

**MAPEAMENTO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO BIOMA PANTANAL E
BACIA DO ALTO PARAGUAI ENTRE 2018 E 2019**

Aline Paiva Moreira¹

Antônio Conceição Paranhos Filho¹

Eliane Guaraldo¹

RESUMO

Na região da Bacia do Alto Paraguai e do bioma Pantanal, as queimadas são utilizadas por comunidades tradicionais e produtores rurais para estimular a rebrota das pastagens e a limpeza de novas áreas agrícolas, levando a perda de nutrientes, compactação e erosão dos solos, afetando enormes áreas. Dessa forma, o objetivo desse artigo foi avaliar o emprego dos dados de focos de calor do Banco de Dados DPI/INPE/BD Queimadas (Divisão de Processamento de Imagens/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Banco de Dados de Queimadas), associado aos produtos MOD13Q1 e MCD64A1, do sensor MODIS, para proporcionar uma perspectiva construtiva de prevenção e de combate às queimadas, cujo objetivo cadência pressões, principalmente, aos remanescentes florestais e, por conseguinte, à qualidade ambiental. Os resultados demonstraram que as queimadas irromperam nos meses entre julho a outubro, no período de estudo, mais intensamente no ano de 2019 e que o monitoramento das mudanças na vegetação por meio dos produtos MOD13Q e MCD64A1 apresentaram-se como uma alternativa para acompanhamento de mudanças ambientais, tendo em vista as variadas resoluções espaciais e a correção atmosférica, bem como a distribuição gratuita dos produtos pela internet. Dessa forma, é possível prever a intensidade dos eventos de queimadas, permitindo aos gestores públicos o desenvolvimento de medidas de prevenção e manejo dos incêndios florestais no bioma.

Palavras-chave: Probabilidade de Incêndio; Dano Ambiental; Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

Mapping of wildfire in Pantanal biome and Upper Paraguay Basin between 2018 and 2019. In the region of the Upper Paraguay Basin and Pantanal biome, forest burning is widely practiced especially for traditional communities and rural producers to growth stimulate of pastures and to create new agricultural land, leading to loss of nutrients, compaction and soil erosion, affecting native forest areas. The aim of this article was to evaluate the fire monitoring service of DPI/INPE/BD Queimadas (Image Processing Division/National Institute for Space Research/Wildfire Database), with MOD13Q1 and MCD64A1 products of MODIS sensor, to provide a perspective to prevent wildfire, specially areas with forest remnants and, consequently, to the environmental quality. Results showed that wildfire often occur in the months from July to October and more intensely in the year of 2019, the monitoring of changes in vegetation using the MOD13Q1 and MCD64A1 are alternative products for monitoring environmental changes, because of the spatial resolutions, atmospheric correction and the free distribution. For that, it is possible to predict the intensity of forest fires events, allowing public managers to develop manners to prevent wildfire in the biome.

Keywords: Fire Probability; Environmental Damage; Climate Changes.

¹ PPG em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Campo Grande, MS, Brasil. E-mail para correspondência: alinepaivamoreira1@gmail.com

INTRODUÇÃO

O Pantanal é a maior planície contínua inundável do planeta abrangendo parte dos Estados Brasileiros Mato Grosso e Mato Grosso do sul (Mioto et al., 2012; Paranhos Filho et al., 2013). Possui alta relevância ambiental florística, faunística e biológica, amparada pelo regime atípico hidrológico, originária das regiões Cerrado, Amazônia e Chaco (Bolívia) (Teodoro et al., 2015; Sartori e Pott, 2018), também exerce papel relevante ao cenário econômico do país em função do desenvolvimento das atividades agropecuárias (Libonatti et al., 2015; Kuchler et al., 2019).

Após a década de 70, na região pantaneira houve expansão da pecuária extensiva, cujo manejo fundamenta-se em uso intenso de mecanização, desmatamento e queima de biomassa para o aumento das áreas de pastagens provocando alterações de alinhamento dos rios, defasagem quanto ao período de inundação, erosões do solo, aumento dos incêndios florestais e focos de calor (Alvarado et al., 2017; Santana, 2018; Oliveira-Júnior et al., 2020).

Os processos de alterações na cobertura vegetal promovidos pelas queimadas estão diretamente conectados ao aumento de emissões de carbono, uma vez que o dióxido de carbono compõe aproximadamente 90% das emissões de gases liberados durante a queima, contribuindo para com o aquecimento global.

Dessa forma, Gomes et al. (2020) consideraram que a intensidade e velocidade de determinado foco de calor é inversamente proporcional à umidade presente no ambiente, temperatura do ar e a velocidade dos ventos, destacando a importância das informações climatológicas para o desenvolvimento de medidas de prevenção e combate às queimadas.

Portanto, à medida que as condições locais se tornam mais secas e com temperaturas médias elevadas, o ambiente torna-se cada vez mais propício à ocorrência dos incêndios, logo expõe o mesmo a situação vulnerável. Segundo Martin et al. (2017), a combinação desses elementos gera um ciclo vicioso, possibilitando a ocorrência de novos incêndios em áreas que já tenham sofrido a ação do fogo.

Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar a dimensão das áreas queimadas no bioma Pantanal e Bacia do Alto Paraguai para os anos de 2018 a 2019, por meio dos dados da detecção dos focos de calor do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), dos produtos de sensores remotos e técnicas de geoprocessamento para permitir o entendimento sobre a ocorrência do fogo na paisagem.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é a Bacia do Alto Paraguai (BAP - Figura 1), com área de aproximadamente 600.000 km², localizada na América do Sul, dos quais 363.442 km² estão em território brasileiro, de acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2004), cujo a planície fisiográfica do Pantanal brasileiro está inserida e quantificada em 140.640 km² situada em dois Estados: Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além de algumas porções no Paraguai e na Bolívia (Mioto et al., 2012), representando cerca de 38% da BAP.

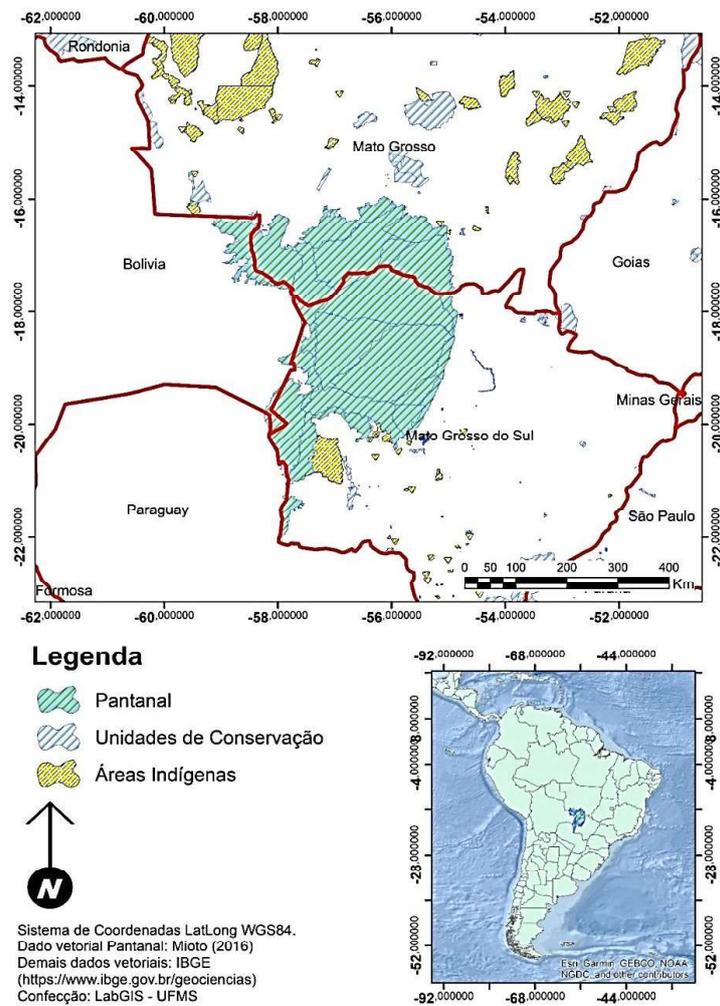


Figura 1. Localização da área de estudo.

Focos de Calor

Os focos de calor são representados por meio de um ponto em pixels que variam entre 1 km X 1 km a 5 km X 4 km, os satélites identificam as temperaturas com brilho superior a 320 K, ou seja, 46,85° C, como foco de calor (INPE, 2020).

Os dados referentes aos focos de queimadas do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai, para o período de 2018 a 2019, foram obtidos a partir do banco de dados de queimadas (DPI/INPE/BD Queimadas) (INPE, 2020). O lançamento do BD Queimadas ocorreu em 01/09/2016 e contém detecções dos focos de calor a partir de imagens de satélites, com atualização a cada três horas. Os dados são referentes ao sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), presentes nos satélites TERRA e AQUA.

A partir da obtenção desses dados, aplicou-se técnicas para análise da densidade das ocorrências, por meio da ferramenta de densidade de Kernel, presente no *software* QGIS, versão 2.8 (QGIS, 2020). Tal ferramenta facilita a observação de uma concentração de eventos, indicando a distribuição espacial através de zonas com gradações de intensidades por meio da cor vermelha, sendo a cor mais escura a de maior densidade.

Cabe destacar que, para a obtenção da densidade de Kernel, dada por km², usa-se uma função estatística de estimativa da densidade por intermédio de uma grade sobre a área, cujos valores de área de

saída e o raio do círculo são gerados automaticamente, baseados na relação entre as distâncias vertical e horizontal das imagens.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

A utilização dos índices espectrais busca relacionar o potencial de monitoramento em função da continuidade e da disponibilidade do produto. Haja vista, a metodologia simplificada, desempenho computacional positivo, minimização da subjetividade da interpretação visual de áreas queimadas e a redução do tempo de processamento, impulsionaram assim o uso dos índices de vegetação (Benedetti et al., 2013).

Os valores do NDVI são dados pela razão entre a diferença da medida de refletância nos canais do infravermelho próximo (0,70 – 1,30 μm) e do vermelho (0,55 – 0,70 μm) e a soma desses canais, tais valores podem variar em uma escala entre -1 e 1, quanto maior a densidade de cobertura vegetal, mais próximo de 1 será (Benedetti et al., 2013).

Na região do visível, os pigmentos das plantas absorvem energia para a fotossíntese, diferentemente no infravermelho, cuja energia é dissipada na estrutura interna da folha, promovendo a reflectância, logo realçando as variáveis biofísicas dos vegetais, tais como: índice de área foliar, biomassa, nível de cobertura vegetal, produtividade e atividade fotossintética (Gong et al., 2015; Hutchinson et al., 2015; Seddon et al., 2016).

Ademais, os efeitos dos eventos de queimadas podem ser detectados por meio das bandas espectrais da região do infravermelho termal e a quantificação das áreas afetadas, pelas bandas espectrais da região do visível e/ ou associadas às bandas espectrais da região do infravermelho termal (Loboda et al., 2007). Dessa forma, o monitoramento por meio de imagens de satélites permite a identificação dos focos de calor no momento dos incêndios ou cicatrizes em áreas que já foram queimadas (Chen et al., 2014; Prata, 2019).

Sendo assim, o trabalho avaliou o emprego do produto MOD13Q1 MODIS-Terra (*Collection 5*) (Didan, 2015), que contém o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do sensor MODIS para o mapeamento das áreas queimadas, distribuídos gratuitamente pelo EOS (*Earth Observing System Data Gateway*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

Quanto menor o valor do índice espera-se que o impacto provocado pelas queimadas esteja atuando na redução da taxa fotossintética e transpiração; assim, o oposto refere-se à plena condição da vegetação. A partir disso, a extração de informações ocorre de maneira mais rápida, eficaz e contínua (Didan, 2015). As amostras foram coletadas em cenário isento de queimada (14/setembro/2018) e em cenário queimado (14/setembro/2019), dos quadrantes h12v10 e h12v11, com resolução espacial de 250 m, de maneira a se obter a comparação do comportamento do NDVI.

Taxa de Área Queimada

O mapeamento de área queimada dispõe informações sobre a sazonalidade do fogo, frequência de ocorrência, localização, quantificação da área queimada, sendo essencial para o desenvolvimento de política de manejo sustentável para a região.

Dessa forma, para gerar uma análise temporal das áreas queimadas na região do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai, utilizaram-se os dados do produto MCD64A1 (Giglio et al., 2015; 2016) do período entre julho a novembro dos anos de 2018 e 2019, obtendo uma imagem por mês, cinco mapeamentos por ano de referência.

Assim, tal algoritmo analisa as imagens diárias com os dados dos IV em duas sequências temporais (10 dias antes e 10 dias depois), com objetivo de calcular a estatística descritiva e a definição da medida temporal de separabilidade entre a pré-queimada e pós-queimada, para compor os parâmetros das imagens.

Uma máscara com os pontos de fogo ativo é aplicada para filtrar os pixels e prover o mecanismo de treinamento ao sistema para diferenciar os pixels de área queimada e não queimada. Em seguida, o algoritmo calcula a densidade de probabilidade condicional para cada classe disponível no sensor MODIS, e posteriormente a probabilidade da área queimada. O resultado dessa classificação inicial é a diferenciação entre área queimada e não queimada para cada pixel em uma resolução espacial de 500 m.

As camadas advindas do produto MCD64A1 são data de queima (*Burned Date*), incerteza de dados de queima (*Burned Data Uncertainty*), garantia de qualidade da imagem (*Quality Assurance*), bem como as imagens do primeiro dia (*First Day Data*) e do último (*Last Day Data*) de análise de detecção para alterações confiáveis durante o ano (Giglio et al., 2015; 2016).

Para este estudo obteve-se o produto MCD64A1, disponibilizado pelo Serviço Geológico Americano (USGS) no site <https://earthexplorer.usgs.gov/>, onde foram exportados os valores de detecção da área queima (*Burndate*) para a área de estudo.

A data é codificada em uma camada de dados, chamada “*Burn Date*”, com o dia do ano em que a queima ocorreu (intervalo 1-366), valor de 0 para pixels de terra não queimados e valores adicionais reservados para dados perdidos e células de rede de água. Tais dados foram utilizados para montar o modelo probabilístico espacial de ocorrência de queimadas. Assim, os mapas acumulativos mensais de julho a outubro foram gerados pelo *software* QGIS, versão 2.8 (QGIS, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atualmente uma das maiores ameaças a sobrevivência e bem estar do homem e as demais espécies são as mudanças climáticas (Steffen et al., 2015; Pecl et al., 2017). Por essa razão, acordos climáticos como o de Paris tem auxiliado no envolvimento crescente dos países em ações voltadas para a mitigação das mudanças climáticas (Grassi et al., 2017), os países tropicais estão se comprometendo a restaurar mais de 130 *Mha* de paisagens desmatadas como parte de seus compromissos ao *Bonn Challenge* e ao Acordo Climático de Paris.

A ação antropogênica é a grande ameaça à conservação dos ecossistemas, que repercute a nível global ao regime climático da Terra e colabora para que as áreas com florestas nativas sejam diminuídas (Xaud, 2013). A queima da biomassa afeta diretamente o ciclo do carbono, pois perturba a química atmosférica global através da liberação de gases de efeito estufa e aerossóis (Sá et al., 2003). Dessa forma, a pressão que áreas florestais sofrem tem aumentado o número de incêndios e a extensão das áreas queimadas, preocupando

à medida em que os efeitos atingem a biodiversidade, a paisagem, a ciclagem de nutrientes, as instalações agrícolas, os cultivos e a saúde humana, em perspectivas impactantes e de conteúdo mitigatório profundo.

Na área de estudo, Pantanal e Bacia do Alto Paraguai, notou-se extensa atividade do fogo no período dos anos de 2018 e 2019. A partir do levantamento dos dados juntamente com a plataforma DPI/INPE/BD Queimadas (INPE, 2020) foram detectados no ano de 2018 para o Pantanal 1.691 focos de calor e 1.777 para a BAP. Para o ano posterior, 2019, obtiveram-se 4.029 focos de calor no Pantanal, e 5.996 na BAP. Ou seja, dentre os anos propostos houve aumento para o ano de 2019 em relação a 2018, de aproximadamente 30% dos registros de calor na BAP e 42% para o Pantanal. Essas análises comparativas demonstram que, apesar da baixa discussão na literatura sobre o fogo na região, existe a real necessidade de entender a proporção dos eventos de queimadas e as razões pelas quais ocorrem para então promover medidas de preservação ambiental adequadas.

Dessa forma quanto a distribuição dos focos de calor por km², temos que em 2018, o Pantanal obteve 1.2 focos de calor por km², e média de precipitação de 70 mm/mês (INPE, 2020), em contrapartida a BAP registrou 0.8. Já para o ano de 2019, a planície pantaneira detectou 2.9 e a BAP 2.7 focos de calor por km², e média de precipitação de 35 mm/mês (INPE, 2020). Nota-se que entre os meses de julho a outubro houve concentração elevada do número de focos de calor, em relação aos demais meses, possivelmente em função da baixa umidade concentrada nesse período na área de estudo. Dessa forma, o mapeamento das áreas queimadas pelo estimador de densidade Kernel para os anos de 2018-2019 foram dos meses de julho a outubro.

Na figura 2 tem-se a distribuição dos focos de calor pelo estimador Kernel, gerado a partir dos dados disponibilizados pelo INPE, demonstra o comportamento espacial na área de estudo, dos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro do ano de 2018.

Diferentemente do ano de 2018 (Figura 2a), é possível observar o aumento de focos de calor para o ano de 2019, a partir do mês de julho (Figura 3a), especialmente na região norte do Estado de Mato Grosso do Sul, agravando a suscetibilidade já pré-existente da área a grandes queimadas.

O índice de vegetação NDVI varia de acordo com o vigor dos organismos vegetais da área de estudo, quanto maior a quantidade de biomassa mais escuros os tons de verde (Figura 4), as regiões com predominância de vegetação rasteira são visualizadas em tons mais claros (verde-claro) e os locais visualizados em tons vermelho (escuro) e variações representam regiões com pouca vegetação, podendo estas demonstrar maior suscetibilidade a propagação de eventos de queimadas ou a detecção de áreas que já foram afetadas (Clerici et al., 2012).

Com os dados dos focos de incêndios disponibilizados pelo INPE (2020), foram verificadas que no dia 14 de setembro de 2018 (Figura 4a) não houve focos de calor (incêndios) detectados, em contrapartida, no dia 14 de setembro de 2019 (Figura 4b) foram detectados 882 focos de calor no bioma Pantanal e o seu entorno. De acordo com o relatório de ocorrência de incêndios em Unidades de Conservação Federais (IBAMA, 2009), as regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste seguem o padrão nacional, com maior registro de ocorrências no mês de setembro, com pequena variação no período crítico de incêndios dependendo do Estado.

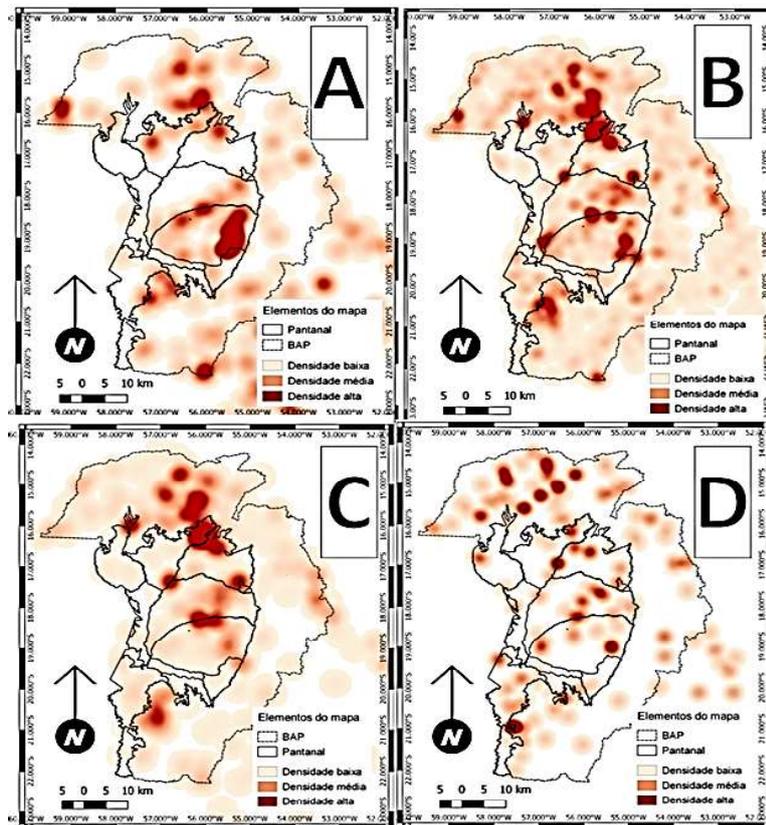


Figura 2. Mapa dos focos de calor Pantanal e bacia do Alto Paraguai (BAP) dos meses de julho (A), agosto (B), setembro (C), outubro (D), ano de 2018.

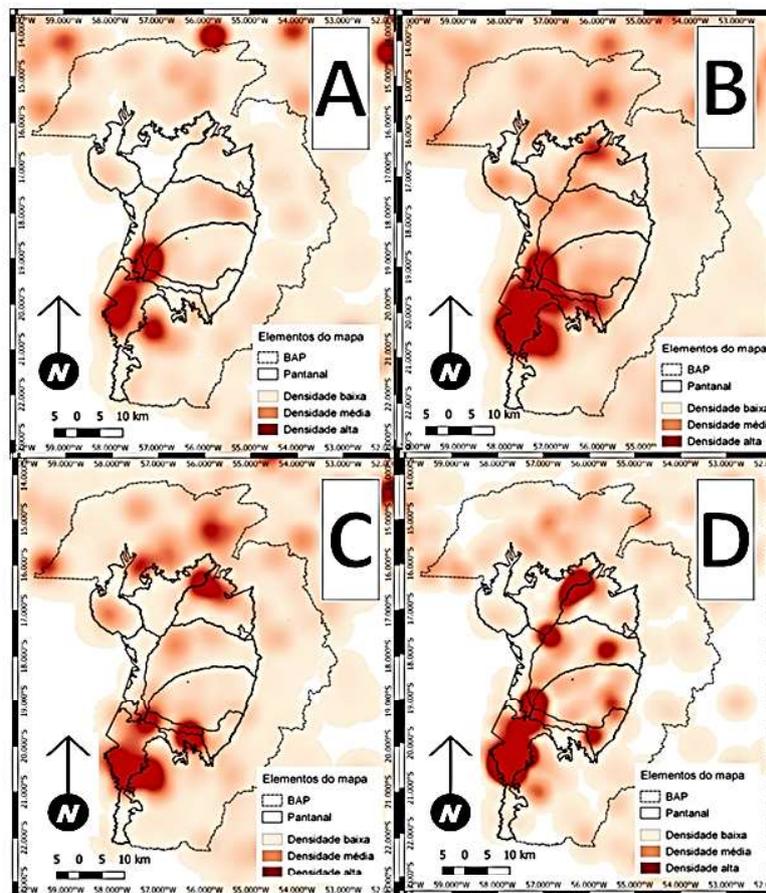


Figura 3. Mapa dos focos de calor Pantanal e bacia do Alto Paraguai (BAP) dos meses de julho (A), agosto (B), setembro (C), outubro (D), ano de 2019.

As alterações na cobertura vegetal foram verificadas durante os anos propostos. Os valores de NDVI são menores onde se concentram mais focos de calor, adquirindo tonalidade para o vermelho-alaranjado e as com menores concentrações tendem para a cor verde (Didan, 2015). Dessa forma, é possível observar na figura 4, o aumento expressivo das manchas mais avermelhadas, na região oeste fronteiriça com os países Bolívia e Paraguai, para o ano de 2019 (B), em relação ao ano de 2018 (A).

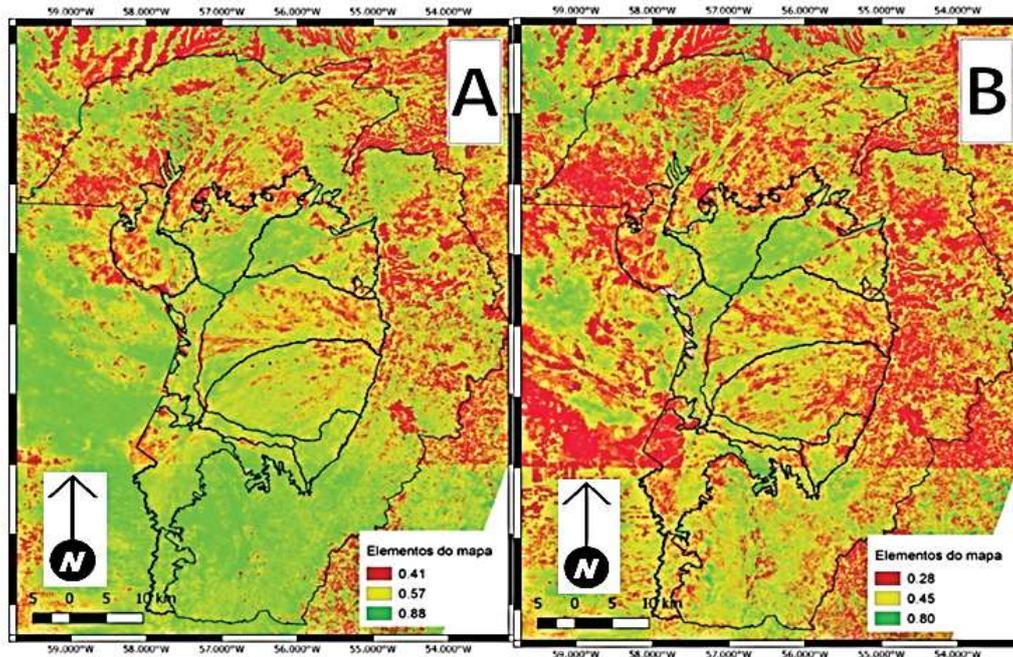


Figura 4. Mapa de Índice de Vegetação (NDVI) Pantanal e bacia do Alto Paraguai (BAP), ano de 2018 (A) e 2019 (B).

Possivelmente os eventos foram motivados pela alta conversão de áreas de vegetação nativa para pastos agrícolas na região (White e Silva, 2016). Uma vez que tal substituição propicia a ocorrência efetiva de incêndios nos ecossistemas florestais intactos da região, o que, caracteriza o início de um processo de perpetuação desses tipos de incêndios. No entanto, as consequências desses eventos podem afetar a biodiversidade do bioma e a segurança hídrica e energética da população (Gardner et al., 2010; Bueno et al., 2018).

Na região do Pantanal, Paranhos et al. (2014) realizaram estudo, cujo objetivo era estimar as diferenças de cobertura do solo no período entre 2003 a 2010, por meio da classificação automática não supervisionada de imagens MODIS, de 500 m de resolução espacial, identificaram a redução de 17% das áreas de vegetação arbóreo-arbustiva e 14% de aumento das áreas de gramíneas. Corroborando, com a hipótese de que o desenvolvimento da pecuária, expansão de fronteiras agrícolas e extração de madeira primária, notada por meio do aumento de áreas de pastagens e o índice de focos de calor do ano de 2019 em relação a 2018, especialmente entre os meses de julho a outubro.

Dessa maneira, é importante ressaltar a compreensão geográfica e quantitativa dos eventos de queimadas, especialmente para a América do Sul, uma vez que é responsável por aproximadamente 40% das emissões do fogo global para o desmatamento, promovendo alterações climáticas, na transição sazonal da circulação das monções, e químicas na atmosfera (Der Werf et al., 2010).

Os mapas mensais de julho a outubro dos anos 2018 e 2019 das cicatrizes nesse estudo foram coletados de amostras de pixels considerados queimados e pixels não queimados (Figuras 5 e 6) (Giglio et

al., 2018). O uso de tais dados permite identificar condições pré e pós-queima nos diferentes ecossistemas terrestres. Na variação mensal observou-se tendência de aumentos das ocorrências a partir de julho, alcançando o ápice entre setembro e outubro, em ambos os anos de estudo.

Em 2018, a partir do mês de outubro verificou-se tendência de diminuição nas ocorrências de focos de calor, em função do aumento do índice pluviométrico.

Quando considerado o período entre julho a novembro da área do bioma Pantanal e o entorno no ano de 2018, verifica-se ocorrência de cicatrizes em 3.921,40 km² que possuem seu tamanho entre 0,5 a 400 km² (Figura 5), aproximadamente 1,05% da área total da bacia do Alto Paraguai.

Já para o ano de 2019, verificou-se que a partir do mês de julho, o índice de ocorrências foi atípico e os aspectos da distribuição espacial/temporal dos focos de calor, o que pode ser extremamente útil em um planejamento preventivo no combate de queimadas irregulares tanto para o bioma Pantanal, quanto para os demais biomas. Entende-se que mais estudos devem ser conduzidos para continuar avaliando o efeito do fogo na bacia do Alto Paraguai e propondo estratégias relacionadas ao programa de manejo do fogo (Santos et al., 2018).

No ano de 2019 o tamanho das cicatrizes variou entre 0,5 a 3.700 km², totalizando aproximadamente 48.426,97 km² da área do bioma Pantanal e o entorno (Figura 6) para o período entre julho a novembro, aproximadamente 13,3% da área total da BAP.

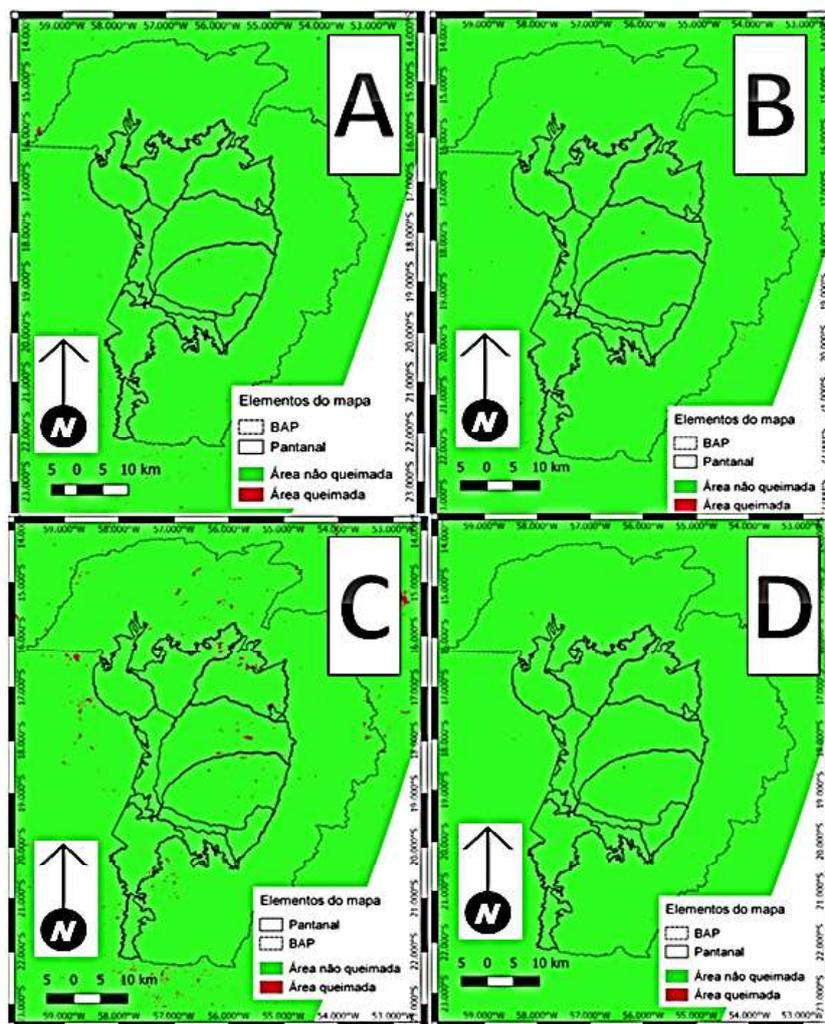


Figura 5. Mapa de cicatrizes de queimadas Pantanal e Bacia do Alto Paraguai (BAP) dos meses de julho (A), agosto (B), setembro (C), outubro (D), ano de 2018.

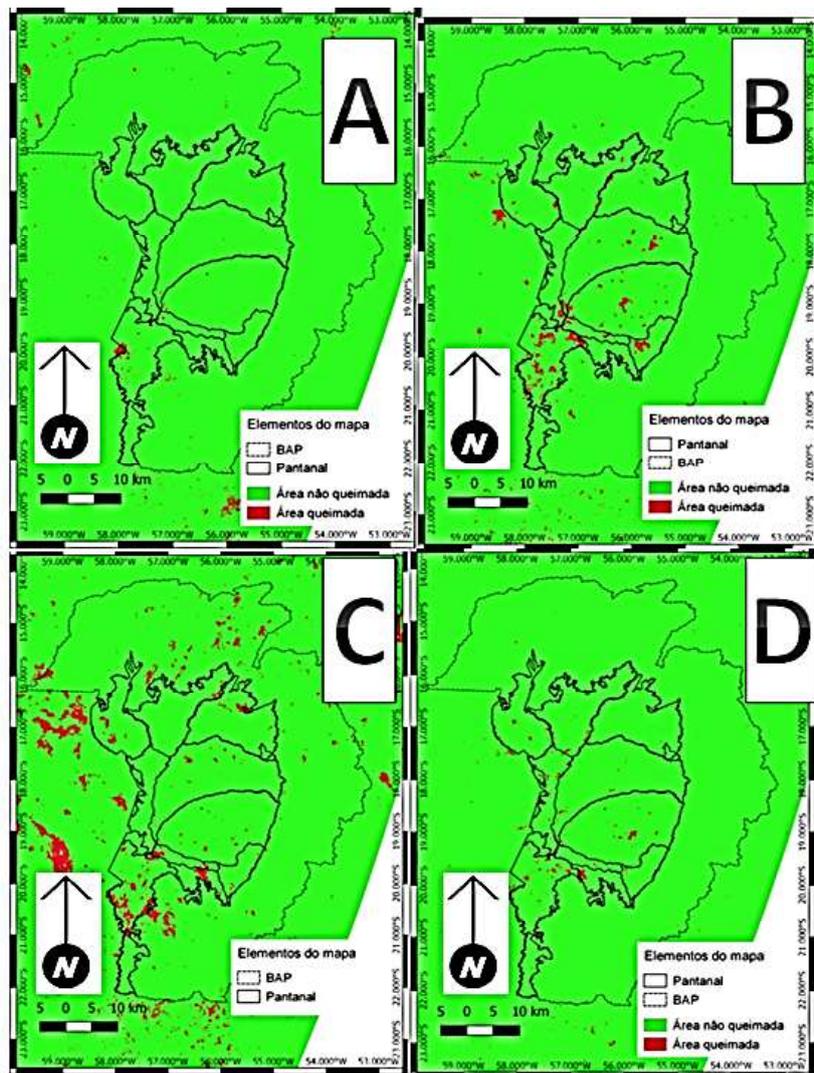


Figura 6. Mapa de cicatrizes de queimadas Pantanal e Bacia do Alto Paraguai (BAP) dos meses de julho (A), agosto (B), setembro (C), outubro (D), ano de 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre as razões pelas quais as queimadas irromperam nos meses entre julho a outubro, no período de estudo, mais intensamente no ano de 2019, estão o baixo índice de precipitação típica da época seca e as ações antrópicas dos produtores agrícolas da região. Os produtos demonstraram que durante o ano de 2018 a vegetação era bem desenvolvida e densa, diferentemente do ano posterior.

O monitoramento do índice de Vegetação (NDVI) das imagens por meio do produto MOD13Q e a detecção da área queimada e não queimada por meio do produto MCD64A1 permitiram comparar os mapas dos anos de 2018 e 2019, apresentando-se como uma alternativa para o acompanhamento de mudanças ambientais, tendo em vista as variadas resoluções espaciais e a correção atmosférica, bem como a distribuição gratuita dos produtos pela internet.

Foi possível prever a intensidade dos eventos de queimadas, a partir do mês de julho, por meio da junção dos produtos geotecnológicos e da base de dados do INPE, permitindo aos gestores públicos o desenvolvimento de medidas de prevenção e manejo dos incêndios florestais no bioma Pantanal e o no seu entorno, anteriormente ao ápice dos incêndios, concentrado no mês de setembro, conseqüentemente minimizando os impactos provocados pelo alastramento do fogo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PGRN/UFMS (PPG em Recursos Naturais), da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos ainda a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES, pelo acesso ao Portal de Periódicos. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1). O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

REFERÊNCIAS

- ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2004. **Cadernos de recursos hídricos: panorama do enquadramento dos corpos d'água: estudo técnico**. Brasília: ANA, 21p.
- ALVARADO, S. T. et al. 2017. Driver of occurrence in a mountains Brazilian Cerrado Savanna: tracking long- term fire regimes using remote sensing. **Ecological Indicators**, **78**:270-281.
- BENEDETTI, A. C. P. et al. 2013. Uso do produto MOD13Q1 do sensor Modis para análise temporal e mapeamento das florestas nas Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, **37**(3):459-467.
- BUENO, P. A. A. et al. 2018. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis**, **2**(2):40-44.
- CHEN, W. et al. 2014. Mapping a burned forest area from Landsat TM data by multiple methods. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, **7**(1):384-402.
- CLERICI, N. et al. 2012. Exploring the use of MODIS NDVI based phenology indicators for classifying forest general habitat categories. **Remote Sensing, Basel**, **4**(6):1781-1803.
- DER WERFL, G. R. et al. 2010. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). **Atmospheric Chemistry Physics**, **10**: 11707-11735.
- DIDAN, K. 2015. MOD13Q1 MODIS/TERRA Vegetation Indices 16-day L3 global 250m SIN grid V006. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>>. Acesso em: 05 maio 2020.
- GARDNER, T. A et al. 2010. A multi-region assessment of tropical forest biodiversity in a human-modified world. **Biological Conservation**, **143**(10):2293-2300.
- GIGLIO, L. et al. 2015. MCD64A1 MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500m SIN Grid V006. NASA EODIS Land Processes DAAC. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd64a1v006/>>. Acesso em: 05 maio 2020.
- GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; JUSTICE, C. O. 2016. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. **Remote Sensing of Environment** **178**:31–41.
- GIGLIO, L. et al. 2018. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. **Remote Sensing of Environment**, **217**:72-85.
- GOMES, L. et al. 2020. Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas and forests of the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, **458**:117804.
- GONG, K. et al. 2015. MODIS normalized difference vegetation index (NDVI) and vegetation phenology dynamics in the Inner Mongolia grassland. **Solid Earth**, **6**(4):1185-1194.

- GRASSI, G. et al. 2017. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. **Nature Climate Change**, 7:220-226.
- HUTCHINSON, J. M. S. et al. 2015. Monitoring vegetation change and dynamics on U.S. Army training lands using satellite image time series analysis. **Journal of Environmental Management**, 150:355-366.
- IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2009. Relatório de ocorrências de incêndios em Unidades de Conservação Federais 2005-2008. **PrevFogo** – Brasília. Disponível em: <ibama.gov.br>. Acesso em: 5 jan. 2020.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Bancos de dados de Queimadas (1999 a 2019). BD Queimadas. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 5 jan. 2020.
- KUCHLER, P. C. et al. 2019. Sensoriamento remoto e análise espacial: uma contribuição para o mapeamento dos sistemas integrados de produção agropecuária. In: KUCHLER, P. C. et al. (Org.). **Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 3**. Curitiba: Atena, p. 1-11.
- LIBONATTI, R. et al. 2015. An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 μ m MODIS imagery. **Remote Sensing**, 7(11):15782-15803.
- LOBODA, T.; O'NEAL, K. J.; CSISZAR, I. 2007. Regionally adaptable dNBR based algorithm for burned area mapping from MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, 109(4):429-442.
- MATIN, M. et al. 2017. Understanding forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, geographic information system and historical fire data. **International Journal of Wildland Fire**, 109(2007):429-442.
- MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C.; ALBREZ, E. A. 2012. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. *Revista Entre-Lugar*, 8:165-180.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. et al. 2020. Fire foci related to rainfall and biomes of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, 282-283:107861.
- PARANHOS FILHO, A. C. P. et al. 2013. A study of structural lineaments in Pantanal (Brazil) using remote sensing data. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 85(3):913-922.
- _____. 2014. Análise da variação da cobertura do solo no Pantanal de 2003 a 2010 através de sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 19:69-76.
- PECL, G. T. et al. 2017. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. **Science** 355(6332).
- PRATA, G. A. 2019. **Mapeamento da probabilidade de incêndios e cicatrizes de dano como suporte ao manejo florestal**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, 150p.
- QGIS, 2020. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. Disponível em: <http://www.qgis.org>. Acesso em: 5 jan. 2020.
- SÁ, A. C. L. et al. 2003. Assessing the feasibility of sub-pixel burned area mapping in miombo woodlands of northern Mozambique using MODIS imagery. **International Journal of Remote Sensing**, 24(8):1783-1796.
- SANTANA, N. C. 2018. Fire recurrence and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dynamics in Brazilian Savanna. **Fire**, 2(1):1.
- SANTOS, J. A. C. et al. 2018. Uso do fogo na agricultura: medidas preventivas e queima controlada no projeto de desenvolvimento sustentável. **Agroecossistemas**, 10(2):353-366.
- SARTORI, A. L. P.; POTT, A. 2018. Conhecimento florístico-taxonômico sobre a flora Sul-Mato- Grossense: ontem e hoje. **Iheringia Série Botânica**, 73:18-21.
- SEDDON, A. W. et al. 2016. Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. **Nature**, 531(7593):229-232.

STEFFEN, W. et al. 2015. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. **Science**, **347**(6223):1259855-1259855.

TEODORO, P. E. et al. 2015. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, **128**(2):197-209.

WHITE, B. L. A.; SILVA, M. F. A. 2016. Variações microclimáticas e perigo de ocorrência de incêndios florestais em fragmento de Mata Atlântica no município de São Cristóvão, Sergipe. **NATIVA**, **6**(especial):729-736.

XAUD, H. A. M; MARTINS, F. S. R.; SANTOS, J. R. 2013. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology Management**, **294**:97-106.

Submetido em: 20.05.2020

Aceito em: 23.03.2021