

SISTEMA DE INTELIGÊNCIA DO FOGO EM ÁREAS ÚMIDAS: UMA FERRAMENTA PARA A TOMADA DE DECISÕES SOBRE O MANEJO INTEGRADO DO FOGO

Liz B. C. Belém¹, Julia A. Rodrigues¹, Filipe L. M. Santos^{1,2}, Fábio Bolzan³, Leonardo F. Peres¹, Geraldo A. Damasceno Junior⁴, Fabio O. Roque⁴, Rafaela D. Nicola⁵, Áurea S. Garcia^{5,6}, Edmundo Dantez⁵, Julio Fernandes^{5,7}, Bruna Oliveira⁸, Renata Libonati¹

¹Departamento de Meteorologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, lizbarreto7@gmail.com, juliarodrigues@igeo.ufri.br, renata.libonati@igeo.ufri.br, leonardo.peres@igeo.ufri.br; ²Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora, Évora, Portugal, filmaiaass@gmail.com; ³Secretaria de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação, MS, Brasil, fabibolzan@gmail.com; ⁴Instituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, MS, Brasil, geraldodamasceno@gmail.com, roque.eco@gmail.com; ⁵Wetlands International Brasil, MS, Brasil, rafaela.nicola@wetlands-brazil.org, edmundo.dantez@wetlands-brazil.org; ⁶Mulheres em Ação no Pantanal, MS, Brasil, aureasgarcia@gmail.com; ⁷Development Planning Unit, University College London, Londres, Reino Unido, juliofernandes.geo@gmail.com; ⁸Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul, bruoliveira.bio@gmail.com.

RESUMO

O suporte operacional aos gestores e proprietários de terra é essencial para agilidade na autorização de queima controlada e tomada de decisões referentes ao manejo do fogo, a partir de condições ambientais favoráveis para a ocorrência de queima. Com este objetivo, foi desenvolvido o Sistema de Inteligência do Fogo em Áreas Úmidas (SIFAU), um sistema de boas práticas de manejo para proteção do bioma contra os incêndios, através de dados derivados de satélite criteriosamente selecionados. Esta ferramenta está inserida dentro da plataforma ALARMES/LASA, sendo possível ter produtos relacionados ao clima, ignição, biomassa disponível e prioridade de proteção. Ressalta-se, ainda, que tais produtos estão sendo utilizados por órgãos governamentais para supressão do fogo na maior área alagada do mundo, o bioma Pantanal.

Palavras-chave — SIFAU, MIF, gestão, fogo, Pantanal.

ABSTRACT

Operational support for managers and landowners is essential to speed up the authorization of controlled burns and decision-making on fire management based on environmental conditions favorable to the fire occurrence. To this end, the Fire Intelligence System in Humid Areas (SIFAU) was developed, a system of good management practices to protect the biome against fires, using carefully selected satellite data. This tool is part of the ALARMES/LASA platform and provides products related to climate, ignition, available biomass and protection priority. It is worth noting that these products are being used by governmental agencies to suppress fires in the world's largest flooded area, the Pantanal biome.

Key words — SIFAU, IFM, management, fire, Pantanal.

1. INTRODUÇÃO

A propagação e a intensidade dos incêndios na vegetação estão associadas a fatores ambientais como, cobertura vegetal, relevo, condições climáticas e tipo de combustível [1]. A frequência e a gravidade dos incêndios estão piorando em virtude dos impactos associados às mudanças climáticas antropogênicas e às alterações decorrentes da alteração do uso e do solo [2]. Nos últimos anos, o Pantanal observou um aumento nos incêndios, sofrendo perdas imensuráveis, para a fauna, flora, pecuária, turismo, indústria e saúde pública [3][4]. Como foi o caso de 2020, com mais de 30% de sua área consumida pelo fogo [3]. A erradicação do risco de incêndios enfrenta limitações, uma vez que suas causas e consequências são determinadas por interações complexas entre os âmbitos biofísico, climático e sociocultural, requerendo uma gestão fundamentada em ciência e capaz de se adaptar continuamente [5].

Neste contexto, há a necessidade de pesquisadores e gestores ao nível estadual e federal colaborarem com vista a desenvolverem uma estratégia de longo prazo para mitigar os danos dos incêndios no Pantanal, que leve todos os fatores em consideração, incluindo o manejo eficaz do fogo e políticas de proteção ambiental [3]. Uma das abordagens implementadas para mitigar incêndios é o Manejo Integrado do Fogo (MIF), que busca, entre seus objetivos, diminuir o acúmulo de biomassa seca e, assim, reduzir os riscos associados [6][7]. Para uma gestão eficiente, o MIF considera a ecologia do fogo e as condições socioeconômicas da região, incorporando a queima controlada e a queima prescrita como técnicas adicionais [8].

O sensoriamento remoto orbital é uma das ferramentas de monitoramento constante e eficaz que reduz as lacunas no gerenciamento e respostas nas análises dos avanços do fogo [9]. Dessa forma, os dados de sensoriamento remoto por satélite tornaram-se essenciais globalmente para o desenvolvimento da pesquisa e da gestão de incêndios na vegetação, além de ajudarem na elaboração de estratégias

confiáveis para minimizar seus efeitos [10]. Com essa abordagem, é possível realizar o MIF apoiado por geoinformação baseada em satélite sobre as condições do combustível, uso do solo e monitoramento de área queimada [11].

O uso dessas ferramentas de monitoramento é fundamental para fortalecer a gestão territorial, especialmente em áreas rurais que enfrentam riscos ambientais significativos, como os incêndios. Quando os proprietários rurais têm acesso a tecnologias que permitem o acompanhamento contínuo das condições ambientais e do uso do solo de suas propriedades e regiões em que vivem, eles ganham autonomia para tomar decisões informadas e adotar práticas preventivas. Essa autonomia não só facilita a gestão de suas propriedades, mas também acelera o processo de obtenção de licenças ambientais, ao proporcionar dados sólidos e transparentes sobre o cumprimento das exigências legais [12].

Neste sentido, este trabalho apresenta o Sistema de Inteligência do Fogo em Áreas Úmidas (SIFAU), desenvolvido para apoiar o planejamento e a gestão sustentável, oferecendo dados que ajudem na tomada de decisões sobre o uso do solo, conservação ambiental e manejo do fogo. O propósito é que as informações colaborem com o poder público e os proprietários rurais na detecção de áreas de risco que necessitam de manejo para prevenir incêndios.

2. MATERIAS E MÉTODOS

O SIFAU está inserido na plataforma ALARMES (www.alarmes.lasa.ufrj.br/platform/sifau) e é aplicado, atualmente, para o Pantanal sul-mato-grossense. Para a definição dos produtos do sistema, um grupo com 13 especialistas primeiramente priorizou métricas e indicadores seguindo *framework* com quatro critérios propostos por [13], sendo: relevância ecológica, significância e utilidade para o gerenciamento, capacidade de implementação e variabilidade de resposta. A partir da priorização, o grupo de trabalho convergiu para 3 grandes dimensões da estrutura do sistema: climática, manejo e proteção, onde um esforço adicional foi depositado na simplificação das informações com foco na funcionalidade e gestão do sistema.

Sendo assim, quatro produtos foram definidos: alerta de área queimada, previsão de perigo de fogo, uso e cobertura do solo e material combustível.

2.1. Alerta de Área Queimada (ignição)

Com resolução espacial de 500 m, os alertas de área queimada provenientes do Sistema ALARMES [14] estimam a localização e extensão da vegetação afetada pelo fogo (Figura 1a) nos últimos dois meses, categorizados em períodos de 1, 7, 15, 30 e 60 dias. Atualizados diariamente, auxiliam no monitoramento da evolução dos eventos em tempo quase-real [14].

2.2. Perigo de Fogo (clima)

A previsão de perigo meteorológico de fogo estima a probabilidade de uma ignição se tornar um incêndio de grandes dimensões (Figura 1b). Ela é caracterizada com base no Sistema Canadense *Forest Fire Weather Index* (FWI), composto por 6 componentes que caracterizam o teor da umidade do combustível e o comportamento relativo do fogo usando o efeito passado e presente do clima sobre os combustíveis [15][16]. Os diferentes índices são calculados diariamente utilizando variáveis meteorológicas (temperatura, umidade, intensidade de vento e precipitação acumulada) obtidas do Modelo *Global Forecast System* (GFS) dos *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) para as 12 horas locais no horizonte de 6 dias. Este índice é calibrado utilizando informação histórica de intensidade de fogo proveniente de satélite e possui resolução espacial de 25 km. Os níveis de perigo são classificados em baixo, moderado, alto, muito alto e extremo [17].

Para a determinação destas cinco classes, estimou-se a probabilidade de excedência de um limiar de energia liberada por um evento, caso este venha a ocorrer, recorrendo-se para tal, modelos estatísticos de extremos baseados em distribuições lognormais e generalizadas de Pareto (GPD) [18].

2.3. Uso e Cobertura do Solo (prioridade de proteção)

O produto de uso e cobertura do solo informa a distribuição dos tipos de superfície, que podem ser de vegetação nativa ou de áreas convertidas para atividades humanas, como agropecuária, expansão urbana etc, a uma resolução espacial de 30 m (Figura 1c). Ajuda a traçar estratégias para proteger a vegetação mais sensível ao fogo e identificar as áreas adaptadas ao fogo. É atualizado anualmente para coleção e ano mais recentes [19].

2.4. Material Combustível (biomassa disponível)

O mapa de material combustível mostra a biomassa superficial disponível para queima e é atualizado mensalmente (Figura 1d). Esta informação auxilia na análise de continuidade/descontinuidade de combustível, que pode atuar tanto como propagador de fogo, quanto como aceiro. Possui limitação em áreas de cobertura parcial ou total de árvores, pois observam as copas em vez do solo.

Este produto é gerado com resolução espacial de 100m pelo LASA-UFRJ, utilizando metodologia baseada no trabalho de [11].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O SIFAU é o resultado da parceria entre a Wetlands International Brasil e o Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais (LASA) da Universidade Federal do

Rio de Janeiro (UFRJ), com apoio do projeto PELD-NEFAU-UFMS, que atualmente trabalha com o LASA em ajustes finos do sistema. Toda informação é disseminada de forma livre e gratuita. Ao acessar o sistema, o usuário tem a possibilidade de inserir áreas de interesse em arquivos no formato json ou geojson, e visualizá-las no contexto do conjunto de informações (Figura 1). Outra funcionalidade presente é a sobreposição de camada auxiliar, como, por exemplo, municípios. Por fim, é possível fazer o download dos mapas no formato de PDF com todos os produtos observados on-line.

Este sistema tem sido uma importante ferramenta de suporte ao governo, analistas ambientais e fazendeiros, principalmente ao Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) no auxílio de licenciamento do MIF em propriedades privadas, planejamento do MIF em unidades de conservação, identificação de áreas prioritárias para o MIF, notificação de propriedades privadas sobre a necessidade de diminuição de carga combustível. Vale ressaltar, ainda, que a utilização do sistema é sugerida nas condicionantes de Autorizações Ambientais para monitoramento das condições meteorológicas e o link do sistema é disponibilizado na página do IMASUL.

4. CONCLUSÕES

Sistemas baseados em dados de sensoriamento remoto permitem fornecer informações importantes para a emissão de autorizações de queima, e na identificação de maior acúmulo de biomassa, e posterior risco de fogo. Assim, os danos ambientais e ecológicos são reduzidos, possibilitando as boas práticas aliadas ao manejo das pastagens/paisagens naturais e, por fim, protegendo o bioma de grandes incêndios e as áreas sensíveis ao fogo.

O SIFAU já foi adotado pelo Estado de Mato Grosso do Sul como uma das ferramentas de gestão territorial, conforme decreto "E" n.º 25, Art. 5º, de 9 de abril de 2024 [20]. Assim, acreditamos que outros estados poderiam se beneficiar do uso do sistema, especialmente o Estado de Mato Grosso, visto que parte do Pantanal encontra-se neste estado. Além disso, dada a flexibilidade do sistema, possibilidade de melhorias contínuas nos produtos e adequações regionais, consideramos que o sistema tem potencial de ser aplicado em outras áreas úmidas que estão experienciando grandes demandas de MIF de acordo com a nova Lei 14.944, de 31 de julho de 2024 [21].

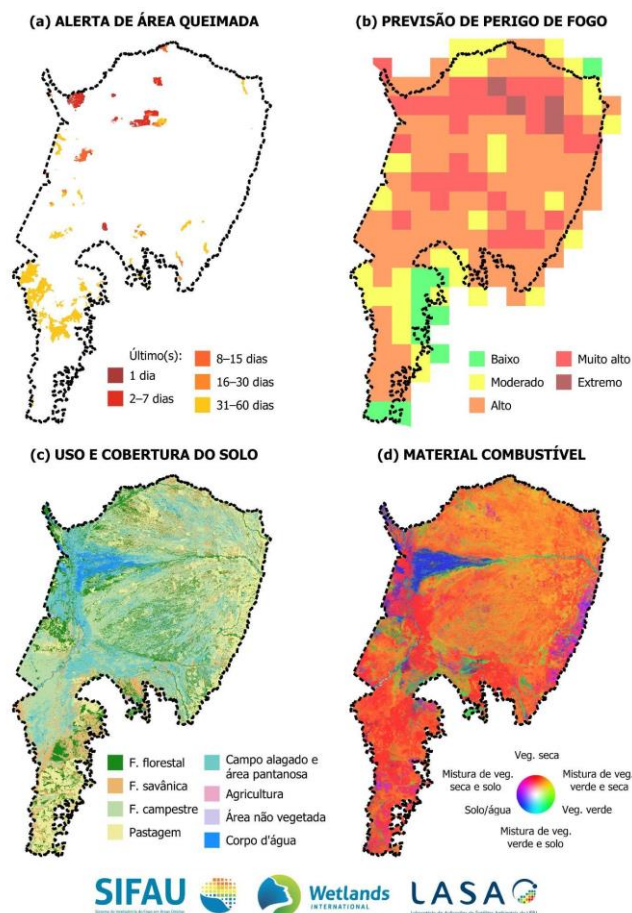


Figura 1. Produtos do SIFAU: (a) Alerta de área queimada, (b) Previsão de perigo de fogo meteorológico, (c) Uso e cobertura do solo e (d) Material combustível. Data de referência dos mapas: 18 de outubro de 2024.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos projetos e às instituições parceiras que fizeram parte deste trabalho como o PPBio, Rede Pantanal - MCTI e CEMADEN.

6. REFERÊNCIAS

- [1] P. Fiorucci, F. Gaetani, R. Minciardi. Development and application of a system for dynamic wildfire risk assessment in Italy. *Environmental Modelling & Software*, volume (23), páginas (690–702), 2008.
- [2] D. M. J. S. Bowman, C. A. Kolden, J. T. Jonhston G. R. van der Welf and M. Flannigan. Vegetation fires in the Anthropocene. *Nature Reviews Earth & Environment*, volume (1), páginas (500–515), 2020.
- [3] R. Libonati, L. A. Sander, L. F. Peres, C. C. DaCamara, L. C. Garcia. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. *Nature*, volume (588), páginas (217–220), 2020.

- [4] J. A. Marengo, A. P. Cunha, L. A. Cuartas, K. R. D. Leal, E. Broedel, M. E. Seluchi, C. M. Michelin, et al. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impact. *Frontiers in Water*, volume (3), 2021.
- [5] V. R. Pivello, I. Vieira, A. L. Christianini, D. B. Ribeiro, L. D. Menezes, C. N. Berlink, F. P. L. Melo, et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in Ecology and Conservation*, volume (19), páginas (233-255), 2021.
- [6] P. I. Martins, L. B. C. Belém, L. M. Peluso, J. K. Szabo, W. C. F. Trindade, A. Pott, G. A. Damasceno Junior, et al. Fire-sensitive and threatened plants in the Upper Paraguay River Basin, Brazil: Identifying priority areas for Integrated Fire Management and ecological restoration. *Ecological Engineering*, volume (209), 2024.
- [7] T. M. Ellis, D. M. J. S. Bowman, P. Jain, M. D. Flannigan, G. J. Williamson. Global increase in wildfire risk due to climate-driven declines in fuel moisture. *Global Change Biology*, volume (28), páginas (1544-1559), 2022.
- [8] I. B. Schmidt, L. C. Moura, M. C. Ferreira, L. Eloy, A. B. Sampaio, P. A. Dias, C. N. Berlink. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. *Journal of Applied Ecology*, volume (55), páginas (2094-2101), 2018.
- [9] J. San-Miguel-Ayán, E. Schulte, G. Schmuck, A. Camia, P. Stroh, G. Liberta, C. Giovando, et al. Comprehensive Monitoring of Wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS). *Emergency Management*, 2012.
- [10] R. Ghali and M. A. Akhloufi. Deep Learning Approaches for Wildland Fires Using Satellite Remote Sensing Data: Detection, Mapping, and Prediction. *Fire*, volume (6), páginas (1-35), 2023.
- [11] J. Franke, A. C. S. Barradas, M. A. Borges, M. M. Costa, P. A. Dias, A. A. Hoffmann, J. C. Orozco Filho, et al. Fuel load mapping in the Brazilian Cerrado in support of integrated fire management. *Remote Sensing of Environment*, volume (217), páginas (221-232), 2018.
- [12] V. Hoffmann, K. Probst, A. Christinck. Farmers and researchers: How can collaborative advantages be created in participatory research and technology development? *Agriculture and Human Values*, páginas (24-355), 2007.
- [13] B. R. Mitchell, G. Shriver, F. Dieffenbach, T. Moore., D. Faber-Langendoen, G. Tierney, P. Lombard & J. Gibbs, J. *Northeast Temperate Network Vital Signs Monitoring Plan*, National Park Service, Boston, October 8, 2013.
- [14] M. M. Pinto, R. Libonati, R. M. Trigo, I. F. Trigo, C. C. DaCamara. A deep learning approach for mapping and dating burned areas using temporal sequences of satellite images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, volume (160), páginas (260-274), 2020.
- [15] C. E. Van Wagner, T. L., Pickett. Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, Petawawa National Forestry Institute, Chalk River, Ontario. *Forestry Technical Report* 33. 18 p. 1984.
- [16] C. E. Van Wagner. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service, Headquarters, Ottawa. *Forestry Technical Report* 35. 35 p. 1987.
- [17] L. Belém, S. A. Nunes, F. Lemos, C. C. DaCamara, R. Libonati. PERGUNTAS FREQUENTES/ FREQUENTLY ASKED QUESTIONS (FAQ) PERGUNTAS FREQUENTES / FREQUENTLY ASKED QUESTIONS (FAQ) Perguntas Frequentes Previsão de Perigo Meteorológico de Fogo Frequently Asked Questions (FAQ) Fire Weather Danger Forecast. *ResearchGate*, volume (1), páginas (1-9), 2023.
- [18] M. M. Pinto, C. C. DaCamara, I. F., Trigo, R. M., Trigo, K. F. Turkman. Fire danger rating over Mediterranean Europe based on fire radiative power derived from Meteosat. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, volume (18), páginas (515-529), 2018.
- [19] MapBiomas Project 2023 Collection 9 of Brazilian land cover & use map series, available at: <https://mapbiomas.org/> (Accessed 10 October 2024).
- [20] BRASIL. Decreto nº 15, Art.5, de 9 de abril de 2024. Dispõe sobre a implementação do SIFAU para a gestão pública no Estado do Mato Grosso do Sul. *Diário Oficial*, 10 abr. 2024.
- [21] BRASIL. Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Dispõe sobre a implementação da Política Nacional do Manejo Integrado do Fogo. *Casa Civil*. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm (Acessado em: 31 out. 2024).