

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

Detecção automática de cicatrizes de queimadas e estimativa de emissões de gases de efeito estufa na APA Chapada dos Guimarães utilizando imagens de satélite

Robson Brito Santos¹, Igor Luiz Berti Silva², Thiago Statella³

¹ Graduando em Ciências da Computação. IFSP-PEP. Bolsista Cnpq. E-mail: robson.santos@aluno.ifsp.edu.br

² Graduando em Ciências da Computação. IFSP-PEP. E-mail: igorluizb.silva@gmail.com

³ Doutor em Ciências Cartográficas. IFSP-PEP. E-mail: t.statella@gmail.com

Áreas de conhecimento (Tabela CNPq): 1.07.00.00-5 GeoCiências; 1.03.00.00-7 Ciência da Computação.

RESUMO: Incêndios florestais são recorrentes na Área de Preservação Permanente da Chapada dos Guimarães – MT. Além de afetarem significativamente os ciclos biogeoquímicos, outro motivo de preocupação é a liberação de gases de efeito estufa pela queima da biomassa, tais como CO₂, CH₄ e N₂O. Diante deste cenário, objetivou-se criar um sistema computacional para a detecção de cicatrizes de queimadas e mensuração da quantidade de gases liberados de forma automática. A metodologia se apoia no cálculo de índices espectrais e de operação de fatiamento de geocampo numérico para identificar pixels de queimadas em imagens de satélite. O sistema encontra-se operacional e monitora de maneira constante o aparecimento de novos focos de incêndio na área de estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto; Detecção de incêndios; Gases de efeito estufa.

Automatic detection of fire scars and estimation of greenhouse gas emissions in the APA Chapada dos Guimarães using satellite images

ABSTRACT: Forest fires are recurrent in the Chapada dos Guimarães Permanent Preservation Area – MT. In addition to significantly affecting biogeochemical cycles, another cause for concern is the release of greenhouse gases by the burning of biomass, such as CO₂, CH₄ and N₂O. Given this scenario, the objective of this work was to create a computer system for the detection of fire scars and measurement of the amount of gases released by them automatically. The methodology is based on the calculation of spectral indices and numerical continuous field slicing operation to identify burning pixels in satellite images. The system is operational and constantly monitors the appearance of new fire outbreaks in the study area.

KEYWORDS: Remote Sensing; Burn detection; Greenhouse gases.

INTRODUÇÃO

A Área de Preservação Ambiental (APA) do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães foi criada em 1995 pelo Decreto 537 (21/11/1995). Sob responsabilidade do estado do Mato Grosso, a APA estende-se por 251.848 hectares que abrangem os municípios de Cuiabá (35,7%), Campo Verde (1,6%), Santo Antônio do Leverger (11%) e Chapada dos Guimarães (51,7%). Completamente inserida no bioma Cerrado, a área de preservação serve de habitat para várias espécies ameaçadas de

extinção (Machado et al., 2004), é marcada por uma grande diversidade de relevo e faz parte da bacia hidrográfica do Alto Paraguai, além de abrigar nascentes do rio Cuiabá, um dos principais formadores do Pantanal Mato-grossense. Entre as fitofisionomias encontradas no parque citam-se a mata ciliar, mata de galeria, mata seca, cerradão, cerrado sentido restrito (cerrado denso, cerrado típico, cerrado rupestre), campo sujo, campo limpo, vereda e palmeiral (Sano et al., 2008).

Muito embora as formações típicas de Cerrado sejam bem adaptadas a queimadas, o Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (ICMBio, 2009) cita o fogo como uma das principais ameaças à vegetação da região, principalmente quando de origem criminosa. Especialmente na época de seca, as queimadas não naturais podem alterar a estrutura e composição florística da vegetação de modo drástico (Arruda et al. 2016). Além disso, incêndios como o ocorrido em 2019, que destruiu uma área de cerca de 4.000 hectares (segundo o ICMBio), podem provocar danos indiretos, como erosão, perda de fertilidade do solo e destruição da fauna

De acordo com o ICMBio (2009), grandes incêndios, envolvendo áreas de até 30.000 hectares (como o ocorrido em 1994, que atingiu cerca de 90% do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães), têm frequência anual alarmante. Com relação ao período de ocorrência, grande parte dos focos de incêndio (98%) são registrados entre os meses de julho a outubro, com maior incidência em setembro (45% do total) e agosto (41% do total). Tendo em vista que a maioria dos focos registrados no parque ocorrem na época seca e são oriundos de causas antrópicas, percebe-se a ameaça que este fator representa para a vegetação e a fauna, alterando os processos ecológicos naturais.

MATERIAL E MÉTODOS

De maneira geral, o método adotado consiste na construção de um banco de imagens contendo cenas da região de estudo, na detecção de áreas queimadas, no cálculo de emissão de gases ao longo do tempo e na análise dos resultados, conforme o fluxograma apresentado na figura 1. As etapas de acesso, download, importação e processamento de imagens orbitais para identificação de cicatrizes de queimada e quantificação de emissões de gases de efeito estufa foram automatizadas utilizando rotinas escritas na linguagem Python, integradas ao Sistema de Informações Geográficas (SIG) GRASS (Geographical Resources Analysis Support System), um software livre disponível sob a licença GNU General Public License (GPL). Trata-se de um SIG que combina ferramentas de processamento de dados matriciais e vetoriais com modelagem espacial e visualização.



FIGURA 1. Fluxograma de execução.

A plataforma orbital adotada foi o Sentinel-2, da Agência Espacial Europeia, composto de dois satélites (A e B, lançados em 2015 e 2021, respectivamente), capazes de adquirir dados em 13 bandas espectrais com resolução espacial de até 10 metros (por meio de seus sensores MSI - MultiSpectral Instrument), e com resolução temporal de cinco dias, o que permite o monitoramento de ocorrências de incêndios na área de estudo. As imagens Sentinel-2 utilizadas têm nível de processamento L2A, o mais alto disponível, no qual os dados passam por correção geométrica e radiométrica, são convertidos em reflectância e corrigidos de efeitos de espalhamento e absorção atmosféricos e de efeitos causados pelo relevo. Os atributos de cada pixel nessas imagens podem ser considerados, portanto, reflectâncias de

superfície. As bandas usadas foram: B4 (vermelho), B8 (infravermelho próximo) e B12 (infravermelho de ondas curtas), obtidas no repositório de imagens Copernicus Data Space Ecosystem (CDSE) via API (Application Programming Interface) OData. Para a cobertura da área de estudo são necessárias duas cenas em cada órbita (dois quadrângulos), que são mosaicadas e reamostradas para a resolução espacial de 10 metros no SIG.

A identificação de pixels candidatos à classe de informação de cicatrizes de queimada é feita com base no índice de queimadas Normalized Burn Ratio (NBR), utilizado para realçar as áreas vegetadas que sofreram incêndio, definido conforme a equação 1.

$$NBR = \frac{\rho_{B8} - \rho_{B12}}{\rho_{B8} + \rho_{B12}} \quad (1)$$

Em que ρ_{B8} e ρ_{B12} são as reflectâncias de superfície nas bandas do infravermelho próximo e de ondas curtas, respectivamente.

Espera-se que a reflectância na banda do infravermelho próximo seja drasticamente reduzida e que a reflectância no infravermelho de ondas curtas aumente para pixels de cicatrizes de queimadas. Assim, a equação 1 produz valores negativos para pixels candidatos à classe de cicatrizes de queimada. Apesar disso, falsos positivos podem ocorrer em áreas de solo exposto bem drenados, que apresentam frequentemente valores negativos no NBR. Para reduzir a ocorrência de falsos positivos, apenas pixels com valores $NBR < -0,2$ foram considerados como pertencentes a áreas incendiadas. O conjunto de pixels que atendem a esta restrição é usada para calcular a área total queimada.

Para o cálculo de emissões foram seguidas as recomendações do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guideline 2019 (volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, capítulo 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories, equação 2.27, página 2.50) para forest land remaining forest land, o qual modela a quantidade (massa) de gases de efeito estufa FG gerada por qualquer tipo de incêndio (superficial, copa ou completo) em toneladas como:

$$FG = A \cdot M_B \cdot C_F \cdot G_{ef} \cdot 0,001. \quad (2)$$

Em que A é a área queimada em hectares (ha), M_B é a massa de combustão disponível em toneladas/hectare, C_F é o fator de combustão (adimensional e dependente do tipo de vegetação) e G_{ef} é o fator de emissão de matéria seca queimada.

O fator de combustão é uma medida da proporção do material combustível que é realmente queimado, o qual varia em função do tamanho e arquitetura da massa combustiva, do conteúdo de umidade do material e do tipo de incêndio. O fator de emissão dá a quantidade de emissão um gás específico por unidade de matéria seca queimada, o que pode variar em função do conteúdo de carbono da biomassa e da completude da combustão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas 58 imagens no período de 03/09/2023 até 03/08/2024. O algoritmo identificou a presença de cicatrizes de incêndio dentro da APA nas cenas dos dias 09, 19 e 29/06/2024, 14/07/2024 e 03/08/2024. A figura 2 exibe a evolução de regiões incendiadas entre os dias 30/05/2024 e 29/06/2024. A cena completa foi adquirida em 29/06/2024. Em (A e D) vemos a data prévia ao incêndio em 30/05/2024 e 19/06/2024. Um incêndio ativo em um dos focos de queimadas pode ser visto em (B e E), na data de 14/06/2024 e 24/06/2024. Em (C e F), recorte da imagem adquirida em 29/06/2024, vemos a expansão máxima das áreas queimadas nos recortes selecionados. A tabela 1 resume os resultados das áreas queimadas e emissões de gases de efeito estufa para as datas em que as cicatrizes foram máximas. As precisões para as estimativas são de $\pm 95,01$, para o CO_2 , $\pm 1,75$ para o CH_4 e $\pm 1,5$ para o N_2O , em unidades de toneladas. Ressalta-se que nem todos os focos de incêndio ocorreram de forma simultânea. O sistema foi implementado em ambiente Linux e faz a verificação da presença de áreas queimadas, estimativa de gases de efeito estufa liberados e produz resultados na forma de mapas com pixels que pertencem a áreas queimadas e tabelas e gráficos com quantidades de gases de efeito estufa liberados. Estes dados, além dos índices espectrais calculados (NBR), ficam armazenados no banco de dados do SIG e são exportados para formatos GeoTiff e CSV.

Tabela 1 – Áreas queimadas e respectivas emissões.

| Data | Área (ha) | CO ₂ (t) | CH ₄ (t) | N ₂ O (t) |
|------------|-----------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 09/06/2024 | 50,8 | 376,93 | 0,54 | 0,05 |
| 19/06/2024 | 102,52 | 760,68 | 1,08 | 0,10 |
| 29/06/2024 | 137,28 | 1.018,59 | 1,45 | 0,13 |
| 14/07/2024 | 13,68 | 101,5 | 0,14 | 0,01 |
| 03/08/2024 | 229,37 | 1.701,88 | 2,43 | 0,22 |



FIGURA 2. Exemplo de evolução de um incêndio na área de estudo.

CONCLUSÕES

O sistema para detecção de queimadas encontra-se em operação e mostrou bom desempenho segundo análise qualitativa de imagens selecionadas da área de estudo. Foram analisadas 58 imagens no período de 03/09/2023 até 03/08/2024. O algoritmo identificou a presença de cicatrizes de incêndio dentro da APA nas cenas dos dias 09, 19 e 29/06/2024, 14/07/2024 e 03/08/2024. Um total de 533,65 ha foram queimados, liberando 3.959,58 t de CO₂, 5,64 t de CH₄ e 0,51 t de N₂O.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Robson Brito Santos: Coleta de dados, análise de dados, discussão dos resultados, elaboração do manuscrito auxílio na construção do algoritmo.

Igor Luiz Berti Silva: Construção do algoritmo, coleta de dados, análise de dados, discussão dos resultados.

Thiago Statella: Professor Dr. Orientador dos alunos Robson Brito Santos e Igor Luiz Berti Silva, discussão de resultados, auxílio na construção do algoritmo, auxílio na elaboração do manuscrito.

AGRADECIMENTOS

A toda equipe do IFSP campus Presidente Epitácio que auxiliaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, E a Cnpq pelo suporte e auxílio financeiro contribuído para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, W. S.; OLDELAND, J.; PARANHOS FILHO, A. C.; POTT, A.; CUNHA, N. L.; ISHII, I. H.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Inundation and fire shape the structure of riparian forests in the Pantanal, Brazil. *PLOS ONE*, v. 11, n. 6, p. e0156825, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156825>. Acesso em: 09 ago. 2024.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães. Ministério do Meio Ambiente, 2009. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/parnaguimaraes/images/stories/downloads/capa_apresentacao_e_indice.pdf. Acesso em: 09 ago. 2024.

IPCC. 2019 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa). Disponível em: <http://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. **Conservação Internacional, Brasília, DF**, 2004.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. Cerrado: ecologia e flora. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, v. 1, 2008.