

DETECÇÃO DE QUEIMADAS E ANÁLISE DO IMPACTO DO FOGO NA VEGETAÇÃO NATURAL DO PARQUE ESTADUAL ENCONTRO DAS ÁGUAS, PANTANAL MATO-GROSSENSE

Eduardo Soares Nascimento¹, Allan Alves Lopes Ferreira¹, Aline Barrocá Marra¹, Max Rafael Estevam Pinto¹, Daiana Vágula¹, Erivaldo Antonio da Silva¹ e Maria de Lourdes Bueno Trindade Galo¹

¹Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência e Tecnologia, campus Presidente Prudente -SP (e.nascimento, aal.ferreira, aline.barroca, max.rafael, daiana.vagula, erivaldo.silva e trindade.galo)@unesp.br

RESUMO

Recentemente, vários problemas ambientais vêm afetando o Brasil, sendo as queimadas a principal, devido aos gases resultantes do processo de queima de biomassa contribuírem para o aquecimento global e mudanças climáticas, além de afetarem a economia e a sociedade. O Pantanal, um dos menores biomas e um dos mais ricos em biodiversidade, vem sofrendo vários problemas em relação a sua preservação, podendo-se destacar as queimadas, que ocorrem principalmente no período de seca. O objetivo deste trabalho foi mapear e analisar o impacto das queimadas no Parque Estadual do Encontro das Águas no Estado do Mato Grosso utilizando imagens multiespectrais do satélite *Sentinel-2* e o algoritmo de aprendizagem supervisionada *Random Forest*, para analisar os períodos pré e pós-queimada na estação seca de 2020. Resultados mostraram que aproximadamente 838 Km² da área de estudo foram queimadas em alta severidade, o que corresponde a 30% da área total.

Palavras-chave — Queimadas, Imagens Multiespectrais, Aprendizagem supervisionada, *Random Forest*, Pantanal.

ABSTRACT

Recently, several environmental problems have affected Brazil, and fires are the main ones, due to the gases resulting from the biomass burning process contributing to global warming and climate change, in addition to affecting the economy and society. The Pantanal, one of the smallest biomes and one of the richest in biodiversity, has suffered several problems in relation to its preservation, and it can be highlighted the fires, which occur mainly in the dry season. The objective of this work was to map and analyze the impact of fires in the Encontro das Águas State Park in the State of Mato Grosso using multispectral images of the *Sentinel-2* satellite and the random forest supervised learning algorithm, to analyze the pre- and post-burned periods in the 2020 dry season. Results showed that approximately 838 km² of the study area were burned in high severity, which corresponds to 30% of the total area.

Key words — Fires, Multispectral Images, Supervised Learning, Random Forest, Pantanal.

1. INTRODUÇÃO

As queimadas são um dos principais problemas enfrentados pelo Brasil, sendo um dos grandes responsáveis pelo lançamento de gases do efeito estufa no planeta [1 e 2]. Além de contribuir para o aquecimento global e mudanças climáticas, as queimadas prejudicam o país, contribuindo para a perda da biodiversidade e o desflorestamento [3]. Neste contexto, o bioma Pantanal, presente nos estados brasileiros Mato Grosso e Mato Grosso do sul, e nos países Bolívia e Paraguai, no que se refere a biodiversidade, é um bioma extremamente rico [4]. Não obstante, o bioma pantaneiro enfrenta sérios problemas em relação a sua preservação, devido à agropecuária extensiva [5], nas quais grandes áreas florestais são desmatadas para esta finalidade, contribuindo para a redução da fertilidade do solo e biodiversidade do bioma. A principal preocupação do bioma pantaneiro no período de seca são as queimadas, seja ela natural ou antropogênica, que causam danos ao meio ambiente [6]. Desta maneira, dados provenientes de Sensoriamento Remoto (SR) contribuem na espacialização de fenômenos, promovendo economia de tempo e auxiliando na caracterização da intensidade, extensão e focos das queimadas [7 e 8]. Em vista disso, mapear a origem dos focos de incêndio a partir de imagens obtidas por SR se torna fundamental, pois proporciona uma visão geral da distribuição temporal e espacial da área [9]. Portanto, este trabalho tem por objetivo investigar a origem de focos de incêndio do do Parque Estadual Encontro das Águas (PEEA) e seu entorno, e analisar o impacto das queimadas, em termos de vegetação natural suprimida na Unidade de Conservação, a partir de imagens orbitais oriundas do satélite *Sentinel-2*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho é o PEEA, localizado no Pantanal brasileiro na região Centro-Sul do estado do Mato Grosso (Figura 1). Para a aplicação da metodologia, considerou-se os arredores do parque, acrescentando um *buffer* de 5 km ao seu redor.

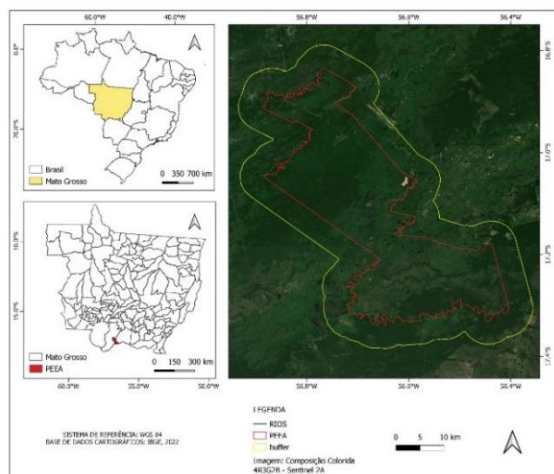


Figura 1. Localização geográfica do PEEA e delimitação da área de estudo, constituída por um *buffer* de 5km ao redor dos limites do PEEA.

As imagens foram adquiridas a partir da plataforma *copernicus* que compreende um dos principais sistemas de aquisição de dados do *Sentinel-2*, que possui a bordo o *Sensor MultiSpectral Instrument (MSI)* com a capacidade de adquirir informações em 13 bandas espectrais, sendo 3 bandas na região do visível (azul, verde e vermelho, do inglês *Blue, Green e Red*, respectivamente) e uma banda na região do infravermelho próximo (do inglês, *Near Infrared -NIR*) com resolução espacial de 10m, além de 4 bandas no vermelho limítrofe (do inglês, *Red Edge*) e 2 bandas na região do infravermelho médio (do inglês, *Short Wave Infrared - SWIR*) com resolução de 20 m. O MSI ainda contém 3 bandas utilizadas para correção atmosférica, com resolução espacial de 60 m.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram necessárias duas cenas de cada período para cobrir a totalidade da área de estudo, sendo adquiridas um total de quatro cenas do *Sentinel 2*: duas delas tomadas em 30/06/2020 (período pré-fogo) e duas em 22/11/2020 (período pós-fogo).

Este intervalo justifica-se em decorrência de queimadas no bioma Pantanal frequentemente noticiadas pelas mídias. Buscou-se um período que melhor caracterizasse o fenômeno, evidenciando uma data que antecederesse as queimadas e a outra posterior a elas, considerando uma cobertura baixa de nuvens e de fumaças provenientes da queima.

As imagens foram pré-processadas, nas quais foram necessários a realização da amostragem no *software Snap* para 20 metros, seguido da mosaicagem. Esse processo foi necessário, pois as bandas contêm resoluções espaciais diferentes (NIR e SWIR) e a mosaicagem, devido ao fato de que somente uma cena não compreendia todo o parque, sendo necessários duas imagens para compor sua totalidade. Posterior ao mosaico, foi realizado o recorte para a cena de interesse, que consiste no PEEA com o *buffer* de 5 km.

Após a aquisição das imagens pré e pós-fogo, foram gerados os índices espectrais, provenientes de combinações

entre as bandas espectrais, nas quais permitem a discriminação de informações de interesse em relação aos diversos alvos presentes na superfície da Terra de acordo com o fenômeno estudado, foram selecionados os índices apresentados na Tabela 1.

Índice Espectral	Equação
<i>Normalized Difference Vegetation Index -NDVI</i>	$\frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}}$ [10]
<i>Normalized Burn Ratio - NBR</i>	$\frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR2}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR2}}$ [11]
<i>Normalized Difference Water Index - NDWI</i>	$\frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}}$ [12]
<i>Normalized Difference Water Index - NDWI</i>	$\frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR1}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR1}}$ [13]

Tabela 1. Formulação e referência dos índices espectrais utilizados, em que ρ_{NIR} se refere à reflectância na região do infravermelho próximo; ρ_{Red} à reflectância no vermelho; ρ_{SWIR} à reflectância no infravermelho médio e ρ_{Green} à reflectância no verde.

Os índices espectrais descritos na Tabela 1, foram gerados no *software Snap*, nas quais, o índice NBR pré e pós fogo foi submetido a uma operação de subtração no *software QGIS*, visando obter o ΔNBR . Essa imagem foi usada para isolar as áreas queimadas, nas quais a partir de um limiar de severidade do fogo, definido como 0,66 [14], extraiu-se as áreas de alta severidade do fogo. A escolha da extração apenas da alta severidade, se deu pela tentativa de mapear as áreas que foram intensamente impactadas pelas queimadas. Os demais índices espectrais gerados serviram de dados de entrada para o classificador supervisionado (Tabela 1). Além disso, foram utilizados o Modelo Digital de Elevação (MDE), obtidos pelo *topodata* (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil) e foi gerada uma camada de entropia a partir do MDE por meio do *software Snap*. A principal característica dessa camada é medir o grau de dispersão de níveis de cinza, descrevendo a homogeneidade da imagem, resultando em características de textura.

As classes de uso e cobertura do solo presentes no PEEA foram identificadas a partir da coleção 6.0 de uso e cobertura do solo do *MapBiomas*, sendo elas: Formação Florestal, Formação Savânica, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Pastagem, e Rio e Lago. Realizou-se a coleta de amostras de treinamento para o classificador supervisionado (*Random Forest*) no *software QGIS* com base nas classes identificadas. Justifica-se o uso do *Random Forest*, devido a quantidade de camadas de atributos (12 bandas espectrais, 3 índices espectrais, 1 MDE e 1 entropia), e por ser um classificador não paramétrico.

Ademais, a partir do mapa temático gerado, verificou-se a acurácia do produto, com base nos dados de verdade terrestre (*Google Earth Pro*), utilizando o *software QGIS*, e por fim, com a utilização dos polígonos de fogo, dado pelo ΔNBR e com os focos de incêndio obtidos pelo Programa Queimadas disponibilizados pelo Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais (INPE), verificou-se quais as classes mais atingidas pelo fogo e quais classes originaram-se os incêndios.

Na Figura 2, tem-se o fluxograma geral da metodologia que apresenta as etapas descritas anteriormente.

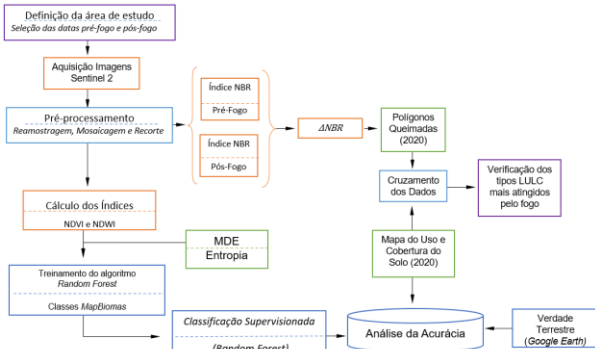


Figura 2. Fluxograma ilustrando a metodologia desenvolvida.

3. RESULTADOS

Na Figura 3, é possível visualizar o mosaico das duas imagens que cobrem o limite com o *buffer*, além do perímetro do PEEA, dos períodos de pré e pós-fogo na forma de composição colorida TCI (*True Color Image*) do Sentinel-2.

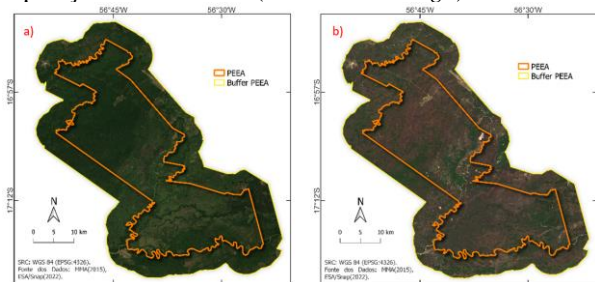


Figura 3. Mosaico na composição colorida TCI do Sentinel-2. a) no período pré-queimada. b) no período pós-queimada.

A Figura 4, ilustra a área de queimada de alta severidade extraída do ΔNBR do período pós-queimada utilizando o limiar de 0,66 dentro do *buffer* de 5 Km do PEEA.

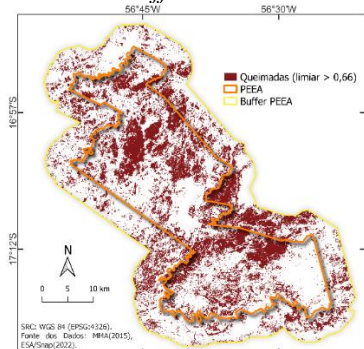


Figura 4. Extração das áreas de queimadas de alta severidade utilizando limiar de 0,66 no ΔNBR pós-queimada.

A Figura 5 apresenta o resultado da classificação utilizando o algoritmo *Random Forest*, possibilitando a visualização das classes de uso e cobertura do solo do período pré-queimada.

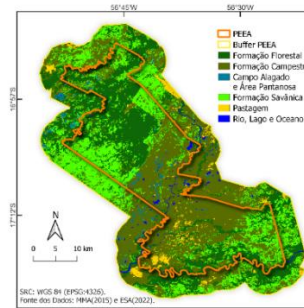


Figura 5. Classificação dos tipos de uso e cobertura do solo obtidos pelo algoritmo de *Random Forest* utilizando imagens pré-queimada

Em seguida é apresentada a figura 6-a, que indica a área de queimada sobreposta com a classificação dos tipos de uso e cobertura do solo para avaliar as classes mais afetadas pelas queimadas de alta severidade dentro do *buffer* do PEEA. Na Figura 6-b é possível visualizar a densidade dos focos de incêndio nas classes identificadas também dentro do *buffer*.

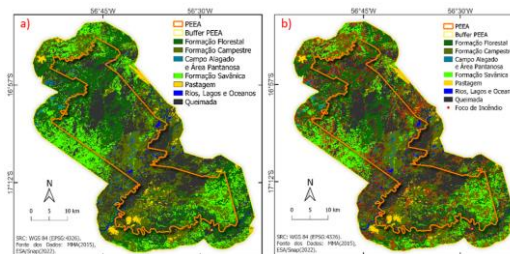


Figura 6. Mapa temático a) Sobreposição da área queimada com o mapa de uso e cobertura do solo. b) Sobreposição dos focos de incêndio na região que engloba o Buffer de 5Km do PEEA.

O modelo de classificação gerado pelo algoritmo *Random Forest* obteve o valor de 0,49 para a métrica *Root Mean Squared Error (RMSE)*. Já a acurácia do produto, foi obtida uma Acurácia Global de 82,2% e 76,4% para o Índice *Kappa*. Em relação as classes de uso e cobertura mais afetadas pelas queimadas, em termos de porcentagem da cobertura do solo queimada e sua respectiva área, foram: Formação Florestal com 24% ou 158,109 Km², Formação Savânica com 28,88% ou 308,594 Km², Campos Alagados e Áreas Pantanosas com 15,87% ou 5,654 Km², Rios e Lagos com 3,26% ou 0,891 Km², Formação Campestre com 40,17% ou 360,820 Km² e Pastagem com 6,82% ou 3,739 Km², totalizando em 30,61% da área total do *buffer* de 5Km do PEEA queimado (837,806 Km²).

Além disso, a quantidade de focos de incêndio no período pré e pós-fogo para as classes de uso e cobertura do solo são: Formação Florestal (1669), Formação Savânica (1662), Campo Alagado e Áreas Pantanosas (115), Rios e Lagos (49), Formação Campestre (2635) e Pastagem (73), totalizando 6203 focos de incêndio no período.

4. DISCUSSÕES

Nas Figuras 3-a e 3-b é possível notar diferenças consideráveis entre os períodos de pré e pós-fogo na

composição colorida TCI do *Sentinel-2* durante o período de 30/06/2020 até 22/11/2020. Na Figura 4, observa-se que as regiões classificadas como alta severidade foram extraídas utilizando o índice Δ NBR do período pós-queimada. Em relação a Figura 5, é possível observar as classes de uso e cobertura do solo e sua predominância em certas regiões do PEEA. Na Figura 6-a nota-se que a maioria das áreas queimadas estão localizadas na região norte e central do PEEA, onde há predominância das classes Formação Florestal e Formação Campestre. Na Figura 6-b, observa-se que os pontos de focos de incêndios estão mais densificados nas regiões norte e central do PEEA. Em relação às métricas de acurácia calculadas, o índice kappa pode ser considerado como “Muito bom” [15]. Já a Acurácia Global, apresentou o resultado de 82,2%. Nota-se que as classes mais afetadas pelas queimadas de alta severidade são: Formação Campestre (40,17%), Formação Savânica (28,88%) e Formação Florestal (24,24%). Já na classe Rios e Lagos, foi obtido 3,26% de área queimada, que pode ser explicado pela sombra do relevo no instante da aquisição da imagem ou erro na classificação *Random Forest*. Quanto aos focos de incêndio, nota-se que as classes com maiores quantidades são: Formação Campestre (2635), Formação Florestal (1669) e Formação Savânica (1662).

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados e discussões, percebe-se que o objetivo de analisar a origem dos focos de incêndio no entorno do PEEA e o impacto das queimadas utilizando imagens multiespectrais do *Sentinel-2* e técnicas de aprendizagem de máquina, foram alcançados. A classificação supervisionada utilizando o algoritmo *Random Forest* foi realizada com sucesso, em que foram coletadas amostras de treinamento utilizando os 17 planos de informação disponíveis, entre eles, bandas espectrais, índices espectrais, MDE e entropia. Em relação a qualidade do produto gerado, pode-se notar que as métricas índice kappa e acurácia global, calculadas a partir da matriz de confusão, apresentaram resultados satisfatórios, obtendo valores de 76,4% e 82,2% respectivamente. Pode-se afirmar que as classes mais afetadas pelo fogo são a Formação Campestre, Formação Florestal e Formação Savânica. Percebe-se também que as maiores quantidades de focos de incêndios pertencem as classes mencionadas acima, sendo a formação campestre a mais próxima a áreas antrópicas, como trilhas e estradas, podendo inferir que a mesma possui origem antrópica. Sobre a origem dos focos de incêndio, não foi possível concluir se os incêndios se iniciaram em área externa ou interna do *buffer* do PEEA. Conclui-se que aproximadamente 30% da área do *buffer* do PEEA foi queimada em termos de alta severidade. Por fim, recomenda-se que sejam realizados mais estudos sobre o impacto ambiental, bem como medidas de recuperação dessas áreas, como reflorestamento e práticas de educação ambiental para os moradores, agricultores e pecuaristas locais.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com financiamento de bolsa de estudos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes), processos nº 88887.686 172/2022-00, 88887.686165/2022-00 e 88887.482118/2020-00.

6. REFERÊNCIAS

- [1] GRÉGOIRE, J. M. et al. Effect of land-cover change on Africa's burnt area. *International Journal of Wildland Fire*, v. 22, n. 2, p. 107–120, 2013. DOI 10.1071/WF11142.
- [2] Y. J. Kaufman, et al. Fire and smoke observed from the earth observing system MODIS instrument - Products, validation, and operational use, *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, pp.1765-1781, 20 abr. 2003.
- [3] IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/prevfogo>>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- [4] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jov%20ens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>>. Acesso em: 27 set. 2022.
- [5] IBGE. Rebanho de Bovinos (Bois e Vacas) no Brasil | IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>>. Acesso em: 27 set. 2022.
- [6] CESAR, G. Ecoa- Ecologia e Ação. Disponível em: <<https://ecoa.org.br/queimadas-suas-causas-e-consequencias>>. Acesso em: 14 maio. 2022.
- [7] CAPELLA Z. D et al. Detecção de queimadas no Pantanal a partir de classificação orientada a objeto e informações multiespectrais de sensoriamento remoto. In Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres, MT, 16-20 de outubro 2010 Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 800 800 -808, 2010.
- [8] PEREIRA, J. et al. Remote sensing of burned areas: A review. A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires Special Departamento de Geodrafia, Universidad de Alcal, 127-184. 1997.
- [9] A. Arantes Pereira et al. Spatial distribution analysis of burned areas through the K-Ripley function, *Scientia ForeStalis*, v. 100, pp. 445-455, 2013.
- [10] ROUSE, R. W. H.; HAAS, J. A. W.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. 1973.
- [11] KEY, C. H.; BENSON, N. C. The Normalized Burn Ratio (NBR): A Landsat TM radio-metric measure of burn severity. U.S. Department of the Interior, Northern Rocky Mountain Science Centre. 1999.
- [12] MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the de-lineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, v. 17, n. 7, p. 1425–1432, 1996.
- [13] GAO, B.-C. NDWI – A normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vege-tation Liquid Water from Space. ©Elsevier Science Inc, 1996.
- [14] KEY, C. H.; BENSON, N. C. LA-1 Landscape Assessment (LA) Sampling and Analysis Methods. FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System; Lutes, DC, Keane, RE, Caratti, JF, Key, CH, Benson, NC, Sutherland, S., Gangi, LJ, Eds, 2005.
- [15] MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação. 2001.