

SISTEMAS DE GEOTECNOLOGIAS PARA MONITORAMENTO DE QUEIMADAS: VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE SENSORES ORBITAIS E GEOESTACIONÁRIOS PARA IDENTIFICAR INCÊNDIOS FLORESTAIS EM ÁREA MODELO DO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA, MATO GROSSO DO SUL

Geotechnology systems for monitoring forest fires: feasibility of using orbital and geostationary sensors to identify forest fires in a model area of the Pantanal of Nhecolândia, Mato Grosso do Sul

Rennan Vilhena Pirajá

Discente – Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade Anhanguera-Uniderp

rennanvilhena345@gmail.com

Ademir Kleber Morbeck de Oliveira

Prof. Dr. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade Anhanguera-Uniderp

akmorbeckliveira@gmail.com

Rosemary Matias

Profa. Dra. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade Anhanguera-Uniderp

rosematiasc@gmail.com

Ary Tavares Rezende Filho

Professor, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

ary.rezende@gmail.com

Recebido: 02.06.2022

Aceito: 19.12.2022

Resumo

Caracterizado como uma grande planície de inundação na fronteira oeste do Brasil, o Pantanal vem enfrentando escassez de chuvas nas últimas décadas e aumento no número de queimadas. Deste modo, objetivou-se avaliar um sistema de geotecnologias para monitoramento de evento de queimadas na sub-região da Nhecolândia, desde o surgimento do primeiro foco de incêndio, sua propagação até extinção. Os procedimentos consistiram na aquisição diária dos focos de queimadas na plataforma do INPE, plotados sobre as imagens de média resolução espacial dos satélites Sentinel 2A e 2B. Os resultados demonstraram que o método de monitoramento é apropriado, permitindo respostas rápidas para o combate na propagação do fogo, tendo em vista a disponibilidade de informações diárias e atualizadas a cada 10 minutos, sendo uma ferramenta adequada para evidenciar a localização e extensão do dano ambiental pela interação de dados de sensores geoestacionários, orbitais e hipertemporais.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Satélites Sentinel; Controle de queimadas; Planície de inundação.

Abstract

Characterised as a large floodplain on the western border of Brazil, the Pantanal has been facing rainfall shortages in recent decades and increased fires. Thus, the objective was to evaluate a system of geotechnologies for monitoring fire events in the sub-region of Nhecolândia from the emergence of the first fire outbreak and its propagation until extinction. The procedures consisted of the daily acquisition of fire outbreaks on the INPE platform, plotted on medium spatial resolution images from Sentinel 2A and 2B satellites. The results showed that the monitoring method is appropriate, allowing quick responses to combat the spread of fire, given the availability of daily information updated every 10 minutes, being an adequate tool to highlight the location and extent of environmental damage by the interaction of data from geostationary, orbital and hypertemporal sensors.

Keywords: Remote sensing; Sentinel satélites; Fire control; Flood plain.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas ocorreu um aumento dos eventos de queimadas em diversos biomas brasileiros, associados aos processos climáticos, tais como a diminuição de precipitação e o aumento da temperatura em diferentes regiões (LIBONATI *et al.*, 2021). Muitos destes incêndios florestais destruíram grandes extensões de vegetação nativa, além de danificar determinadas infraestruturas rurais, como pontes e cercas, por exemplo. Portanto, destaca-se a importância da rapidez e eficiência na detecção e no monitoramento dos incêndios em áreas rurais, pois é imprescindível saber quando as queimadas têm início e como elas se propagam, pois deste modo é mais fácil seu controle, evitando danos ambientais e econômicos significativos (SANTOS *et al.*, 2020).

Um fator que agrava o problema das queimadas é que em áreas antropizadas, o fogo tem sido utilizado para o desmatamento ilegal da vegetação nativa e formação de pastagens, por exemplo, muitas vezes saindo de controle e afetando grandes áreas (LIBONATI *et al.*, 2021). Os efeitos negativos do manejo da terra pelo uso inadequado e intencional do fogo tem-se tornado preocupante na pauta das questões ambientais, devido as suas consequências atingirem proporções globais (HARDESTY *et al.*, 2005). As queimadas afetam anualmente milhares de hectares de vegetação não apenas em território nacional, mas em vários continentes, influenciando o sistema climático e os diferentes ecossistemas, com danos a fauna e solos, trazendo prejuízos socioeconômicos, além de doenças respiratórias, entre outros problemas associados ao fogo e fumaça (LAPOLA *et al.*, 2014).

Alguns biomas, como o Cerrado, são mais susceptíveis ao fogo, devido a sazonalidade das chuvas e um longo período de seca e por suas características ecológicas,

o fogo de origem natural, eventual, é necessário para a dinâmica do ecossistema (HARDESTY *et al.*, 2005). O Cerrado ocupa grande parte da região Centro-Oeste do Brasil e ocorre em outros locais, como enclaves em porções do bioma Amazônico (RIBEIRO; WALTER, 1998) além de ser a vegetação predominante em grandes áreas no Pantanal, uma das maiores planícies de inundação do mundo (PARANHOS FILHO *et al.*, 2014).

O Pantanal, devido as suas características de sazonalidade climática (seca) e período de inundação, vêm sofrendo ultimamente com o agravo das queimadas, fato relacionado as secas extremas e falta de inundação da planície, sendo comum na região a prática de manejo de pastagens com o fogo. Segundo Soriano *et al.* (2020) tais características tornam o ambiente favorável as queimadas. São diversos os estudos que vem abordando a questão das queimadas no Pantanal, como por exemplo, Soriano *et al.* (2020), Moreira *et al.* (2021a) e Moreira *et al.* (2021b), já descritas como um manejo tradicional, pelo Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai, onde é praticada há séculos, visando a redução da dominância de gramíneas nativas grosseiras e o aumento do valor nutricional das plantas, por meio da rebrota (BRASIL, 1997). Deste modo, as queimadas neste bioma podem ser estudadas sobre diversas perspectivas, metodologias, tecnologias e variáveis espaciais e temporais.

Uma das ferramentas que pode ser utilizada para o combate aos incêndios florestais são as geotecnologias, por meio da combinação de dados, que podem acrescentar novas informações sobre os processos que envolvem a dinâmica do ciclo das águas no Pantanal e o fenômeno das queimadas. Tal situação foi demonstrada por Ferreira *et al.* (2018), ao apresentar uma análise espaço-temporal das queimadas entre os anos de 2000 a 2016, utilizando o estimador de densidade de Kernel, indicando que as queimadas ocorrem todos os anos e sua intensidade não segue um padrão, sendo menos frequentes no período úmido provocado pelas cheias, o que seria o esperado. Nesta mesma linha, Macedo *et al.* (2009) avaliaram queimadas no Pantanal do Paraguai, próximo as cidades de Corumbá e Ladário, em maio de 2009, concluindo que as queimadas, apesar de comuns, ocorreram de forma intensa e fora de época, correlacionando-as com a menor precipitação no período, um indicativo de seca na região.

Os estudos realizados são desenvolvidos por meio dos dados sobre focos de calor fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, mais especificamente pelo Programa Queimadas (SETZER *et al.*, 2021). Em conjunto com as imagens do Satélite Sentinel do Programa Copernicus da Agência Espacial Europeia (ESA, 2018), os dados

permitem organizar uma base de dados de monitoramento com informações sobre localização, intensidade e extensão das áreas queimadas por meio do mapeamento.

Os produtos gerados têm evoluído continuamente em número e qualidade, e os usuários ultrapassam milhares, com centenas de acessos por dia, principalmente nos períodos de queimadas nos biomas. O avanço da tecnologia de informática e o uso popular das comunicações digitais criaram condições ideais para a disseminação em tempo quase real dos dados produzidos (SETZER *et al.*, 2021).

Neste sentido, a utilização de dados de focos de calor, como possíveis queimadas associados as imagens de satélites e outras ferramentas voltadas ao processamento geoespacial são importantes instrumentos que possibilitam o monitoramento da expansão destes eventos. Assim, facilitam a elaboração de prognósticos e documentos científicos voltadas ao assessoramento e a divulgação de informações sobre as alterações ambientais. Tais ações são uma importante ferramenta para diminuir os danos relacionados a queimadas, que se tornam mais comuns, à medida que o clima se torna mais seco (LIBONATI *et al.*, 2021).

Deste modo, objetivou-se avaliar um sistema de geotecnologias para monitoramento de evento de queimadas em uma área rural localizada na sub-região do Pantanal da Nhecolândia, área de influência do leque aluvial do Rio Taquari. A região vem sofrendo uma série de incêndios florestais em 2021, caracterizados por Leite (2018) em análise da dinâmica sazonal, onde o autor destacou que as áreas de risco de incêndios florestais estão associadas a prática da pecuária, que ocupa a maior parte da Nhecolândia.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A região de estudo está localizada na área da fazenda São Roque (11.164 hectares), município de Corumbá, Mato Grosso do Sul, Pantanal da Nhecolândia (Figura 1). A paisagem do local é formada por cordilheiras e capões (pequenas elevações na planície de inundação) cobertas por Cerradão e Matas Estacionais, circundadas por campos inundáveis, além da presença de lagoas permanentes e temporárias, unidas por corixos e vazantes (canais de drenagem).

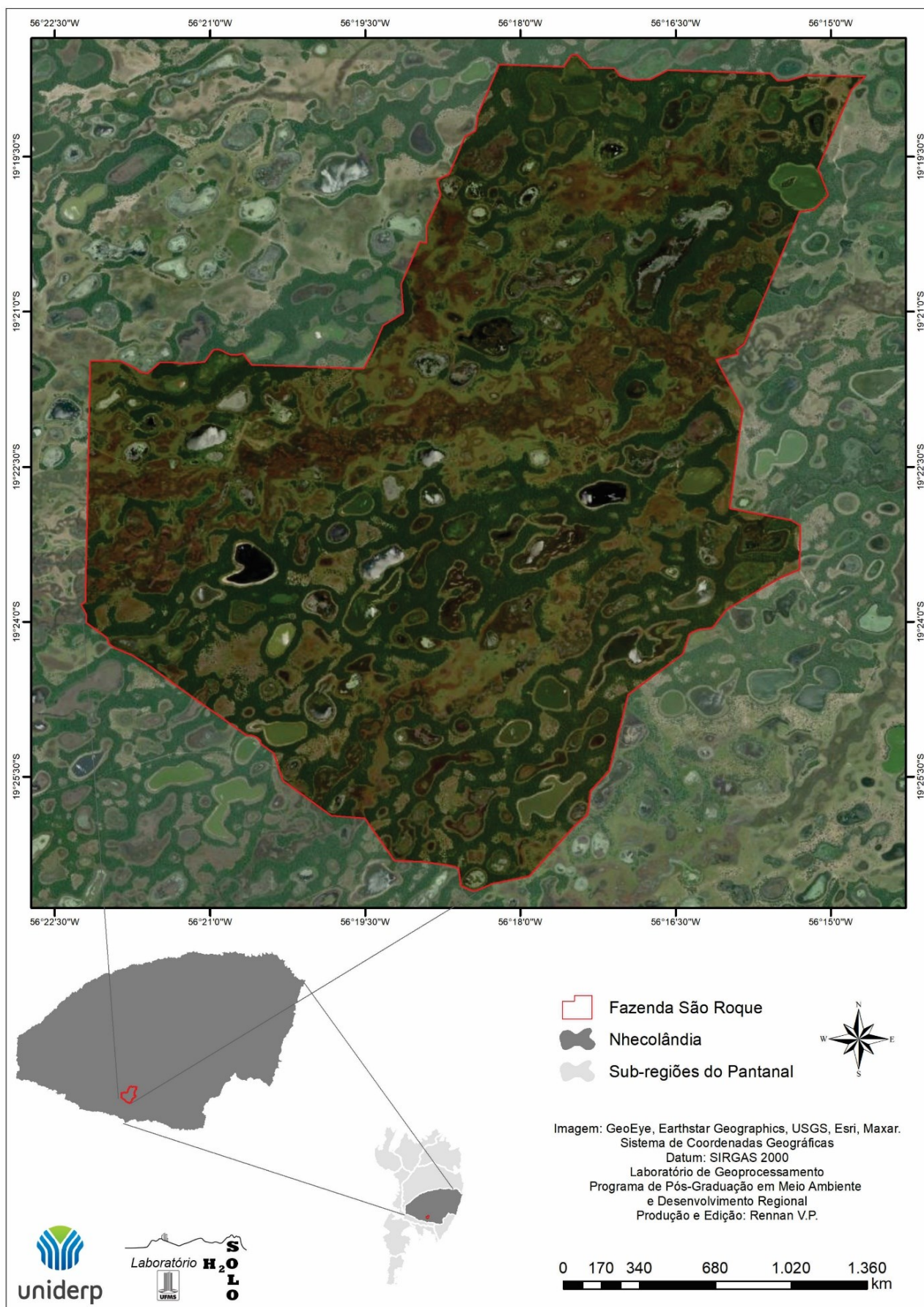


Figura 1 - Mapa de localização da fazenda São Roque no Pantanal da Nhecolândia, município de Corumbá, Mato Grosso do Sul. **Fonte:** Os autores.

2.2. Identificação e espacialização dos dados de focos de incêndios

A metodologia para o sistema de monitoramento de queimadas consistiu primeiramente na identificação e aquisição dos dados de focos de calor obtidos por meio do INPE - Programa Queimadas (INPE, 2020), no banco de dados BDqueimadas. O processo de análise da queimada envolveu desde o surgimento do primeiro foco de incêndio, sua propagação e extinção, utilizando dados provenientes de diferentes sensores orbitais e geoestacionários fornecidos pelo banco de dados do INPE, demonstrados sobre as imagens dos satélites Sentinel-2A e 2B.

No desenvolvimento da pesquisa, devido a escala de análise espacial média, de 1: 80.000, e uma série temporal curta, referente a 18 dias de outubro de 2021, destaca-se a importância da utilização do filtro de dados para todos os 15 satélites disponíveis na plataforma do BDqueimadas do INPE (AQUA [Satélite de Referência], TERRA MANHÃ, TERRA TARDE, AQUA MANHÃ, GOES-16, NOAA-18 MANHÃ, NOAA-18 TARDE, MSG-03, METOP-B, METOP-C, NOAA-19 TARDE, NOAA-19 MANHÃ, NOAA-20, NPP-375 MANHÃ e NPP-375 TARDE), e não apenas dos dados do satélite de referência.

Após a análise das imagens, foram escolhidos apenas os focos para a área de interesse, com dados selecionados diariamente, com base no surgimento do primeiro foco de queimada na área e assim sucessivamente para cada dia posterior ao foco inicial até a data final do evento, quando não há mais focos detectados no local.

A sequência temporal para o estudo teve início com o monitoramento da área de interesse no dia 08/10/2021, data da imagem do satélite Sentinel, anterior ao surgimento do primeiro foco de queimada. A partir desta data os dados foram verificados para todos os satélites diariamente e no dia 14/10/2021 foi detectado o primeiro foco de queimada, com monitoramento até a data final, dia 25/10/2021, quando não foram mais detectados focos de queimadas.

Os focos de calor foram plotados sobre as imagens do satélite Sentinel 2 para melhor visualização da dinâmica e análise das mudanças ocorridas na paisagem. A sequência de imagens escolhidas são aquelas que apresentaram menor interferência das condições climáticas, demonstrando a sucessão do evento de incêndio, levando em consideração as datas das imagens disponíveis.

Estes dados de focos de calor possuem atributos como: localização espacial dos focos, data e hora do registro pelo satélite, número de dias sem precipitação anterior ao registro, até o limite de 120 dias. No caso da ocorrência de precipitação, são atribuídos pesos em função da quantidade de chuva e do intervalo até a data do cálculo, chegando

assim ao número hipotético de dias consecutivos sem chuva. Os parâmetros necessários são, além dos dados diários de temperatura máxima acima de 30 °C e umidade relativa mínima abaixo de 40%, o tipo de vegetação, elevação topográfica e latitude, compondo o atributo de classificação de Risco de Fogo (RF) (SETZER *et al.*, 2019). Os focos de calor permitiram verificar a localização, início, alastramento e densidade dos focos de queima.

O índice obtido com o atributo RF é dividido em cinco categorias (Tabela 1) e seus valores válidos variam de 0 a 1. Conforme INPE (2020), os focos de calor que apresentam RF com o número -999 representam valor inválido, normalmente relacionados com área urbana ou corpos d'água, onde não faz sentido calcular o RF. Nesta pesquisa, os focos de calor que apresentaram RF com o valor -999 foram excluídos durante o tratamento dos dados.

Tabela 1: Categorias de Risco de Fogo.

RISCO	VALORES DO RISCO DE FOGO (RF)
Mínimo	$RF < 0,15$
Baixo	$0,15 < RF \leq 0,40$
Médio	$0,40 < RF \leq 0,70$
Alto	$0,70 < RF \leq 0,95$
Crítico	$RF > 0,95$

Fonte: Adaptado de Setzer *et al.* (2019).

Segundo Silva *et al.* (2019) entre os dados de detecção de incêndios gerados por sensores remotos, a Potência Radiativa do Fogo ou FRP é o parâmetro mais utilizado para estimar a biomassa em queima. Conforme Wooster *et al.* (2003), este dado está relacionado diretamente com a intensidade do fogo e é proporcional ao total de biomassa consumida por unidade de tempo.

De acordo com o princípio físico, o *Fire Radiative Power* é a unidade de medida utilizada para a potência radiativa da queima, resultado da multiplicação da radiância pela área do pixel e expressa em Watts ou MegaWatts, captada pelos sensores no comprimento de onda do infravermelho, de 0,75 a 1000 μm . A detecção também sofre influência de características superficiais, como a temperatura, a emissividade, interferências de gases e aerossóis em suspensão na atmosfera. Contudo, a quantidade de fótons que chega até os sensores e são captadas por um pixel, pode ser gerada por múltiplas combinações de tamanho e temperatura da superfície queimando, inclusive de fontes separadas, mas desde que dentro do mesmo pixel (INPE, 2020).

2.3. Processamento das imagens dos satélites Sentinel-2A e 2B

A pesquisa foi realizada com base nas análises e interpretações das imagens dos satélites orbitais de observação da Terra, Sentinel-2A e 2B, integrantes do Programa *Global Monitoring for Environment and Security* da *European Space Agency* (ESA). Todas as imagens utilizadas foram obtidas no *website EarthExplore* (USGS, 2015) e processadas no *software* de Processamento Digital de Imagens SNAP, desenvolvido pela ESA para manipulação e modelagem de imagens. No programa foram georreferenciadas e feitas as correções atmosféricas seguindo a sequência: *Optical*, *Thematic Land Processing*, *Sen2cor processor* e *Sen2cor 280*, para depois serem exportadas e classificadas no Sistema de Informações Geográficas ArcGIS 10.4 (USGS, 2015; ESA, 2019).

Também foram realizadas a combinação das bandas 12 (*SWIR*, resolução espacial de 20 m), 8A (*Red Edge*, resolução espacial de 10 m) e 4 (*Red*, resolução espacial de 10 m), utilizadas para gerar a falsa cor, que é a mais apropriada para visualizar as cicatrizes de queimadas, devido à combinação da faixa do infravermelho de ondas curtas do espectro eletromagnético, fornecendo um resultado visual menos susceptível a fumaça e neblina em uma combinação de imagens caracterizada como alta resolução espacial (SANO *et al.*, 2019). A composição de bandas obtida no ArcGIS foi utilizada na interpretação da área selecionada, constituindo um mosaico temporal que permite a interpretação visual para a análise e validação dos dados (Quadro 1).

Quadro 1 - Características das cenas dos satélites Sentinel 2A e 2B tomadas como base para o estudo, em outubro de 2021, área do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul.

DATA E EVENTO	SATÉLITE	HORA DA AQUISIÇÃO (INÍCIO E TÉRMINO)	COBERTURA DE NUVEM DA CENA (%)
Dia 8 - antes do incêndio	Sentinel-2B	14:00:53 Z 14:10:34 Z	0,00
Dia 15 - início do incêndio dentro da área	Sentinel-2B	13:51:13 Z 13:58:58 Z	61,70
Dia 20 - alastramento do incêndio	Sentinel-2A	13:51:18 Z 14:03:45 Z	30,97
Dia 23 - alastramento do incêndio fora da área de estudo	Sentinel-2A	14:00:57 Z 14:13:24 Z	4,86
Dia 25 - posterior ao evento	Sentinel-2B	13:51:14 Z 14:02:07 Z	2,84

Fonte: Os autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos permitiram identificar e quantificar os focos de calor envolvidos no evento de queimadas para cada dia após a detecção do foco de incêndio inicial. Para os 18 dias analisados (08/10/21 a 25/10/21), foram contabilizados um total de 1.422 focos de calor detectados pelos satélites. Os dados apontaram a progressão do incêndio florestal, identificando o foco inicial e sua evolução até atingir o seu ápice (20/10/21 - 416 focos de calor), e a ausência de detecção de focos de calor, no dia 25/10/21. Entretanto, durante o período da análise ocorreram interferências das condições climáticas, com presença de nuvens, que não permitiram a detecção dos dados para o dia 16/10/21, além de causar influência na detecção dos dias posteriores, contabilizando apenas 03 focos no dia 17, 01 foco no dia 18 e, 18 focos no dia 19. A detecção foi novamente nula no dia 24 devido a nebulosidade e no dia 25 não ocorreu nenhuma detecção de focos de incêndios, indicando a extinção do fogo (Figura 2).

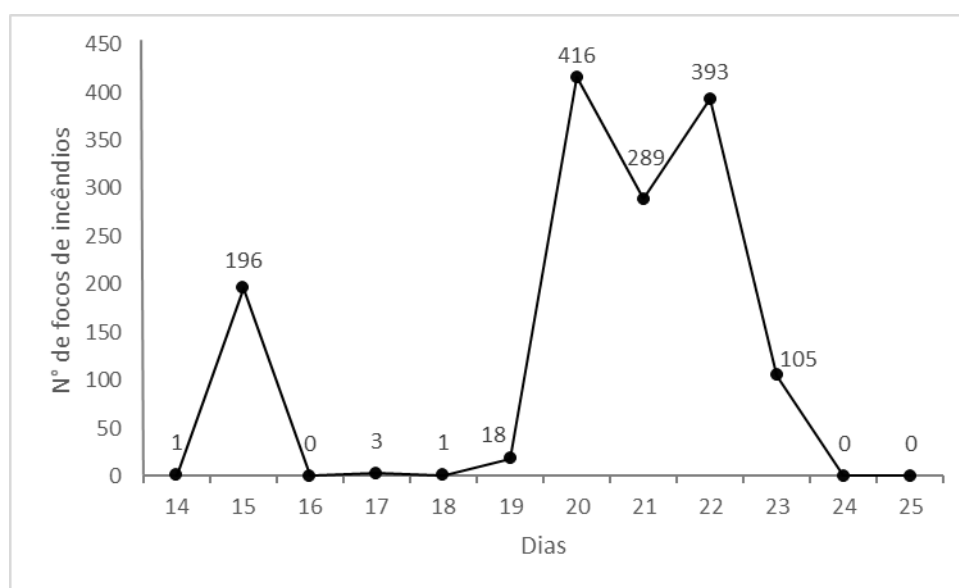


Figura 2 - Focos de incêndio em outubro de 2021, área do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. **Fonte:** Os autores.

O primeiro foco de calor foi detectado pelo satélite NOAA-20 às 17:20 UTC, no dia 14/10/21, após 04 dias sem chuva (estimada de 0,4 mm para a última precipitação) e RF igual a 0,6, considerado de grau médio para sua ocorrência, conforme a classificação do INPE e *Fire Radiative Power* igual a 03. Ou seja, mesmo havendo ocorrência de chuva ou condição de saturação de umidade, interpretada pelo satélite como incidência de chuva (condição climática propícia a ocorrência de raios), um raio pode ter favorecido a ignição.

A localização do foco de incêndio inicial (dia 14, às 13:20 hs local) ocorreu na porção sudeste da área, a margem de uma lagoa, plotado sobre uma imagem do Sentinel-2B, dia 08/10/21, por ser a cena mais próxima e anterior ao surgimento do foco inicial (Figura 3). Os dados obtidos entre os dias 08 e 13/10/21 não indicaram incidência de focos de incêndios na área de interesse.

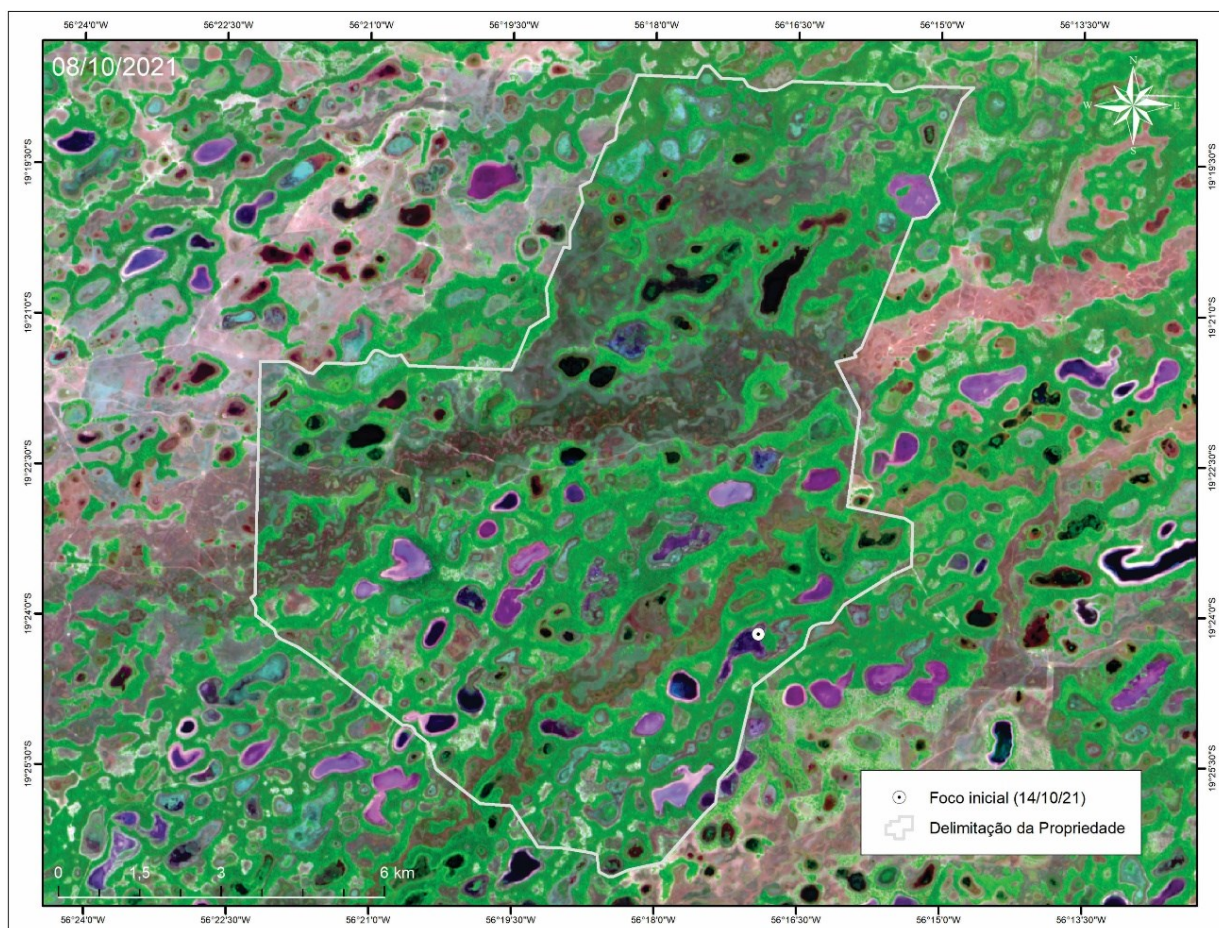


Figura 3 - Localização do foco inicial do evento de queimada em 14/10/21, área do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. **Fonte:** Os autores.

Após a ignição no foco inicial, observou-se a propagação da queimada ainda de forma localizada, porém bastante intensa, aumentando progressivamente horas após seu início. Foram detectados 196 focos de incêndios no dia 15 por 09 satélites, sendo que a somatória pode incluir o mesmo foco várias vezes devido a sobreposição de informações coletadas pelos sensores remotos (Quadro 2). Os resultados indicaram 4 dias sem chuva, precipitação média de 15 mm e RF variando entre 0 e 0,1 para todos os dados, ou seja, classificado como mínimo, porém com alto grau de FRP, com valores atingindo máximas de 410 e média de 105.

Quadro 2: Satélites utilizados, Número de focos de calor, Precipitação e *Fire Radiative Power* do dia 15/10/21, na área de estudo, Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul.

SATÉLITES	NÚMERO DE FOCOS	PRECIPITAÇÃO (MM)	FIRE RADIATIVE POWER
GOES-16	47	16,6	0
METOP-C	03	15,0	0
TERRA M-M	06	15,2	8,6 a 33,8
AQUA M-T	18	16,9	27,6 a 222,5
NOAA-20	23	15,3	0,9 a 40,3
NOAA-19D	03	15,3	0
NPP-375D	14	15,0	0,9 a 2,9
NPP-375	73	14,7	4,9 a 17,2
TERRA M-T	09	15,5	62,7 a 410,2
	196 total	Média de 15 mm	-

Fonte: Os autores.

Em relação aos focos de calor detectados no dia 15 (Figura 4), plotados sobre uma cena do Sentinel-2B do dia 15 (captada às 13:58:58 UTC), a cena demonstra o fogo ainda de forma concentrada, com a maior distância em linha reta, entre a frente de fogo e o primeiro foco de calor detectado, sendo de 3,2 km. Já os focos de calor detectados encontram-se em sua maioria sobre o fogo, com uma parte dispersa sobre a pluma de fumaça que indica a direção do vento para sudeste, em um raio de 5 km, tomando o foco inicial como o centro. O fato de ter sido registrado chuva antes ao foco inicial não significa que ela tenha ocorrido, pois pode ter acontecido apenas uma situação de saturação de umidade, como já mencionado, o que contribuiu para os baixos valores de Risco de Fogo; entretanto, a queima da biomassa foi representativa, com valores de FRP elevados (Quadro 2).

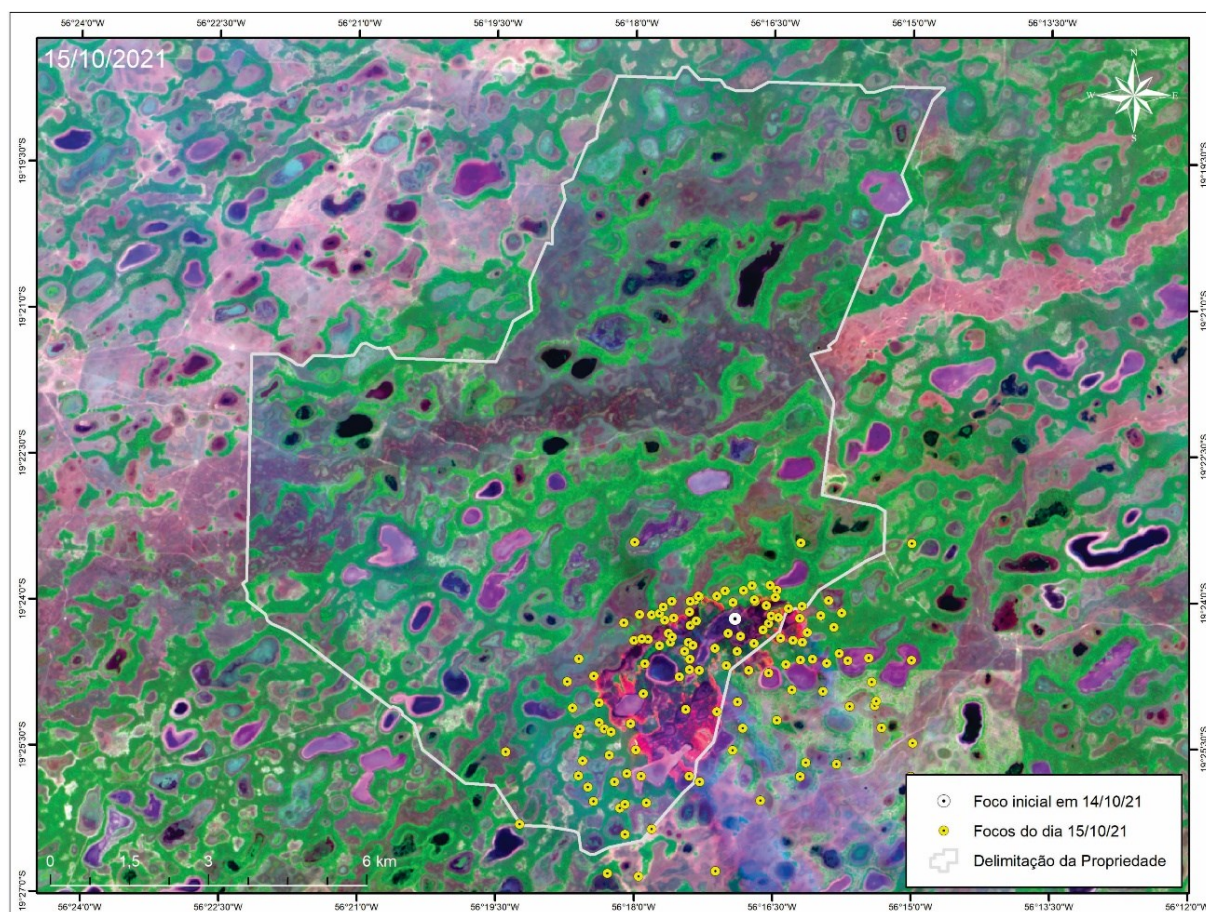


Figura 4 - Localização dos focos da queimada no dia 15/10/21, área do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. **Fonte:** Os autores.

Para os dias posteriores ocorreu grande interferência atmosférica, anulando a detecção para o dia 16 e contabilizando apenas 3 focos de calor no dia 17 e 1 registro no dia 18, classificado como alto Risco de Fogo (satélite de referência, AQUA-MT). A baixa detecção dos sensores remotos nestes dias está relacionada as condições climáticas e corroboram com a única imagem do satélite Sentinel-2B disponível entre os dias 15 e 20 de outubro, apresentando 78% de cobertura de nuvens densas na cena, inviabilizando a utilização da imagem. No dia 19 de outubro, o registro foi de 18 focos de calor, 12 no interior da área de pesquisa e 06 distribuídos ao redor da área, classificados como alto, médio e crítico Risco de Fogo (Quadro 3).

Quadro 3: Satélites, Hora (UTC), Dias sem chuva, Risco de Fogo e *Fire Radiative Power* para os dias 17, 18 e 19 de outubro de 2021, na área de estudo, Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul.

SATÉLITES	HORA (UTC)	DIAS SEM CHUVA	RISCO FOGO	FIRE RADIATIVE POWER
AQUA-MT	17:45	0	0,2	31,3 71,6 27,8
			0,6	
			0,7	
AQUA-MT	16:50	2	0,8	26
AQUA-MT	17:32	3	0,5	8,9 a 45,6
			0,6	
			0,7	
			0,8	
			0,9	
			1	

Fonte: Os autores.

A cena do Sentinel-2A, dia 20 de outubro (Figura 5), demonstra a propagação da queimada, que se expandiu em várias direções ao redor da área de estudo, podendo-se observar a concentração dos focos de fogo na porção oeste da fazenda São Roque, levando a queima da biomassa existente. No interior da área de estudo, por onde a frente de fogo passou, verifica-se a cicatriz do incêndio com a mudança na coloração da imagem. Mesmo com 30% de cobertura de nuvens, o recorte da cena pôde representar a geolocalização dos focos de queimadas.

Moreira *et al.* (2021b), ao pesquisarem as alterações da cobertura vegetal da planície do Pantanal (2018 a 2020), por meio do mapeamento dos focos de incêndios e analisando a vegetação do bioma pela aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, concluíram que a redução vegetativa no Pantanal promovida pelo aumento dos incêndios florestais tem o potencial de maximizar consequências. Entre elas, alterações no fluxo terrestre, que implicará em mudanças no escoamento superficial e na hidrodinâmica da bacia, trazendo impactos significativos à segurança hídrica da população pantaneira.

No dia 20 foram contabilizados 416 focos de calor, registrados por 8 satélites: GOES-16, METOP-B, TERRA M-M, AQUA M-M, NOAA-20, NPP-375D, TERRA M-T e MSG-03, principalmente na porção oeste da área de estudo, classificados como médio, alto e crítico Risco de Fogo conforme a classificação de Setzer *et al.* (2019) e FRP atingindo valores significativos, referentes as chamas da frente de queimada ativa (Quadro 4).

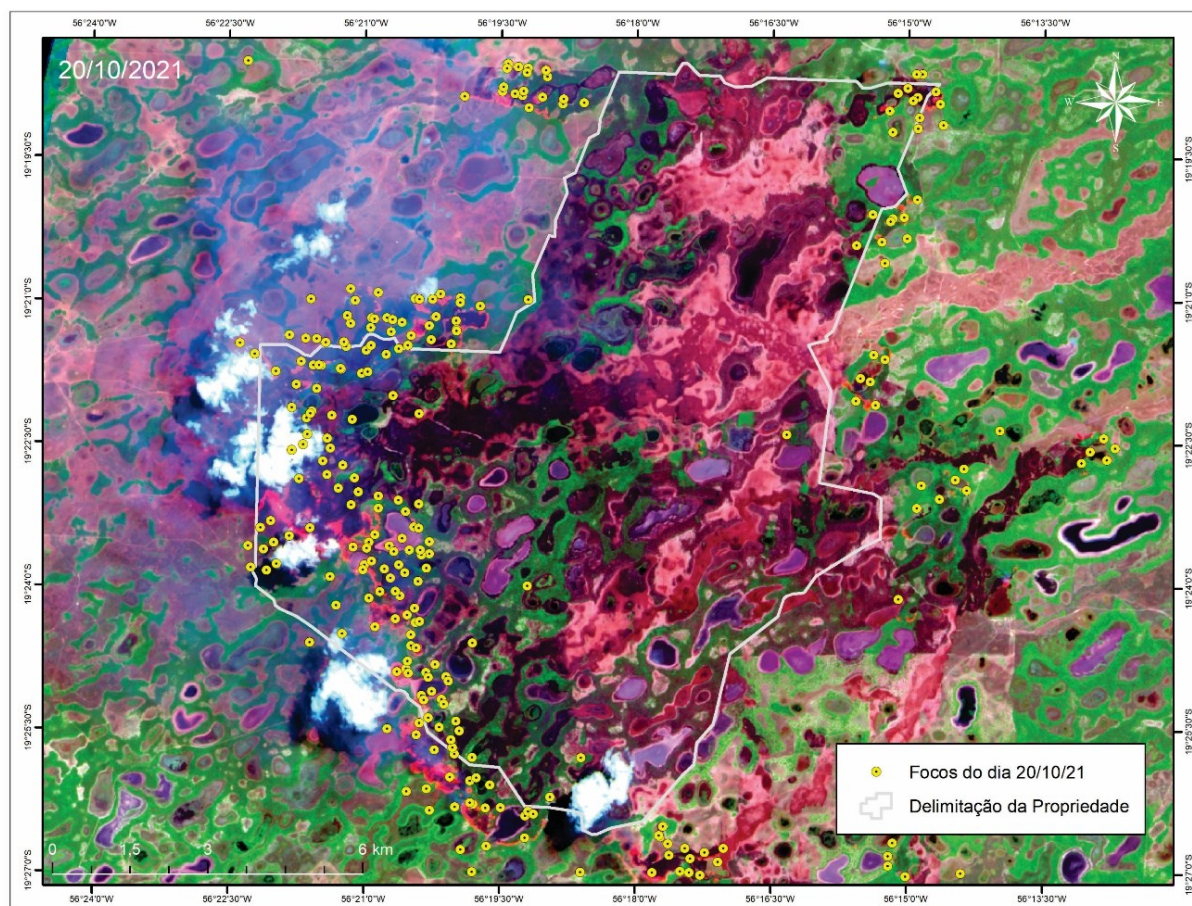


Figura 5 - Localização dos focos da queimada no dia 20 de outubro de 2021, área do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. **Fonte:** Os autores.

Os dias 21 e 22 de outubro dão continuidade ao avanço do fogo, com os focos formando padrões agrupados, sendo contabilizados 289 e 393 focos de queimadas para os dias 21 e 22, respectivamente, também registrando Risco de Fogo médio, alto e crítico e altos valores para FRP, não havendo imagem Sentinel para estes dias. No dia 23 de outubro, mesmo com a redução dos focos de queimadas e presença de nuvens no recorte da imagem, se observa focos de incêndio ativos na porção a oeste da área de estudo, sendo contabilizados 105, praticamente todos na área externa ao perímetro estudado, apresentando alto e crítico Risco de Fogo e altos valores de FRP, indicando fogo ativo consumindo a biomassa (Figura 6).

Os dados de focos de incêndios fornecidos pelo INPE, além de permitirem uma análise de tendência diária, são importantes ferramentas por captarem variáveis ambientais, tais como: precipitação, dias sem chuva e intensidade do fogo, além de identificarem pontos com risco de fogo. Desta maneira, as informações obtidas com os sensores remotos são potencializadas quando associadas a imagens de alta ou média resolução espacial, sendo relevantes em estudos que objetivam o entendimento do fenômeno das queimadas e dos

incêndios florestais no Pantanal ou outras regiões de interesse. Moreira *et al.* (2021a), ao empregarem dados de focos de calor do INPE associado aos produtos MOD13Q1 e MCD64A1, sensor MODIS, na Bacia do Alto Paraguai, proporcionaram uma perspectiva construtiva de prevenção e combate às queimadas, sendo possível prever a intensidade dos eventos e permitindo aos gestores públicos o desenvolvimento de medidas de prevenção e manejo dos incêndios florestais no bioma Pantanal.

Quadro 4: Satélites, Número de focos de calor, Risco de Fogo e *Fire Radiative Power* do dia 20 de outubro de 2021, na área de estudo, Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul.

SATÉLITES	NÚMERO DE FOCOS	RISCO DE FOGO	FIRE RADIATIVE POWER
GOES-16	196	0,7	0
		0,8	
		0,9	
		1	
METOP-B	1	0,7	0
TERRA M-M	6	0,7	22,9 a 131,9
		0,8	
		1	
AQUA M-M	3	0,7	45,6
		0,7	122,5
		1	114
NOAA-20	114	0,6	0,7 a 36,4
		0,7	
		0,8	
		0,9	
		1	
NPP-375D	75	0,6	0,8 a 9,6
		0,7	
		0,8	
		0,9	
		1	
TERRA M-T	20	0,7	11,9 a 287,1
		0,8	
		0,9	
		1	
MSG-03	1	0,7	0
	Total de 416	-	-

Fonte: Os autores.

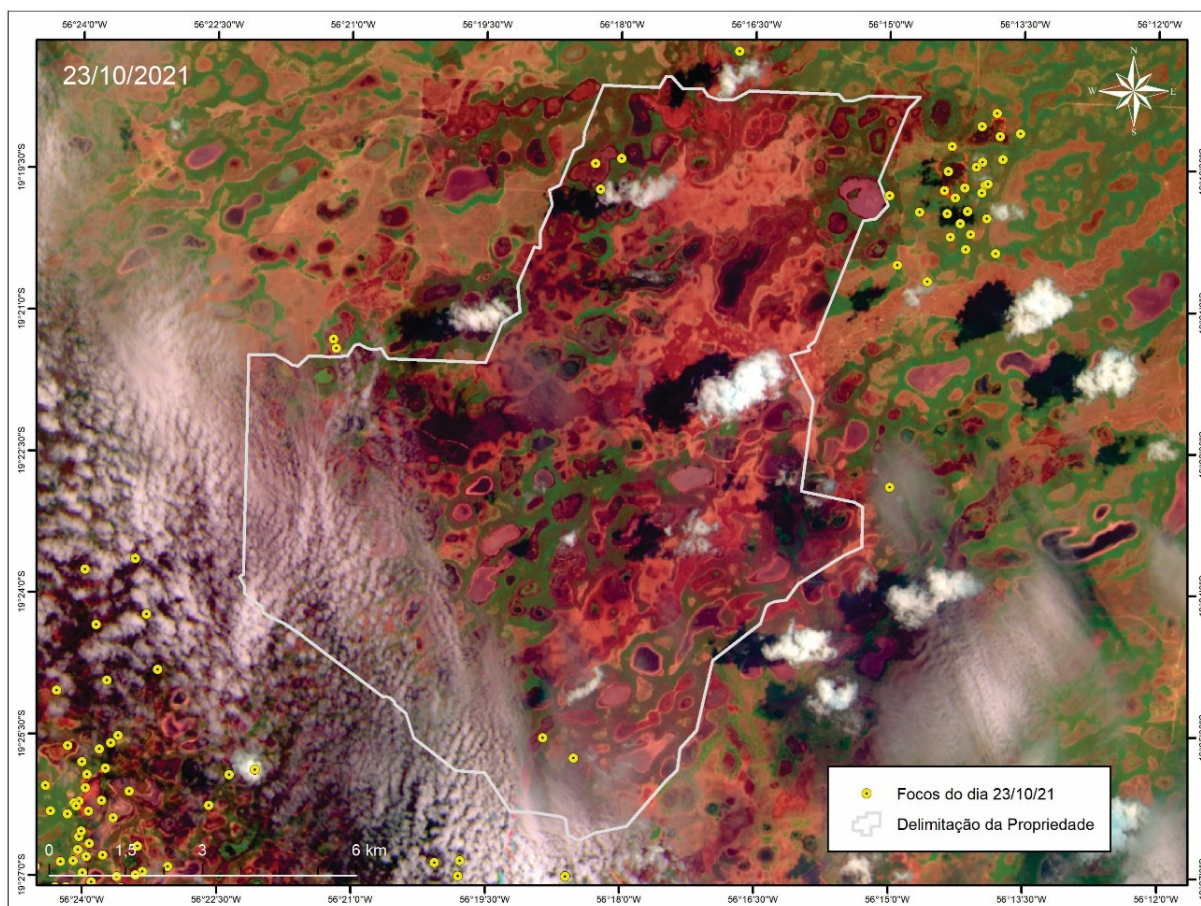


Figura 6 - Localização dos focos da queimada no dia 23 de outubro de 2021, área do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. **Fonte:** Os autores.

No dia 24 de outubro, devido a interferência atmosférica, não ocorreram registros e os valores de detecção foram nulos para toda a região. No dia 25 não foram detectados focos de incêndios na área de estudo, provavelmente tendo sido encerrado o evento de queimada, conforme demonstra a imagem do satélite Sentinel-2B da área de estudo (Figura 7).

Martins *et al.* (2021), ao analisarem os diferentes usos do solo no Pantanal, por meio de sensores remotos e métodos processuais de classificação da cobertura superficial da terra, durante 2015 a 2019, observaram um aumento de aproximadamente 50% em áreas agrícolas e uma diminuição geral de cobertura vegetal, com aumento em área pantanosa. Os autores também destacaram a possibilidade de agregar dados de outros satélites, como o Landsat, de resolução média, quando ocorrerem lacunas nos dados ou interferência significativa de nuvens ao longo do período analisado.

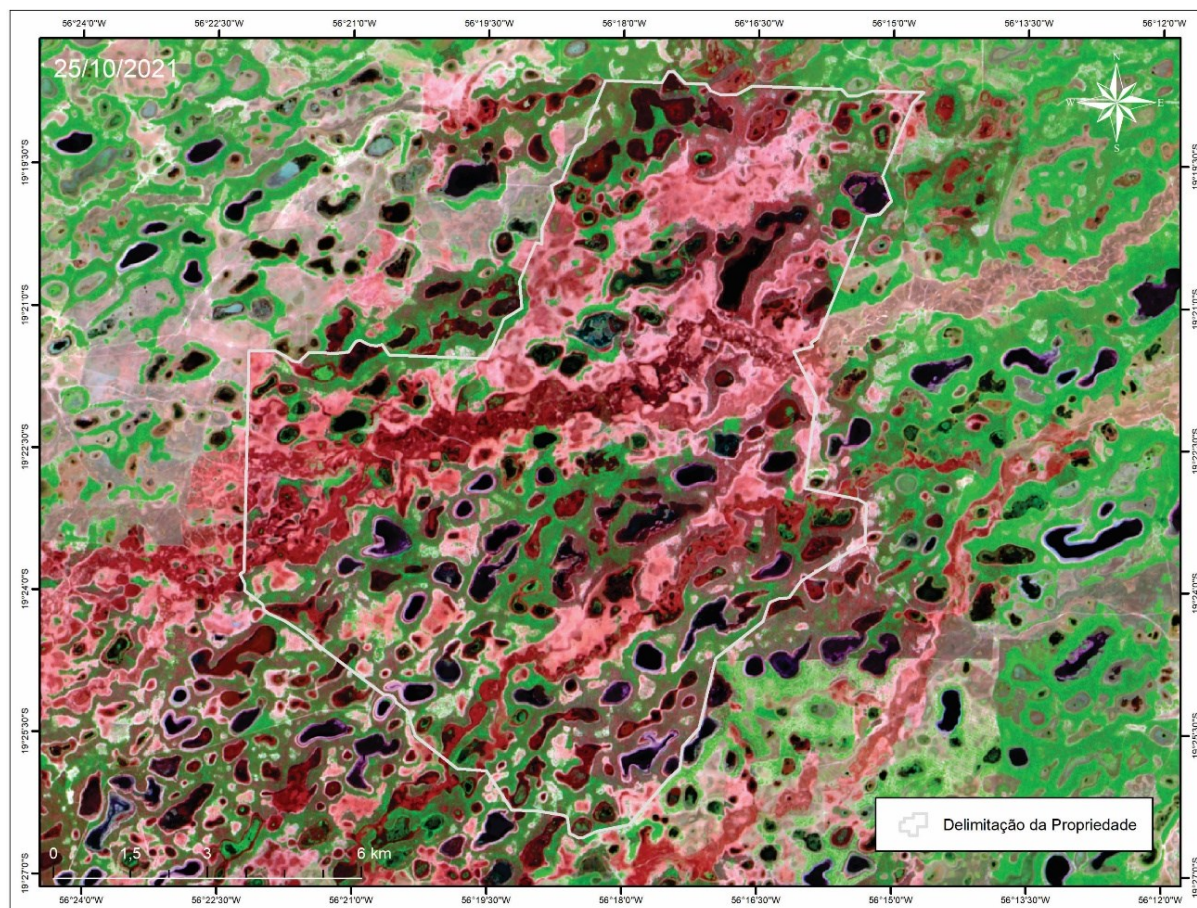


Figura 7 - Localização dos focos da queimada no dia 25 de outubro de 2021, área do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. **Fonte:** Os autores.

As informações apresentadas demonstraram que as geotecnologias podem ser uma importante ferramenta aliada ao controle e/ou combate a incêndios florestais, mesmo em áreas remotas, apesar da presença de nuvens em determinados períodos. As informações obtidas por satélites, em tempo quase real, se bem utilizadas e associadas a equipes terrestres, poderiam evitar muitos danos em áreas sensíveis, como o Pantanal, desde que tais informações sejam de fácil acesso aos gestores de tais áreas, sejam particulares ou públicas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos são uma amostra da viabilidade das geotecnologias voltadas a análise e elaboração de produtos cartográficos por sensoriamento remoto a curto e médio prazo, que contribuam com o monitoramento das queimadas no Pantanal e em outras áreas de relevante interesse. As geotecnologias permitem espacializar e acompanhar a dinâmica de propagação dos incêndios florestais, podendo ser associadas a produtos cartográficos que tragam a análise dos eventos de queimadas, o monitoramento e o mapeamento para

a execução de um plano de manejo aplicado à recuperação de áreas de interesse ambiental e econômico. Destaca-se a importância da disponibilidade de informações diárias do Programa Queimadas do INPE, com dados de detecção de focos atualizados a cada 10 minutos.

Portanto, a criação de programas que monitorem as queimadas por meio das geotecnologias atreladas a mecanismos institucionais de pronto-emprego ao combate de incêndios em áreas remotas, como em propriedades rurais, unidades de conservação e terras indígenas é de extrema importância, no sentido de conter o avanço do fogo e seus danos, contribuindo com a gestão dos recursos naturais e diminuindo os riscos ambientais e emissão de gases do efeito estufa.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) – PCBAP**: análise integrada e prognóstico da Bacia do Alto Paraguai. Brasília: MMA/PNMA, 1997. vol. 3. 369p.

ESA. EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2**. 2018. Disponível em: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Acesso em: 20 mar. 2022.

ESA. EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel Application Platform (SNAP)**, 2019. Disponível em: <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>. Acesso em: 21 mar. 2022.

ESRI. ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Desktop**: versão 10.4, 2016.

FERREIRA, W. T. S.; LARCHER, L.; RABELO, A. P. C. Análise da distribuição espaço-temporal dos focos de incêndio no Pantanal (2000-2016). In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 7., 2018, Jardim. **Anais...** Jardim: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2018. p. 563-573.

HARDESTY, J.; MYERS, R.; FULKS, W. Fire, ecosystems and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. **Fire Management**, v. 22, n. 4, p. 78–87, 2005.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados de queimadas**. 2020. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 04 abr. 2022a.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa queimadas**. 2020. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>. Acesso em: 12 mai. 2022b.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa Queimadas: Perguntas frequentes**. 2020. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/porta/informacoes/perguntas-frequentes>. Acesso em: 02 abr. 2022c.

LEITE, E. F. Cartografia de risco de incêndios florestais no Pantanal da Nhecolândia, MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 7., 2018, Jardim. **Anais...** Jardim: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2018. p. 71-80

LIBONATI, R.; PEREIRA, A. A.; SANTOS, F. L. M.; RODRIGUES, J. A.; ROSA, A. S.; MELCHIORI, A. E.; MORELLI, F.; SETZER, A. W. Sensoriamento remoto de áreas queimadas no Brasil: progressos, incertezas, desafios e perspectivas futuras. In: SETZER, A. W.; FERREIRA, N. J. (Orgs.). **Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital**. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. p. 49-76.

LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERREIRA, M. E.; NOBRE, C. A.; AGUIAR, A. P. D.; BUSTAMANTE, M. M. C.; CARDOSO, M. F.; COSTA, M. H.; JOLY, C. A.; LEITE, C. C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRAUSSBURG, B. B. N.; VIEIRA, I. C. G. Pervasive transition of the Brazilian Land-Use System. **Nature Climate Change**, Springer, v. 4, p. 27-35, 2014.

MACEDO, H. A.; SILVA, A.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J. Avaliação das queimadas no Pantanal do Paraguai na região de Corumbá e Ladário, MS no período de maio de 2009. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p. 452-459.

MARTINS, J. A. C.; PESSI, D. D.; PARANHOS FILHO, A. C. Python e Google Earth Engine no monitoramento de mudanças de cobertura do solo no Pantanal. In: ENCINA, C. C. C.; PARANHOS FILHO, A. C.; PESSI, D. D.; MIOTO, C. L.; COIMBRA, D. S. F.; SILVA, N. M.; CHAVES, J.; GAMARRA, R. M.; RIBEIRO, V. O. (Orgs.). **Um olhar sobre a conservação no Pantanal**. Maringá: Uniedusul, 2021. p. 131-140.

MOREIRA, A. P.; PARANHOS FILHO, A. C.; GUERRADO, E. Mapeamento dos incêndios florestais no bioma Pantanal e bacia do Alto Paraguai entre 2018 e 2019. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 15, n. 2, p. 1-13, 2021a.

MOREIRA, A. P.; PESSI, D. D.; COSTA, L. S.; GUERRADO, E.; PARANHOS FILHO, A. C. Variabilidade da cobertura vegetal pela ação do fogo no bioma Pantanal de 2018 e 2020 com base em sensor geoestacionário. In: ENCINA, C. C. C.; PARANHOS FILHO, A. C.; PESSI, D. D.; MIOTO, C. L.; COIMBRA, D. S. F.; SILVA, N. M.; CHAVES, J.; GAMARRA, R. M.; RIBEIRO, V. O. (Orgs.). **Um olhar sobre a conservação no Pantanal**. Maringá: Uniedusul, 2021b. p. 11-24.

PARANHOS FILHO, A. C.; MOREIRA, E. S.; OLIVEIRA, A. K. M.; PAGOTTO, T. C. S.; MIOTO, C. L. Análise da variação da cobertura do solo no Pantanal de 2003 a 2010 através de sensoriamento remoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 69-76, 2014.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). **Cerrado: ambiente e flora**, 1998. p. 89-166.

SANO, E. E.; PONZONI, F. J.; MENESES, P. R.; BAPTISTA, G. M. M.; TONIOL, A. C.; GALVÃO, L. S.; ROCHA, W. J. S. F. Reflectância da vegetação. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. (Orgs.). **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. p. 225-248.

SANTOS, F. L. M.; LIBONATI, R.; PERES, L. F.; PEREIRA, A. A.; NARCIZO, L. C.; RODRIGUES, J. A.; OOM, D.; PEREIRA, J. M. C.; SCHROEDER, W.; SETZER, A. W. Assessing VIIRS capabilities to improve burned area mapping over the Brazilian Cerrado. **International Journal of Remote Sensing**, Taylor & Francis, v. 21, n. 41, p. 8300-8327, 2020.

SETZER, A. W.; FERREIRA, N. J.; MORELLI, F. O programa queimadas do INPE. In: SETZER, A. W.; FERREIRA, N. J. (Orgs.). **Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital**. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. p. 19-48.

SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A.; SANTOS, J. G. M. **Método do Cálculo do Risco de Fogo do Programa do INPE - versão 11, junho/2019**. São José dos Campos 2019: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3UEDKUB>>. Acesso em: 02 abr. 2022.

SILVA, V. V.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos erros de detecção dos focos de calor estimados pelo sensor GOES IMAGER. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 10, n. 21, p. 1-17, 2019.

SORIANO, B. M. A.; CARDOSO E. L.; TOMÁS, W. M.; SANTOS S. A.; CRISPIM S. M. A.; PELLEGRIN, L. A. **Uso do fogo para o manejo da vegetação no Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2020. 18p.

USGS. United States Geological Survey. **Science For a Changing World. Sentinel-2**. 2015. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 06 abr. 2022.

WOOSTER, M. J.; ZHUKOV, B.; OERTEL, D. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, ScienceDirect, v. 86, n. 1, p. 83-107, 2003.

Recebido: 02.06.2022

Aceito: 19.12.2022