

ANÁLISE REMOTA DA DINÂMICA DE POLÍGONOS DE IGNIÇÃO NO PANTANAL DE MATO GROSSO DO SUL

RONI BERTO MEDINA ESPINDOLA¹, ANANDA OLIVEIRA RODRIGUES², LUCIANO FURTADO LOUBET³ e DENILSON OLIVEIRA GUILHERME⁴

¹Geógrafo e mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropécuária - UCDB – roni.espindola@gmail.com,

²Engenheira Ambiental do Ministério Público – Campo Grande – MS, anadaoliveira@mpms.mp.br,

³Dr. Prof. e Promotor de justiça do Ministério Público Estadual – Campo Grande – MS, lucianoloubet@mpms.mp.br,

⁴Dr. Prof. Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropécuária – UCDB – Campo Grande-MS, rf3223@ucdb.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
06 a 09 de outubro de 2025

RESUMO: Este estudo aborda a ameaça dos incêndios florestais ao bioma Pantanal, especialmente no Mato Grosso do Sul, e propõe uma metodologia de análise remota para identificar polígonos de ignição e monitorar a regressão do fogo. Utilizando sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), foram analisados dados diários de focos de calor (FIRMS) e imagens multitemporais dos satélites PlanetScope, Sentinel-2, Landsat-8/9 e CBERS-4/4A, processadas no QGIS. Através da regressão cronológica dos focos e do uso de composições espectrais e dados de vento (DSAT), foi possível identificar a origem dos incêndios e acompanhar sua expansão, mesmo durante o período proibitivo de queimadas. Apesar das limitações, como cobertura de nuvens, resolução espacial e falhas de sensores, a abordagem se mostrou eficiente. O sensoriamento remoto é uma ferramenta acessível e útil na gestão ambiental, mas requer validação em campo e análise cuidadosa para embasar políticas de conservação e uso sustentável do Pantanal.

PALAVRAS-CHAVE: Incêndios Florestais, Sensoriamento Remoto, Pantanal, Polígonos de ignição, Monitoramento Ambiental.

REMOTE ANALYSIS OF IGNITION POLYGON DYNAMICS IN THE PANTANAL OF MATO GROSSO DO SUL

ABSTRACT: This study addresses the threat of wildfires to the Pantanal biome, especially in Mato Grosso do Sul, and proposes a remote analysis methodology to identify ignition polygons and monitor fire regression. Using remote sensing and Geographic Information Systems (GIS), daily heat focus data (FIRMS) and multi-temporal images from PlanetScope, Sentinel-2, Landsat-8/9, and CBERS-4/4A satellites, processed in QGIS, were analyzed. Through the chronological regression of foci and the use of spectral compositions and wind data (DSAT), it was possible to identify the origin of the fires and monitor their expansion, even during the prohibited burning period. Despite limitations such as cloud cover, spatial resolution, and sensor failures, the approach proved efficient. Remote sensing is an accessible and useful tool in environmental management, but it requires field validation and careful analysis to support conservation policies and sustainable use of the Pantanal.

KEYWORDS: Wildfires, Remote Sensing, Pantanal, Ignition polygons, Environmental Monitoring.

INTRODUÇÃO

Assim como ocorre com diversos biomas ao redor do mundo, que vêm enfrentando incêndios florestais (Libonati et al., 2020), o bioma Pantanal também é afetado por esse fenômeno. Anualmente, o Pantanal registra incêndios florestais, impulsionados por fatores ambientais que influenciam a frequência, a extensão e a intensidade desses eventos ao longo do tempo.

O clima, associado ao acúmulo de biomassa seca, cria condições favoráveis para a propagação dos incêndios. Além disso, o ciclo de cheias e secas caracteriza o Pantanal e exerce impactos significativos sobre o bioma. No entanto, dependendo da periodicidade dessas variações, a vegetação pode adaptar-se a esses eventos (Damasceno-Junior et al., 2021). É importante destacar que os ciclos de seca são fenômenos naturais no Pantanal; contudo, a diferença nos dias atuais reside no fato de que o bioma se encontra menos preservado em comparação ao passado — o ano de 2010 (dados Mapbiomas Fire) foi um período em que já se registraram episódios significativos de incêndios florestais, semelhantes ao ocorrido em 2020 —, o que aumenta sua vulnerabilidade frente a esses eventos

Diante desse cenário, as geotecnologias são ferramentas importantes para a análise da regressão dos incêndios florestais para identificar locais e possíveis fatores que influenciam a ocorrência e propagação de incêndios, como clima, relevo, uso do solo e atividades humanas. A aplicação de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permite a identificação de áreas com maior risco, podendo identificar o local dos pontos de ignição inicial. Os atuais recursos computacionais, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), facilitam significativamente os estudos temporais e espaciais para previsão e combate a incêndios, viabilizando a detecção de locais de maior risco e auxiliando no planejamento estratégico das atividades de prevenção (TORRES et al., 2017). O presente trabalho tem como objetivo utilizar o sensoriamento remoto e as imagens de satélite, por meio de análises de regressão, para identificar o local mais próximo da ignição inicial de incêndios florestais ocorridos no Estado de Mato Grosso do Sul no ano de 2024.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia proposta para a identificação do Polígono de Ignição (PI) de incêndios florestais no bioma Pantanal baseia-se em uma análise de regressão temporal integrada a um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O processo utiliza dados de focos de calor, imagens de satélite multiespectrais e informações meteorológicas, com ênfase na direção e intensidade do vento. O objetivo principal é identificar, com alta precisão espacial e temporal, o local de ignição do incêndio, proporcionando subsídios para ações de fiscalização, responsabilização e para o desenvolvimento de estratégias de controle e prevenção.

A metodologia é composta por quatro etapas, sendo a Análise Multitemporal com Focos de Calor e Imagens de Satélite a mais complexa, pois envolve o levantamento mais detalhado e abrangente. A primeira etapa, Coleta de Dados, consiste na obtenção dos focos de calor da área de estudo.

Em seguida, na etapa de Análise Multitemporal com Focos de Calor e Imagens de Satélite, realiza-se a seleção da área a ser analisada, a classificação dos focos de calor para determinar a sequência temporal do fogo e a análise das imagens de satélite, com o objetivo de confirmar a origem e a direção do incêndio.

A terceira etapa, Análise da Direção e Intensidade do Vento, tem como objetivo fornecer suporte para identificar a região de origem do incêndio e a direção de sua propagação. Por fim, a Delimitação do Polígono de Ignição é realizada, integrando as análises das imagens, dos focos de calor e dos dados meteorológicos do vento.

A coleta diária de focos de calor na área de estudo foi realizada por meio de plataformas de monitoramento remoto, destacando-se o Fire Information for Resource Management System¹ (FIRMS) e o Pantanal em Alerta. O FIRMS, desenvolvido pela NASA, disponibiliza dados de incêndios ativos em tempo quase real, utilizando informações de satélites como MODIS e VIIRS para identificar anomalias térmicas que indicam a presença de fogo. Complementarmente, o sistema Pantanal em Alerta, uma iniciativa do Ministério Público de Mato Grosso do Sul em parceria com o Corpo de Bombeiros, integra dados de focos de calor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

¹ Fire Information for Resource Management System, disponível em <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@0.0,0.0,3.0z>

(INPE) com informações do Cadastro Ambiental Rural (CAR), visando auxiliar na prevenção e combate a incêndios florestais no bioma. A utilização conjunta dessas plataformas permite um monitoramento abrangente e diário, essencial para a análise da dinâmica do fogo e para a implementação de estratégias de manejo e conservação ambiental.

Para identificar e mapear as cicatrizes de incêndio até os pontos iniciais de ignição, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 8, Sentinel-2, CBERS 4A, AMAZONIA 1 e PLANET (com dados diários). A utilização dessas constelações de imagens foi essencial para combinar resolução espacial e menor intervalo temporal, permitindo a delimitação precisa dos polígonos correspondentes aos focos iniciais de calor.

Para identificar incêndios ocorridos exclusivamente durante o período proibitivo de Queima Controlada no Pantanal, foi realizada uma análise multitemporal com imagens do satélite Sentinel-2A, abrangendo as áreas afetadas. Essa abordagem multitemporal, aliada a dados georreferenciados provenientes do banco de dados do Núcleo de Geotecnologias (NUGEO), permitiu a quantificação e caracterização dos pontos de ignição. O método utilizado combina dados históricos e atuais, conforme exemplificado

Inicialmente, buscou-se identificar imagens PlanetScope, em razão de sua alta resolução espacial e aquisição diária. Apesar da limitação ao espectro RGB (sem possibilidade de composição multiespectral), essas imagens foram eficazes para confirmar a área de ignição em muitos dos casos. Em seguida, foram analisadas imagens Sentinel-2 e Landsat-8/9, que permitem combinações de bandas no infravermelho próximo (NIR) e de ondas curtas (SWIR), possibilitando realce das áreas queimadas. As demais imagens foram utilizadas apenas nos casos da indisponibilidade das imagens PlanetScope, Sentinel-2 e Landsat-8/9.

A delimitação do PI foi realizada a partir da integração dos dados supracitados. Quando as imagens multiespectrais indicaram uma cicatriz de queima menor que a área sugerida pelos focos de calor, prevaleceu a análise visual da imagem. Nos casos em que as imagens mais próximas do início do incêndio já mostravam uma área extensa queimada, utilizou-se a distribuição dos focos de calor para inferir a base do fogo. Para isso, foram aplicados buffers nos pontos de foco, com raio correspondente à resolução do sensor de detecção: 375 metros para o sensor VIIRS e 1000 metros para o MODIS

Já para a delimitação da Área Total incendiada, utilizou-se imagens de satélite datadas após o período de ocorrência do incêndio, preferencialmente as imagens que permitem combinações de bandas no infravermelho próximo (NIR) e de ondas curtas (SWIR) - Sentinel-2 e Landsat-8/9. Com isso, a delimitação do Polígono de Ignição e da Área Total Incendiada foi realizada com base em imagens de satélite Sentinel-2, utilizando a composição em cores falsas R12G11B2. A delimitação do polígono de ignição foi feita a partir da imagem de 20/08/2024, capturada em uma fase inicial do incêndio, permitindo identificar a área onde o fogo começou. Já a delimitação da área total incendiada foi baseada na imagem de 30/08/2024, quando o incêndio já havia se espalhado, possibilitando mapear toda a extensão afetada pelas chamas. A composição R12G11B2, que utiliza as bandas 12 (infravermelho de ondas curtas), 11 (infravermelho de ondas médias) e 2 (azul), é eficaz para realçar diferenças na cobertura do solo, facilitando a distinção entre áreas queimadas, vegetação e solo exposto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da análise empreendida, foram identificados aproximadamente 234 incêndios florestais, os quais culminaram na queima de uma extensão territorial de 1.737.991,48 hectares no bioma Pantanal, especificamente na porção pertencente ao estado de Mato Grosso do Sul, durante o ano de 2024. Dos 234 incêndios florestais identificados, a vasta maioria, totalizando 226, teve sua origem no Pantanal Sul-mato-grossense. Os 8 incêndios restantes, embora em menor número, foram originados em territórios adjacentes e tiveram impacto significativo na área de estudo. Dentre estes, um incêndio teve início no Pantanal de Mato Grosso, resultando na afetação de 9,12 mil hectares.

Quatro incêndios foram detectados com origem na Bolívia, impactando uma área considerável de 89,14 mil hectares. Por fim, três incêndios tiveram sua ignição no bioma Cerrado, contribuindo para a queima de 4,82 mil hectares

Dos 226 incêndios florestais que tiveram sua origem no Pantanal Sul-mato-grossense, foram mapeados 298 polígonos de ignição inicial (Figura 1). A análise da distribuição de tamanho desses polígonos revela uma concentração significativa em áreas menores: 57 polígonos apresentaram tamanhos entre 0 e 1 hectare, 87 polígonos variaram entre 1 e 10 hectares, e 96 polígonos situaram-se na faixa de 10 a 50 hectares. Em conjunto, essas categorias representam 80,54% do total de ignições. Contudo, em 14 casos, a indisponibilidade de imagens de satélite adequadas resultou no delineamento de áreas superiores a 200 hectares, sendo que um desses casos ultrapassou 1.000 hectares, evidenciando as limitações dos dados em certas situações (Tabela 1).

Figura 1: Distribuição espacial dos polígonos de ignição inicial dos incêndios florestais ocorridos no bioma Pantanal do MS.

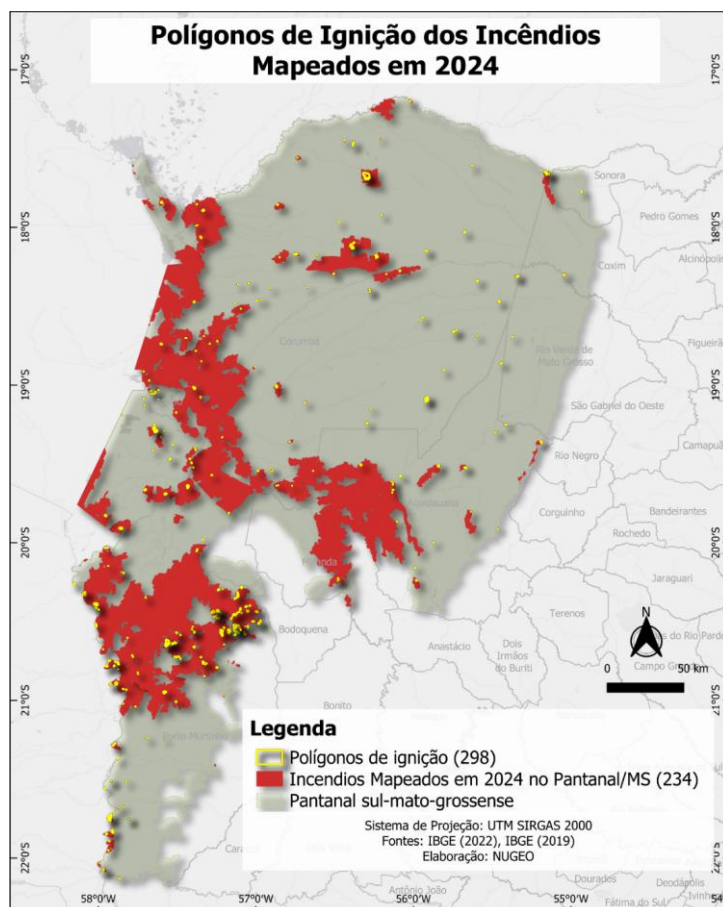


Tabela 1: Distribuição dos polígonos de ignição inicial por intervalo de área mapeada.

Intervalo de área (ha)	N.º de PI	Percentual (%)
0 a 1	57	19,13%
1 a 10	87	29,19%
10 a 50	96	32,21%
50 a 100	29	9,73%
100 a 200	15	5,03%
200 a 500	11	3,69%

500 a 1.000	2	0,67%
acima de 1.000	1	0,34%
Total	298	100,00%

A análise da distribuição espacial dos polígonos de ignição revelou padrões distintos de ocorrência em diferentes categorias territoriais. Dos 298 polígonos de ignição inicial, 185 polígonos de ignição incidiram sobre 171 propriedades rurais, 79 polígonos foram registrados em apenas duas Terras Indígenas (TIs), 8 polígonos foram identificados em seis Unidades de Conservação (UCs), e 26 polígonos ocorreram em áreas não cadastradas no Cadastro Ambiental Rural. Essa discriminação espacial dos eventos de ignição é crucial para o desenvolvimento de estratégias de prevenção e combate ao fogo mais eficazes e direcionadas, considerando as particularidades e os regimes de uso de cada tipo de território (Menezes et al., 2023).

No entanto, persistem desafios relevantes que demandam consideração na análise, tais como a temporalidade dos dados, falhas de captura inerentes aos sensores, a resolução espacial das imagens, a cobertura por nuvens e fumaça, e a ausência de detecção de focos de calor em áreas de extensão muito reduzida. Embora haja uma vasta disponibilidade de imagens de satélites, a delimitação dos Polígonos de Ignição (PI) exibe variações significativas em seus tamanhos, o que é atribuído, principalmente, às diferenças na resolução temporal entre os diversos sensores empregados. Além disso, fatores como a densidade da fumaça e nuvens no momento das passagens dos satélites podem dificultar substancialmente a detecção precisa das áreas afetadas, podendo comprometer a acurácia dos dados e influenciando diretamente o mapeamento final dos polígonos identificados.

Dessa forma, recomenda-se cautela na interpretação e na correlação dos dados obtidos, uma vez que esses processos demandam tempo, rigor metodológico e equipes especializadas. Ainda assim, os resultados reforçam o potencial promissor dessa tecnologia, que pode fornecer suporte essencial à coleta e validação de informações fundamentais para análises ambientais, gestão territorial, monitoramento, planejamento e formulação de políticas públicas voltadas à conservação de áreas estratégicas, como o Pantanal.

Além disso, embora os dados obtidos por sensoriamento remoto sejam valiosos para a identificação e análise preliminar das áreas afetadas, é importante destacar que eles não substituem completamente o trabalho de campo. A verificação *in loco* é essencial para determinar com precisão o ponto exato de ignição, compreender os fatores locais envolvidos e validar as informações geradas remotamente. Esse trabalho complementar no terreno permite não apenas confirmar os resultados das análises, mas também fornecer subsídios fundamentais para aprimorar os modelos e estratégias de monitoramento, aumentando a eficácia das ações de prevenção e resposta a incêndios.

CONCLUSÃO

A análise da dinâmica dos polígonos de ignição no Pantanal Sul-Mato-Grossense, detalhada neste estudo, demonstra a capacidade e a relevância do sensoriamento remoto e das geotecnologias como ferramentas estratégicas para o monitoramento e gestão de incêndios florestais. A metodologia empregada, que combinou a análise multitemporal de focos de calor com imagens de múltiplos satélites (Landsat, Sentinel, CBERS, Planet), permitiu não apenas a identificação precisa das cicatrizes de incêndio e dos pontos de ignição, mas também uma compreensão mais aprofundada da propagação do fogo, especialmente em períodos críticos como o proibitivo de queimadas.

Os resultados reforçam a urgência de sistemas de alerta e de monitoramento contínuo e eminente, como os desenvolvidos pelo INPE, MapBiomias e o sistema Alarmes do Lasa, para mitigar os impactos devastadores dos incêndios no bioma Pantanal, um ecossistema de valor inestimável. A crescente influência antrópica, sobreposta aos ciclos naturais de seca, exacerba a vulnerabilidade do Pantanal, como evidenciado pelos eventos catastróficos de 2020. Portanto, a integração de dados históricos e em tempo quase real é crucial para o desenvolvimento de estratégias de prevenção mais eficazes, que considerem tanto os fatores ambientais quanto as pressões socioeconômicas.

AGRADECIMENTOS

Ao Ministério Público Estadual de Mato Grosso do Sul pela concessão de bolsa de estudo e Capes, CNPq e Fundect pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, A. A. et al: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) – Mapibiomas-fire, 2023.
- Andela, et al. A human-driven decline in global burned area. *Science*. Vol 356, p. 1356-1362. 2017
- DAMASCENO-JUNIOR, G. A., & Pott, A. (Eds.). (2023). *Flora and Vegetation of the Pantanal Wetland* (1st ed. 2021 edition). Springer. Campo Grande.
- DITTMAR, Herbert et al: Utilização Dos Relatórios Automatizados De Alertas De Desmatamento na Melhoria do Processos Investigativo Criminal Ambiental, 2022.
- FLORENZANO, Teresa Gallotti (2011). Geotecnologias na Geografia aplicada: difusão e acesso. *Revista Do Departamento De Geografia*, 17, 24-29. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0002>.
- GIGLIO, Louis et al: The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product, *Remote Sensing of Environment*, Volume 217, 2018, Pages 72-85, ISSN 0034-4257,
- LIBONATI, Renata et al: *Rescue Brazil's Burning Pantanal Wetlands*, 2020.
- MAPBIOMAS Fire: Algorithm Theoretical Basis Documento, Collection 3.0, 2023.
- MENEZES, L. S., Santos, R. L., Russo, A., Santos, F. L. M., Oliveira, A. M., Souza, R. A. F., & Roque, F. O. (2023). Identificação e caracterização de incêndios naturais no Pantanal. In: *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. Anais eletrônicos...*, INPE.
- MIOTO, C. L. et al. Neotectonics as a structural control of the boundaries of the Pantanal Matogrossense Sub-Regions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 91, n. 1, 8 abr. 2019.
- MPMS -Ministério Público Estadual, Relatório Técnico n001/21/NUGEO, disponível em <https://www.mpms.mp.br/noticias/2021/04/relatorio-aponta-que-quase-60-dos-focos-de-incendios-no-pantanal-em-2020-tem-probabilidade-de-ligacao-com-atividades-agropastoris>, 2021.
- PARANHOS FILHO, A. C et al: *Sensoriamento Remoto Ambiental Aplicado: Introdução às geotecnologias: Material Didático/ Antônio Conceição Paranhos Filho*. Campo Grande, MS. Ed. UFMS.2008.
- SILVA F. R. et al: Machine Learning Application To Assess Deforestation And Wildfire Levels In Protected Areas With Tourism Management, *Journal For Nature Conservation*, Volume 74, 2023, 126435, ISSN 1617-1381.
- TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. *Floresta e Ambiente*, v. 24, e00025615, 2017. DOI: 10.1590/2179-8087.025615. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/PTZgzwgsGYRPZf4S4pSCZqn/?lang=pt>. Acesso em: 04 jun. 2025.