

Geotecnologias como subsídio à perícia criminal ambiental: estudo de caso com dados do PRODES e imagens do satélite Sentinel-2 no município de Novo Progresso (PA)

S.S. Lima ^{a,*}, L.B. Araújo ^b, E.R.P. Novais ^c, C.S. Fernandes ^d, F.C.L. Ferreira ^d

^a Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém (PA), Brasil.

^b Faculdade de Engenharia da Computação, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Marabá (PA), Brasil.

^c Faculdade de Física, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Marabá (PA), Brasil.

^d Programa de Pós-Graduação em Ciências Forenses, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Marabá (PA), Brasil.

*Endereço de e-mail para correspondência: eng.ambientalssl@gmail.com. Tel.: +55-94-991550871.

Recebido em 08/05/2026; Revisado em 03/06/2026; Aceito em 20/06/2026

Resumo

Este estudo demonstra a aplicação de dados do PRODES e imagens do satélite Sentinel-2 como suporte à análise pericial de supressão vegetal irregular em Novo Progresso (PA), município que apresenta elevados índices de desmatamento na Amazônia Legal. A metodologia consistiu na seleção de polígonos de desmatamento do PRODES e no processamento de imagens multiespectrais do Sentinel-2 (anos 2024 e 2025) por meio do software QGIS. A análise baseou-se na sobreposição espacial e na comparação temporal de imagens para validar as alterações na cobertura do solo. Os resultados permitiram identificar e validar dois polígonos de corte raso, totalizando 50,21 ha, confirmando a transição de floresta para solo exposto no período analisado. A integração dessas ferramentas mostrou-se eficaz na produção de evidências técnicas, permitindo a delimitação, determinação temporal e caracterização material de danos ambientais. Conclui-se que o uso conjunto de dados oficiais e sensoriamento remoto confere robustez técnica à perícia criminal, subsidiando a responsabilização por crimes contra a flora previstos na Lei nº 9.605/1998.

Palavras-Chave: Desmatamento; PRODES; Perícia forense.

Abstract

This study demonstrates the application of PRODES data and Sentinel-2 satellite imagery to support the forensic analysis of irregular vegetation suppression in Novo Progresso (PA), a municipality characterized by high deforestation rates in Legal Amazon. The methodology consisted of selecting deforestation polygons from PRODES and processing Sentinel-2 multispectral images (2024 and 2025) using QGIS software. The analysis was based on spatial overlay and temporal image comparison to validate changes in land cover. The results enabled the identification and spatial validation of two clear-cut polygons, totaling 50,21 ha, confirming the transition from forest to bare soil during the analyzed period. The integration of these tools proved effective in producing technical evidence, enabling the delineation, temporal determination, and material characterization of environmental damage. It is concluded that the combined use of official data and remote sensing provides technical robustness to criminal forensics, subsidizing accountability for crimes against flora as provided for in Law No. 9.605/1998.

Keywords: Deforestation; PRODES; Forensics

1. INTRODUÇÃO

A região da Amazônia Legal desempenha um papel importante na regulação climática global, na conservação da biodiversidade e na provisão de serviços ecossistêmicos essenciais [1-2]. No entanto, tal localidade tem sido intensamente pressionada por atividades antrópicas, especialmente aquelas relacionadas à expansão

agropecuária, exploração mineral e implantação de infraestrutura.

Dados do PRODES indicam que o desmatamento acumulado entre 1988 e 2025 atingiu 503.247 km², evidenciando a magnitude das transformações no uso e na cobertura do solo [3]. Esse cenário intensifica o risco de alterações ecológicas irreversíveis, considerando que a perda de aproximadamente 40% da cobertura florestal

pode levar a um ponto de inflexão (*tipping point*), com a possível savanização de extensas áreas [4].

Nesse contexto, o município de Novo Progresso (PA) destaca-se como uma área representativa dessas dinâmicas, abrigando importantes áreas protegidas, entre as quais se destaca a Floresta Nacional (FLONA) do Jamanxim. A unidade, com aproximadamente 1.301.120 ha, foi criada pelo Decreto de 13 de fevereiro de 2006 como instrumento de ordenamento territorial e conservação ambiental.

Apesar de seu status de Unidade de Conservação, a área apresenta elevada pressão antrópica e um histórico significativo de desmatamento, sendo considerada uma das florestas nacionais mais impactadas da Amazônia. Dessa forma, torna-se fundamental o uso de ferramentas capazes de monitorar e analisar espacialmente as alterações na cobertura do solo com rigor técnico [5].

As geotecnologias, especialmente aquelas baseadas em sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm se consolidado como instrumentos essenciais nesse processo. Ressalta-se a atuação do INPE, responsável pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), que utiliza imagens de satélite para identificar e quantificar áreas de corte raso com elevada confiabilidade [3].

Adicionalmente, imagens de alta resolução espacial, como as fornecidas pela missão Sentinel-2 da Agência Espacial Europeia (ESA), composta pelos satélites Sentinel-2A, Sentinel-2B e Sentinel-2C, permitem a análise temporal detalhada das mudanças na cobertura

vegetal, possibilitando a comparação minuciosa entre diferentes períodos e a visualização de alterações sutis na paisagem que complementam o monitoramento oficial.

No âmbito da perícia ambiental, essas ferramentas desempenham papel estratégico ao viabilizarem a obtenção de evidências técnicas relacionadas à supressão vegetal realizada de maneira irregular. Assim, os dados contribuem para a identificação, delimitação e datação de áreas alteradas, subsidiando análises espaciais robustas em investigações de possíveis infrações ambientais.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo demonstrar, por meio de um estudo de caso no município de Novo Progresso (PA), a aplicação prática de dados do PRODES e imagens do satélite Sentinel-2 como suporte à análise pericial em áreas com supressão vegetal irregular.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O município de Novo Progresso (PA), localizado no sudoeste paraense, é fortemente influenciado pela ocupação ao longo da BR-163. Conforme demonstra a **Figura 1**, o município apresenta um histórico de ocupação associado à atuação de diferentes agentes sociais e econômicos, incluindo migrantes, produtores rurais e investidores privados. Esse processo foi marcado por conflitos fundiários e pela expansão de núcleos de ocupação, contribuindo para o avanço do desmatamento e para a transformação da paisagem regional [5].

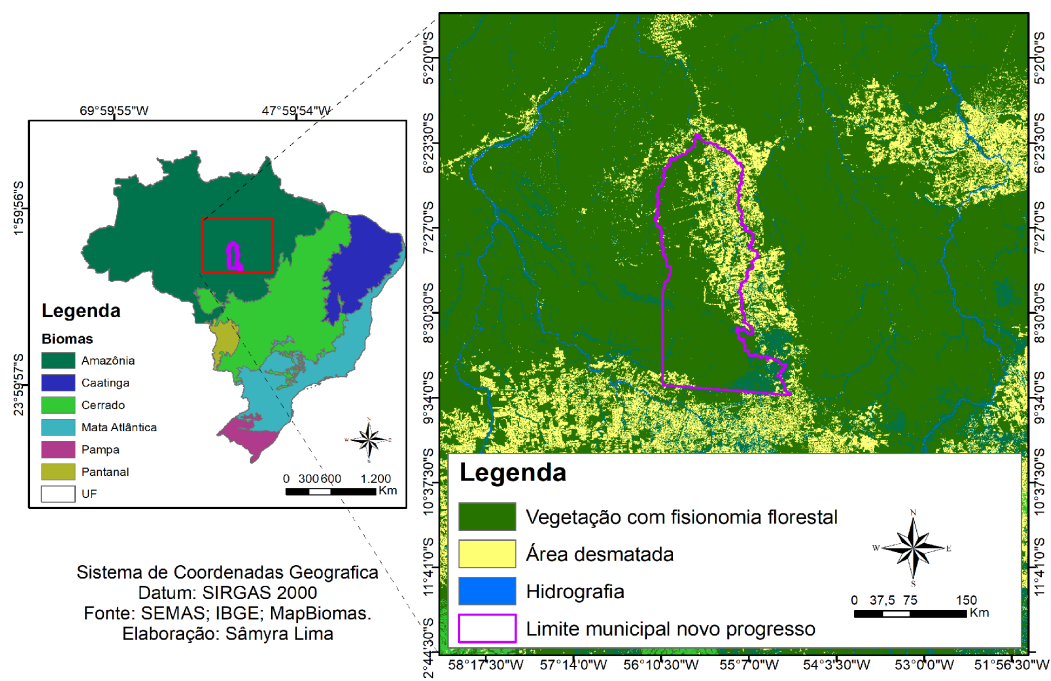


Figura 1. Mapa de Localização

2.2 Obtenção de dados

Os dados de desmatamento foram obtidos no PRODES, disponibilizados pelo INPE na plataforma TerraBrasilis. Já as imagens de satélite foram obtidas gratuitamente por meio da plataforma *Copernicus Data Space*, referente ao satélite Sentinel-2. Este sistema fornece imagens multiespectrais com resolução espacial de 10 m (bandas visíveis e infravermelho próximo), além de bandas com 20 m e 60 m, sendo amplamente empregado em estudos de uso e cobertura da terra devido à sua alta resolução espacial e frequência de revisita [6].

A seleção das imagens considerou critérios de qualidade e representatividade temporal, incluindo baixa cobertura de nuvens, período seco da região e proximidade com as datas de detecção do desmatamento (16/07/2025). Foram selecionadas duas imagens: uma referente ao período anterior à supressão vegetal (19/07/2024), representando a área ainda com cobertura florestal, e outra correspondente ao período posterior (25/08/2025), evidenciando a alteração da cobertura do solo.

Devido à ausência de produtos *Level-2A* no acervo oficial para as datas e critérios de qualidade (nuvens < 10%) definidos nesta pesquisa, foram utilizadas imagens *Level-1C*. Tal limitação do catálogo não afetou a acurácia do exame pericial, uma vez que os dados de *Top of Atmosphere* (TOA) garantiram contraste suficiente para a distinção entre as classes de floresta e solo exposto, viabilizando o mapeamento da supressão vegetal por composição colorida, *RGB* (Bandas 4, 3 e 2).

Os produtos Sentinel-2 *Level-1C* consistem em imagens ortorretificadas e radiometricamente corrigidas, disponibilizadas em refletância TOA. Já os produtos *Level-2A* correspondem às imagens *Level-1C* submetidas à correção atmosférica, sendo disponibilizados em refletância de superfície (BOA – *Bottom of Atmosphere*).

2.3 Processamento e análise espacial

O processamento dos dados foi realizado no *software* QGIS (versão 3.28.10). Os mapeamentos iniciais foram estruturados no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), em coordenadas geográficas, devido ao fato de a área de estudo abranger múltiplas zonas UTM. Já para o cálculo das áreas, utilizou-se o sistema de coordenadas projetadas Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 21S, por contemplar especificamente a localização dos polígonos analisados.

Na etapa seguinte, procedeu-se à sobreposição dos polígonos fornecidos pelo PRODES sobre as imagens de satélite, o que permitiu a análise espacial da

correspondência entre os dados oficiais e as alterações observadas na cobertura do solo.

Por fim, foi realizada uma análise temporal comparativa entre as imagens, com integração dos dados do PRODES e do Sentinel-2, permitindo a identificação e validação espacial de áreas de supressão vegetal irregular no município de Novo Progresso (PA).

3. RESULTADOS

A partir dos dados do PRODES (Figura 2), foram identificados dois polígonos de desmatamento em 16/07/2025, com áreas de 19,78 ha e 30,43 ha, totalizando aproximadamente 50,21 ha de área suprimida. A espacialização desses polígonos evidencia ocorrência de corte raso, tipologia de desmatamento diretamente associada a infrações ambientais contra a flora previstas na Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais) [7].

A análise comparativa das imagens (Figura 3) mostra claramente a transição entre uma área previamente coberta por vegetação, observada na imagem de 19/07/2024, e uma área convertida para solo exposto em 25/08/2025. Essa mudança espectral, associada à correspondência espacial com os polígonos do PRODES, constitui evidência espacial da ocorrência de supressão vegetal no período analisado.

Destaca-se que o PRODES utiliza imagens orbitais de diferentes sensores, o que possibilita a comparação com dados de alta resolução, como os do Sentinel-2. Nesse sentido, a utilização de imagens Sentinel-2 neste estudo ampliou a capacidade analítica ao permitir a verificação temporal da dinâmica da cobertura do solo na área investigada.

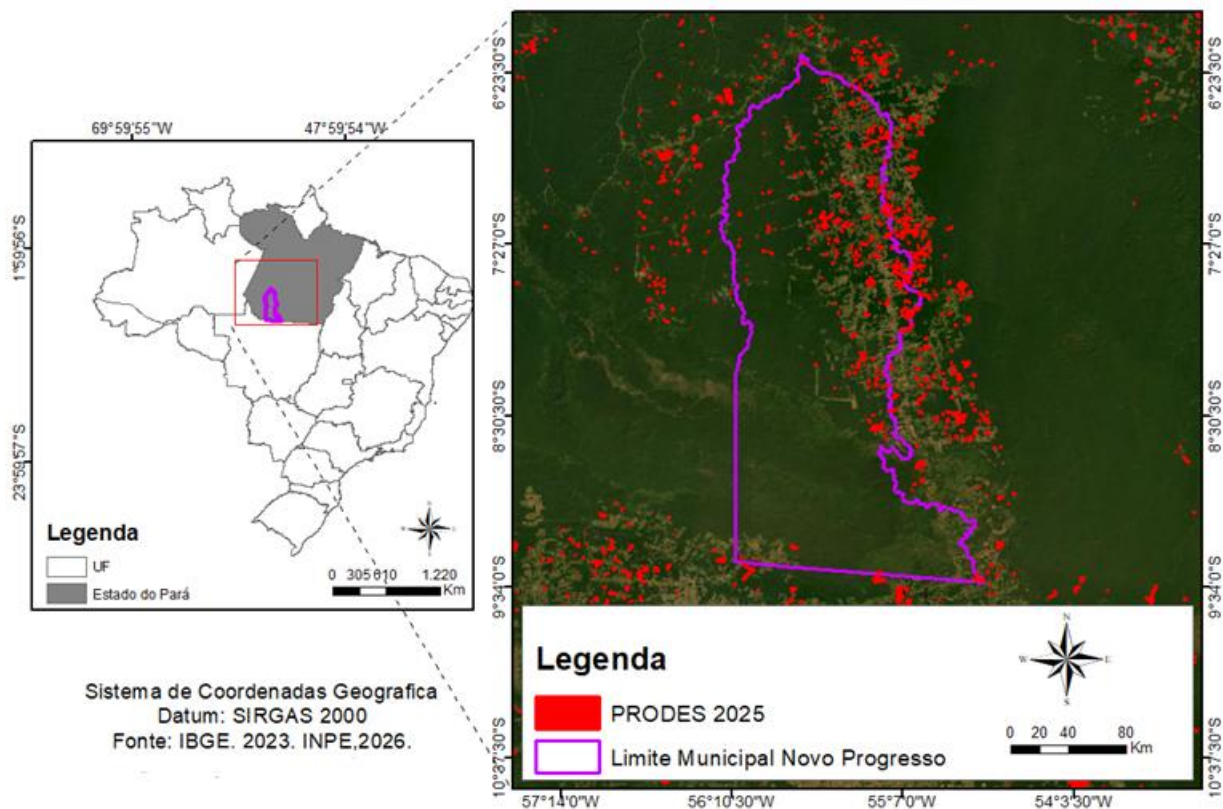


Figura 2. Polígonos PRODES 2025

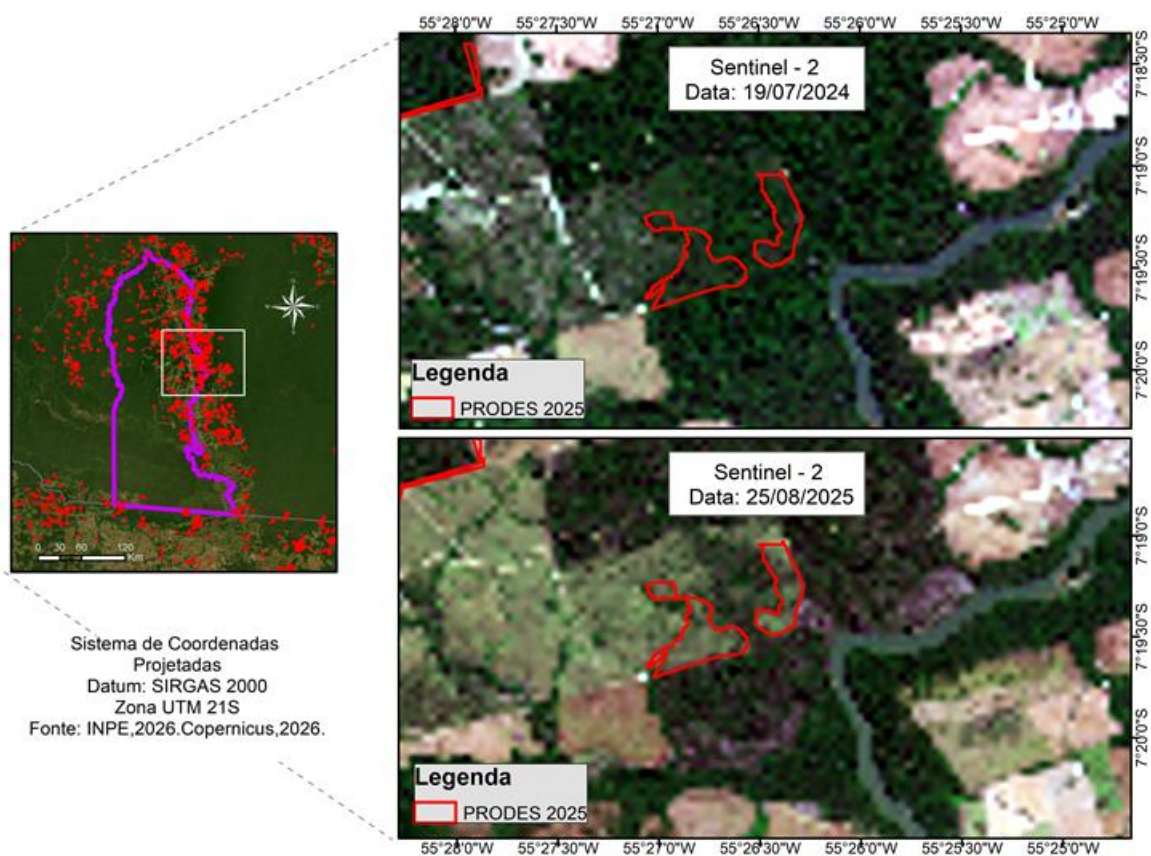


Figura 3. Comparação temporal das imagens Sentinel-2 (19/07/2024 e 25/08/2025) sobre os polígonos PRODES

Sob a perspectiva da perícia ambiental, a integração entre dados oficiais de monitoramento do PRODES e imagens de satélite de média resolução (Sentinel-2) possibilita a construção de evidências técnicas fundamentadas em três pilares fundamentais: (i) delimitação precisa da área afetada, (ii) identificação temporal da ocorrência do evento e (iii) caracterização da natureza da alteração ambiental. Esses elementos são essenciais para subsidiar a identificação de possíveis crimes contra a flora, especialmente aqueles relacionados à supressão irregular de vegetação.

Dessa forma, os resultados demonstram que as geotecnologias não apenas permitem o monitoramento do desmatamento, mas também contribuem para a produção de evidências espaciais, auxiliando diretamente as atividades de fiscalização e perícia ambiental.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou a eficácia das geotecnologias como suporte técnico à perícia ambiental, a partir da integração de dados do PRODES e imagens do Sentinel-2 no município de Novo Progresso (PA). Os resultados evidenciaram que a utilização conjunta dessas ferramentas permite a identificação, delimitação e validação espaço-temporal precisa de áreas com supressão vegetal, possibilitando a construção de evidências técnicas consistentes.

Além disso, a análise comparativa entre o período anterior e posterior ao desmatamento permitiu observar, de forma objetiva, a conversão da cobertura florestal em áreas de solo exposto, evidenciando padrões típicos de intervenção antrópica. Esses elementos são fundamentais para caracterizar a materialidade da supressão vegetal e subsidiar a identificação de infrações, especialmente aquelas relacionadas a crimes contra a flora, conforme previsto na Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais).

Dessa forma, conclui-se que o uso integrado de dados oficiais de monitoramento e imagens de satélite constitui uma estratégia eficaz para a produção de evidências espaciais, contribuindo diretamente para o fortalecimento das atividades de perícia criminal ambiental. Por fim, destaca-se que a aplicação dessas ferramentas amplia a capacidade de análise técnica em investigações, ao reduzir a subjetividade e proporcionar

maior robustez na interpretação dos fatos, sendo sua adoção recomendada em contextos operacionais da perícia criminal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos apoios financeiros (Processos nº 380048/2026-4; 380046/2026-1; 380965/2026-7; 380056/2026-7 e 442808/2025-9), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Processo nº 88887.313652/2026-00) e à Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) pelo suporte às atividades de pesquisa

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D.A. Bouchardet; A.A. Porsse; R. Timofeiczky Junior. Analyzing the spatial dynamics of deforestation in Brazilian Amazon. *Geogr. Anal.* **49**: 23-35 (2017).
- [2] C.G. Messias et al. Análise das taxas de desmatamento e seus fatores associados na Amazônia Legal Brasileira nas últimas três décadas. *Rev. Raega.* **52**: 18-41 (2021).
- [3] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estimativa de desmatamento na Amazônia Legal para 2025 é de 5.796 km². São José dos Campos (2025). Retirado em 01/04/2026, de https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/20251015Nota_tcnica_EstimativaPRODES_2025.pdf.
- [4] C.A. Nobre et al. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **113**: 10759-10768 (2016).
- [5] R.F. Soares; A.P. Dal'Asta; S. Amaral. Evolução espacial da população, núcleos de ocupação e desmatamento no município de Novo Progresso, Pará. *Rev. Bras. Cartogr.* **66**: 115-125 (2014).
- [6] M. Drusch et al. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sens. Environ.* **120**: 25-36 (2012).
- [7] Brasil. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF (1998).