

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

KEILANE ALVES DE SOUZA

**DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO NO
SEMIÁRIDO ALAGOANO**

Rio Largo, AL
2025

KEILANE ALVES DE SOUZA

**DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO NO
SEMIÁRIDO ALAGOANO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Florestal do Campus de Engenharia e Ciências Agrárias – CECA, da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, como requisito para obtenção do Título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Jhonathan Gomes dos Santos
Coorientadora: Dra. Maria José de Holanda Leite

Rio Largo, AL

2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

S729d Souza, Keilane Alves de.

Dinâmica da cobertura florestal em áreas de mineração no semiárido alagoano. /
Keilane Alves de Souza. – 2025.

36 f.: il.

Orientador: Jhonathan Gomes dos Santos.
Coorientadora: Maria José de Holanda Leite.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Graduação
em Engenharia Florestal, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade
Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Geotecnologias. 2. Caatinga. 3. Monitoramento Ambiental. I. Título.

CDU: 630*2

Folha de Aprovação

KEILANE ALVES DE SOUZA

DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO NO SEMIÁRIDO ALAGOANO

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC apresentado a Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Data de Aprovação: 27/10 /25

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 JHONATHAN GOMES DOS SANTOS
Data: 27/10/2025 09:54:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jhonathan Gomes dos Santos
Universidade Federal de Alagoas - UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 MARIA JOSE DE HOLANDA LEITE
Data: 27/10/2025 10:09:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Maria José de Holanda Leite
Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN
Campus Pau dos Ferros
(Coorientadora – Membro externo)

Documento assinado digitalmente
 LILIAN ANDRADE CARLOS DE MENDONÇA BATISTA
Data: 27/10/2025 09:43:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Doutoranda Lílian Andrade Carlos de Mendonça Batista
Programa de Pós-Graduação em Biologia Estrutural e Funcional - DMOR –
(Membro externo)

Documento assinado digitalmente
 CLEUMA CHRISTIR DA SILVA ALMEIDA
Data: 27/10/2025 09:37:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Doutora Cleuma Christir da Silva Almeida
Pesquisadora da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, um órgão ligado ao Ministério da Agricultura e Pecuária do Brasil – CEPLAC
(Membro externo)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, com todo o meu amor e gratidão, aos pilares da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL), instituição pela qual tenho imenso orgulho de fazer parte, meu mais sincero agradecimento. Ser estudante e pesquisadora nesta universidade pública, que transforma vidas através do conhecimento, é uma honra que levarei comigo para sempre. Obrigada por me proporcionar a oportunidade de crescer, aprender e sonhar mais alto.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jhonathan Gomes dos Santos, minha profunda gratidão pela orientação cuidadosa, pelos ensinamentos valiosos e pela confiança em meu potencial. Sua escuta, seu rigor acadêmico e seu compromisso com a formação de pesquisadores foram fundamentais em cada etapa desta jornada.

À minha coorientadora, Dra. Maria José de Holanda Leite, por sua generosidade, dedicação e contribuições imprescindíveis para o desenvolvimento deste trabalho. Sua presença foi luz e inspiração durante todo o processo.

A todos que fizeram parte dessa caminhada acadêmica, meu muito obrigada.

RESUMO

A mineração representa uma das principais bases econômicas do estado de Alagoas, impulsionando o desenvolvimento regional e a geração de empregos. Contudo, sua expansão tem provocado impactos ambientais significativos, especialmente nas bacias hidrográficas inseridas no bioma Caatinga – um ecossistema semiárido de alta singularidade ecológica, caracterizado por vegetação xeromórfica e elevada vulnerabilidade à degradação. Nesse contexto, a supressão da cobertura vegetal, o comprometimento das matas ciliares e a alteração das calhas fluviais configuram pressões diretas sobre a estabilidade da paisagem e sobre os processos ecológicos de regeneração natural. A compreensão dessa dinâmica torna-se, portanto, essencial para subsidiar estratégias de manejo e conservação que conciliem o uso sustentável dos recursos minerais e a manutenção da biodiversidade. Diante desse cenário, esta pesquisa teve como objetivo analisar as transformações ambientais ocorridas nas calhas fluviais do estado de Alagoas entre os anos de 2001, 2011 e 2023, considerando os efeitos da mineração sobre a cobertura vegetal e a dinâmica florestal da Caatinga. A metodologia baseou-se na aplicação integrada de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com o uso de imagens multitemporais de satélite e dados cartográficos. Foram delimitadas zonas de influência direta por meio de buffers de 2 km em torno das áreas mineradas, permitindo a avaliação espacial e temporal dos padrões de degradação, regeneração e resiliência. O processamento digital das imagens envolveu classificação supervisionada e análise comparativa de uso e cobertura da terra, possibilitando quantificar as alterações da paisagem e identificar tendências de recuperação ou intensificação dos impactos. Os resultados evidenciaram uma expressiva redução da vegetação nativa nas áreas de entorno das minas, associada ao aumento de superfícies expostas e à fragmentação da mata ciliar. Verificou-se, contudo, a ocorrência de processos pontuais de regeneração natural e de recomposição florestal em fragmentos isolados, indicando o potencial de resiliência da Caatinga quando submetida a menores níveis de perturbação antrópica. As transformações espaciais mostraram-se mais acentuadas em bacias com relevo suave e solos rasos, condições que favorecem o escoamento superficial, a erosão e o assoreamento dos cursos d'água. Tais evidências reforçam a necessidade de integrar o monitoramento geoespacial aos instrumentos de gestão ambiental e territorial. Conclui-se que o sensoriamento remoto constitui uma ferramenta estratégica para o diagnóstico e acompanhamento de impactos ambientais decorrentes da mineração, permitindo a geração de indicadores de degradação e de resiliência ecológica. Recomenda-se a implementação de programas permanentes de monitoramento das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e a adoção de práticas de restauração ecológica voltadas à recuperação da vegetação ripária e da cobertura nativa. Além disso, sugere-se o fortalecimento das políticas públicas e dos instrumentos de planejamento ambiental que promovam o equilíbrio entre desenvolvimento econômico, conservação da paisagem e sustentabilidade do bioma Caatinga. Espera-se que este estudo contribua para o avanço do conhecimento científico e para a formulação de estratégias integradas de gestão ambiental e uso sustentável do território alagoano.

Palavras-chave: Geotecnologias; Caatinga; Monitoramento Ambiental.

ABSTRACT

Mining represents one of the main economic pillars of the state of Alagoas, driving regional development and job creation. However, its expansion has caused significant environmental impacts, especially in the watersheds within the Caatinga biome – a semi-arid ecosystem of high ecological uniqueness, characterized by xeromorphic vegetation and high vulnerability to degradation. In this context, the suppression of vegetation cover, the impairment of riparian forests, and the alteration of river channels pose direct pressures on landscape stability and on the ecological processes of natural regeneration. Understanding this dynamic is, therefore, essential to support management and conservation strategies that reconcile the sustainable use of mineral resources with the maintenance of biodiversity. Given this scenario, this research aimed to analyze the environmental transformations that occurred in the river channels of the state of Alagoas between the years 2001, 2011, and 2023, considering the effects of mining on the vegetation cover and forest dynamics of the Caatinga. The methodology was based on the integrated application of remote sensing and geoprocessing techniques, using multitemporal satellite images and cartographic data. Direct influence zones were delineated using 2 km buffers around the mined areas, allowing for the spatial and temporal assessment of degradation, regeneration, and resilience patterns. Digital image processing involved supervised classification and comparative analysis of land use and land cover, enabling the quantification of landscape changes and the identification of trends in recovery or impact intensification. The results revealed a significant reduction in native vegetation in the areas surrounding the mines, associated with an increase in exposed soil and the fragmentation of riparian forests. However, the occurrence of localized processes of natural regeneration and forest recovery in isolated fragments was verified, indicating the resilience potential of the Caatinga when subjected to lower levels of anthropogenic disturbance. Spatial transformations were more pronounced in watersheds with gentle relief and shallow soils, conditions that favor surface runoff, erosion, and siltation of watercourses. This evidence reinforces the need to integrate geospatial monitoring into environmental and territorial management instruments. It is concluded that remote sensing is a strategic tool for diagnosing and monitoring environmental impacts arising from mining, enabling the generation of degradation and ecological resilience indicators. The implementation of permanent monitoring programs for Permanent Preservation Areas (APPs) and the adoption of ecological restoration practices focused on the recovery of riparian vegetation and native cover are recommended. Furthermore, it is suggested to strengthen public policies and environmental planning instruments that promote a balance between economic development, landscape conservation, and the sustainability of the Caatinga biome. It is expected that this study will contribute to the advancement of scientific knowledge and to the formulation of integrated strategies for environmental management and sustainable land use in Alagoas.

Keywords: Geotechnologies; Caatinga; Environmental Monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de Localização do Semiárido Alagoano	17
Figura 2 – Atividades de Mineração no Semiárido alagoano.....	21
Figura 3 – Localização da Mineração Vale Verde do Brasil Ltda	22
Figura 4 – Detecção da atividade de mineração de 2020 a 2021.....	25
Figura 5 - Detecção da atividade de mineração de 2022 a 2023	26
Figura 6 - Sobreposição espacial menos impactante em comparação com outras classes de uso do solo	28
Figura 7 - Expansão simultânea de ambos os usos do solo a partir de 2021	30
Figura 8 – Redução de Floresta no período 2019-2023	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI - Avaliação de Impacto Ambiental

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima

BSh' - Classificação climática de Köppen para clima semiárido quente

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

ICMM - International Council on Mining and Metals

IEA - International Energy Agency

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMS - Organização Mundial da Saúde

OXFAM - Oxford Committee for Famine Relief

PIB - Produto Interno Bruto

RGB - Red, Green, Blue (Composição Colorida)

SR - Sensoriamento Remoto

WHO - World Health Organization (já citada como OMS, mas importante incluir a sigla internacional)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Histórico do uso da Mineração no mundo	12
2.2 Impactos sociais gerados pelos empreendimentos minerários	13
2.3 Geotecnologias (contexto da mineração)	14
2.4 Dinâmica florestal e vegetação savânica da Caatinga em áreas impactadas pela mineração em Alagoas.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Área de Estudo	16
3.2 Coleta e Preparação de Dados	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5 CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A mineração constitui uma das principais atividades econômicas do estado de Alagoas, sendo responsável por impulsionar o desenvolvimento regional, gerar empregos e fortalecer a economia local (Cardozo; Pimenta; Ribeiro, 2016; IBGE, 2020).

No entanto, sua expansão apresenta consequências ambientais significativas, sobretudo nas bacias hidrográficas inseridas no bioma Caatinga (Leal; Tabarelli; Silva, 2003). Este ecossistema semiárido possui elevada singularidade ecológica, sendo caracterizado por vegetação xeromórfica e solos rasos (Melo et al., 2023). O bioma exibe alta vulnerabilidade à degradação e presença de áreas de vegetação savânica, adaptada às condições semiáridas (Leal et al., 2005; Costa et al., 2009).

A supressão da vegetação nativa, a degradação das matas ciliares e a alteração das calhas fluviais resultam em impactos cumulativos que afetam processos hidrológicos, a biodiversidade e a resiliência dos ecossistemas locais (Cerqueira et al., 2021), configurando um desafio crítico para o manejo ambiental e a sustentabilidade regional (Erthal; Erthal; Muller, 2021). Apesar da relevância social, econômica e ecológica do tema, ainda existem lacunas significativas quanto ao entendimento das interações entre mineração, cobertura vegetal (incluindo a vegetação savânica) e dinâmica das calhas fluviais na Caatinga alagoana (Maia et al., 2017).

Estudos anteriores carecem de uma abordagem integrada que articule análise espaço-temporal, sensoriamento remoto e ecologia da paisagem, limitando a capacidade de avaliação da intensidade e extensão dos impactos (Coelho et al., 2021). Nesse sentido, a pesquisa proposta assume caráter pioneiro, buscando preencher uma lacuna científica importante e fornecer dados estratégicos para orientar políticas públicas, planejamento territorial e estratégias de conservação adaptativa.

A originalidade deste estudo está na utilização de geotecnologias para monitorar e analisar mudanças na cobertura vegetal (com destaque para a vegetação savânica) e na mudança espacial do uso e ocupação do solo. Essa abordagem permite identificar padrões de degradação, regeneração e resiliência da vegetação, correlacionando-os com variáveis ambientais, como relevo, tipo de solo e proximidade das áreas mineradas (Cardozo; Pimenta; Ribeiro, 2016). Dessa forma, o estudo não apenas gera conhecimento científico, mas também oferece subsídios técnicos para práticas de manejo e restauração ecológica, integrando teoria e aplicação prática.

Considerando a utilização da série temporal (2019-2023) da coleção 2 beta do MapBiomass, derivada de imagens Sentinel-2 com resolução espacial de 10 metros, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a dinâmica florestal e o impacto da atividade minerária em áreas do Semiárido alagoano.

Para tanto, busca-se mapear e quantificar a expansão ou retração das áreas de mineração e das classes de vegetação nativa adjacentes no período analisado entre 2019 e 2023, avaliar as taxas de perda de cobertura vegetal (desmatamento) e os eventuais processos de regeneração natural ou recuperação ativa associados às áreas mineradas, bem como correlacionar a dinâmica espacial identificada com os processos geoambientais e antrópicos característicos da região semiárida, utilizando a maior resolução espacial dos dados para capturar a fragmentação florestal em detalhe.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico do uso da Mineração no mundo

A mineração configura-se como uma das atividades econômicas mais antigas e relevantes do mundo, sendo fundamental para o desenvolvimento industrial, tecnológico e urbano (Monteiro, 2005). Sua atuação abrange desde a extração de metais preciosos para fins artísticos e militares até a obtenção de minerais essenciais para a produção de eletrônicos (Euclides et al., 2021), fornecendo ainda insumos críticos para os setores de energia e para as tecnologias verdes, o que movimenta trilhões de dólares anualmente (Tolmasquim, 2012) e a consolida como um pilar econômico estratégico em escala global.

Nos últimos anos, a demanda por minerais estratégicos, como lítio, cobalto e níquel, tem sido impulsionada pelo avanço das tecnologias verdes, incluindo veículos elétricos, sistemas de armazenamento de energia e energias renováveis (ONU, 2024), o que evidencia a transição energética global, a qual requer cadeias de suprimentos minerais complexas e confiáveis (IEA, 2021). Contudo, esta dependência econômica expõe os países a flutuações nos preços internacionais, gerando vulnerabilidade econômica e riscos de crises cíclicas em períodos de instabilidade de mercado (ONU, 2024).

Paralelamente, a mineração tradicional frequentemente gera impactos ambientais significativos, incluindo degradação do solo, poluição hídrica e atmosférica (Nascimento; Bursztyn, 2010), além de consumo elevado de água e energia e perda de biodiversidade, afetando

diretamente formações vegetais frágeis, como a vegetação savânica do semiárido brasileiro (Teles; Hurtado, 2023).

Diante desses desafios, a mineração sustentável surge como paradigma alternativo, que visa conciliar a exploração econômica com a preservação socioambiental. Entre suas práticas, destacam-se a redução de resíduos, a recuperação de áreas degradadas, a proteção de ecossistemas frágeis e a mitigação de impactos sociais, com ênfase no manejo adequado de formações savânicas (Paixão et al., 2019).

2.2 Impactos sociais gerados pelos empreendimentos minerários

As mineradoras exercem profunda influência social, especialmente em regiões onde a atividade é intensiva (Cavinato; Capitani, 2023). Os empreendimentos minerários frequentemente desencadeiam transformações demográficas, conflitos territoriais e alterações nos modos de vida tradicionais, afetando comunidades locais, indígenas e quilombolas (Maso; Isaguirre-Torres, 2024).

No Brasil, estados como Minas Gerais, Pará, Roraima e Alagoas ilustram contextos em que a expansão minerária resultou em deslocamentos forçados, degradação ambiental e violações de direitos trabalhistas (Alves; Sol; Modena, 2020). A presença desses empreendimentos frequentemente gera uma tensão entre a exploração econômica e a manutenção da qualidade de vida das populações adjacentes, o que exige reassentamentos que podem comprometer laços culturais essenciais (Santos, 2016).

Além dos impactos diretos, a poluição atmosférica e a poeira geradas pela extração e transporte de minérios estão associadas ao aumento de doenças respiratórias (Mota et al., 2022). Estudos apoiados pela Organização Mundial da Saúde indicam até 30% mais de incidência de problemas pulmonares em comunidades próximas a essas atividades (Saraiva et al., 2024).

Para minimizar esses efeitos, recomenda-se a adoção de políticas públicas robustas, incluindo consultas prévias às comunidades, planos de reassentamento adequados, investimentos em desenvolvimento local e fiscalização rigorosa do setor (Pessoas et al., 2019). A integração do planejamento social e ambiental nas operações minerárias mostra-se, portanto, essencial para reduzir impactos e promover o desenvolvimento sustentável, com especial atenção à proteção de formações vegetais sensíveis, como as savânicas.

2.3 Geotecnologias (contexto da mineração)

As geotecnologias emergiram como um campo interdisciplinar essencial no século XXI, integrando conhecimentos de geografia, ciência da computação e engenharia para a análise espacial. Essa integração transformou a coleta, o processamento e a interpretação de dados geoespaciais, permitindo o mapeamento e o monitoramento ambiental com alta precisão (Goodchild, 2009). Historicamente, o seu desenvolvimento remonta aos primeiros sistemas de cartografia digital do século passado, evoluindo para plataformas com inteligência artificial e sistemas de informações geográficas avançados aplicados à análise territorial (Hamada, 2021).

Ferramentas como o sensoriamento remoto, os sistemas de informação geográfica (SIG) e os drones revolucionaram diversas áreas, incluindo meio ambiente, planejamento urbano (Ramos; Alves; Esteves, 2024), agricultura de precisão e mineração, oferecendo eficiência, redução de impactos ambientais e suporte a decisões estratégicas (Oliveira; Carvalho, 2024).

Na prática, o sensoriamento remoto permite obter imagens detalhadas do território, enquanto os SIG possibilitam analisar, cruzar e modelar informações georreferenciadas. Essa sinergia é fundamental para identificar áreas degradadas (Lima; Loureiro, 2023), monitorar mudanças na cobertura vegetal e avaliar estratégias de restauração ecológica, incluindo a regeneração de vegetação savânica (Alves; Lima; Veloso, 2022).

Assim, estudos recentes mostram que essas geotecnologias contribuem diretamente para a preservação e modelagem de espécies de plantas, determinando um espaço multidimensional de vários nichos ecológicos, como o clima e as interações bióticas (Lima; Santos, 2024). Por fim, esses dados espaciais permitem a análise contínua e histórica de impactos, garantindo suporte técnico para políticas públicas e para o planejamento territorial ambiental (Santos; Lima; Santana, 2024).

2.4 Dinâmica florestal e vegetação savânica da Caatinga em áreas impactadas pela mineração em Alagoas

O bioma Caatinga apresenta adaptações evolutivas ao semiárido, incluindo tolerância à seca, sazonalidade climática intensa e capacidade de regeneração após perturbações ambientais (Silva; Castro; Cruz, 2024). Essa resiliência é fundamental para a manutenção da biodiversidade e

dos serviços ecossistêmicos, sendo observável tanto na vegetação arbórea quanto nas formações savânicas, as quais são caracterizadas por estrato herbáceo-arbustivo, árvores dispersas e espécies adaptadas à escassez hídrica.

Em áreas mineradas, a exploração mineral provoca fragmentação de habitats, perda de cobertura vegetal e alterações na ciclagem de nutrientes, afetando processos ecológicos essenciais, como a sucessão natural e a manutenção da fauna e flora nativas (Victor; Alcandra, 2017). Estudos indicam que a regeneração da vegetação ocorre de forma heterogênea: regiões próximas às minas apresentam recomposição lenta e baixa diversidade, enquanto áreas periféricas ou protegidas exibem recuperação mais rápida e maior riqueza de espécies, incluindo a recuperação parcial da vegetação savânica.

Estudos no Cerrado brasileiro evidenciam a heterogeneidade na recuperação de áreas mineradas. Corrêa et al. (2018) observaram que a regeneração natural em áreas exploradas resultou em uma cobertura vegetal lenta (0,8% ao ano) e baixa diversidade, devido às condições adversas do substrato. Em contraste, áreas que receberam intervenções ativas, como a introdução de herbáceas nativas junto com árvores, não apenas aceleraram a formação da cobertura verde, mas também resultaram em uma comunidade vegetal mais diversificada e menos propensa à invasão por espécies exóticas, em comparação com métodos menos diversificados.

A sucessão ecológica nessas áreas depende da intensidade e duração da perturbação, da disponibilidade de água, da fertilidade do solo e da presença de espécies pioneiras adaptadas ao semiárido (Gonçalves, 2022). Espécies como *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Cereus jamacaru*, *Caesalpinia pyramidalis* e *Schinopsis brasiliensis* atuam como facilitadoras da regeneração, promovendo a estabilização do solo (Embrapa, 2018), além de sombreamento e fornecimento de matéria orgânica, o que favorece o estabelecimento de espécies secundárias e arbóreas (Cardoso et al., 2012).

O uso de geotecnologias tem se mostrado essencial para mapear mudanças na cobertura vegetal, quantificar a regeneração e identificar áreas prioritárias para restauração, fornecendo dados para o manejo adaptativo e o monitoramento contínuo (Oliveira et al., 2015; Sena; Rocha, 2022). A proteção de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e matas ciliares é crucial para assegurar a regeneração ecológica, manter serviços ambientais essenciais e garantir resiliência frente às pressões antrópicas (Rodrigues; Passos; Fontana, 2021).

Por sua vez, a participação comunitária e a educação ambiental fortalecem a sustentabilidade das ações de recuperação (Jacobi, 2003), pois incentivam práticas de manejo compatíveis com a preservação ambiental e promovem a conscientização social sobre os impactos da mineração (Nava; Pinto; Pereira, 2023).

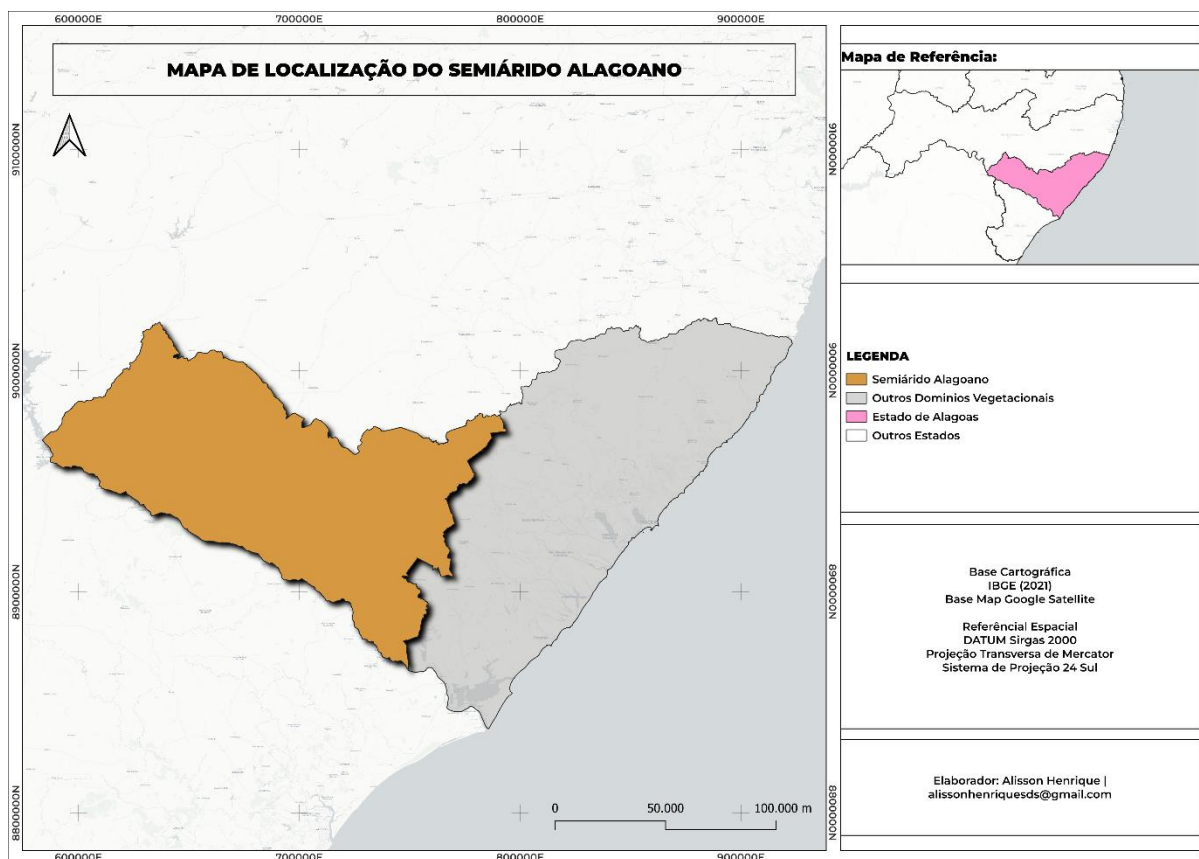
A dinâmica florestal da Caatinga em áreas mineradas de Alagoas deve, portanto, ser abordada considerando a resiliência ecológica, a sucessão natural, a resposta adaptativa da vegetação e a recuperação da vegetação savânica, o que oferece suporte teórico e prático para estratégias de restauração, mitigação de impactos socioambientais e manejo sustentável do território.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada no Semiárido alagoano, região inserida no contexto do Nordeste brasileiro, caracterizada por elevada vulnerabilidade hídrica, solos rasos e vegetação predominantemente de Caating (Figura 1). A pesquisa foi conduzida no período de agosto de 2024 a setembro de 2025, intervalos estratégicos para a observação de indicadores ambientais, devido à transição entre a estação seca e o início do período chuvoso, proporcionando condições ideais para a análise da dinâmica ecológica e hidrológica da região.

Figura 1 - Mapa de Localização do Semiárido Alagoano



Fonte: Autora (2025)

Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima do tipo BSh, caracterizado como semiárido quente, com alta irregularidade pluviométrica, longos períodos de estiagem e elevadas taxas de evapotranspiração (Júnior et al., 2022). Dados históricos de séries temporais de precipitação e temperatura, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), indicam que a precipitação anual concentra-se predominantemente entre os meses de novembro e abril, variando entre 380 e 760 mm, com média anual de 520,70 mm. Tais condições evidenciam a escassez hídrica típica do semiárido e impõem restrições ao crescimento vegetal e à disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

A temperatura média anual é elevada, em torno de 25,8°C, com máximas de 33,9°C nos meses mais quentes e mínimas de 18,3°C no período mais frio, registradas em altitude média de 316 metros (Júnior et al., 2022). Essa variação térmica, associada à irregularidade pluviométrica,

influencia diretamente a fenologia, a produtividade e os padrões de sucessão ecológica da vegetação nativa, que apresenta adaptações morfofisiológicas à escassez hídrica prolongada.

O relevo da região é predominantemente ondulado, caracterizado por chapadas e depressões, favorecendo a formação de microbacias hidrográficas e cursos d'água intermitentes. Os solos predominantes são latossolos e neossolos, geralmente de baixa profundidade e limitada capacidade de retenção hídrica, fatores que impactam a infiltração da água, a recarga de aquíferos e a sustentação da vegetação natural (Silva et al., 2021).

Ecologicamente, a área integra o bioma Caatinga, caracterizado por alta diversidade biológica e por espécies endêmicas adaptadas às condições semiáridas. A vegetação apresenta características xeromórficas, incluindo folhas pequenas ou caducas, sistemas radiculares profundos e estratégias fisiológicas de tolerância à dessecação, conferindo resiliência frente a perturbações antrópicas e naturais. Esses atributos permitem rápida regeneração após distúrbios, como atividades minerárias e práticas agropecuárias intensivas (Albuquerque et al., 2012).

Essa dinâmica ecológica encontra-se intimamente relacionada aos fatores socioeconômicos da região, cuja economia é baseada em agricultura familiar, pecuária extensiva e extração mineral, coexistindo com áreas de preservação permanente e remanescentes florestais. A presença de comunidades ribeirinhas e rurais reforça a relevância do espaço para estudos socioambientais, uma vez que a gestão da água, a manutenção da biodiversidade e a implementação de estratégias de manejo sustentável dependem da interação entre os recursos naturais e as atividades humanas (Milanez; Losekann, 2021).

Além disso, a caracterização geológica da área evidencia formações cristalinas e sedimentares associadas a depósitos minerais de relevância econômica, sobretudo cobre e ouro. O aproveitamento histórico e contemporâneo desses recursos condiciona a dinâmica do uso do solo e intensifica a pressão sobre os remanescentes florestais. Assim, a inter-relação entre geologia, relevo, hidrologia e ocupação humana define a estrutura ambiental da região, constituindo uma base sólida para a análise dos impactos de atividades minerárias sobre a vegetação e os recursos hídricos.

O conjunto dessas características, clima semiárido quente, relevo ondulado, solos frágeis, vegetação adaptada à seca, biodiversidade endêmica do bioma Caatinga, economia local e presença de atividades minerárias – configura a região como um espaço privilegiado para estudos sobre impactos ambientais, processos de sucessão ecológica e regeneração da vegetação em áreas

degradadas. Essa abordagem integrada permite correlacionar fatores ecológicos, hidrológicos e socioeconômicos, fornecendo subsídios técnicos essenciais para a elaboração de estratégias de conservação e manejo sustentável em ecossistemas semiáridos impactados por atividades antrópicas.

3.2 Coleta e Preparação de Dados

A coleta de dados foi realizada na região do Semiárido Alagoano, com o objetivo de avaliar os impactos da atividade minerária sobre a cobertura vegetal lenhosa, especialmente a vegetação savânica do bioma Caatinga. A delimitação espacial dos empreendimentos minerários foi realizada a partir da base de pontos de mineração do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A partir da base original do estado de Alagoas, contendo 22 registros, aplicou-se um recorte espacial correspondente aos limites do Semiárido, selecionando quatro pontos ativos para análise detalhada. Esses pontos foram escolhidos por representarem diferentes tipos de mineral explorado (cobre e ouro), proximidade com áreas de vegetação remanescente e disponibilidade de dados históricos.

A análise da cobertura vegetal utilizou imagens do satélite Sentinel-2 processada pela coleção de uso e cobertura do solo MapBiomas (versão beta), com resolução espacial de 10 metros. Para o estudo da dinâmica de cobertura, considerou-se o período de quatro anos. Para identificar o início das operações de cada empreendimento, foram utilizadas composições coloridas (RGB) de imagens Sentinel-2 de 2017 a 2024, permitindo determinar o start-up das atividades minerárias.

Em seguida, as imagens raster foram padronizadas em projeção cartográfica compatível e recortadas para os limites da área de estudo. Posteriormente, foram extraídas as classes de interesse: vegetação savânica (classe 4) e mineração (classe 30). Para cada classe, foi gerada uma máscara binária, convertendo os pixels em valores 0 (ausência) e 1 (presença), o que permitiu a análise de sobreposição e transição espacial entre as coberturas. O pré-processamento também incluiu a verificação de qualidade das imagens, remoção de pixels contaminados por nuvens ou sombras, e alinhamento temporal para garantir consistência nos períodos analisados.

Já a análise espacial foi conduzida utilizando operações de álgebra de mapas. Essa etapa permitiu calcular a diferença entre as máscaras de vegetação savânica e mineração, identificando os pixels que sofreram transição de vegetação para área minerada. Os pixels resultantes foram

vetorizados e convertidos em polígonos, possibilitando a quantificação espacial da área degradada em hectares de forma precisa. Além disso, foram elaborados mapas temáticos mostrando a distribuição espacial da cobertura vegetal e das áreas mineradas, permitindo visualizar padrões de degradação associados à proximidade dos empreendimentos.

A análise temporal consistiu em avaliar a evolução da cobertura vegetal e da expansão da mineração ao longo do período de 2017 a 2022. Foi possível correlacionar o início das atividades minerárias com a extensão da perda de vegetação e, em alguns casos, com indícios de regeneração natural. Essa etapa possibilitou identificar períodos críticos de impacto, bem como áreas com maior capacidade de recuperação da vegetação lenhosa do bioma Caatinga.

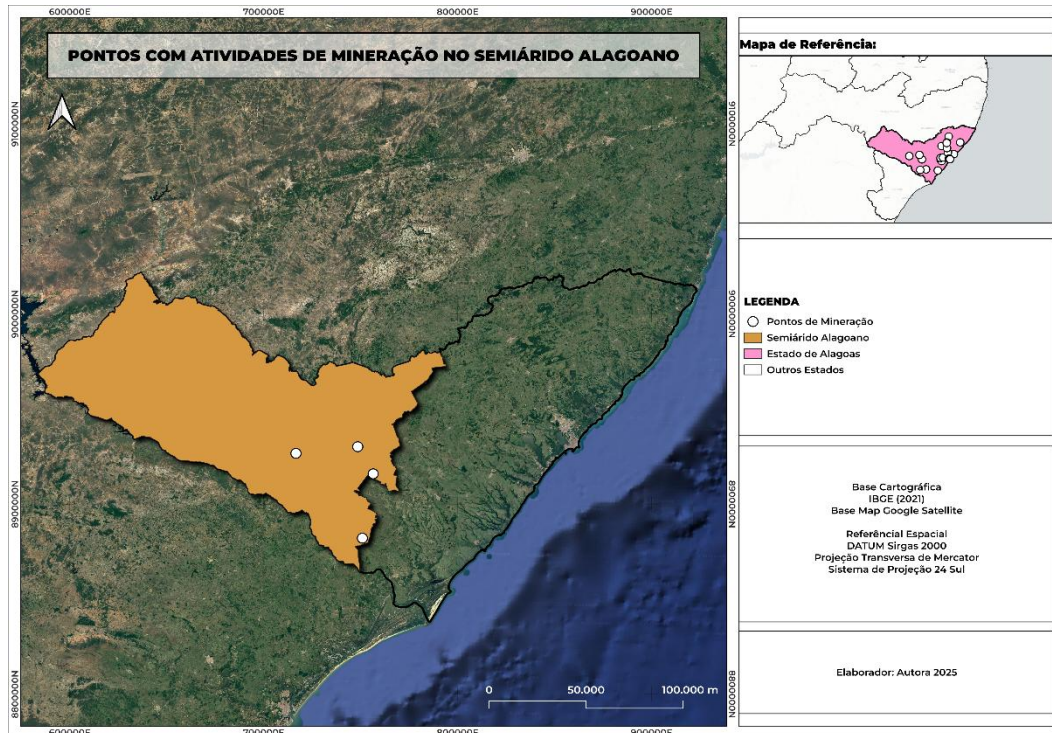
E para compreender os impactos de forma integrada, os dados espaciais foram combinados com informações sobre relevo, hidrologia, solos e uso do solo. Essa abordagem permitiu correlacionar variáveis ambientais com a intensidade da degradação causada pela mineração. Além disso, foram consideradas as comunidades rurais e ribeirinhas presentes na região, avaliando a relação entre o uso da água, a manutenção da biodiversidade e a sustentabilidade das atividades humanas.

Por fim, os resultados obtidos foram sistematizados em mapas temáticos, indicadores de perda e regeneração da vegetação e tabelas de quantificação espacial, fornecendo subsídios para planejamento ambiental e estratégias de manejo sustentável em áreas impactadas pela mineração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), identificaram-se 22 pontos vetoriais referentes a atividades minerárias em operação no estado de Alagoas. Após a aplicação do recorte espacial correspondente à delimitação do Semiárido Alagoano, constatou-se que apenas quatro desses empreendimentos se situam dentro da área de estudo (Figura 2).

Figura 2 – Atividades de Mineração no Semiárido alagoano



Fonte: elaborado pela autora (2025)

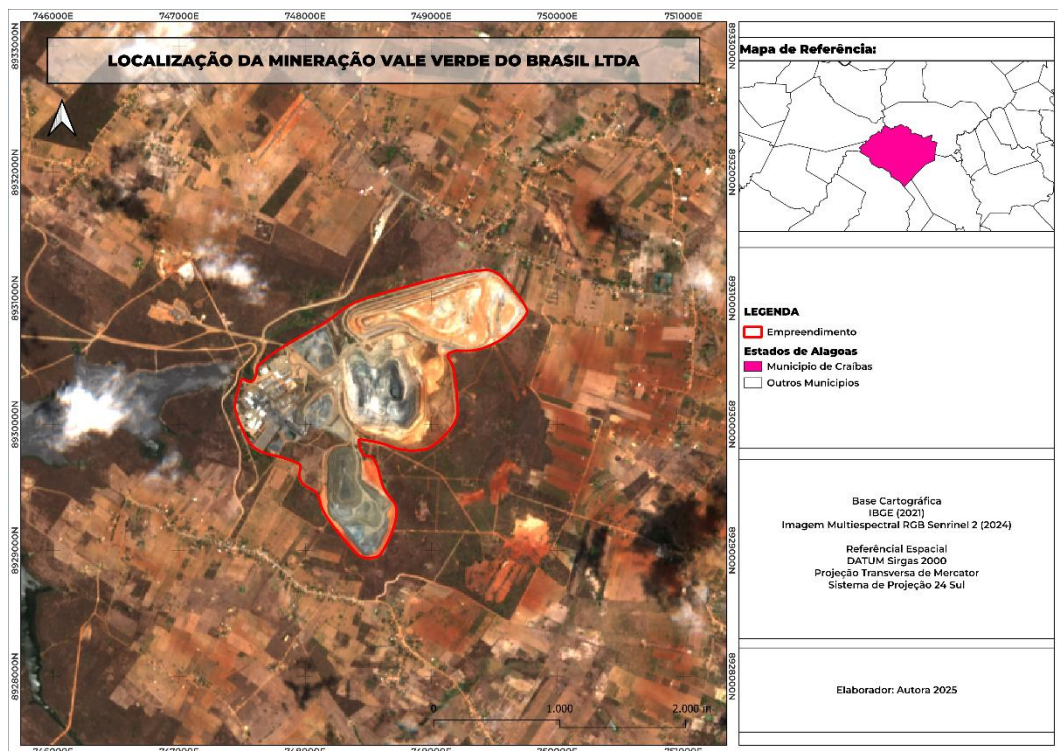
Uma possível explicação para a distribuição observada na Figura 2, é que a maior parte das atividades minerárias do estado de Alagoas concentra-se fora do Semiárido Alagoano, provavelmente em áreas com maior ocorrência de depósitos minerais economicamente exploráveis, acesso a infraestrutura e condições geológicas favoráveis, o que pode refletir uma heterogeneidade na exploração mineral e indicar que o impacto da mineração no Semiárido Alagoano é relativamente restrito em termos de número de pontos, mas ainda relevante para avaliação ambiental local, especialmente considerando os possíveis efeitos sobre a cobertura vegetal, a hidrologia e os ecossistemas associados à Caatinga.

A distribuição espacial da mineração em Alagoas, conforme ilustrado na Figura 2, não é homogênea, com uma nítida concentração de empreendimentos fora dos limites do Semiárido. Essa concentração pode ser atribuída a fatores logísticos, econômicos e geológicos. Um caso emblemático é o Projeto Caboclo, analisado por Santos Filho (2021), um projeto de mineração de cobre de grande porte situado no Agreste alagoano, região com características distintas do Sertão semiárido. A análise do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) revela uma lista

extensa de impactos potenciais, incluindo supressão de vegetação nativa, alteração na dinâmica hídrica e riscos de contaminação do solo e da água. Este caso demonstra que, embora o número de pontos de mineração no Semiárido possa ser menor, a atividade, onde presente – seja no Semiárido ou em regiões de transição como o Agreste –, gera impactos ambientais profundos que demandam uma rigorosa avaliação e fiscalização, particularmente em ecossistemas sensíveis como a Caatinga e suas áreas de transição.

Dentre esses quatro pontos, a análise temporal de 2020 a 2023 por meio das classificações do MapBiomass e a inspeção visual das imagens Sentinel-2 permitiu identificar que apenas um apresentou uma assinatura espacial clara e progressiva de impacto da atividade minerária sobre a cobertura de vegetação savânica. O empreendimento identificado foi operado pela empresa Mineração Vale Verde do Brasil Ltda., localizada no município de Craíbas em Alagoas (Figura 3).

Figura 3 – Localização da Mineração Vale Verde do Brasil Ltda



Fonte: elaborado pela autora (2025)

Os outros três pontos minerários – referentes à Cerâmica Arapiraca Ltda., Mineração Barreto S.A. e Taicoca Mineração Transporte Ltda. – não manifestaram, no período analisado, uma substituição de cobertura vegetal pela classe de mineração (classe 30) que pudesse ser detectada pela metodologia empregada (Figura 4).

Este resultado indica uma discrepância entre o registro cadastral e a manifestação fisionômico-espacial da atividade. O que pode ser explicado pelo fato de que, embora existam quatro empreendimentos minerários na área de estudo, apenas um deles apresenta evidências claras de alteração da cobertura vegetal savânica entre 2020 e 2023. Isso pode estar relacionado à intensidade e à extensão da atividade minerária, já que os outros três empreendimentos podem operar em menor escala, causando impactos localizados que não são facilmente detectáveis pelas imagens de satélite ou pelas classificações do MapBiomias.

Estudos de caso em áreas de mineração demonstram que mesmo intervenções de restauração podem resultar em uma cobertura vegetal com baixa similaridade fisionômica e florística em relação ao ecossistema original (Gonzalo et al., 2015). Assim, áreas em que pode ser registrada como "vegetação" por sensores remotos, acabam mascarando o impacto subjacente. Logo, a presença de espécies pioneiras e exóticas, comum nesses cenários, forma uma cobertura verde que, embora detectável, difere significativamente da vegetação savânica nativa.

Outra explicação possível é o tempo de operação dos empreendimentos. É provável que alguns deles tenham iniciado suas atividades recentemente ou estejam em fase de planejamento, sem provocar alterações significativas na vegetação até o momento da análise. Além disso, as características da vegetação savânica podem contribuir para a menor detecção de impactos. Essa vegetação apresenta certa resiliência e capacidade de regeneração rápida, o que pode mascarar alterações temporárias em algumas áreas.

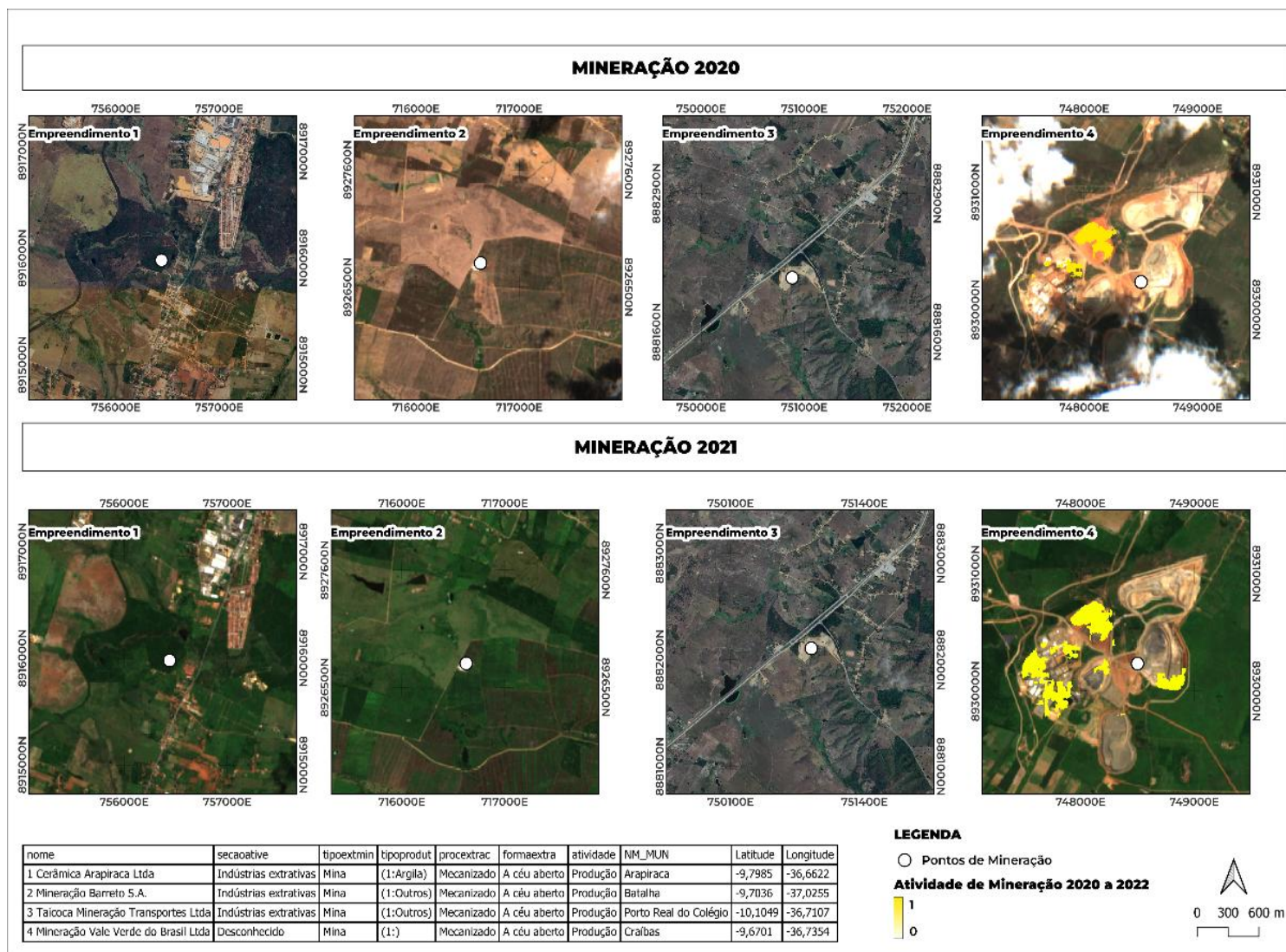
Por fim, limitações do sensoriamento remoto também podem influenciar os resultados, tendo em vista que pequenas alterações ou atividades subterrâneas podem não ser captadas pelas imagens de satélite, de modo que apenas impactos mais evidentes e extensos, como os observados no empreendimento da Mineração Vale Verde, sejam detectáveis. A ausência de sinais claros de atividade minerária nos demais empreendimentos do Semiárido Alagoano pode ser explicada por diferentes fatores.

Primeiramente, a escala e a intensidade das operações podem ser insuficientes para produzir alterações detectáveis por sensoriamento remoto. Além disso, a natureza da atividade mineral em

alguns pontos pode não implicar na remoção significativa da cobertura do solo, como ocorre em minerações a céu aberto, ou ainda os empreendimentos podem ter se encontrado em fase de planejamento ou licenciamento, sem início efetivo da extração durante o período analisado.

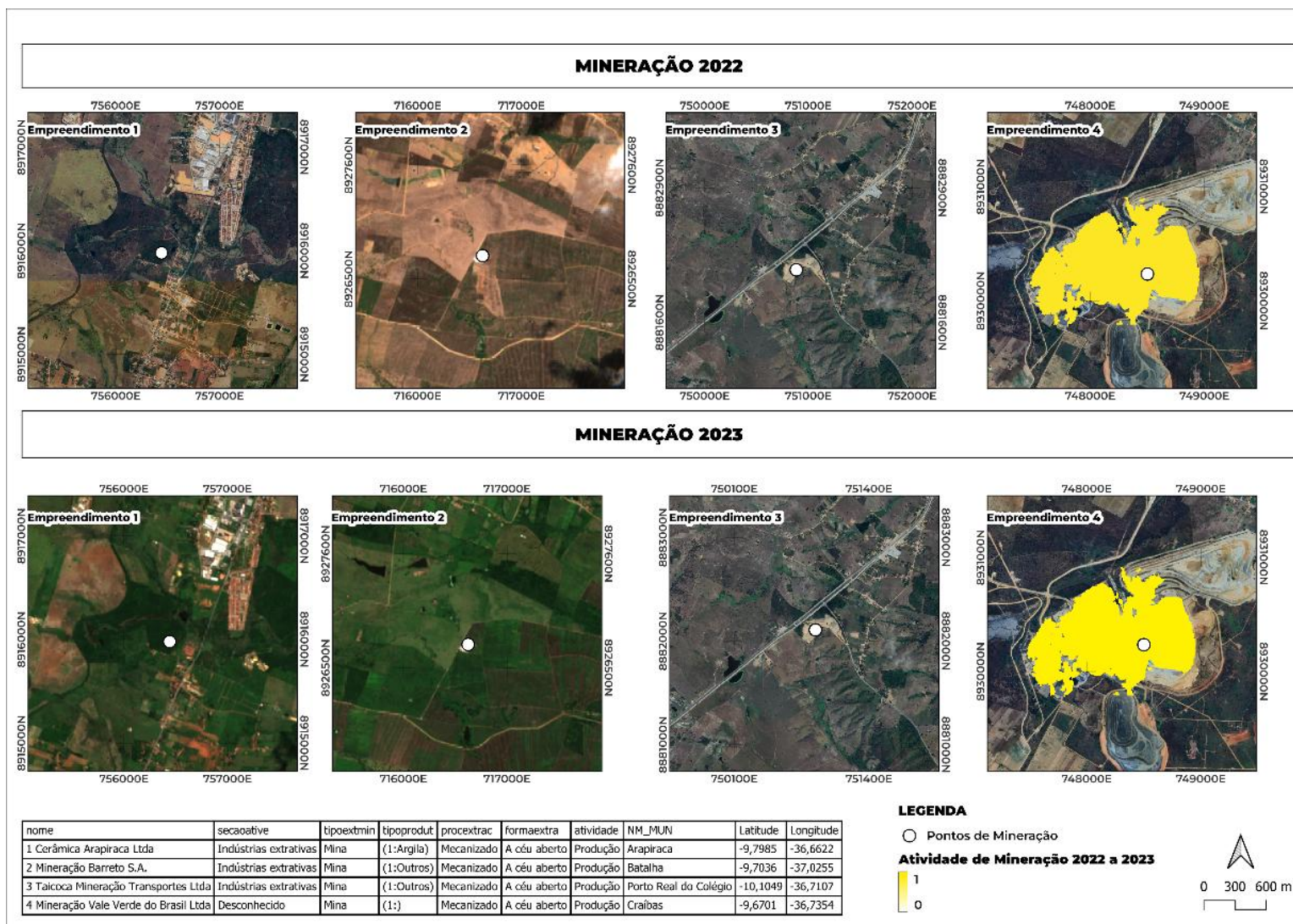
Essa observação é consistente com estudos anteriores, que indicam que pequenas operações ou atividades subterrâneas em regiões de cerrado e savana frequentemente passam despercebidas em séries temporais de imagens de satélite (Silva et al., 2019).

Figura 4 – Detecção da atividade de mineração de 2020 a 2021



Fonte: elaborado pela autora (2025)

Figura 5 - Detecção da atividade de mineração de 2022 a 2023



Fonte: elaborado pela autora (2025)

A ausência de sinais claros de atividade minerária nos demais empreendimento do Semiárido Alagoano pode ser explicada por diferentes fatores.

Primeiramente, a escala e a intensidade das operações podem ser insuficientes para produzir alterações detectáveis por sensoriamento remoto. Além disso, a natureza da atividade mineral em alguns pontos pode não implicar na remoção significativa da cobertura do solo, como ocorre em minerações a céu aberto, ou ainda os empreendimentos podem ter se encontrado em fase de planejamento ou licenciamento, sem início efetivo da extração durante o período analisado.

Essa observação é consistente com estudos anteriores, que indicam que pequenas operações ou atividades subterrâneas em regiões de cerrado e savana frequentemente passam despercebidas em séries temporais de imagens de satélite (Silva et al., 2019).

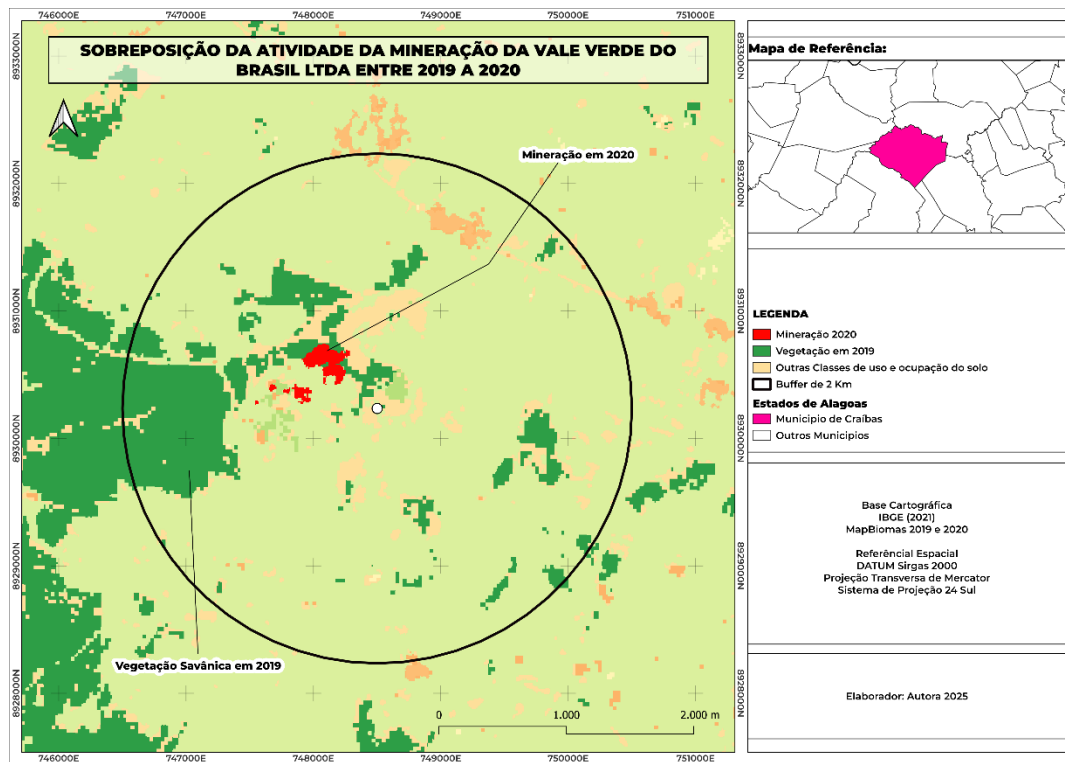
A análise da dinâmica do uso do solo no entorno do empreendimento minerário, entre 2019 e 2020, revela um cenário inicial de impacto seletivo. O ano de 2019 serve como linha de base, com a ausência de mineração detectada e uma cobertura de vegetação savânica de 154,21 hectares no raio de influência de 2 km. Em 2020, com o início das operações, a classe de mineração foi identificada em 7,68 hectares.

Paralelamente, a área de savana foi reduzida para 137,94 ha, indicando uma perda de 16,27 hectares no período. Embora se trate de um impacto inicial e quantitativamente distinto de grandes desastres, é crucial monitorar tais alterações, uma vez que atividades extrativistas, mesmo em estágio embrionário, podem evoluir para cenários de alto impacto socioambiental, a exemplo do deslocamento forçado de milhares de pessoas verificado em Maceió-AL devido à mineração de sal-gema (Teles, 2023).

A comparação direta entre o crescimento da área minerada e o declínio da savana sugere, contudo, uma sobreposição espacial limitada. Isto implica que a implantação da mina, em seu primeiro ano, ocupou predominantemente áreas já antropizadas ou de outras classes de uso do solo, resultando em um impacto relativo menor sobre a vegetação nativa savânica em comparação com outros vetores de desmatamento atuantes na região. Esta análise ressalta a importância de se investigar os demais agentes de mudança no território para uma compreensão abrangente da perda de cobertura vegetal (Figura 6).

A figura mostra claramente através do ponto central e um raio com um buffer de 2km a interação entre as classes de uso e ocupação do solo. É possível observar que a classe de mineração possui um impacto menos relevante em comparação com as outras classes.

Figura 6 - Sobreposição espacial menos impactante em comparação com outras classes de uso do solo



Fonte: elaborado pela autora (2025)

Vale ressaltar que, o empreendimento da Mineração Vale Verde do Brasil Ltda., localizado em Craíbas, destacou-se como o único caso com evidência clara de conversão direta de vegetação savânica em área minerada durante o período de 2020 a 2023. O que evidencia que, mesmo em regiões com baixa densidade de empreendimentos minerários, o sensoriamento remoto aliado à análise temporal é capaz de identificar impactos ambientais significativos, permitindo monitorar a perda de vegetação nativa e subsidiar estratégias de conservação e gestão sustentável. O caso da Mineração Vale Verde serve, portanto, como referência para compreender a dinâmica de degradação em ecossistemas savânicos do Semiárido Alagoano, destacando a importância de abordagens quantitativas e contínuas na avaliação de impactos minerários.

Esta afirmação fundamenta-se na diferença observada na classe de vegetação savânica entre 2019 (154,21 ha) e 2020 (137,94 ha), que registrou uma perda total de 16,27 hectares. Deste total, a atividade de mineração foi responsável por uma perda de 4,95 hectares de vegetação savânica.

Os resultados indicam que a implantação inicial da atividade minerária em 2020 não representou o principal vetor de supressão da cobertura vegetal no período, sendo responsável por aproximadamente 30% da perda total de vegetação savânica. A supressão vegetal para instalação da mina ocorreu predominantemente em áreas já convertidas para outras classes de uso do solo, e a análise para o período de 2019 a 2020 registrou uma perda líquida de 16,27 hectares de vegetação savânica. Deste total, a mineração foi identificada como o agente direto em 4,95 hectares, enquanto os 11,32 hectares remanescentes foram atribuídos a outras pressões antrópicas, como a expansão agropecuária.

Entretanto, a interpretação desses dados deve considerar a limitação da escala temporal investigada. A perda aparentemente pontual e de magnitude relativamente baixa, quando observada em uma janela de apenas um ano, pode mascarar a dinâmica de degradação em escalas decadais. A implantação de um empreendimento de mineração gera impactos indiretos e prolongados que transcendem os limites do seu platô operacional.

A abertura de estradas, o aumento do fluxo de pessoas e veículos, e as alterações no lençol freático e na paisagem funcionam como catalisadores para a degradação do entorno. Desta forma, é plausível hipotetizar que, em um período de 10, 20 ou 40 anos, o cenário de perda de vegetação nativa seria drasticamente diferente e amplificado, com a mineração exercendo um papel central, ainda que indireto, na aceleração do processo de desertificação característico do Semiárido. Portanto, os 4,95 hectares de supressão direta representam apenas a fração inicial e mais visível de um impacto socioambiental de longo alcance.

Discute-se que as transições mais prováveis para outras classes de uso e ocupação do solo, como pastagem (classe 15) ou área não vegetada (classe 25), constituem os fatores preponderantes para esta dinâmica de desmatamento. Este achado ressalta a importância de considerar o contexto multifatorial da paisagem, onde pressões indiretas de diversos vetores de degradação, e não apenas a mineração, atuam sinergicamente na redução da cobertura vegetal do bioma Caatinga.

A análise da cobertura savânica entre 2019 e 2023 revela uma dinâmica complexa: partindo de 154,21 ha (2019), houve uma contração para 137,94 ha (2020), seguida por uma expressiva expansão nos anos posteriores, alcançando 187,76 ha (2021) e 258,57 ha (2023). Apesar da nítida trajetória de crescimento quantitativo, é prematuro atribuí-la exclusivamente à resiliência ecossistêmica. A janela temporal analisada é curta para descartar a influência de variáveis climáticas interanuais, característica marcante do Semiárido.

A época de captura das imagens de satélite é um fator crítico: se a imagem de 2020 foi obtida em um período de estiagem e as de 2021 e 2023 em estações chuvosas, o aumento observado pode refletir, em parte, uma resposta fenológica passageira da vegetação à disponibilidade hídrica, e não necessariamente um incremento permanente na biomassa ou na complexidade estrutural do ecossistema. Portanto, os dados apontam para uma recuperação da área de cobertura savânica, mas a confirmação de que se trata de uma resiliência consolidada e não de uma flutuação sazonal depende da ampliação do período de monitoramento e da validação em campo.

Paralelamente, a mineração expandiu-se aceleradamente a partir de 2020, ocupando 7,68 hectares inicialmente e alcançando 95,6 hectares em 2023. O crescimento mais expressivo ocorreu entre 2021-2022, com expansão de 74,04 hectares.

A análise integrada demonstra expansão simultânea de ambos os usos do solo a partir de 2021. A vegetação savânica cresceu 120,63 hectares enquanto a mineração ocupou 87,92 hectares no período. Esta dinâmica indica processos complexos de regeneração natural e substituição espacial na paisagem (Figura 7).

Figura 7 - Expansão simultânea de ambos os usos do solo a partir de 2021

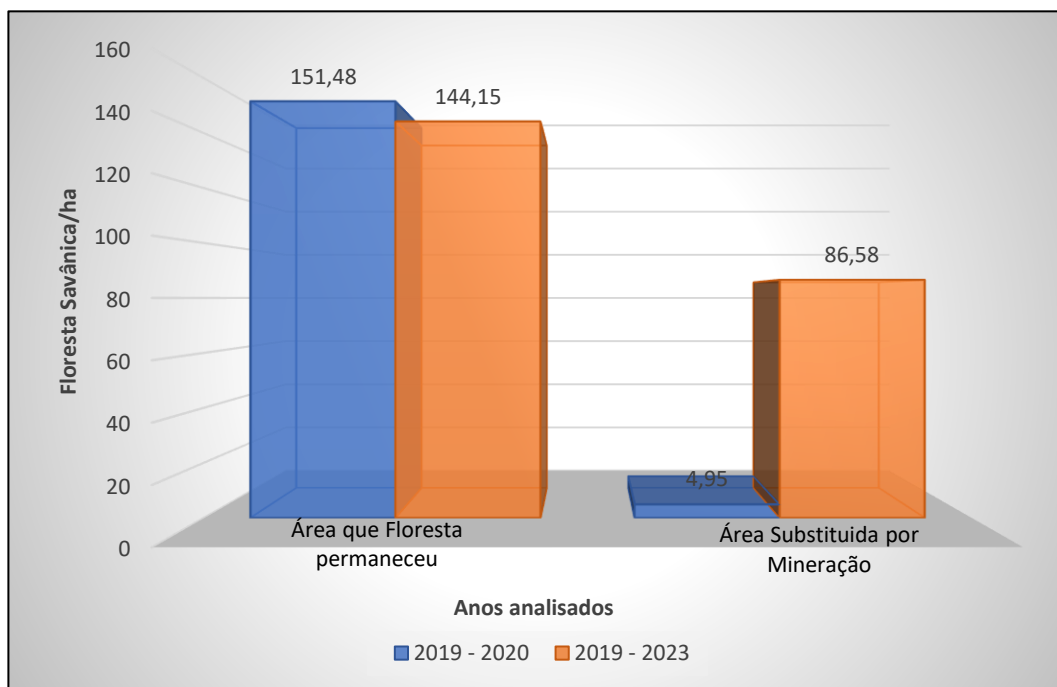
Ano	Vegetação Savânica (ha)	Mineração (ha)	Taxa Crescimento Vegetação (%)
2019	154,21	0,00	-
2020	137,94	7,68	-10,5
2021	187,76	21,36	+36,1
2022	236,97	95,40	+26,2
2023	258,57	95,60	+9,1

Fonte: elaborado pela autora (2025)

A área de floresta mantida estável entre 2019-2020 totalizou 151,48 hectares, com redução para 144,15 hectares no período 2019-2023. Esta diminuição de 7,33 hectares evidencia processo substitutivo progressivo da cobertura vegetal nativa, enquanto a mineração apresentou padrão expansionista contínuo durante o quadriênio analisado.

A transição direta para mineração registrou 4,95 hectares no período inicial (2019-2020), elevando-se para 86,58 hectares em 2019-2023. Os resultados demonstram que 56,2% da cobertura vegetal original foi convertida diretamente para mineração em quatro anos (Figura 8). A persistência de 144,15 hectares de floresta estabilizada indica resiliência ecossistêmica nas áreas não impactadas, consolidando a atividade mineral como um vetor de transformação antrópica da paisagem uma vez que na área de estudo outras classes de uso solo também se mostraram relevante para a perda de floresta nativa.

Figura 8 – Redução de Floresta no período 2019-2023



Fonte: elaborado pela autora (2025)

5 CONCLUSÃO

A análise da dinâmica florestal em áreas de mineração no Semiárido Alagoano, com foco no empreendimento da Mineração Vale Verde do Brasil Ltda., permitiu concluir que a atividade minerária atua como um vetor significativo de transformação da paisagem, embora não seja o único agente responsável pela supressão da cobertura vegetal nativa.

Os resultados demonstraram que, no período de 2019 a 2023, a mineração foi responsável pela conversão direta de 86,58 hectares de vegetação savânica, representando 56,2% da cobertura original na área de influência do empreendimento. Contudo, a análise interanual revelou que, no início das operações (2019-2020), a mineração respondeu por apenas 30% da perda total de vegetação, indicando a atuação de outros fatores antrópicos, como a conversão para pastagem e áreas não vegetadas.

Paradoxalmente, observou-se uma notável resiliência da vegetação savânica, que apresentou recuperação expressiva a partir de 2021, atingindo 258,57 hectares em 2023 – um aumento de 87% em relação a 2020. Esse fenômeno sugere a ocorrência de processos de regeneração natural em áreas adjacentes não diretamente impactadas pela mineração, ainda que em um contexto de expansão simultânea da fronteira mineral.

A metodologia empregada – baseada em sensoriamento remoto, classificação do MapBiomas e álgebra de mapas – mostrou-se eficaz para quantificar e espacializar as transições de uso do solo, permitindo identificar com precisão as áreas de perda florestal e a expansão da mineração. No entanto, a ausência de sinais claros de supressão vegetal em outros três pontos minerários cadastrados pelo IBGE evidencia a necessidade de aprimorar os métodos de detecção e validação em campo, considerando a variabilidade de escalas e tipos de exploração mineral.

Conclui-se, portanto, que a mineração no Semiárido Alagoano, representada pelo caso da Vale Verde, exerce pressão substantiva sobre a cobertura da Caatinga, mas atua em conjunto com outras dinâmicas de uso da terra. A recuperação vegetal observada em parte da área sinaliza a potencialidade de resiliência do bioma, desde que sejam implementadas políticas de gestão territorial integradas e ações de recuperação de áreas degradadas, visando à conciliação entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental no semiárido.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, U. P. DE et al. Caatinga Revisited: Ecology and Conservation of an Important Seasonal Dry Forest. **The Scientific World Journal**, v. 21, n. 5, p. 1–18, 2012.
- ALVES, M.; SOL, N. A. A.; MODENA, C. M. Territory and deterritorialization: the social suffering by environmental disaster resulting from the breaking of mining dams. **Saúde em Debate**, v. 44, n. spe2, p. 262–271, 1 jul. 2020.
- ALVES, P. H. C. D. S.; LIMA, E. S. D.; VELOSO, G. A. Dinâmica do desmatamento na terra indígena Apyterewa mediante a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 80, n. 1, p. 114–128, 30 out. 2022.
- CARDOSO, D. P. et al. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 632–638, jun. 2012.
- CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, M. M.; RIBEIRO, R. D. R. Sensoriamento remoto aplicado na detecção de áreas degradadas pela mineração no sul do Brasil entre 1985-2011. **Tecno-Lógica**, v. 20, n. 2, p. 97, 6 jul. 2016.
- CAVINATO, N. R.; CAPITANI, D. H. D. Eficiência social das cooperativas de crédito rural no Brasil: uma análise sob a ótica regional. **Economia e Sociedade**, v. 32, n. 2, p. 429–455, 14 ago. 2023.
- CERQUEIRA, M. A. et al. Análise temporal por sensoriamento remoto da supressão de vegetação nativa em vales na cidade de Maceió, Brasil. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2021.
- COELHO, M. S. et al. Sensoriamento remoto aplicado em área de caatinga como subsídios para conservação da biodiversidade. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 5, p. 159–166, 28 mar. 2021.
- CORREIA, R. S. et al. Vegetation Cover Development Resulting from Different Restoration Approaches of Exploited Mines. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, p. 1–9, 13 set. 2018.

COSTA, T. C. E C. DA et al. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. suppl, p. 961–974, dez. 2009.

EMBRAPA. **Mimosa caesalpiniiifolia: Sabiá. - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1103458/mimosa-caesalpiniiifolia-sabia>>. Acesso em: 15 out. 2025.

ERTHAL, E. S.; ERTHAL, G. M. DA S.; MULLER, G. A. Avaliação da supressão da vegetação nativa no município de Condor, Rio Grande do Sul. **Tecno-Lógica**, v. 25, n. 2, p. 201–208, 5 jul. 2021.

EUCLYDES, F. M. et al. Capacidades estatais e mineração: uma análise da agência nacional de regulação. **Revista de Administração Pública**, v. 56, n. 1, p. 163–175, fev. 2022.

GONÇALVES, T. S. Caracterização dos estágios de sucessão ecológica em fragmentos de floresta estacional decidual na região do Parque Nacional da Serra do Cipó. **Multi-Science Research**, v. 5, n. 1, p. 76–84, 26 jul. 2022.

GONZALO; JOSÉ, R.; PEREIRA, E. Avaliação de área recuperada sobre cava de areia em São Paulo, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 42, n. 4, p. 695–701, 1 dez. 2015.

GOODCHILD, M. F. Geographic information systems and science: today and tomorrow. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 1, n. 1, p. 1037–1043, set. 2009.

HAMADA, E. **Sistema de Informações Geográficas - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/politicas/analise-espacial/sistema-de-informacoes-geograficas>>. Acesso em: 2 set. 2025.

IBGE. **Anuário estatístico do Brasil AEB**. Rio de Janeiro: Directoria Geral de Estatística do Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_2020.pdf>. Acesso em: 21 set. 2025.

IEA. **The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – Analysis**. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>>. Acesso em: 6 out. 2025.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, n. 118, p. 189–206, mar. 2003.

JÚNIOR et al. Dinâmica de crescimento de uma floresta tropical sazonalmente seca no semiárido brasileiro. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1594–1616, 22 set. 2022.

LEAL, I. R. et al. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Mega Diversidade**, v. 1, p. 140–146, 2005.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. DA. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2023. p. 822

LIMA, S. S.; LOUREIRO, G. E. Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento de uso e cobertura da terra no município de São Domingos do Araguaia – PA. **Revista Geoamazônica**, v. 11, n. 21, p. 114–128, 2023.

LIMA, T. A. S.; SANTOS, A. H. S. DOS. Modelagem Ecológica descritiva e preditiva da *eremanthus erythropappus*: estratégias para gestão e mitigação de impactos ambientais e desastres. **Peer Review**, v. 6, n. 15, p. 84–108, 24 ago. 2024.

MAIA, J. M. et al. Motivações socioeconômicas para a conservação e exploração sustentável do bioma Caatinga. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 41, 30 ago. 2017.

MASO, T. F.; ISAGUIRRE-TORRES, K. R. Conflitos socioambientais da mineração: entre os corpos-territórios das mulheres e as disputas no campo do/no Direito. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 26, n. 1, 5 jun. 2024.

MELO, J. et al. A Caatinga: Um bioma exclusivamente brasileiro. **Ciência e Cultura**, v. 75, n. 4, p. 1–9, 1 jan. 2023.

MONTEIRO, M. DE A. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 187–207, abr. 2005.

MOTA, P. J. et al. Prevalence of metal levels above the reference values in a municipality affected by the collapse of a mining tailings dam: Brumadinho Health Project. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 25, n. suppl 2, 2022.

NASCIMENTO, D. T.; BURSZTYN, M. A. A. Análise de conflitos socioambientais: atividades minerárias em comunidades rurais e Áreas de Proteção Ambiental (APA). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 22, 23 dez. 2010.

NAVA, D. B.; PINTO, J.; PEREIRA, S. RACIONALIDADE ETNO-SOCIOAMBIENTAL: UMA MATRIZ PROPOSTA AO CONTROLE AMBIENTAL DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO NA AMAZÔNIA. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 43, n. 01, 13 dez. 2023.

OLIVEIRA, A. P. G. et al. USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA O ESTABELECIMENTO DE ÁREAS PARA CORREDORES DE BIODIVERSIDADE. **Revista Árvore**, v. 39, n. 4, p. 595–602, ago. 2015.

OLIVEIRA, C. C. DE; CARVALHO, S. S. DE. Geotecnologias e Planejamento Territorial. **Observatório de la Economia Latinoamericana**, v. 22, n. 7, p. e5788, 12 jul. 2024.

ONU. **Painel da ONU sobre Transição Energética cobra equidade e justiça no setor de mineração**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/278789-painel-da-onu-sobre-transi%C3%A7%C3%A3o-energ%C3%A9tica-cobra-equidade-e-justi%C3%A7a-no-setor-de-minera%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 25 out. 2025.

ONU. **Demandas por minerais essenciais impulsionam iniciativa global na transição energética** | **ONU News**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2024/03/1829091>>. Acesso em: 1 out. 2025.

PAIXÃO, E. et al. Buscando Soluções Sustentáveis para Áreas Úmidas Savânicas Brasileiras via Uso Múltiplo. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, v. 2, n. 2, p. 19–33, 2019.

PESSOA, P. et al. Territorial governance and social innovation in regional development processes in mining territories: a theoretic model under construction. **Cadernos Ebape.br**, v. 17, n. 3, p. 509–522, 1 set. 2019.

RAMOS, P. L. N.; ALVES, V. F.; ESTEVES, B. DOS S. EMPREGO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO SÃO JOÃO, PORTO NACIONAL-TO. **Revista Contemporânea**, v. 5, n. 7, p. e8673, 21 jul. 2024.

RODRIGUES, M. L.; PASSOS, M.; FONTANA, F. A importância das matas ciliares para a proteção das nascentes de água. **Revista Sergipana de Educação Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 1–21, 22 jul. 2021.

SANTOS FILHO, H. C. T. DOS . **Análise do relatório de impactos ambientais do projeto Caboclo no município de Igaci**. Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia—Universidade Federal de Alagoas: [s.n.].

SANTOS, A. H. S. DOS; LIMA, T. A. S.; SANTANA, R. A. DE . **Uso do sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento do risco de queda de árvores nos bairros de Maceió, Alagoas**. IV Encontro Nacional de Desastres . **Anais...** In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES DA ABRHIDRO. Curitiba/PR: ABRHidro, 2024. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=16277>>. Acesso em: 2 out. 2025

SANTOS, R. S. P. DOS. DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E MUDANÇA SOCIAL: a Vale e a mineração na Amazônia Oriental. **Caderno CRH**, v. 29, p. 295–312, 2016.

SARAIVA, S. et al. Alterações respiratórias em crianças expostas à poeira de resíduos de mineração em Brumadinho, Minas Gerais, Brasil: Projeto Bruminha. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 40, n. 2, 1 jan. 2024.

SENA, Í. S. DE; ROCHA, N. A. DA. METODOLOGIA PARA ANÁLISE TEMPORAL DAS MUDANÇAS NA COBERTURA VEGETAL EM UM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO DE USO SUSTENTÁVEL. **Paisagem e território no geoprocessamento**, p. 163–181, 16 set. 2022.

SENA, P. et al. **Ecologia da caatinga: curso de campo**. 1ª. ed. Recife: UFPE, 2020.

SILVA, F. P. DA ; CASTRO, F. C.; CRUZ, A. G. DA . Processo de desertificação e perda de diversidade Biológica no Semiárido Brasileiro. **Revista Ouricuri**, v. 14, n. edicao-especial-02, p. 03-11, 13 dez. 2024.

SILVA, J. L. B. et al. Spatial-temporal dynamics of the Caatinga vegetation cover by remote sensing in municipality of the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 4, p. 1–10, 31 dez. 2019.

TELES, B.; HURTADO, F. B. Análise multitemporal da perda de vegetação na bacia do igarapé Belmont, Porto Velho – RO. **Novos Cadernos NAEA**, v. 26, n. 1, p. 1–19, 27 abr. 2023.

TELES, R. C. Migração forçada e mineração: A Cidade de Maceió-AL sob a Ótica dos Direitos Humanos. **Revista Direito e Práxis**, v. 14, n. 1, p. 517–535, mar. 2023.

TOLMASQUIM, M. T. The energy sector in Brazil: policy and Perspectives. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 247–260, 2012.

VICTOR, R. B.; ALCANDRA, M. Mineração e ambiente: o caso dos mineradores artesanais e da empresa Minas Moatize Ltda., no município de Moatize, Província de Tete - Moçambique. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 7, n. 2, p. 361–381, 31 dez. 2017.