

**UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU**  
**- Engenharia de Software –**

**Guardiã Verde: Monitoramento de Desmatamento com Dados Abertos e  
Inteligência Artificial**

**São Paulo – SP**  
**2025**

## Sumário

Resumo .....	3
Abstract.....	3
1 Introdução .....	4
2 Referencial Teórico .....	5
3 Desenvolvimento .....	5
4 Metodologia .....	6
4.1 Tipo de pesquisa .....	6
4.2 Dados e fontes .....	6
4.3 Procedimentos .....	6
4.4 Validação.....	7
5 Resultados esperados e discussão .....	7
6 Conclusões .....	7
Referências.....	9
Apêndice A — Glossário .....	10

## Resumo

O Brasil registrou, em 2024, a estimativa PRODES de 6.288 km<sup>2</sup> de corte raso na Amazônia Legal (ago/2023–jul/2024), redução de 30,6% em relação a 2023, mas com distribuição espacial heterogênea. O Cerrado seguiu como o bioma mais pressionado, com 652.197 ha (52,5% do total nacional), ainda que em queda de ~40% frente a 2023. Em 2023, mudanças de uso da terra responderam por 46% das emissões brutas brasileiras, conectando desmate e clima. Propomos o software Guardiã Verde, que compara imagens “antes e depois” para gerar alertas vetorizados e reduzir latência de resposta. Palavras-chave: Sensoriamento remoto; PRODES; DETER; MapBiomas;  $\Delta$ NDVI; Cerrado; Amazônia.

## Abstract

*Brazil's 2024 PRODES estimate indicates 6,288 km<sup>2</sup> cleared in the Legal Amazon (Aug/2023–Jul/2024), a 30.6% drop from 2023, yet spatially uneven. The Cerrado remained the most pressured biome with 652,197 ha (52.5% of national total), despite a ~40% YoY decrease. In 2023, land-use change accounted for 46% of Brazil's gross GHG emissions, linking deforestation to climate. We present Guardiã Verde, a before-after satellite change-detection pipeline producing georeferenced alerts to reduce response latency. Keywords: Remote sensing; PRODES; DETER; MapBiomas;  $\Delta$ NDVI; Cerrado; Amazon.*

**Palavras-chave:** monitoramento ambiental. satélites Sentinel-2. mudança de uso da terra. MapBiomas. detecção de mudanças.

**Keywords:** environmental monitoring. Sentinel-2 satellites. land-use change. MapBiomas. change detection.

## 1 Introdução

A dinâmica recente do desmatamento combina queda agregada e persistência de hotspots. O PRODES estimou 6.288 km<sup>2</sup> para 2024 na Amazônia, maior redução percentual em quinze anos, enquanto o TerraBrasilis disponibiliza painéis para exploração por bioma e jurisdição. Em paralelo, o DETER sustenta a resposta quase em tempo real, ampliado para novos escopos (p. ex., “Não Floresta”). Essa infraestrutura de dados cria oportunidades para soluções acadêmicas de triagem rápida e priorização territorial.

No plano nacional, o RAD 2024 (MapBiomas) indica que o Cerrado respondeu por 52,5% da área desmatada em 2024, com 652.197 ha, concentrando-se no Matopiba (~75% do bioma e ~42% do país). Ainda que a redução anual seja expressiva, persistem frentes de expansão e sazonalidade de fogo que exigem alertas frequentes e verificação cruzada. A combinação de fontes oficiais e independentes eleva a robustez da vigilância.

As emissões reforçam a urgência: 46% das emissões brutas brasileiras de 2023 vieram de mudanças de uso da terra, segundo o SEEG. Evidências sugerem correlação entre controle do desmate e redução de emissões no período, além de cobenefícios sociais da fiscalização apoiada por monitoramento (dissuasão de ilícitos e queda de violência regional). Integrar algoritmos reproduzíveis ao ciclo de comando e controle é, portanto, estratégico.

Este artigo apresenta a Guardiã Verde, um pipeline aberto de detecção de mudança em imagens Sentinel que vetoriza áreas candidatas e publica alertas em mapa. O objetivo é reduzir tempo entre aquisição e triagem, apoiar compliance e ampliar transparência. Estruturamos o texto com Referencial Teórico, Desenvolvimento (legal × ilegal), Metodologia, Resultados e Discussão e Conclusões, além de Glossário para termos técnicos.

## **2 Referencial Teórico**

O Brasil consolidou um ecossistema de monitoramento com funções complementares. O PRODES quantifica corte raso anual por bioma e estado, servindo de base oficial para metas e avaliação de políticas. O DETER emite alertas expedito para suporte à fiscalização, com ênfase em priorização territorial e não como taxa mensal. O portal TerraBrasilis integra essas séries, oferecendo dashboards, downloads e uma “Sala de Situação” voltada a inteligência territorial.

A literatura e relatórios independentes como o RAD 2024 complementam a cobertura oficial, consolidando alertas multifonte e comunicação pública. Em 2024, o Cerrado manteve a maior área desmatada, apesar da queda, o que reforça a necessidade de abordagens multibioma e indicadores temporais. Essas plataformas também subsidiem avaliações de cadeias livres de desmatamento, relevantes a mercados e crédito.

Do ponto de vista jurídico, o Código Florestal (Lei 12.651/2012) estabelece APP e Reserva Legal (RL), com percentuais mínimos (p. ex., 80% em áreas de floresta na Amazônia Legal; 35% no Cerrado amazônico; 20% em campos gerais). A supressão legal demanda autorização, cadastro e compensações; fora desses marcos, caracteriza-se desmatamento ilegal, sujeito a sanções. A clareza normativa favorece alinhamento entre produção e conservação.

Evidências recentes associam o uso de sistemas de alerta à dissuasão e a cobenefícios sociais, incluindo redução de violência onde a presença estatal se intensifica via fiscalização orientada por satélite. Ao mesmo tempo, limitações técnicas (nuvens, sazonalidade, confusão com queimada) pedem métodos multissensores (óptico + SAR) e índices adequados ( $\Delta NBR$ ), combinados com revisão humana e auditoria por pares.

## **3 Desenvolvimento**

O desmatamento legal ocorre quando a supressão cumpre Lei 12.651/2012, respeitando RL/APP, licenças e compensações. Seus benefícios potenciais incluem ordenamento territorial, previsibilidade jurídica, redução de litígios e rastreabilidade de cadeias produtivas, além de internalização parcial de custos ambientais. Em áreas consolidadas, pode viabilizar a intensificação produtiva sem expandir a fronteira agropecuária.

O desmatamento ilegal implica supressão sem autorização ou além dos limites, gerando malefícios ecológicos (perda de habitat, erosão, assoreamento), climáticos (emissões de GEE) e econômicos (barreiras comerciais e risco reputacional). Relatórios nacionais mostram a centralidade do uso da terra nas emissões do país (46% em 2023), reforçando que reduzir o desmate ilegal tem efeito climático direto e mensurável.

Sob o prisma operacional, a assimetria de informação limita a eficácia da fiscalização. Sistemas de alerta (DETER, MapBiomas Alerta) e soluções abertas como a Guardiã Verde reduzem essa assimetria ao localizar e vetorizar ocorrências prováveis quase em tempo real. A integração com cadastros (CAR), autorizações e embargos permitem checagem cruzada rápida, priorizando vistorias e autos.

Por fim, a publicização via TerraBrasilis e *webmaps* cívicos amplia transparência e controle social, essencial em territórios extensos e com capacidade de Estado desigual. A auditoria aberta, o versionamento de código e a documentação metodológica fortalecem legitimidade e reprodutibilidade. A proposta aqui se insere como multiplicador de capacidade para equipes enxutas de órgãos e sociedade civil.

## **4 Metodologia**

**4.1 Tipo de pesquisa:** Trata-se de pesquisa aplicada e quantitativa, com desenho quase-experimental baseado em comparação bitemporal “antes-depois” em imagens de satélite. Emprega-se abordagem reprodutível, com dados e bibliotecas abertas, visando custo marginal próximo de zero para replicação por órgãos e universidades. A unidade de análise é o polígono vetorizado de provável supressão.

**4.2 Dados e fontes:** Consulta a STAC APIs (p. ex., Earth Search) para Sentinel-2 L2A (MSI) em janelas T0/T1; seleção automática por menor nuvem; uso de SCL para máscara de nuvens/sombras. Para cenários nublados ou foco em fogo, inclui-se  $\Delta\text{NBR}$  (B08/B12) e, quando disponível, Sentinel-1 ( $\Delta\text{VV}/\Delta\text{VH}$ ) para mitigar nuvens. Resultados são vetorizados e exportados como GeoJSON.

**4.3 Procedimentos:** (i) Pré-processamento: correções, máscara SCL e recorte por AOI; (ii) Features:  $\text{NDVI}(T_0)$ ,  $\text{NDVI}(T_1)$  e  $\Delta\text{NDVI}$ ; (iii) Detecção: limiar negativo de  $\Delta\text{NDVI}$  e/ou  $\Delta\text{NBR}$ ; (iv) Pós-processamento: filtros morfológicos e área mínima  $\geq 0,5$  ha; (v) Vetorizar/quantificar: área em hectares (projeção métrica) e atributos; (vi) Publicar: `alertas_desmate.geojson`, *webmap Leaflet* e relatório. Critérios e limiares são documentados para auditoria.

**4.4 Validação:** Amostra-se referência do MapBiomas Alerta (RAD 2024) em recorte temporal independente para calcular *Precision*, *Recall*, F1 e IoU, além de estimar área por amostragem estratificada. Metas do MVP:  $F1 \geq 0,70$  em AOI representativa e latência  $< 48$  h entre disponibilidade de cena e alerta. Logs e parâmetros são versionados para reprodutibilidade.

## 5 Resultados esperados e discussão

Esperam-se polígonos de alerta consistentes com a redistribuição recente das pressões, queda acentuada na Amazônia e foco persistente no Cerrado e Matopiba. A redução de latência entre aquisição de imagem e triagem pode aumentar a dissuasão e orientar vistorias, sobretudo quando combinada a camadas de risco (proximidade a estradas/rios/UCs/TIs). Essa priorização otimiza recursos escassos em territórios vastos.

A comparação legal  $\times$  ilegal informa ação pública e privada. A supressão legal, quando comprovadamente aderente ao Código Florestal, internaliza custos e permite governança produtiva; a ilegal externaliza danos e encarece cadeias via compliance e barreiras em mercados sensíveis. O software não constitui prova jurídica, mas reduz assimetria e acelera verificações cruzadas com autorizações, CAR e embargos.

Limitações técnicas incluem nuvens persistentes, sazonalidade do Cerrado e confusão com queimadas; mitigam-se com  $\Delta NBR$ , SAR, janelas temporais mais amplas e revisão humana. Indicadores de incerteza e auditoria por pares devem acompanhar a divulgação pública. A integração futura com classificadores supervisionados pode melhorar recall em frentes difusas.

Discute-se, ainda, o potencial de cobenefícios sociais associados à intensificação da fiscalização orientada por satélite, como a redução de violência em áreas de fronteira. Ao alinhar monitoramento com políticas (PPCDAm), os ganhos ambientais e sociais tendem a se reforçar, contribuindo para metas climáticas e para a credibilidade internacional do país.

## 6 Conclusões

Os dados oficiais e independentes mostram queda do desmatamento em 2024, mas com pressões setoriais e regionais relevantes. Ao oferecer um pipeline simples, aberto e de baixo custo, a Guardiã Verde atua como multiplicador de capacidade para

equipes enxutas, reduzindo tempo de triagem e fortalecendo transparência. A publicação contínua de dados e métodos promove controle social e *accountability*.

Do ponto de vista jurídico-institucional, distinguir supressões legais de ilegais é central à integridade ambiental e à competitividade de cadeias. O software complementa, mas não substitui, sistemas oficiais (PRODES/DETER) e ação estatal, oferecendo evidência geográfica de alta frequência. O desenho modular facilita evolução com SAR,  $\Delta$ NBR e classificadores.

Como próximos passos, propõe-se: (i) séries temporais e incerteza por polígono; (ii) ranking de risco por proximidade a vias/UCs/TIs; (iii) tiles para escala regional; (iv) protocolos de ética/LGPD e comunicação de incerteza. A consolidação técnica e institucional pode transformar a Guardiã Verde em referência reprodutível para estados e municípios.

Em síntese, a Guardiã Verde é um radar de desmatamento baseado em dados abertos e ciência aplicada. Ao integrar sensoriamento, análise e publicação, aproxima dados de decisões e contribui para a trajetórias de desmatamento zero e redução de emissões no Brasil. O valor público reside na rapidez, transparência e auditabilidade do processo.



## Referências

- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal)**. Brasília: Planalto, 2012. Disponível em: Portal Planalto. Acesso em: 30 out. 2025.
- EMBRAPA. **Área de Reserva Legal (ARL) – Código Florestal**. Brasília: Embrapa, s.d. Acesso em: 30 out. 2025.
- INPE. **Estimativa PRODES 2024 – Nota Técnica**. São José dos Campos: INPE, 2024. Acesso em: 30 out. 2025.
- MMA. **Taxa de desmatamento na Amazônia cai 30,6%...** Brasília: Gov.br, 6 nov. 2024. Acesso em: 30 out. 2025.
- MAPBIOMAS. **RAD 2024 – Relatório Anual de Desmatamento**. São Paulo: MapBiomass, 2025. Acesso em: 30 out. 2025.
- SEEG. **Relatório Analítico 12 (2024)**. Rio de Janeiro: SEEG, 2024. Acesso em: 30 out. 2025.
- TERRABRASILIS/INPE. **Portal TerraBrasilis (PRODES/DETER/Sala de Situação)**. São José dos Campos: INPE, 2025. Acesso em: 30 out. 2025.
- INPE. **DETER – sistema de alerta e diretrizes de uso**. Brasília: Gov.br/INPE, 2021–2025. Acesso em: 30 out. 2025.
- OC/SEEG. **Emissões do Brasil têm maior queda em 15 anos**. São Paulo: OC, 7 nov. 2024. Acesso em: 30 out. 2025.

## Apêndice A — Glossário

**APP:** Área de Preservação Permanente (proteções ao longo de cursos d'água, encostas etc.).

**RL:** Reserva Legal (percentual mínimo de vegetação nativa por imóvel rural).

**PRODES:** Monitoramento anual do corte raso (taxa oficial).

**DETER:** Sistema expedito de **alertas** para suporte à fiscalização (não é taxa).

**NDVI/ $\Delta$ NDVI:** Índice de Vegetação por Diferença Normalizada / sua diferença temporal.

**$\Delta$ NBR:** Índice de Queimada (diferença de NBR bitemporal).

**STAC/COG:** Catálogo de ativos espaciais / GeoTIFF otimizado para nuvem.

**SAR:** Radar de abertura sintética (útil sob nuvem).