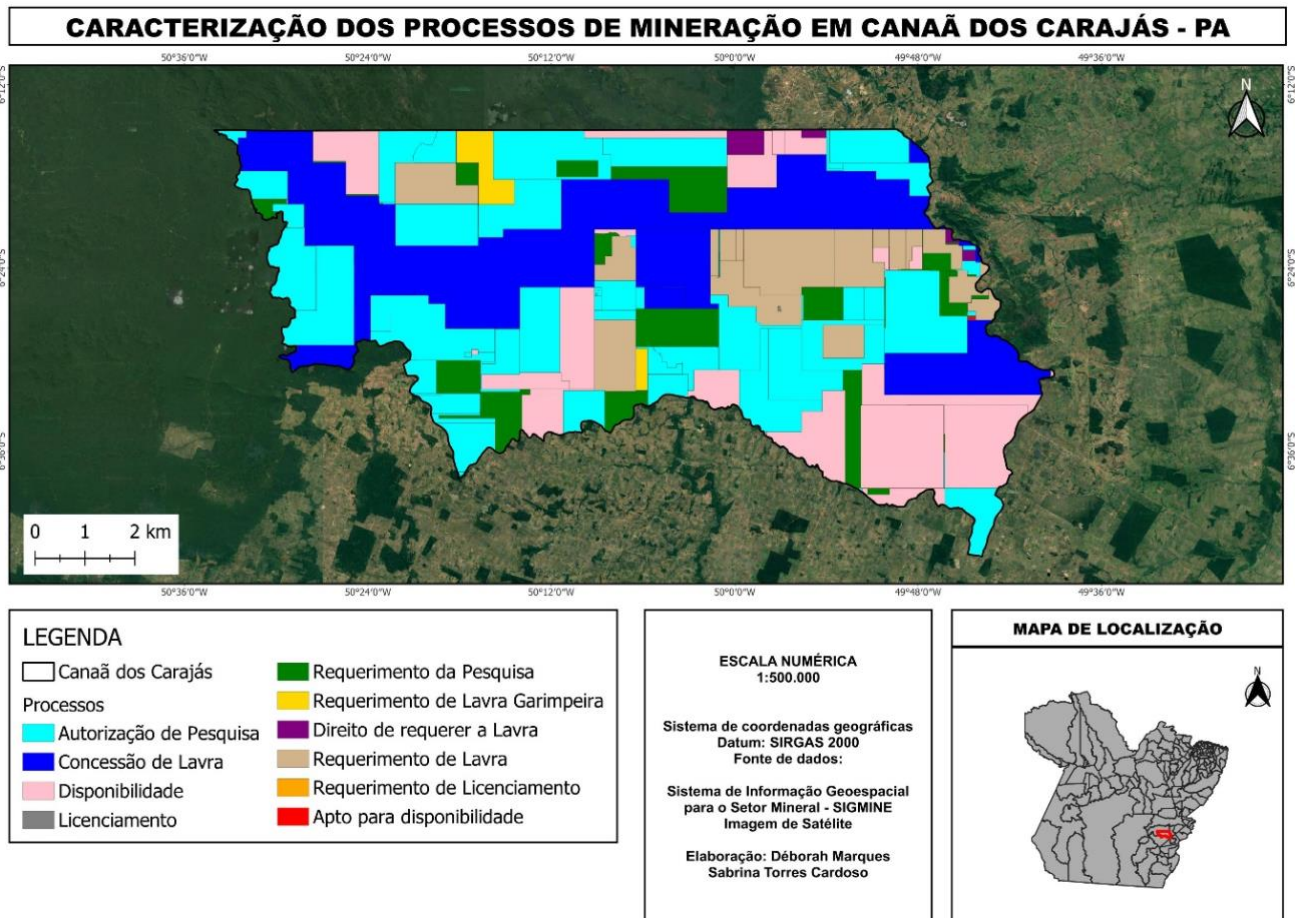
Fonte: Autoras, 2025.

Observa-se que o minério de ferro (marrom) e o cobre (laranja) ocupam a maior parte das concessões minerais, corroborando o fato de que Canaã dos Carajás abriga uma das mais importantes operações da indústria mineral no Brasil. A presença de depósitos de ouro (amarelo) e níquel (verde escuro) também é significativa, indicando o potencial diversificado da região para exploração mineral. Além disso, a áreas menores associadas a outros minérios,

como cassiterita (rosa), manganês (verde claro), estanho (cinza) e fosfato (azul), que, apesar de menos representativas em extensão, podem desempenhar um papel complementar na economia mineral local.

A distribuição das ocorrências minerais em Canaã dos Carajás sugere a necessidade de um planejamento estratégico para a extração, levando em consideração tanto a disponibilidade dos depósitos quanto a logística de transporte e a infraestrutura local. A sobreposição de diversas concessões no município destaca um cenário de intensa exploração mineral, que, por sua vez, pode gerar impactos ambientais e sociais significativos, os quais demandam monitoramento contínuo. Compreender esses processos é fundamental para a gestão sustentável dos recursos minerais e para um planejamento territorial eficiente. A atividade mineradora no município abrange várias etapas, incluindo a autorização de pesquisa, concessão de lavra, licenciamento ambiental, e outros requerimentos específicos, cada um representando uma fase distinta da exploração mineral (figura 02). Esse ciclo de atividades reforça a complexidade da mineração e a necessidade de políticas públicas que integrem os aspectos econômicos, ambientais e sociais, garantindo a sustentabilidade e o desenvolvimento local.

Figura 02: Caracterização dos processos de mineração em Canaã dos Carajás

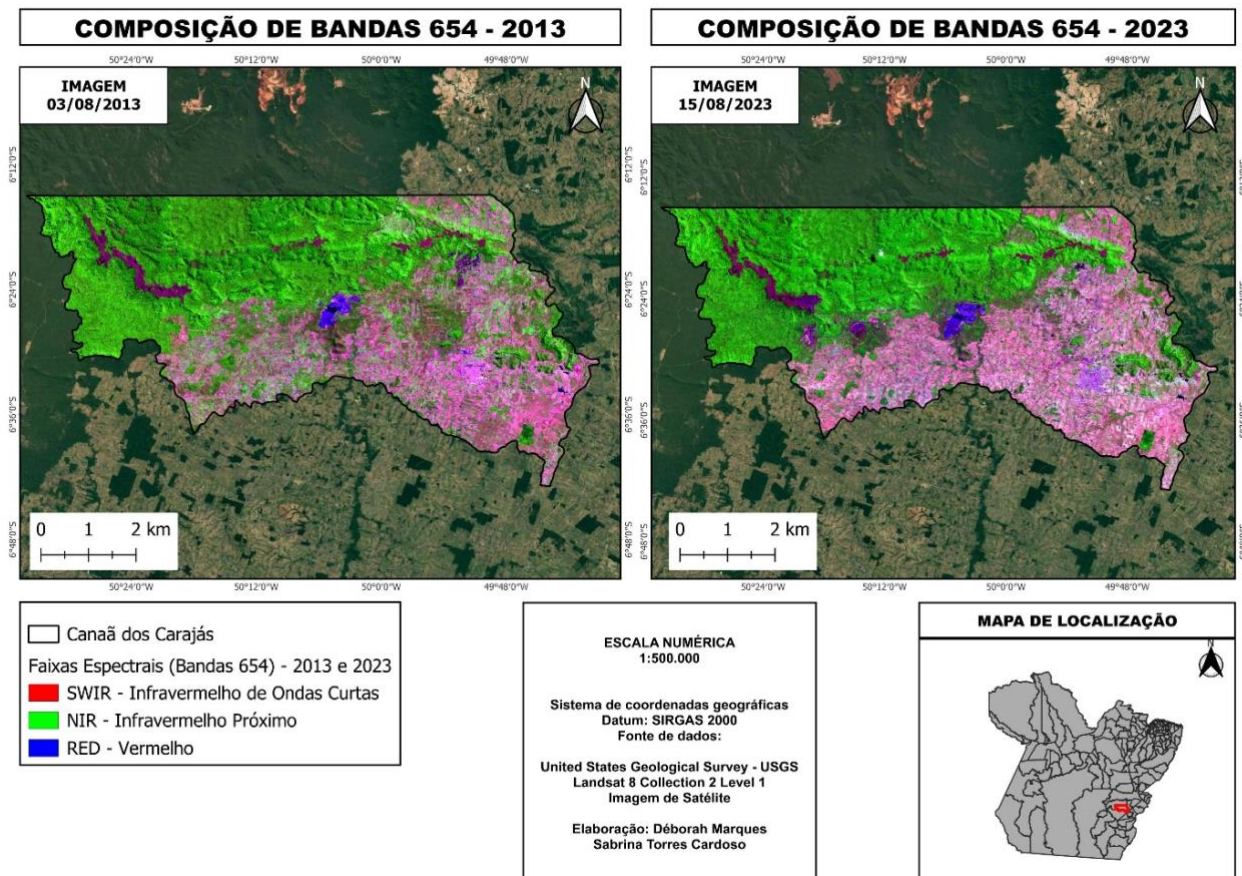


Fonte: Autoras, 2025.

As principais fases da mineração na região são: Autorização de Pesquisa, que permite a realização de estudos preliminares para identificação de jazidas minerais; Concessão de Lavra, etapa na qual a mineração é autorizada para exploração industrial; Disponibilidade, referente a áreas que podem ser requeridas para mineração; Licenciamento, processo burocrático exigido para a extração mineral, garantindo conformidade ambiental; Requerimento de Pesquisa, pedido formal para investigação mineral na região; Requerimento de Lavra Garimpeira, pedido específico para lavra em pequena escala, voltada para garimpeiros; Direito de Requerer a Lavra, que indica o direito legal de solicitar uma concessão de lavra; Requerimento de Lavra, solicitação formal para mineração após estudos de viabilidade; Requerimento de Licenciamento, pedido necessário para obter autorização de operação; e Apto para Disponibilidade, que representa áreas prontas para serem requeridas para mineração. A caracterização dos processos de mineração em Canaã dos Carajás serve para diversos propósitos estratégicos, econômicos e ambientais.

A composição de bandas 654 do mapa (figura 03), gerada a partir de imagens do sensor Landsat 8, é uma ferramenta amplamente utilizada para destacar diferentes tipos de cobertura do solo, proporcionando uma visão detalhada das características da superfície terrestre.

Figura 03: Composição de Bandas 654



Fonte: Autoras, 2025.

Cada cor na imagem representa um tipo distinto de uso ou cobertura do solo, permitindo a identificação de mudanças ambientais ao longo do tempo.

Na composição 654, o verde está associado a áreas de vegetação densa e saudável, geralmente representando florestas preservadas ou ecossistemas intactos. O roxo ou rosa indica superfícies expostas, como solos desnudos ou regiões impactadas por atividades antrópicas, como a mineração e a expansão urbana. O azul, por sua vez, reflete corpos d'água ou superfícies minerais específicas, com ênfase em áreas de intensa exploração mineral. Essa composição oferece uma forma eficaz de monitorar e analisar as dinâmicas ambientais, auxiliando na compreensão das mudanças no uso do solo e nos impactos decorrentes da atividade humana.

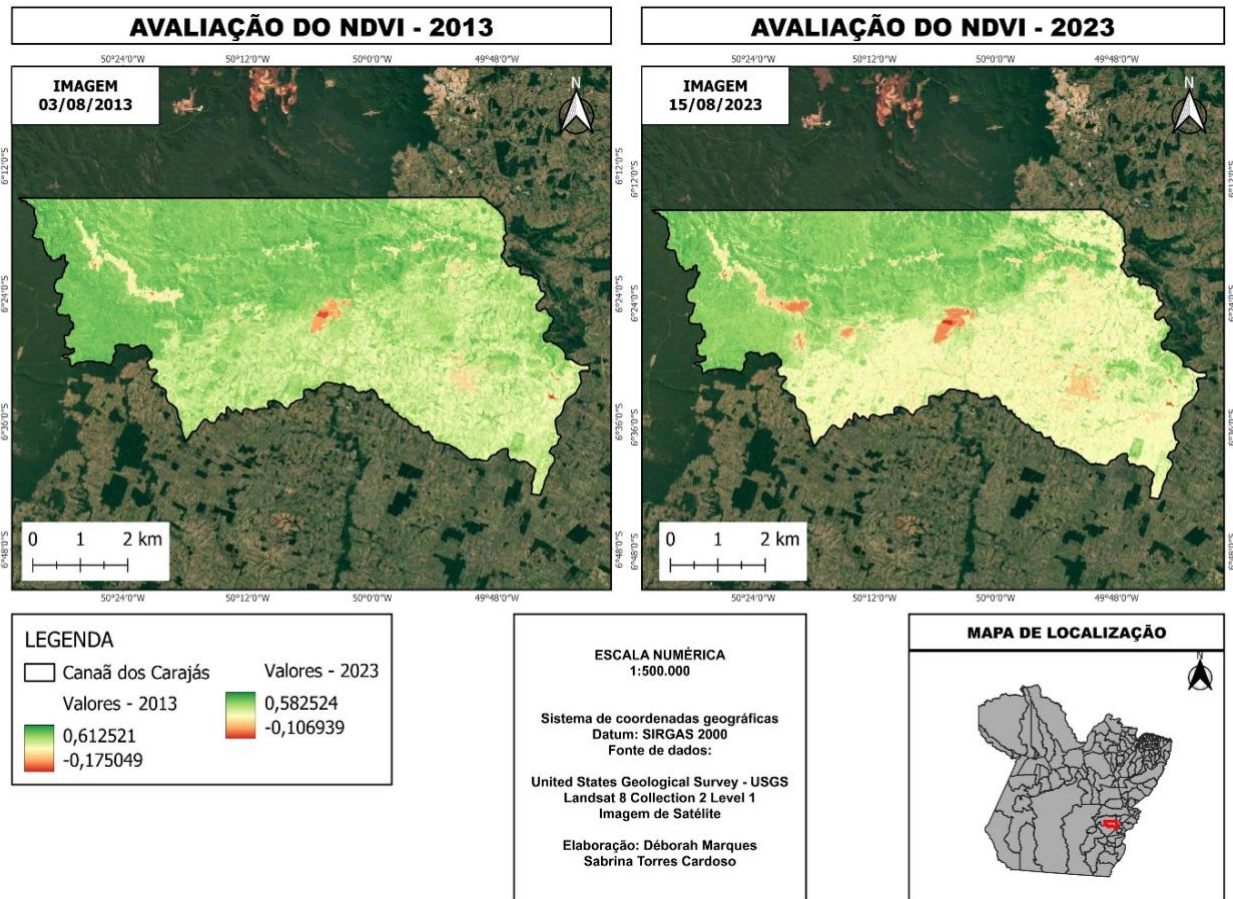
As mudanças na vegetação em 2013 nas áreas com vegetação densa e saudável foram identificadas por padrões espectrais específicos nas bandas 6, 5 e 4. Onde, a Banda 6 (infravermelho de onda curta) é particularmente sensível a umidade do solo e à saúde da vegetação, enquanto as Bandas 5 e 4 ajudam a distinguir entre diferentes tipos de cobertura vegetal. Áreas que anteriormente apresentavam vegetação densa agora mostram padrões espectrais indicativos de solo exposto ou vegetação estressada. Tais mudanças na cobertura vegetal podem estar relacionada à expansão de atividades agrícolas, mineração ou urbanização na região. Em algumas áreas, observou-se um aumento da vegetação natural, indicando possíveis esforços de recuperação ou regeneração natural. Essas áreas podem ter sido submetidas a programas de reflorestamento ou conservação.

A análise comparativa entre os anos de 2013 e 2023 revela uma significativa expansão das áreas em tons de roxo e rosa, sugerindo um avanço do desmatamento e do uso do solo para mineração ou outras atividades econômicas. Em contrapartida, observa-se uma possível redução das áreas verdes, indicando perda de vegetação natural. Essas mudanças refletem o impacto das atividades humanas na paisagem e reforçam a importância do monitoramento remoto para a gestão ambiental e a formulação de políticas de conservação.

Dessa forma, a interpretação das cores na composição 654 permite uma avaliação eficiente das transformações no uso da terra, sendo uma ferramenta essencial para estudos ambientais e para a tomada de decisões voltadas à mitigação dos impactos ambientais. As mudanças observadas enfatizam a necessidade de políticas e práticas de gestão ambiental eficazes para mitigar os impactos do desmatamento e promover a recuperação de áreas degradadas. A continuidade do monitoramento por satélite é essencial para acompanhar essas tendências e informar decisões de planejamento sustentável. A utilização de composições espectrais como a 654 permite uma compreensão detalhada das mudanças ambientais, fornecendo subsídios para ações de conservação e manejo adequado dos recursos naturais.

O mapa 4 (figura 04) apresenta a evolução temporal do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) na área de estudo, com dados de 2013 e 2023, evidenciando mudanças na saúde e densidade da vegetação. Os valores próximos a 1 indicam vegetação densa e saudável, enquanto valores próximos a 0 ou negativos refletem áreas de solo exposto, corpos d'água ou características urbanas.

Figura 04: NDVI de 2013 e 2023



Fonte: Autoras, 2025.

Em 2013, os valores de NDVI variavam de 0,612521, indicando vegetação saudável, a -0,175049, representando áreas com pouca ou nenhuma vegetação. Já em 2023, os valores de NDVI oscilaram de 0,582524 a -0,106939, apontando uma leve diminuição na densidade da vegetação saudável e uma melhora nas áreas com vegetação esparsa. A comparação entre os dois períodos revela uma redução no valor máximo de NDVI, sugerindo uma possível diminuição na saúde ou densidade da vegetação, o que pode ser atribuído a fatores como desmatamento, mudanças climáticas ou atividades humanas, como a mineração. No entanto, o aumento no valor mínimo de NDVI (de -0,175049 para -0,106939) pode indicar uma recuperação parcial em áreas previamente degradadas ou uma mudança no uso do solo,

possivelmente associada a práticas de recuperação ambiental ou modificação nas atividades produtivas.

A diminuição nos valores de NDVI entre 2013 e 2023 pode ser um indicativo de desmatamento ou degradação ambiental. Áreas que antes apresentavam valores elevados de NDVI, sugerindo vegetação densa e saudável, podem ter sido convertidas para outros usos, como agricultura ou urbanização, resultando em valores mais baixos. No entanto, em algumas regiões, é possível observar indícios de recuperação, com o aumento dos valores de NDVI ao longo do tempo. Isso pode ser atribuído a esforços de reflorestamento, regeneração natural ou mudanças nas práticas de uso da terra. A redução nos valores de NDVI em áreas específicas também reflete a conversão de áreas florestais para usos não sustentáveis, como a expansão de atividades agrícolas ou mineradoras, que substituíram a cobertura vegetal original.

A análise do NDVI entre 2013 e 2023 em Canaã dos Carajás revelou mudanças notáveis no vigor da vegetação e na cobertura do solo. Esses resultados destacam a urgência de políticas de gestão ambiental eficazes que visem mitigar os impactos negativos da exploração de recursos naturais, promovendo a conservação e a recuperação das áreas degradadas. O monitoramento contínuo do NDVI é crucial para acompanhar essas mudanças e fornecer dados essenciais para a tomada de decisões no planejamento sustentável, alinhado ao PRAD (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas), visando garantir um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mineração em Canaã dos Carajás, impulsionada pela extração de minério de ferro, cobre e dentre outros minerais tem gerado crescimento econômico e desenvolvimento regional. No entanto, os benefícios econômicos não podem mascarar os custos ambientais e sociais associados a essa atividade. A exploração mineral desenfreada, sem um planejamento adequado, pode levar a danos irreversíveis, como desmatamento, contaminação de recursos hídricos e perda de biodiversidade.

A Vale, uma das principais empresas atuantes na região, tem implementado projetos de recuperação ambiental, como a restauração com espécies nativas da Amazônia e a criação do Parque Nacional dos Campos Ferruginosos. Essas iniciativas são passos importantes, mas ainda insuficientes diante da magnitude dos impactos causados pela mineração. A recuperação do solo e a reintegração das áreas degradadas ao ecossistema original são processos complexos e demorados, que demandam monitoramento contínuo e investimentos significativos. É

essencial que a indústria adote práticas que vão além do lucro imediato, priorizando o bem-estar das comunidades locais e a preservação do meio ambiente. A análise de imagens de satélite é uma ferramenta essencial para compreender as mudanças no uso do solo e seus impactos ambientais. Para mitigar esses impactos, são adotadas diversas estratégias de recuperação ambiental, sendo o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas um instrumento fundamental nesse processo. Medidas como reflorestamento com espécies nativas contribuem para a regeneração da biodiversidade, enquanto o controle de erosão evita a degradação do solo e protege os corpos hídricos. Além disso, a recuperação de corpos hídricos e a restauração de matas ciliares são essenciais para a qualidade da água. Tecnologias de descarbonização e o monitoramento ambiental contínuo também desempenham um papel crucial na minimização dos danos ambientais e na promoção de um desenvolvimento sustentável. (MEYER ENGENHARIA, 2025). Assim, a integração de técnicas de sensoriamento remoto com práticas de recuperação ambiental permite não apenas diagnosticar, mas também propor soluções eficazes para a conservação dos recursos naturais e a redução dos impactos da atividade humana no meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, em primeiro lugar, a Deus pela força, sabedoria e inspiração que nos guiaram ao longo desta jornada no curso de Geoprocessamento. Gostaríamos de expressar nossa gratidão ao professor Lúcio Correia Miranda por sua orientação, revisão, apoio e pelas valiosas sugestões recebidas durante a elaboração deste estudo. Um agradecimento especial também à professora Kellen Melo pela revisão crítica do artigo e pelas diversas sugestões construtivas. Por fim, mas não menos importante, agradecemos a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, bem como às nossas famílias e amigos pelo apoio incondicional e pela paciência durante todo o processo de pesquisa.

REFERÊNCIAS

BARRETO, M. L. *Mineração e Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Brasil*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2001.

VALE. *Relatório de Sustentabilidade*. Disponível em: <https://www.vale.com>. Acesso em: 19 jan. 2025.

VALE. Vale inicia reaproveitamento de rejeitos em barragem de Carajás utilizando equipamentos sem emissão de CO2. Disponível em: <https://vale.com/pt/w/vale-inicia-reaproveitamento-de-rejeitos-em-barragem-de-carajas-utilizando-equipamentos-sem-emissao-de-co2>.

IBRAM. Mineração do Brasil apresenta projeto setorial voltado à descarbonização. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/mineracao-do-brasil-apresenta-projeto-setorial-voltado-a-descarbonizacao/>. Acesso em: 19 jan. 2025.

IBRAM. *Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Minerais Estratégicos*. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/plano-de-ciencia-tecnologia-e-inovacao-para-minerais-estrategicos.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2025.

AMAZÔNIA E NOVAS ECONOMIAS. Conferência: Especialistas discutirão meios para promover atividade industrial sustentável, responsável e legalizada na Amazônia. Disponível em: <https://amazoniaenovaseconomias.com.br/noticias/conferencia-especialistas-discutirao-meios-para-promover-atividade-industrial-sustentavel-responsavel-e-legalizada-na-amazonia/>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SOUZA, J. V. P.; SOUSA, G. R.; SILVA, C. V. A mineração e o desenvolvimento sustentável: uma análise sobre os desafios e perspectivas. *Revista Eletrônica Tecnológica e Regional*, v. 16, n. 2, p. 57-71, 2023. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/etr/article/viewFile/16773/9615>. Acesso em: 19 jan. 2025.

O ANTÁGONICO. Barcarena: O TJ do Pará, a Hydro Alunorte, os danos ambientais, a condenação e os R\$ 150 milhões. Disponível em: <https://oantagonico.net.br/barcarena-o-tj-do-para-a-hydro-alunorte-os-danos-ambientais-a-condenacao-e-os-r-150-milhoes/>. Acesso em: 19 jan. 2025.

MATAPI ROYALTIES. Projeto Ouro Roxo. Disponível em: <https://www.matapiroalties.com/projeto-ouroroxo.html>. Acesso em: 19 jan. 2025.

USGS. *EarthExplorer*. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 9 fev. 2025.

G1. *Brumadinho: 6 anos após tragédia, bombeiros encontram segmentos de interesse*. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2025/02/06/brumadinho-6-anos-apos-tragedia-bombeiros-encontram-segmentos-de-interesse.ghtml>. Acesso em: 9 fev. 2025.

ALMEIDA, Thatiane Reis. Processos de degradação, recuperação e reabilitação de áreas mineradas: elaboração de plano para desenvolvimento de área referência em recuperação e reabilitação de área pós-minerada em extração de areia no Vale do Paraíba. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2017. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/handle/prefix/2013>. Acesso em: 12 fev. 2025

ACCENTURE. Mineração brasileira como protagonista da descarbonização. 2023. Disponível em: <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/industry/natural-resources/document/Accenture-Descarbonizacao-Na-Mineracao-Brasileira.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2025.

MINERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: A VISÃO DO BRASIL. Disponível em: <https://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1183/1/Minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20desenvolvimento.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). *Por uma política de minerais críticos e estratégicos para o Brasil e para o futuro*. Brasília, 2024. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/ibram-brasil-precisa-ampliar-oferta-de-minerais-criticos-e-estrategicos/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). *IBRAM destaca desafios e estratégias para promover a mineração brasileira no Future Minerals Forum 2025*. Brasília, 2025. Disponível

em: <https://ibram.org.br/noticia/ibram-destaca-desafios-e-estrategias-para-promover-a-mineracao-brasileira-no-future-minerals-forum-2025/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). *Competitividade da Indústria Mineral Brasileira: Desafios e Oportunidades*. Brasília: IPEA, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/pnm-2050/estudos/caderno-4-competitividade-da-industria-mineral-brasileira/copy7_of_PDInoSetorMineralBrasileiro.pdf. Acesso em: 15 fev. 2025.

Pereira, Fabio Henrique Barbosa. *A Mineração em Minas Gerais: Impactos Econômicos e Ambientais*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). *Relatório Anual de Atividades 2023: Desafios e Perspectivas para o Setor Mineral Brasileiro*. Brasília: ANM, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/publicacoes/relatorio-2023>. Acesso em: 15 fev. 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução Conama-001/1986*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1986. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res00186.html>. Acesso em: 15 fev. 2025.

MEDEIROS, José Antônio de. *Impactos Ambientais da Mineração: A Exploração Mineral e suas Consequências para o Meio Ambiente*. São Paulo: Editora ABC, 2018.

PEREIRA, Marcos A.; SANTOS, Luiz F. *Impactos da Mineração na Qualidade da Água: Estudos de Caso na Amazônia e no Cerrado*. Brasília: Editora Ambiental, 2020.

FERREIRA, João; HENNING, Elisa. Educação ambiental crítica: o caso da Hydro Alunorte e os impactos socioambientais em Barcarena. *Ensino e Tecnologia em Revista*, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2023. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/etr/article/view/16773/9615>>. Acesso em: 15 fev. 2025.

FEARNSIDE, Philip M. Exploração mineral na Amazônia brasileira: o custo ambiental. *Núcleo de Altos Estudos Amazônicos*, Universidade Federal do Pará, 2019. Disponível em: <https://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2019/Fearnside-Impactos_Mineralacao-NAEA.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2025.

SILVA, João; PEREIRA, Maria. Análise dos impactos ambientais dos rompimentos das barragens de Fundão e Brumadinho. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 50, n. 2, p. 123-135, 2020. Disponível em: <<https://www.rbgeociencias.com.br/artigo/123>>. Acesso em: 15 fev. 2025.

MEYER ENGENHARIA. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). *Meyer Engenharia*, 26 jan. 2025. Disponível em: <https://www.meyerengenharia.com.br/blog/artigos/plano-de-recuperacao-de-areas-degradadas-prad>. Acesso em: 15 fev. 2025.

DAMASCENO, J. A.; SOUSA, L. M. L.; LABANCA, R. C.; MARQUES, W. F.; ARAUJO, F. C.; LOPES, B. E. Simulação e otimização de recuperação automática em pátio de estocagem de minério utilizando mapeamento 3D. *ABM Proceedings*, 2012. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/download-pdf/simulao-e-otimizacao-de-recuperao-automtica-em-ptio-de-estocagem-de-minrio-utilizando-mapeamento-3d>. Acesso em: 15 fev. 2025.

SENRA, B.; PINTO, G.; ALMEIDA, N. Geotecnologias aplicadas na mineração e meio ambiente: o uso de drones e RTK para a recuperação de áreas degradadas. *Anais do 19º Simpósio Brasileiro de Mineração*, 2022. Disponível em: <https://proceedings.science/entmme-2022/trabalhos/geotecnologias-aplicadas-na-mineracao-e-meio-ambiente-o-uso-de-drones-e-rtk-para?lang=pt-br>. Acesso em: 15 fev. 2025.

DMT GROUP. Modelagem Geológica e Planejamento de Mina. Disponível em: <https://www.dmt-group.com.br/pt/blog/geologia/detail/article/modelagem-geologica-e-planejamento-de-mina/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

SIGMA EARTH. Noções básicas de sensoriamento remoto e GIS. Disponível em: <https://sigmaearth.com/pt/no%C3%A7%C3%B5es-b%C3%A1sicas-de-sensoriamento-remoto-e-GIS/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

MARTINS, Vitor William; LIMA, Heitor Costa; LOPES, Rafael de Carvalho; LIMA, José de Anchieta Cunha. Modelo de simulação da atividade de lavra em minas a céu aberto: um estudo de caso em uma mineradora no Estado do Pará. *Revista Produção Online*, v. 15, n. 1, p. 327-350, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Vitor-William-Martins/publication/274735637_Modelo_de_simulacao_da_atividade_de_lavra_em_minas_a_ceu_aberto_um_estudo_de_caso_em_uma_mineradora_no_estado_do_Para/links/552945420cf29b22c9bf18d2/Modelo-de-simulacao-da-atividade-de-lavra-em-minas-a-ceu-aberto-um-estudo-de-caso-em-uma-mineradora-no-Estado-do-Para.pdf. Acesso em: 15 fev. 2025.

MORAIS, M. C. de. Arquitetura de conhecimentos para a gestão ambiental da mineração de ferro em Carajás: estudo de caso depósito N1. 2012. 238 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. Acesso em: 22 fev. 2025

THIAGO, M. K. A importância do GIS na exploração mineral e mineração. *Geoprocessamento.com.br*, 30 nov. 2023. Disponível em: <https://www.geoprocessamento.com.br/2023/11/30/a-importancia-do-gis-na-exploracao-mineral-e-mineracao/>. Acesso em: 22 fev. 2025

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Recuperação de Áreas Degradadas. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/recuperacao-1>. Acesso em: 06 mar. 2025.