

Análise da Evolução do Desmatamento no Bioma Cerrado do Estado de Minas Gerais Utilizando o Sistema DETER e Imagens do Satélite Amazônia-1

Analysis of the Evolution of Deforestation in the Cerrado Biome in the State of Minas Gerais using the DETER System and Images from the Amazônia-1 Satellite

Marcelo Antonio Nero¹; Cristiano Ferreira de Oliveira^{1,2}; Marcos Antônio Timbó Elmiro³; João Rodrigues Tavares Júnior⁴; Juan David Méndez-Quintero⁵

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, Brasil. Email: marcelo-nero@ufmg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2124-5018>

² Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, Brasil. Email: cfo.1368836@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5470-8352>

³ Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, Brasil. Email: timboelmiro@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7680-3131>

⁴ Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, Brasil. Email: joao.tavaresjr@ufpe.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6583-962X>

⁵ Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, Brasil. Email: juan94mendez@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0768-8744>

Resumo: O Cerrado é considerado o segundo maior bioma do Brasil, abrangendo uma área de mais de 200 mil hectares distribuídos em treze estados. Trata-se de área de grande importância para a biodiversidade da fauna e flora brasileira. No entanto, a transformação da sua vegetação para outras coberturas da terra tem sido acelerada nos últimos anos, principalmente devido à demanda por novas áreas para a produção agrícola e a formação de pastagens. Devido aos esforços de proteção serem inferiores em relação a outros biomas como a Amazônia, por exemplo, as intervenções ambientais têm sido ampliadas. No caso específico do estado de Minas Gerais, o bioma Cerrado ocupa mais de 50% do território e tem sido muito impactado, principalmente em municípios da região nordeste do Estado. Portanto, considerando a vasta dimensão territorial desse bioma e a complexidade das ações para manutenção efetiva da proteção ambiental, os recursos de sensoriamento remoto têm sido uma importante ferramenta para auxiliar os órgãos ambientais na fiscalização. Nesse contexto, os alertas emitidos pelo Sistema DETER são de grande importância para identificação dos polígonos de desmatamento. Da mesma forma, a utilização de imagens orbitais de qualidade adequada, em termos de resolução espacial e temporal como aquelas capturadas por sensores a bordo do satélite Amazônia-1, permite a disponibilização dessa informação com maior celeridade.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Cerrado; Desmatamento; Fiscalização ambiental; Geoprocessamento.

Abstract: The Cerrado is considered the second largest biome in Brazil, covering an area of more than 200 thousand hectares distributed in thirteen states. This is an area of great importance for the biodiversity of Brazilian fauna and flora. However, the transformation of its vegetation to other land covers has been accelerated in recent years, mainly due to the need for new areas for agricultural production and for the formation of pastures. Since protection efforts are inferior in relation to other biomes, such as the Amazon, for example, inappropriate environmental interventions have been expanded. In the specific case of the state of Minas Gerais, the Cerrado biome occupies more than 50% of the territory and has been heavily impacted, mainly in municipalities in the northeast region of the state. Therefore, considering the vast territorial dimension of this biome and the complexity of actions for the effective maintenance of environmental protection, remote sensing resources have been an important tool to assist environmental agencies in inspection. In this context, the alerts issued by the DETER System are of great importance for identifying deforestation polygons. Likewise, the use of orbital images of adequate quality in terms of spatial and temporal resolution, such as those captured by sensors on board the Amazônia-1 satellite, makes this information available more quickly.

Keywords: Remote Sensing; Cerrado; Deforestation; Environmental inspection; Geoprocessing.

1. Introdução

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma do Brasil, com uma área total de aproximadamente 2.036.448 km² (IBF, 2020), o que representa mais de 200 milhões de hectares, correspondendo a cerca de 22% de todo o território. Sua vegetação apresenta três principais fitofisionomias: formações florestais, com presença de espécies arbóreas de dossel contínuo ou não; savanas, onde árvores e arbustos estão dispersos em um estrato herbáceo (sem dossel contínuo); e campos, onde predominam espécies herbáceas e arbustivas, com ausência de árvores (RIBEIRO; WALTER, 2008).

No entanto, a transformação da vegetação do Cerrado em outras coberturas terrestres tem sido muito evidente nos últimos anos, especialmente em áreas localizadas em regiões de expansão agrícola. Segundo Klink e Machado (2005), a agricultura no Cerrado é financeiramente muito lucrativa, e sua expansão ocorre em um ritmo acelerado. Nos últimos anos, as taxas de desmatamento nesse bioma historicamente têm sido superiores às da floresta amazônica, e os esforços para conservar o Cerrado são muito menores, considerando que apenas 2,2% da área do Cerrado está legalmente protegida (KLINK; MACHADO, 2005).

O Brasil está entre os principais produtores mundiais de commodities agrícolas, o que incentiva a crescente demanda por novas áreas cultiváveis, especialmente aquelas inseridas no bioma Cerrado (MUELLER; MARTHA JÚNIOR, 2008), o que pode favorecer a degradação e o desmatamento nessa região.

De acordo com Andrade et al. (2016), outro fator importante que favorece a degradação e o desmatamento é o fato de cerca de 53 milhões de hectares do Cerrado serem destinados a pastagens cultivadas, correspondendo a 55% da produção de carne bovina no país. A partir de cenários gerados, verificou-se que cerca de 80% da área de pastagem plantada degradada do bioma Cerrado está concentrada apenas nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais (ANDRADE et al., 2016). Particularmente no estado de Minas Gerais, o bioma Cerrado cobre uma área total de 54% do território, localizada na porção centro-oeste, e, assim como em outros estados, a vegetação também é altamente vulnerável devido ao desmatamento e incêndios florestais.

Considerando a grande área que o Cerrado representa, o uso de técnicas de sensoriamento remoto e recursos de geotecnologia para monitorar o bioma tem sido uma estratégia importante para o monitoramento e preservação ambiental. Nesse sentido, convém mencionar diversos trabalhos relacionados ao tema desenvolvidos por Viana (2012) (uso de imagens ALOS-Palsar), Barroso, Sano e Freitas (2018) (uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e NDVI), Maciel, Alves e Sant'Anna (2021) (que enfatiza o uso de imagens de satélite de sensoriamento remoto na análise de processos de desmatamento e regeneração de unidades de conservação no Vale do Ribeira), Lewis et al. (2022) (Mapeamento de vegetação nativa e não nativa no Cerrado brasileiro usando produtos de satélite gratuitamente disponíveis), Lopes, Nóbrega e Macedo (2022) (abordando análise multitemporal usando dados de sensoriamento por meio de imagens Landsat), Maia et al. (2023) (estudo de recuperação de áreas degradadas por incêndio na Região do Pantanal), Melo et al. (2024) (avaliou a dinâmica de uso e ocupação do solo, analisando fatores essenciais, como taxas de desmatamento e regeneração de áreas desmatadas ao longo de uma série multitemporal dos últimos 31 anos, de 1988 a 2019, na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, utilizando ferramentas de geoprocessamento por meio de imagens disponíveis na plataforma Mapbiomas coleção 7.0), Souza et al. (2025) (analisou o uso e cobertura da terra multitemporal da Reserva Extrativista Marinha da Baía do Iguape – Recôncavo Baiano), Tibangayuka e Mulungu (2025) (desenvolveu uma análise da variabilidade espaço-temporal da água superficial e condições de seca usando índices de sensoriamento remoto na Sub-Bacia do Rio Kagera, Tanzânia, utilizando NDVI). No entanto, tradicionalmente, pesquisas realizadas nesse campo de fiscalização e proteção ambiental exigem custos financeiros consideráveis. Assim, o presente estudo pretende demonstrar a viabilidade e pertinência do uso de recursos gratuitamente disponíveis, como programas abertos conhecidos como FOSS (Free Open-Source Software), conforme demonstrado em GVSIG Asociación (2014), OSGeo (2019), Sousa et al. (2020), Graziuso et al. (2022), Ogli e Murodilov (2023), bem como o uso de bancos de dados geográficos amplamente disponíveis e gratuitos.

Diante dessas breves considerações que abordam as degradações e riscos que pressionam os ambientes naturais do Cerrado, justifica-se a proposta deste trabalho científico para o desenvolvimento de um estudo relacionado ao tema, baseado em uma revisão bibliográfica sistemática de diversos trabalhos na literatura que tratam do assunto e que enfatiza o uso de ferramentas e recursos gratuitos e amplamente disponíveis associados ao sensoriamento remoto, bancos de dados e geoprocessamento. A organização do trabalho de pesquisa abrange a definição da área de estudo, materiais e métodos (incluindo a definição de polígonos de desmatamento, pontos de fiscalização ambiental, obtenção de imagens orbitais de sensoriamento remoto gratuitas, análise por meio de ferramentas de geoprocessamento), análise dos resultados por meio de uma abordagem histórica, bem como gráficos comparativos e, finalmente, as considerações finais.

2. Metodologia

2.1 Seleção da área de estudo

O bioma Cerrado tem sua cobertura territorial espalhada pelos estados brasileiros de Goiás, Tocantins, Distrito Federal, Bahia, Ceará, Maranhão, Piauí, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rondônia e São Paulo. O presente estudo limitou a pesquisa do bioma Cerrado ao território do Estado de Minas Gerais, conforme mostrado na Figura 1.

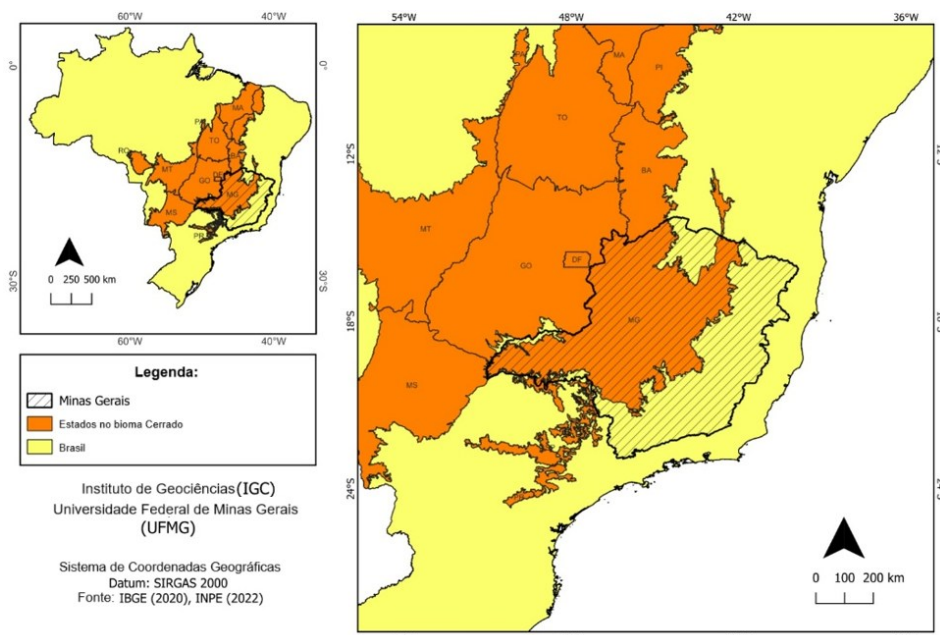


Figura 1 – Distribuição do bioma Cerrado nos estados do Brasil com destaque para Minas Gerais.
Fonte: Autores (2024).

2.2 Seleção de materiais

2.2.1 Polígonos de desmatamento

Os polígonos de desmatamento foram extraídos das detecções (contornos vetoriais) fornecidos gratuitamente na plataforma TerraBrasilis, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio do Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER). Teures e Castilho (2011) e Diniz et al. (2015) apresentam uma exposição com mais detalhes sobre os dados e características do Sistema.

O programa DETER foi desenvolvido pelo INPE para gerar alertas de evidências quanto a mudanças na cobertura vegetal. Inicialmente destinado apenas à aplicação na Amazônia, o sistema utiliza imagens do sensor WFI, transportado a bordo do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS-4), com resolução espacial de 64 metros e taxa de revisita de três dias, conforme explicado por Almeida et al. (2022). Com base no uso de imagens da banda pancromática capturadas pelo satélite CBERS-4/PAN, com resolução espacial de 5 metros e utilizando de 5 a 15 pontos de controle no solo, Akiyama et al. (2021) geraram imagens com precisão posicional muito confiável, variando de 10 a 15 metros.

Desde junho de 2022, os polígonos de desmatamento do sistema DETER também passaram a ser realizados com base em dados de imagens do satélite Amazônia-1, conforme abordado em trabalhos científicos, como Barbosa, Ferreira e Júnior (2023) e Silva e Loureiro (2023). Mais de 180 polígonos analisados nesses estudos foram coletados pelo novo sensor a bordo do Amazônia-1. O dispositivo de imageamento utiliza uma câmera WPI (Wide Field Imaging Camera) para capturar imagens em seis níveis e é considerado o primeiro satélite com estabilização de 3 eixos totalmente desenvolvido no Brasil.

2.2.2 Pontos de fiscalização ambiental

Os dados referentes às fiscalizações ambientais foram coletados diretamente na plataforma IDESISEMA, disponibilizada na Internet pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Minas Gerais (SEMAD-MG).

2.2.3 Imagens orbitais de sensoriamento remoto

As imagens orbitais são geradas pelo satélite Amazônia-1 e foram extraídas no formato de dados raster diretamente da página do catálogo de imagens do INPE. As imagens utilizadas no estudo são de Nível L4, com alta qualidade de processamento, já disponíveis na forma ortorretificada, com correções radiométricas essenciais e correções do sistema geométrico baseadas em pontos de controle no terreno e modelo digital de terreno (INPE, 2021). Esses tipos de imagens também foram recentemente utilizados em estudos realizados por Barbosa, Ferreira e Júnior (2023) e Silva e Loureiro (2023).

2.2.4 Análise e geoprocessamento

Os dados espaciais nos formatos vetorial e raster foram processados utilizando ferramentas do programa QGIS versão "3.16.5 Hannover" (QGIS, 2021). Gráficos e análises foram obtidos utilizando o programa Microsoft Excel 365 (2021).

2.3 Métodos

2.3.1 Procedimentos

O estudo delimitou um período de cinco anos para analisar a evolução do desmatamento no bioma Cerrado de Minas Gerais, compreendendo os anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022. Esse período coincide com a disponibilidade de informações existentes na plataforma de Infraestrutura de Dados Espaciais (IDESISEMA). A Figura 2 apresenta um esquema geral dos procedimentos para obtenção dos resultados pretendidos neste estudo.



Figura 2 – Esquema geral da metodologia.

Fonte: Autores (2024).

2.3.2 Polígonos DETER e pontos de fiscalização

Os polígonos de alerta gerados pelo DETER e os pontos de fiscalização para o período de 2018 a 2022, na vegetação do Cerrado em Minas Gerais, foram extraídos e recortados conforme mostrado nas Figuras 3 e 4.

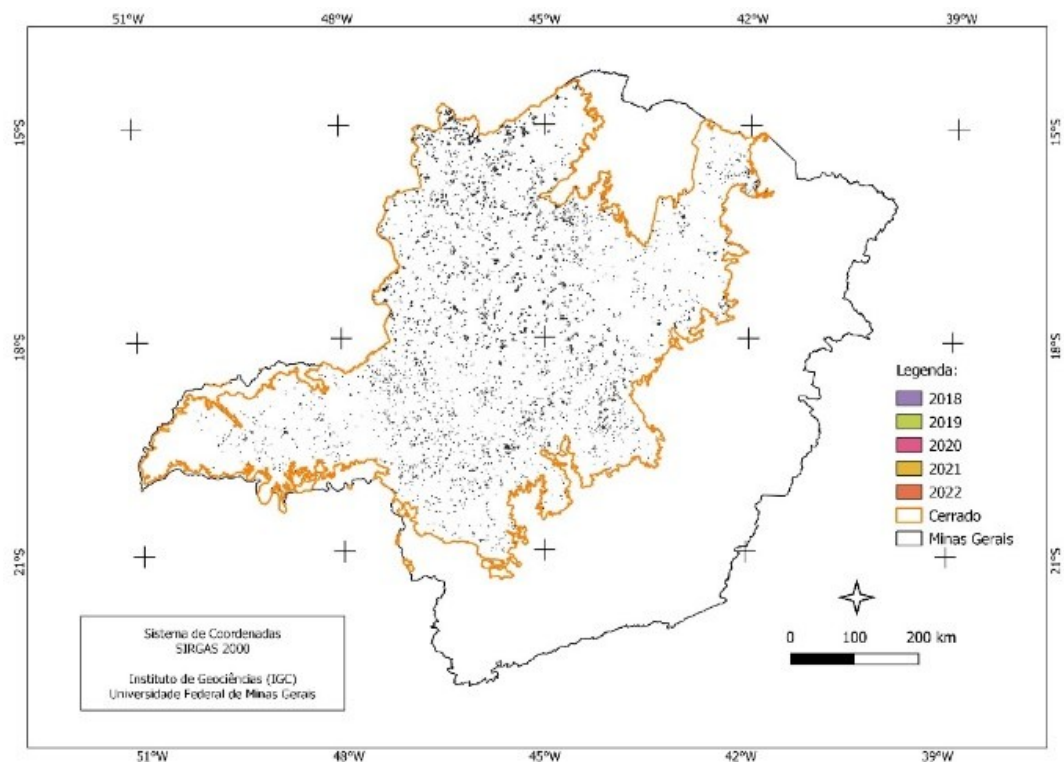


Figura 3 – Polígonos DETER (2018 a 2022).

Fonte: Autores (2024).

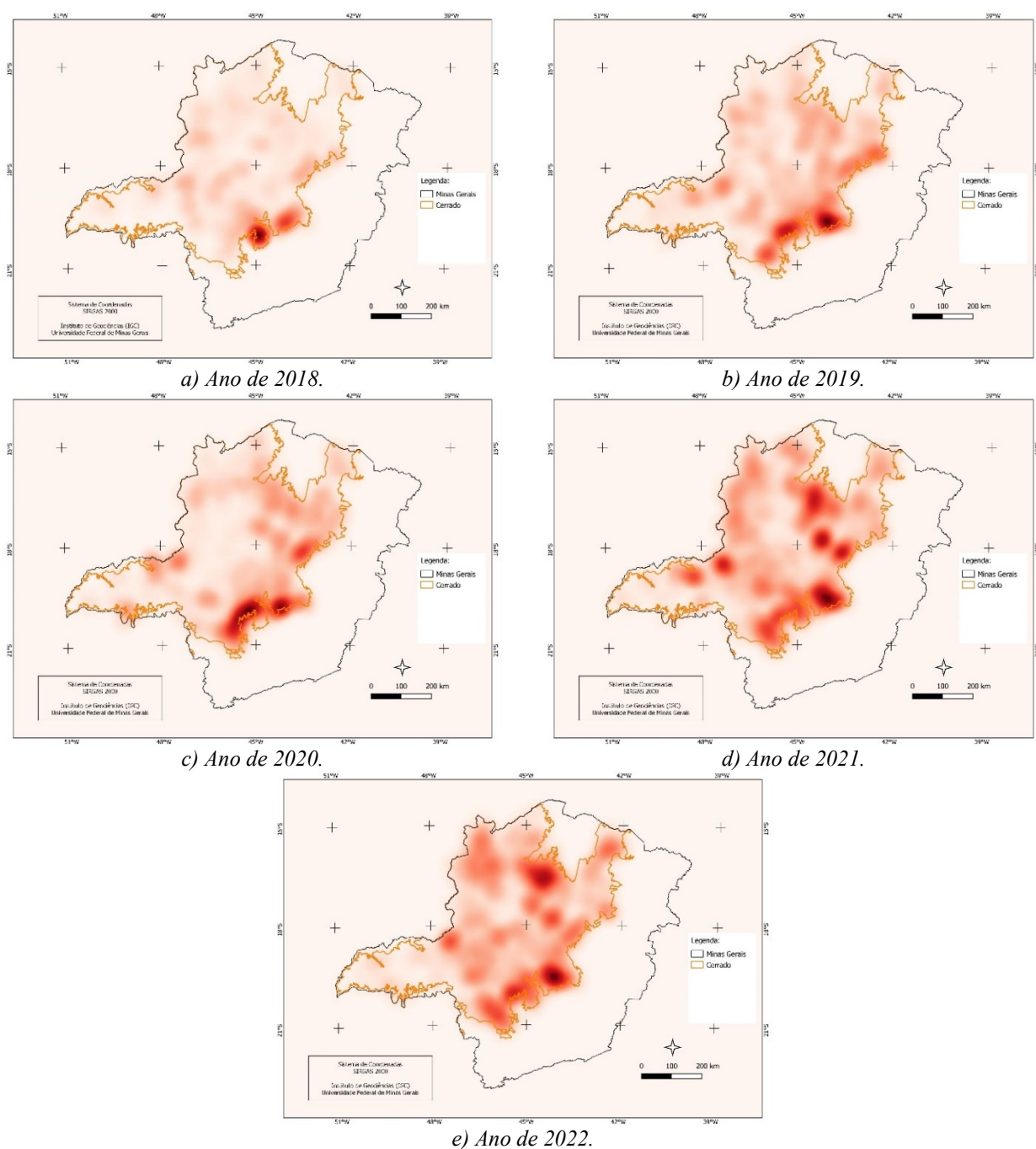


Figura 4 – Pontos de Fiscalização - Mapa de calor (2018 a 2022).

Fonte: Autores (2024).

2.3.3 Composição NDVI

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é um índice que destaca a resposta espectral da vegetação e é calculado pela diferença entre a banda do espectro infravermelho próximo e a banda do espectro vermelho, dividida pela soma de ambas as bandas, permitindo uma resposta normalizada. Esse índice é amplamente utilizado para demonstrar a diferença entre estratos vegetacionais (sob estresse hídrico, estágio do ciclo de vida, etc.) e outros elementos de cobertura,

como solo exposto. Seu valor varia de -1 a 1, e quanto maior for, melhor será a resposta espectral representando o vigor vegetativo e a atividade fotossintética das plantas. Diferentes pesquisas envolvendo aplicações do NDVI são desenvolvidas nos trabalhos de Pereira e Tavares Júnior (2017), Barroso, Sano e Freitas (2018), Moraes *et al.* (2018), Cambraia Filho, Brites e Souza Bias (2020), Mabunda *et al.* (2021), Silva Júnior *et al.* (2021), Herrmann, Nascimento e Freitas (2022), Maia *et al.* (2023).

Os dados raster do NDVI foram obtidos por meio de operações aritméticas realizadas com as bandas infravermelho e vermelho das imagens do satélite Amazônia-1, conforme mostrado na Equação 1:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (1)$$

Considerando que as informações de interesse derivadas das imagens retratam polígonos de supressão vegetal em uma área do bioma Cerrado, produzindo um consequente aumento na exposição do solo, foi realizada uma representação em composição NDVI para destacar as áreas afetadas, conforme mostrado na Figura 5.

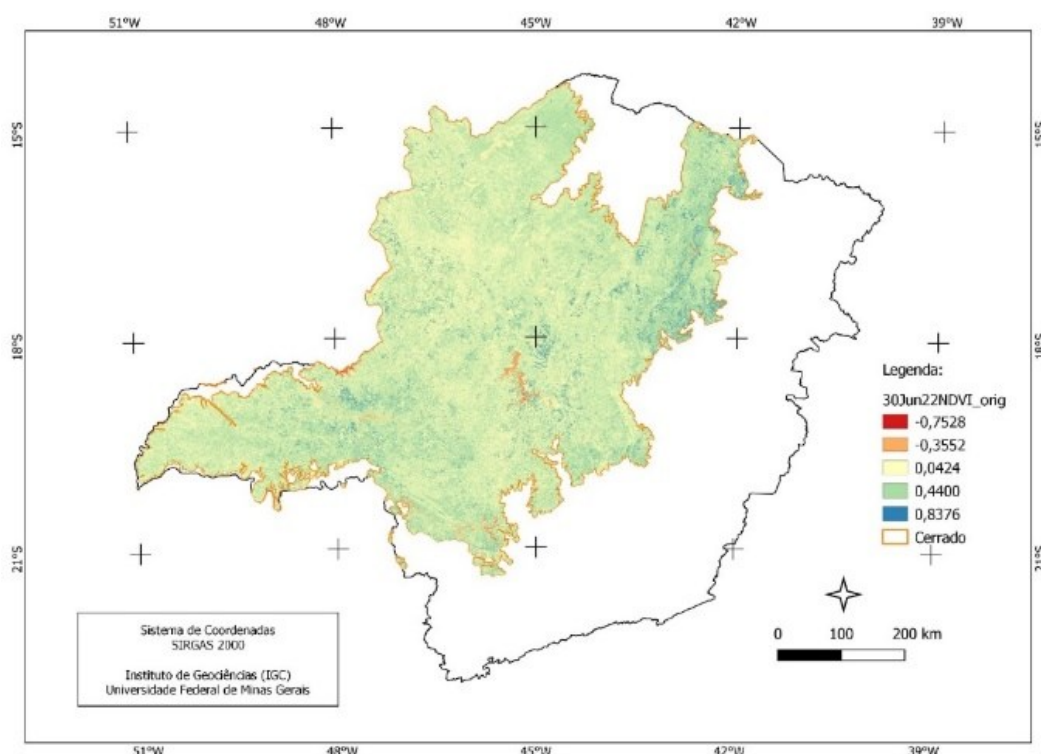


Figura 5 – Composição NDVI (realce em falsa cor) com imagem do satélite Amazônia-1.
Fonte: Autores (2024).

3. Resultados

Os mapas gerados permitiram uma análise quantitativa da evolução do desmatamento no bioma Cerrado no Estado de Minas Gerais, entre os anos de 2018 e 2022, conforme mostrado na Tabela 1. No total, foram detectados 6.100 polígonos de desmatamento no período, o que corresponde a uma área combinada de 1.607,02 hectares (ha), com uma média de 0,26 hectare por detecção.

Tabela 1 – Desmatamentos detectados pelo sistema DETER no Cerrado de Minas Gerais (2018-2022).

Ano	Detecções	Área (ha)	Média (ha)	Menor (ha)	Município	Maior (ha)	Município
2018	2243	441,42	0,20	6,67 x 10 ⁻⁵	Luz	4,23	Buritizeiro

2019	1484	350,32	0,24	$1,67 \times 10^{-7}$	Formoso	7,91	João Pinheiro
2020	861	236,69	0,27	$2,15 \times 10^{-7}$	Felixlândia	7,34	Bonito de Minas
2021	904	321,60	0,36	$1,19 \times 10^{-5}$	Itapecerica	8,55	Senador Modestino Gonçalves
2022	608	256,96	0,42	$2,21 \times 10^{-4}$	Araçuaí	7,16	Formoso
Total	6.100	1.606,02	0,26	-	-	-	-

Fonte: Autores (2024).

No ano de 2018, ocorreu o maior número de desmatamentos, totalizando uma área de 441,42 ha (um total de 2.243 polígonos de detecção), em comparação com 350,32 ha em 2019 (1.484 detecções), 236,69 ha em 2020 (861 detecções), 321,60 ha em 2021 (904 detecções) e 256,96 ha em 2022 (608 detecções). Isso nos permite afirmar que houve uma redução significativa no número de intervenções ambientais ao longo do período, com aumento apenas no período de 2020 a 2021. Sobre o tamanho dos polígonos, verificou-se que a maior área (8,55 ha) foi detectada no município de Senador Modestino Gonçalves, em 2021, enquanto a menor ($2,15 \times 10^{-7}$ ha) ocorreu em Felixlândia, em 2020.

Para avaliar os municípios com maior número de polígonos e áreas desmatadas no período de 2018 a 2022, foram classificados os quatro primeiros, conforme mostrado na Tabela 2. Nota-se que o município de João Pinheiro teve o maior número total de detecções (243) e também a maior área total desmatada, correspondendo a 108,96 ha.

Tabela 2 – Municípios com maiores áreas e ocorrências de detecções (2018-2022).

Ranking	Municípios	Área total (ha)	Detecções	Média (ha)
1º	João Pinheiro	108,96	243	0,45
2º	Arinos	88,99	206	0,43
3º	Buritizeiro	79,85	180	0,44
4º	Formoso	73,65	161	0,46
	Total	351,45	790	1,78

Fonte: Autores (2024).

Com base nos resultados, as Figuras 6(a), 6(b), 6(c) e 6(d) foram construídas para demonstrar a evolução do desmatamento em cada um desses municípios. Apesar de ter o maior valor acumulado no período de 2018 a 2022, o número total de detecções e a área detectada no município de João Pinheiro (1a) mostram uma tendência de queda ($R^2 = 0,82$). Da mesma forma, apesar de um ligeiro aumento entre os biênios 2018-2019 e 2020-2021, também foi observada uma diminuição no município de Arinos (1b) ($R^2 = 0,62$). No município de Buritizeiro (6c), apesar do aumento acumulado na área desmatada, houve manutenção no número de detecções ($R^2 = 0,03$). No município de Formoso (6d), embora tenha apenas 161 detecções, observou-se um aumento progressivo no mesmo período, tanto na área acumulada quanto no número de detecções ($R^2 = 0,41$), o que corrobora a informação de que a média de hectare desmatado é proporcionalmente maior (0,46 ha/detecção).

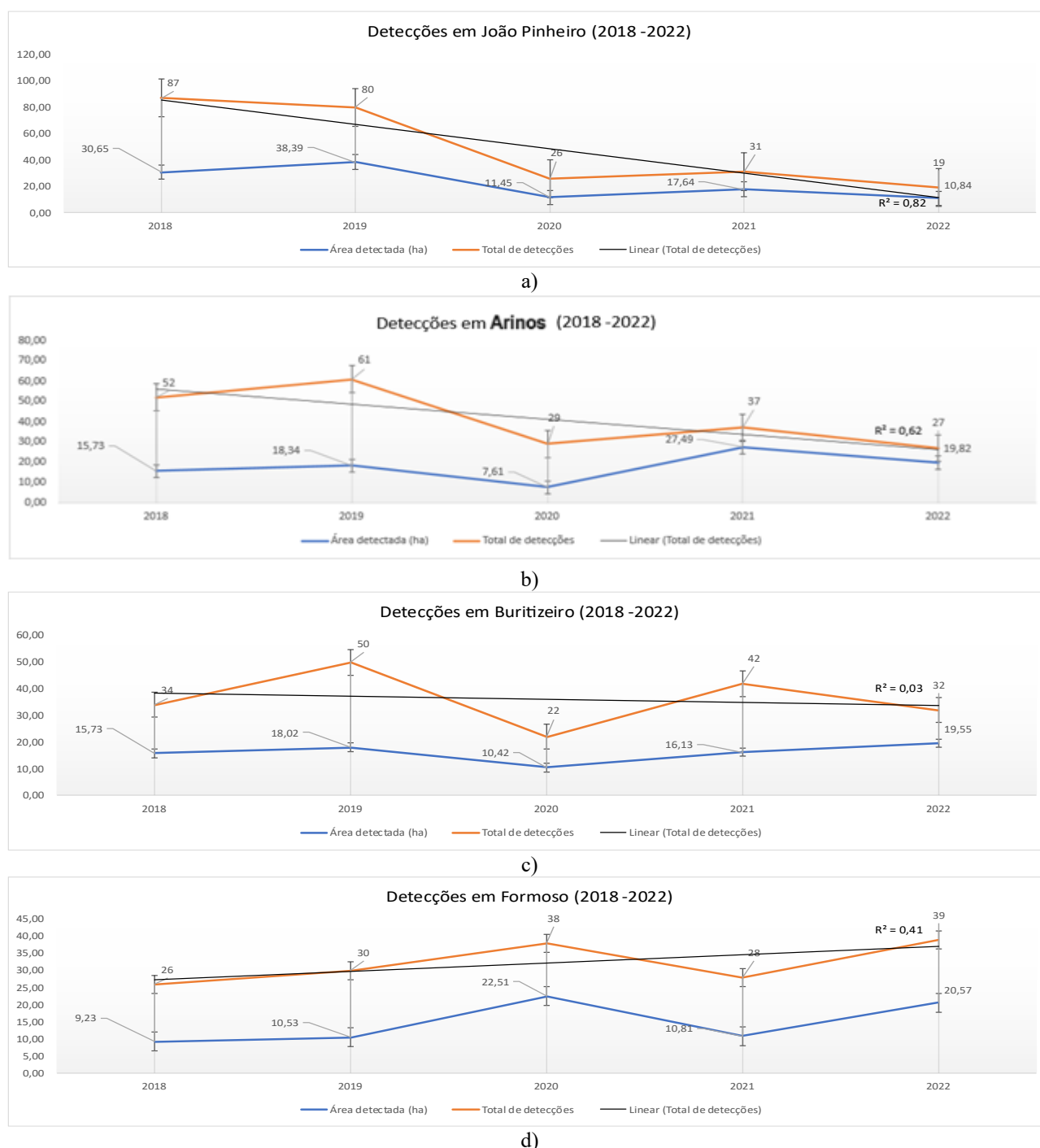


Figure 6 – Evolução do desmatamento nos municípios do Cerrado de Minas Gerais baseado nos polígonos detectados no sistema DETER (2018-2022).

Fonte: Autores (2024).

Desde junho de 2022, os polígonos de desmatamento do sistema DETER também passaram a ser detectados com base em dados do satélite Amazônia-1, além da continuidade do uso do satélite CBERS-4. Diante disso, foi escolhida uma área localizada no município de João Pinheiro, monitorada por ambos os satélites, para comparação, conforme mostrado na

Figura 7. A análise mostrou que, apesar do registro de pequenas falhas na sobreposição de detecções em determinadas instâncias, há de fato uma excelente correspondência entre as áreas desmatadas e os polígonos detectados. Para esse procedimento, foi utilizada uma imagem de alta resolução obtida no site Global Forest Watch, que permitiu demonstrações do grande potencial do uso de dados do novo sensor.

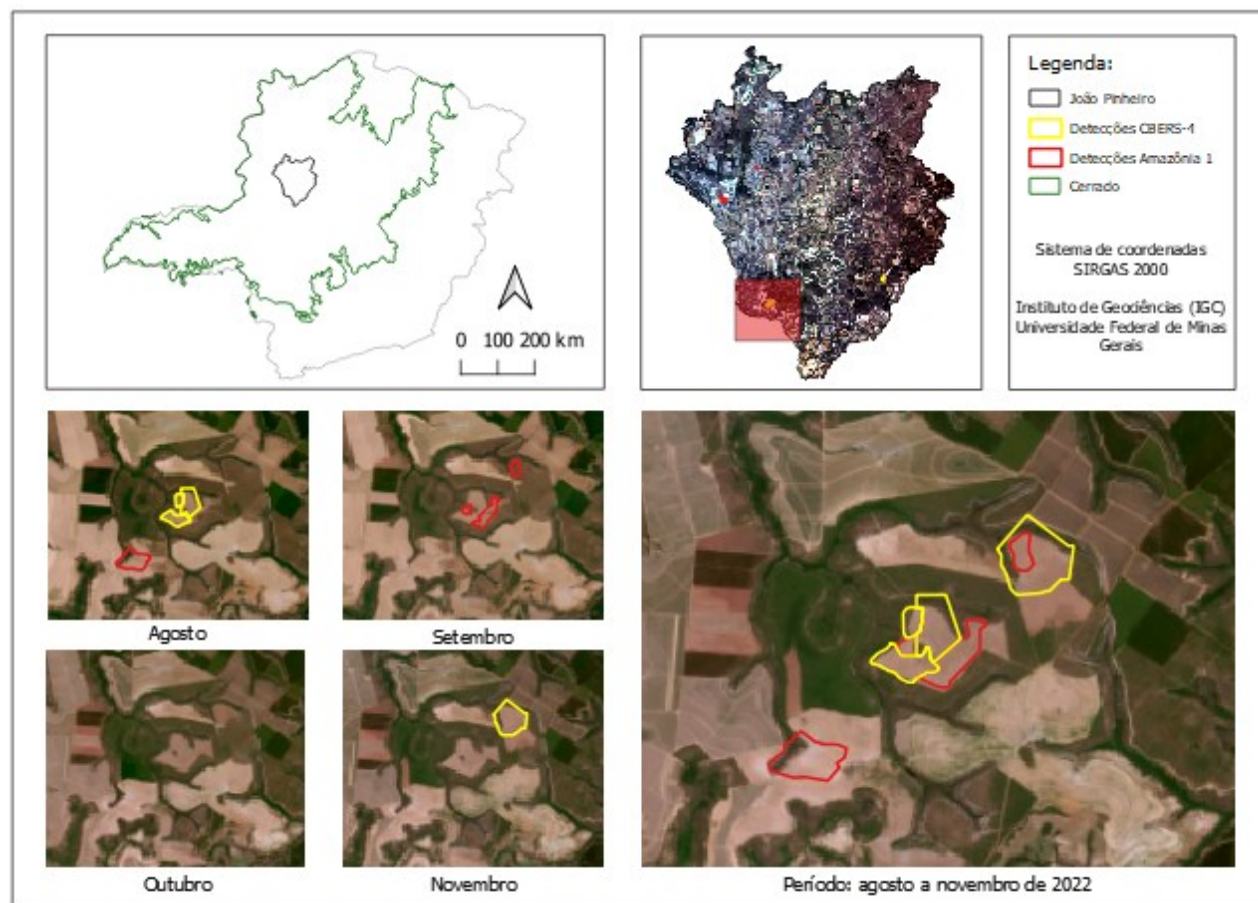


Figura 7 – Polígonos detectados no município de João Pinheiro (Agosto a Novembro - 2022).

Fonte: Autores (2025).

4. Conclusões

O uso de imagens orbitais de sensoriamento remoto na avaliação de intervenções ambientais tem sido uma estratégia importante para otimizar o planejamento e para uma resposta rápida dos órgãos de fiscalização ambiental contra infratores ambientais. O presente estudo mostrou que a resolução espacial e temporal das imagens são de crucial importância para esses tipos de análises, de modo que um intervalo menor para disponibilização de imagens resulta em uma resposta mais efetiva contra infratores ambientais.

Nesse contexto, o uso de imagens recentemente disponibilizadas por sensores transportados a bordo do satélite brasileiro Amazônia-1, lançado em 2021, deve ser considerado como uma metodologia inovadora, conforme demonstrado em sua utilização no presente trabalho. No futuro, com a geração de uma coleção temporal robusta e um maior número de imagens desse sensor, novos estudos podem ser realizados, resultando em redução significativa de custos, uma vez que as imagens são disponibilizadas gratuitamente. Além desse aspecto da pesquisa, é importante incentivar o uso de programas gratuitos, como o QGIS e seus aplicativos livremente disponíveis, que também foram utilizados com sucesso neste trabalho de pesquisa.

Os polígonos disponibilizados pelo sistema DETER demonstraram grande relevância para o monitoramento e planejamento de ações de fiscalização ambiental. Os mapas gerados como resultado confirmaram que não houve aumento significativo no desmatamento no Cerrado e, ao mesmo tempo, não houve sobrecarga significativa nas ações de fiscalização, que poderiam ser concentradas em outras regiões críticas de prioridades crescentes.

Os resultados do estudo indicam que é muito importante recomendar uma análise prévia dos mapas gerados a partir dos polígonos DETER, principalmente no bioma Cerrado, para possibilitar uma avaliação mais efetiva e rápida para identificação e fiscalização de áreas desmatadas. Esses aspectos permitem maior eficácia de planejamento para ações preventivas, bem como para ações de combate a infrações ambientais.

Referências

- ALMEIDA, C. A. et al. Metodologia utilizada nos sistemas Prodes e DETER - 2^a edição (atualizada). 2022. Available in: <http://mtc-m21d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/08.25.11.46/doc/publicacao.pdf> Accessed in: fev. 28th, 2022.
- AKIYAMA, T. S. et al. Orientação Exterior de Imagens CBERS-4/PAN Utilizando Modelos Rigorosos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 2, p. 329–339, 6 abr. 2021. DOI: 10.14393/rbcv73n2-50008. Available in: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/50008>. Accessed in: fev. 28th, 2022.
- ANDRADE, R. G. *et al.* Recuperação de pastagens no cerrado. **Agroanalysis**, v. 36, n. 2, p. 30-32, 2016. Available in: <http://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/download/63501/61592>. Accessed in: fev. 28th, 2022.
- BARBOSA, I. M.; FERREIRA, M. G. V.; JÚNIOR, M. F. C. The Application of Machine learning to Amazonia-1 satellite power subsystem telemetry prediction. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 2512, n. 1, p. 012012, 1 maio 2023. Available in: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2512/1/012012/pdf>. Accessed in: jun. 22nd, 2023.
- BARROSO, A. G.; SANO, E. E.; FREITAS, D. M. D. Identificação de desmatamentos recentes no cerrado utilizando as técnicas de diferença de imagens e índice de queimada por diferença normalizada. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 7, 5 jun. 2018. Available in: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43996/23247> Accessed in: dec. 12nd, 2024.
- CAMBRAIA, D. J.; BRITES, R. S.; BIAS, E. S. Application Potentialities of Vegetation Indices Based on the Visible Portion of the Spectrum of Electromagnetic Radiation. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, n. 4, p. 83–93, 12 dez. 2019. Available in: <https://ppegeo.igc.usp.br/portal/wp-content/uploads/tainacan-items/1974/66045/13493-18142-1-SM.pdf>. Accessed in: dec. 12nd, 2024.
- DINIZ, C. G. et al. DETER-B: The New Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 7, p. 3619–3628, jul. 2015. Available in: <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/4609443/7192754/07128317.pdf>. Accessed in: dec. 12nd, 2024.
- GRAZIUSO, G. et al. Open-source software tools for strategic noise mapping: a case study. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 2162, n. 1, p. 012014, 1 jan. 2022. Available in: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2162/1/012014/pdf>. Accessed in: dec. 12nd, 2024.
- GVSIG Asociación. Manual de Usuário: GVSIG 2.2. Valencia, Espanha, 2014. 419p. Available in: <http://downloads.gvsig.org/download/gvsig-desktop/dists/2.2.0/docs/gvsig-2.2.0-doc-1.0.0-pt.pdf>. Accessed in: jul.28th, 2022.
- HERRMANN, P. B.; NASCIMENTO, V. F.; FREITAS, M. W. D. D. Sensoriamento Remoto Aplicado à Análise de Fogo em Formações Campestres: Uma Re-visão Sistemática. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 2, p. 437–458, 30 maio 2022. Available in: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/63739>. Accessed in: jul. 19th, 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS - IBF. Bioma Cerrado. 2020. Available in: <https://www.ibflorestas.org.br/bioma-cerrado>. Accessed in: jan. 20th, 2022.

- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. AMAZONIA 1: Descritivo da Missão e do Satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021. Available in: https://www.gov.br/inpe/pt-br/programas/amazonia1/repositorio-de-arquivos/a800000-ddd-001_v01-amazonia_1-descritivo_da_missao_e_do_satelite.pdf. Accessed in: jan. 20th, 2022.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R.B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p.147-155, 2005. Available in: https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Machado-4/publication/228342037_A_conservacao_do_Cerrado_brasileiro/links/553a78670cf29b5ee4b64c2f/A-conservacao-do-Cerrado-brasileiro.pdf Accessed in: jan. 25th. 2022.
- LEWIS, K. et al. Mapping native and non-native vegetation in the Brazilian Cerrado using freely available satellite products. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1588, 28 jan. 2022. Available in: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-05332-6>. Accessed in: jun. 22nd, 2023.
- LOPES, D. D. S.; NÓBREGA, R. A. D. A.; MACEDO, D. R. Towards a Robust Approach for Multitemporal Landcover Dataset: 3 Decades of Landcover Changes in Piauí, Brazil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 1, p. 197–213, 2 fev. 2022. Available in: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/62751>. Accessed in: feb. 28th, 2022.
- MABUNDA, I. R. D. S. et al. Estimativa da Biomassa Florestal para Fins Energéticos Utilizando Índices de Vegetação e Dados de Campo, Distrito de Mabalane – Moçambique. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 1, p. 313–328, 19 fev. 2021. DOI: 10.14393/rbcv73n1-46828. Available in: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/46828>. Accessed in: jul. 19th, 2023.
- MACIEL, A. L.; ALVES, D.; SANT'ANNA, S. Análise dos Processos de Desmatamento e Regeneração nas Unidades de Conservação Pertencentes no Vale do Ribeira (SP/PR) por Meio de Classificações de Imagens de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 1, p. 261–277, 19 fev. 2021. DOI: 10.14393/rbcv73n1-55435. Available in: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/55435>. Accessed in: feb. 28th, 2022.
- MAIA, F. C. et al. Avaliação Temporal da Dinâmica de Regeneração da Vegetação em Áreas Queimadas no Pantanal. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 75, 21 jun. 2023. DOI: 10.14393/rbcv75n0a-66772. Available in: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/66772>. Accessed in: jun. 22nd, 2023.
- MELO, K. F.; NASCIMENTO, M. R. do; NASCIMENTO, M. R.; FILHO, . G. F. S.; SANTOS, E. S. dos; OLIVEIRA, K. A. de; MENDES, T. J. . Análise da dinâmica do desmatamento e regeneração da vegetação natural na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, Maranhão: Analysis of the dynamics of deforestation and protection of natural vegetation in the Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, Maranhão. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 550–563, 2024. DOI: 10.21680/2447-3359.2024v10n2ID31562. Available in: <https://periodicos.ufn.br/revistadoregne/article/view/31562>. Accessed in: mar. 19th 2025.
- MORAES, D. R. V. et al. Monitoramento de áreas embargadas por desmatamento ilegal. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 5, p. 1595–1617, 31 dez. 2018. Available in: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44566/pdf> Accessed in: jul. 19th, 2023.
- MUELLER, C. C., MARTHA JÚNIOR, G. B. A agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico recente do Cerrado. **Simpósio Nacional Cerrado**, v. 9, p. 1-41, 2008. Available in: https://www.researchgate.net/profile/Geraldo-B-Martha-Jr/publication/228764551_A_agropecuaria_eo_desenvolvimento_socio-economico_recente_do_Cerrado/links/5475984b0cf245eb4370df25/A-agropecuaria-eo-desenvolvimento-socio-economico-recente-do-Cerrado.pdf Accessed in: jul. 19th, 2023.
- OGLI, J. N. O.; MURODILOV, K. T. Use of geo-information systems for monitoring and development of the basis of Web-maps. **Galaxy International Interdisciplinary Research Journal**, v. 11, n. 4, p. 685-689, 2023. Available in: <https://giirj.com/index.php/giirj/article/download/5108/5006>. Accessed in: jul. 22nd, 2023.

- OSGeo. Open-source GIS history, 2019. Available in: https://wiki.osgeo.org/wiki/Open_Source_GIS_History. Accessed in: feb. 28th, 2022.
- PEREIRA, J. A. S.; TAVARES JUNIOR, J. R. Classificação supervisionada e saldo de radiação para discriminação de alvos de superfície no entorno do Reservatório de Itaparica - PE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 6, 14 jun. 2017. Available in: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44321/23403>. Accessed in: jul. 22nd, 2023.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. **Cerrado: ecologia e flora**, v. 1, p. 151-212, 2008. Available in: <https://www.webambiente.cnptia.embrapa.br/webambiente/wiki/lib/exe/fetch.php?media=webambiente:ribeirowalter2008.fitofisionomias.pdf>
- SANTOS, A. R. et al. Assessment of Water Ecosystem Integrity (WEI) in a Transitional Brazilian Cerrado–Atlantic Forest Interface. **Water**, v. 15, n. 4, p. 775, 16 fev. 2023. Available in: <https://doi.org/10.3390/w15040775> Accessed in: jun. 22th 2023.
- SILVA, A. C. D. P.; LOUREIRO, G. Simultaneous and collaborative development of satellites and Information Systems to support their lifecycle processes. **Information Systems**, v. 111, p. 102125, jan. 2023. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.is.2022.102125>. Accessed in: jun. 22th 2023.
- SILVA JUNIOR, U. J. D. et al. Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 1, p. 17–35, 19 fev. 2021. Available in: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/55252>. Accessed in: jul. 19th 2023.
- SOUSA, J. Y. B. de; VELOZO, A. L. S.; PEREIRA, J. R. ; SANTOS, G. F.; ARAÚJO, S. R. D.; ARAÚJO, S. N. R. de. DETECÇÃO TEMPORAL DE IMPACTOS EM ÁREAS CONFLITANTES E USO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO SEMIÁRIDO DA PARAÍBA. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 24–31, 2020. DOI: 10.21680/2447-3359.2020v6n2ID20553. Available in: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/20553>. Accessed in: mar. 19th 2025.
- SOUZA, I. S. de; SOUZA, A. P. S. de; SOUZA, R. M. e. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra na Reserva Extrativista Marinha da Baía do Iguape - Recôncavo Baiano: Multitemporal land use and land cover analysis of the Iguape Bay Marine Extractive Reserve – Bahian Recôncavo. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 140–153, 2025. DOI: 10.21680/2447-3359.2025v11n1ID36988. Available in: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/36988>. Accessed in: mar. 19th 2025.
- VIANA, S. N. Análise de imagens do satélite ALOS PALSAR para discriminar fitofisionomias do bioma Cerrado: estudo de caso no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. 2012. Available in: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/12211> Accessed in: 19 mar. 2025.
- TEURES, Renata Aquinoga; CASTILHO, ACdC. Relação entre Autos de Infração lavrados pelo IBAMA e detecções do sistema DETER no estado de Mato Grosso. Proceedings of the Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, Brazil, April, v. 30, p. 2980, 2011. Available in: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.27.17.03/doc/p0816.pdf> Accessed in: mar. 19th 2025.
- TIBANGAYUKA, N.; MULUNGU, D. M. M.; IZDORI, F. Analysis of spatiotemporal surface water variability and drought conditions using remote sensing indices in the Kagera River Sub-Basin, Tanzania. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 37, p. 101405, jan. 2025. Available in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938524002696>. Acesso em: 19 mar. 2025.