

ANÁLISE DE FOCOS DE CALOR E ÁREA QUEIMADA NO ESTADO DO ACRE

Sonaira Souza da Silva ¹, Philip Martin Fearnside ², Liana Anderson ³, Antonio Willian Flores de Melo ¹, Celso Henrique Leite Silva Junior ⁴, Foster Brown ^{1,5}, Fabiano Morelli ⁶

¹Universidade Federal do Acre, Laboratório de Geoprocessamento Aplicado ao Meio Ambiente (UFAC/Labgama), Estrada Canela Fina, km 12, Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil, cep 69980-000, sonaira.silva@ufac.br, willian.flores@ufac.br; ²Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av. André Araújo, 2936, Aleixo, Manaus, Amazonas, cep 69060-001, pmfearn@inpa.gov.br; ³Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São José dos Campos - SP, cep 12247-016; liana.anderson@cemaden.gov.br; ⁴University of California Los Angeles (UCLA), CA 90095, USA, celsohlsj@gmail.com e ⁵Woodwell Climate Research Center, 149 Woods Hole Road Falmouth, MA, USA, fbrown@woodwellclimate.org e ⁶Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Estrada Dr. Altino Bondensan, 500, Eugênio de Melo, São José dos Campos - SP, cep 12247-016; fabiano.morelli@inpe.br

RESUMO

A detecção e mapeamento de queimadas e incêndios florestais tem registrados grandes avanços nos últimos anos. Os focos de fogo ativo ainda são a mais importante fonte para identificação rápida e em tempo quase-real. Neste estudo analisamos o número de focos de fogo ativo com áreas de queimadas agrícolas (fogo em áreas recém-desmatadas e agricultura consolidada) e incêndios florestais. Os resultados mostram que cerca de 3-18% dos focos coincidem com polígonos de queimadas e incêndios florestais, e quando analisado raio de influência do foco (1 km) a coincidência aumenta para 60-82%. Em média 30% dos polígonos mapeados podem estar sendo omitidos quando analisado somente focos de calor. Focos de fogo ativo e mapeamento de cicatrizes de queimadas devem ser utilizando de forma conjunta para ter melhor detecção e compreensão.

Palavras-chave — fogo ativo, MODIS, Amazônia.

ABSTRACT

The detection and mapping of wildfires and forest fires has made great advances in recent years. Active fires are still the most important source for rapid, near-real-time identification. In this study, we analyzed the number of active fires with areas of agricultural burning (fire in newly deforested areas and consolidated agriculture) and forest fires. The results show that about 3-18% of the outbreaks coincide with fire polygons and forest fires, and when the radius of influence of the outbreak (1 km) is analyzed, the coincidence increases to 60-82%. On average 30% of mapped polygons may be omitted when analyzing only hot spots. Active fire outbreaks and mapping of burn scars should be used together for better detection and understanding.

Key words — Active fire, MODIS, Amazon.

1. INTRODUÇÃO

As queimadas e incêndios florestais sempre foram observados como ponto de preocupação nos ecossistemas terrestres [1]. Na Amazônia, um bioma que naturalmente não é adaptado ao fogo e, portanto, não faz parte de sua dinâmica natural [2], [3], tem sido registrado um aumento nas variações interanuais de queimadas influenciadas por fatores antrópicos (desmatamento, manejo de áreas agrícolas, incêndios) e naturais (secas extremas ocasionadas pelo aquecimento anômalo dos oceanos) [4–6].

A detecção e mapeamento de queimadas e incêndios florestais tem registrado grandes avanços nos últimos anos, especialmente como o início da geração de imagens pelo sensor VIIRS (Visible Infrared Imager Radiometer Suite) com resolução espacial de 375 m que foi lançado a bordo do satélite Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP). Entretanto, para monitoramento e análise em escala de tempo maior, comparáveis anualmente, os focos de fogo ativo do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) é o mais recomendado. Além dos dados de focos de fogo ativo, outros produtos para mapeamento de área queimada têm sido elaborados, como por exemplo, pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) com produto de área queimada com resolução de 1 km, pelo Projeto Mapbiomas com produto de área queimada com resolução espacial de 30 m, e pelo Projeto Servir Amazonia com produto automático gerado através de dados VIIRS [6–9].

Mesmo com os muitos avanços técnico-científicos, o mapeamento e caracterização das áreas afetadas pelo fogo ainda é um desafio perante a necessidade de detecção das queimadas de forma rápida e com alta frequência (melhoria na resolução temporal), também no detalhamento da representação da área (resolução espacial) e da distinção entre os tipos de fogo, principalmente entre queimadas agrícolas e incêndios florestais (fogo na floresta em pé) [10–13]. Iniciativas pontuais, como registrado no Estado do Acre, tem gerado produtos anuais que diferenciam esses dois tipos de fogo, podendo contribuir com o avanço das técnicas e dos

produtos desta área de aplicação do Sensoriamento Remoto [5], [14].

Para a detecção rápida e diária da ocorrência de fogo ativo, os dados disponibilizados pelo INPE são uma forma eficiente para o monitoramento. Através da série de dados históricos processados e disponibilizados pelo INPE é possível ter um entendimento sobre a sazonalidade e comparações rápidas entre meses e anos desde 1998 até a atualidade [1].

Entretanto, dados de focos de fogo ativo apresentam limitações para o mapeamento da área atingida pelo fogo, principalmente incêndios florestais. Os focos muitas vezes omitem os incêndios florestais devido a cobertura do dossel da floresta, pois as técnicas tradicionais são focadas na resposta espectral das cinzas e do carvão resultantes da queima da vegetação. Esses dados são corriqueiramente colocados em discussão por alegações de superestimativas em relação à área afetada pelo fogo [15], [16].

Neste contexto, este trabalho visa analisar o número de focos de fogo ativo com o número de áreas de queimadas agrícolas (fogo em áreas recém desmatadas e em área de agricultura consolidada) e incêndios florestais no Estado do Acre para os anos de 2005 e 2021, testando as hipóteses de subestimativa ou superestimativa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado no Estado do Acre, localizado na região Sul-Occidental da Amazônia Brasileira (Figura 1). O estado possui uma área total de 16.412.410 ha e uma área desmatada até 2021 de 2.477.988 ha (representando cerca de 15%) [17], [18]. O Acre passa por um momento de forte expansão de sua fronteira agrícola por conta de políticas estaduais e federais de desenvolvimento econômico agrícola, como a Zona de Desenvolvimento Sustentável AMACRO [14], [19], [20].

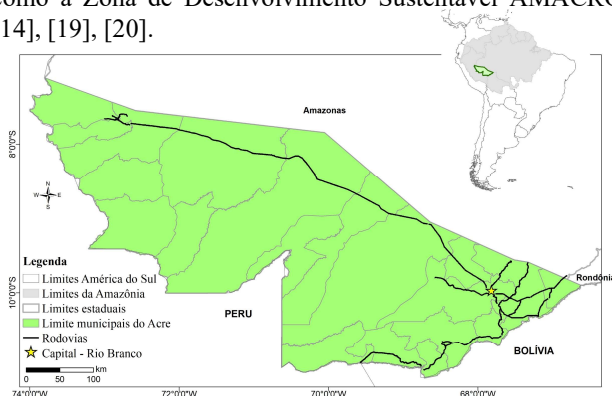


Figura 1. Área de estudo, Estado do Acre-Brasil.

2.2. Dados e análises

Os dados foram analisados para os anos de 2005 e 2021, dois anos extremos em termos de proporção da área afetada pelo

fogo de queimadas agrícolas e incêndios florestais no Estado do Acre. Os dados de queimadas agrícolas e incêndios florestais foram gerados no âmbito do Projeto Acre Queimadas pelo Laboratório de Geoprocessamento Aplicado ao Meio Ambiente da Universidade Federal do Acre.

O mapeamento de queimadas agrícolas (fogo em desmatamentos recentes e em áreas agrícolas consolidadas de agricultura e pastagens) foi documentado por Silva et al. [14]. Os dados foram gerados com base na classificação supervisionada pelo algoritmo de mínima-distância de Landsat 5 e 8 (ponto/orbita - 01/67, 02/66, 02/67, 02/68, 02/69, 03/66, 03/67, 04/65, 04/66, 05/65, 05/66, 06/65), utilizando imagens dos meses de julho a novembro de cada ano (imagens de 02/07/2005 a 05/11/2005, e 12/04/2021 a 01/11/2021).

O mapeamento dos incêndios florestais foi documentado por Silva et al. [5]. Os incêndios florestais foram definidos como aqueles em que as copas das árvores foram direta ou indiretamente afetadas pelo fogo a ponto de causar impacto detectável nas imagens ópticas de satélite. Foram utilizadas imagens Landsat 5 e 8, processadas no software CLASlite, que utiliza um modelo de mistura espectral associado a uma biblioteca espectral robusta para gerar frações que representam os principais componentes biofísicos da paisagem em um pixel [21].

Para os dados de focos de calor (fogo ativo) foi selecionado o sensor MODIS a bordo dos satélites AQUA e TERRA (resolução espacial de 1 km a nadir) para o período de 01 de julho a 31 de outubro dos anos de 2005 e 2021.

As análises foram feitas em duas etapas de sobreposição, Primeiro foi realizado o cruzamento espacial dos pontos de coordenadas dos focos com os polígonos de áreas de queimadas agrícolas e áreas de incêndios florestais, e posteriormente cruzamento espacial dos focos de fogo ativo considerando sua área de influência em função de sua resolução espacial nominal da imagem de origem do foco (buffer de 1 km).

3. RESULTADOS

O Estado do Acre teve 871 mil ha afetados pelo fogo em 2005 (520 mil ha de queimadas agrícolas – 27% da área desmatada total do Estado; 351 mil ha de incêndios florestais – 2% da área de floresta total do Estado), e 251 mil ha em 2021 (250 mil ha de queimadas agrícolas – 10% da área desmatada total do Estado; 1,6 mil ha de incêndios florestais – <0,1% da área de floresta total do Estado) (Tabela 1).

A quantidade de focos de fogo foi analisada no período de 01 de julho a 31 de outubro para ambos os anos de comparação. Em 2005 foram detectados 23.109 focos de fogo ativo e em 2021 foram detectados 10.539 focos. Analisando somente o número de focos de calor do satélite de referência (Aqua Tarde), em 2005 foram registrados 15.840 focos, o que representa 99% do total anual apenas em 4 meses, sendo agosto de 2005 o mês com recorde histórico no estado do Acre. Em 2021, analisando o satélite de referência (Aqua

Tarde), foram registrados 8.718 focos para o período de 01 de julho a 31 de outubro que representa 98% do total anual.

Considerando a ocorrência dos focos de fogo dentro dos polígonos de área queimada, foi observado que em 2005 a intersecção foi pequena, tanto para as queimadas agrícolas como incêndios florestais. Cerca de 6% do número de polígonos de queimadas agrícolas coincidiu com pelo menos um foco de fogo ativo e 18% do número de polígonos de incêndios florestais coincidiram com pelo menos um foco de fogo ativo em 2005.

Em 2021, cerca de 3% do número de polígonos de queimadas agrícolas coincidiu com pelo menos um foco de

fogo ativo e 3% do número de polígonos de incêndios florestais coincidiram com pelo menos um foco de fogo ativo.

Quando analisamos o raio de influência do foco de fogo ativo em função de sua resolução espacial, em 2005 o percentual de coincidência é 67% do número de polígonos de queimadas agrícolas com pelo menos um foco de calor; e 82% do número de polígonos de incêndios florestais coincidiram com pelo menos um foco de fogo ativo. Em 2021, 58% do número de polígonos de queimadas agrícolas coincidiram com pelo menos um foco de fogo ativo e 71% do número de polígonos de incêndios florestais coincidiram com pelo menos um foco de calor.

	2005		2021	
	Queimada	incêndio florestal	queimada	incêndio florestal
Área cicatriz (ha)	520.542	350.927	250.158	1.639
Número de Polígonos	31.153	4.880	41.431	157
Número total de focos de calor		23.109		10.539
Número de Cicatrizes com focos de calor	1.844 (6%)	899 (18%)	8.641 (3%)	4 (3%)
Número de Cicatrizes com raio do foco de calor	20.999 (67%)	4.018 (82%)	24.021 (58%)	111 (71%)

Tabela 1. Detecção de focos de fogo ativo que coincidem com polígonos de queimadas agrícolas e incêndios florestais mapeados no Estado do Acre

4. DISCUSSÃO

A detecção direta de focos de fogo ativo a partir de imagens de satélites que coincidam diretamente com o mapeamento de área queimada, tanto agrícola como de incêndios florestais é baixa para todos os anos (3 a 18%), resultado esperado já que geograficamente é o foco de fogo é o centroide de um pixel de 1 km. Resultado semelhante foi também identificado por outros estudos [22]. Quando considerado o raio do foco de fogo ativo, a coincidência aumenta para 60 a 82%, mostrando a eficiência na detecção do fogo.

Em média 30% dos polígonos mapeados como queimadas agrícolas e incêndios florestais não tiveram coincidência com o raio de detecção dos focos de fogo ativo, registrando subestimativa do impacto do fogo na Amazônia acreana. A detecção dos focos de fogo pode ser influenciada duração do fogo ativo, uma vez que o satélite passa somente uma vez ao dia no mesmo ponto. Nuvens e fumaça também podem impedir a detecção, e para o caso de incêndios florestais que afetam o sub-bosque da floresta, o dossel da floresta dificulta a detecção do calor do fogo.

Estes resultados demonstram que o problema do fogo é maior e mais preocupante do que registrado pelos focos de fogo ativo [23], e que pode influenciar diretamente as ações de planejamento para prevenção e controle de queimadas, estimativas de emissão de gases de estudos e estimativa de impactos ambientais, sociais e ambientais [24–27]. O monitoramento das queimadas e incêndios florestais necessitam do monitoramento conjunto dos focos de fogo ativo e do mapeamento das áreas de cicatrizes deixadas pelo

fogo, utilizados para alertas e identificação de área críticas de forma rápida e em tempo hábil.

Os incêndios florestais foram mais bem detectados pelos focos de fogo ativo considerando o raio da resolução espacial. Entretanto, a densidade de focos de fogo ativo dentro da área mapeada e no entorno foi baixa, em comparação com as áreas de queimadas agrícolas (Figura 2). Em regiões de baixa fragmentação florestal, como na Reserva Extrativista Chico Mendes, alguns polígonos de incêndios florestais com mais de 400 ha não tiveram nenhum foco de fogo ativo. Nestes casos é importante o monitoramento contínuo de imagens como Landsat e Sentinel para verificar incêndios florestais.

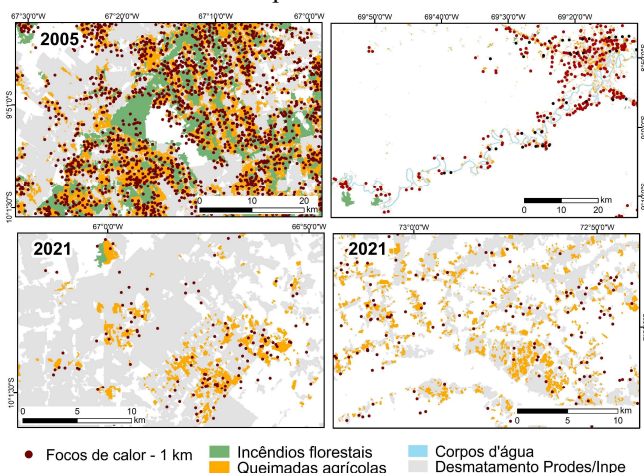


Figura 2. Visualização da coincidência espacial dos focos de calor e mapeamento de áreas de queimada agrícola e incêndios florestais no Estado do Acre.

5. CONCLUSÕES

A detecção das queimadas e incêndios florestais tem como principal informação os focos de fogo ativo disponibilizados pelo INPE. Entretanto, é importante avançar no mapeamento de área queimada com resolução espacial mais detalhada para compreender os vetores que impulsionam o uso do fogo, tomada de decisão e no desenvolvimento de políticas públicas eficientes.

Nossos resultados mostram que há subestimativa do número de áreas queimadas no Estado do Acre, quando utilizado somente focos de fogo ativo. O monitoramento das queimadas e incêndios florestais necessitam do monitoramento conjunto dos focos de fogo ativo e mapeamento das áreas de queimadas agrícolas e incêndios florestais. O monitoramento do fogo somente por focos de fogo ativo pode afetar ações de planejamento de prevenção e controle de queimadas, estimativas de emissão de gases de efeito estufa, estimativas de impactos ambientais, sociais e ambientais.

A continuidade de estudos com este, considerando maior período e com outros sensores de focos de fogo ativo, podem contribuir para a detecção e mapeamento de queimadas e incêndios florestais na Amazônia.

6. AGRADECIMENTOS

Este estudo teve apoio do CNPq (Projeto Acre Queimadas, 442650/2018-3/311103/2015-4) e Projeto IAI MAPFIRE.

7. REFERÊNCIAS

- [1] B. Zheng *et al.* Increasing forest fire emissions despite the decline in global burned area, *Science Advances*, v. 7, 1 eabh2646, 2021.
- [2] M. V. F. Silveira *et al.* Amazon fires in the 21st century: The year of 2020 in evidence, *Global Ecology and Biogeography*, v. 31, 2026–2040, 2022.
- [3] V. R. Pivello *et al.* Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies, *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2021.
- [4] L. E. O. C. Aragão *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions, *Nature Communications*, v. 9, 536, 2018.
- [5] S. S. Silva *et al.* Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon, *Forest Ecology and Management*, v. 424, 312–322, 2018.
- [6] A. A. C. Alencar *et al.* Long-Term Landsat-Based Monthly Burned Area Dataset for the Brazilian Biomes Using Deep Learning, *Remote Sensing*, v. 14, n. 11, 2022.
- [7] INPE. Estimativa de área queimadas com 1 km de resolução espacial. INPE, 2020.
- [8] W. Schroeder *et al.* The New VIIRS 375m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment, *Remote Sensing of Environment*, v. 143, 85–96, 2014.
- [9] N. Andela en D. C. Morton. Painel de controle da Amazônia: rastreamento de incêndios individuais na região amazônica. Nasa/Servir Amazônia, 2022.
- [10] D. C. Morton *et al.* Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, 2013.
- [11] R. I. Barbosa en P. M. Fearnside. Incêndios na Amazônia Brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento “El Niño” (1997/98), *Acta Amazonica*, v. 29, 513–534, 1999.
- [12] L. O. Anderson *et al.* Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought, *Global Biogeochemical Cycles*, v. 29, 1739–1753, 2015.
- [13] Y. E. Shimabukuro *et al.* Mapping Burned Areas of Mato Grosso State Brazilian Amazon Using Multisensor Datasets, *Remote Sensing*, v. 12, 22, 2020.
- [14] S. S. da Silva *et al.* Burning in southwestern Brazilian Amazonia, 2016–2019, *Journal of Environmental Management*, v. 286, 112189, 2021.
- [15] L. Pinheiro. Mourão diz que satélite aponta pedra como foco de calor, *GI*, 2020. <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2020/09/24/mourao-diz-que-satelite-aponta-pedra-como-foco-de-calor-especialista-do-inpe-diz-que-sistema-de-queimadas-elimina-erros.ghtml>
- [16] V. V. da Silva, G. Pereira, en F. D. S. Cardozo. Avaliação dos erros de detecção dos focos de calor estimados pelo Sensor GOES Imager, *Geosaberes*, v. 10, 1, 2019.
- [17] Inpe. Desmatamento na Amazônia Legal - PRODES. Inpe, 2022.
- [18] IBGE. Municipal boundaries limits. 2022.
- [19] V. V. da Silva en R. G. da C. Silva. Amazônia, Fronteira e Áreas Protegidas: dialética da expansão econômica e proteção da natureza, *Ambiente & Sociedade*, v. 25, 2022.
- [20] I. C. G. Vieira, P. M. de Toledo, en H. Higuchi. A Amazônia no antropoceno, *Ciência e Cultura*, v. 70, 56–59, 2018.
- [21] G. P. Asner *et al.* Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite, *Journal of Applied Remote Sensing*, v. 3, 1–24, 2009.
- [22] A. A. Pereira *et al.* Validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM, *CERNE*, v. 18, 335–343, 2012.
- [23] E. E. Maeda *et al.* Fire risk assessment in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and change vector analysis, *Applied Geography*, v. 31, 76–84, 2011.
- [24] T. Fonseca Morello *et al.* Predicting fires for policy making: Improving accuracy of fire brigade allocation in the Brazilian Amazon, *Ecological Economics*, v. 169, 106501, 2020.
- [25] S. S. Amaral *et al.* CO₂, CO, hydrocarbon gases and PM_{2.5} emissions on dry season by deforestation fires in the Brazilian Amazonia, *Environmental Pollution*, v. 249, 311–320, 2019.
- [26] C. H. L. Silva Junior *et al.* Amazonian forest degradation must be incorporated into the COP26 agenda, *Nature Geoscience*, v. 14, 634–635, 2021.
- [27] W. A. Campanharo *et al.* Translating fire impacts in southwestern Amazonia into economic costs, *Remote Sensing*, v. 11, 764, 2019.