

Texto produzido por: Maísa Consuelo dos Santos; Bruna Caroline Paspardelli Cortelete; Érico Fernando de Oliveira Martins; Solange Kimie Ikeda Castrillon; Derick Victor de Souza Campos; Beatriz Ferraz Bühler; Francisco Lledo dos Santos; Anderson Marques do Amaral; Claumir Cesar Muniz; Wilkinson Lopes Lázaro; Ernandes Sobreira Oliveira Junior.

Apresentação

Os incêndios florestais impactam significativamente a biodiversidade, o clima e a saúde humana. A intensificação das pressões antrópicas sobre o ambiente, associado à iminente crise hídrica decorrente das mudanças climáticas, têm produzido períodos de estiagem cada vez mais severos e longos, o que favorece a ocorrência e intensidade de incêndios. No Pantanal, especialmente no município de Cáceres, Mato Grosso, os incêndios florestais têm causado sérios prejuízos econômicos e à saúde pública. Utilizando a análise da Energia Radiativa do Fogo - FRP, esta Nota Técnica apresenta as ocorrências mensais de FRP, e os padrões de queimadas no município de Cáceres, Mato Grosso, entre os anos de 2018 e 2024.

Introdução

Os incêndios florestais são eventos significativos que afetam a biodiversidade, o clima e a saúde humana. A energia radiativa do fogo (*Fire Radiative Power* - FRP) é uma medida utilizada para quantificar a intensidade dos incêndios e suas emissões de carbono. É habitual ouvir que o fogo é um elemento presente e essencial no Pantanal, sendo muito frequente olhar para o horizonte e perceber a fumaça tomando conta da paisagem.

No entanto, os incêndios vêm causando prejuízos ao ecossistema pantaneiro. Estima-se que cerca de 17 milhões de vertebrados foram mortos diretamente pelo fogo no ano de 2020 em um bioma que teve 27% de seu território queimado (Tomas et al 2021). A perda da biodiversidade implica diretamente no prejuízo, e até mesmo na interrupção, de serviços ecossistêmicos essenciais à manutenção da vida, como por exemplo, a qualidade do ar. Na saúde humana, crianças, idosos e portadores de comorbidades, são os mais atingidos. Além disso, é importante destacar que as consequências diretas da queima de biomassa, impactam, não só a população local, como também, a população de outras cidades e estados.

A presença do fogo associada às mudanças climáticas, vêm potencializando os danos causados. O aumento de temperatura, produzindo frequentes ondas de calor extremo, e o longo período de estiagem, criam um cenário propício à perpetuação do fogo. Neste sentido, Mato Grosso publicou o Decreto Estadual nº 827/2024 regulamentando novos períodos de proibição de uso de fogo para cada bioma, sendo: Amazônia - 1º de julho a 30 de novembro; Cerrado - 1º de julho a 30 de novembro; Pantanal - 1º de julho e 31 de dezembro.

Desta forma, considerando que as queimadas podem gerar imensos prejuízos ambientais e para os seres humanos, este estudo analisa as ocorrências mensais de FRP na região de Cáceres, Mato Grosso, Brasil, proporcionando uma visão detalhada dos padrões de queimada ao longo dos anos de 2018 a 2024, destacando as necessidades de ação para o ano de 2024.

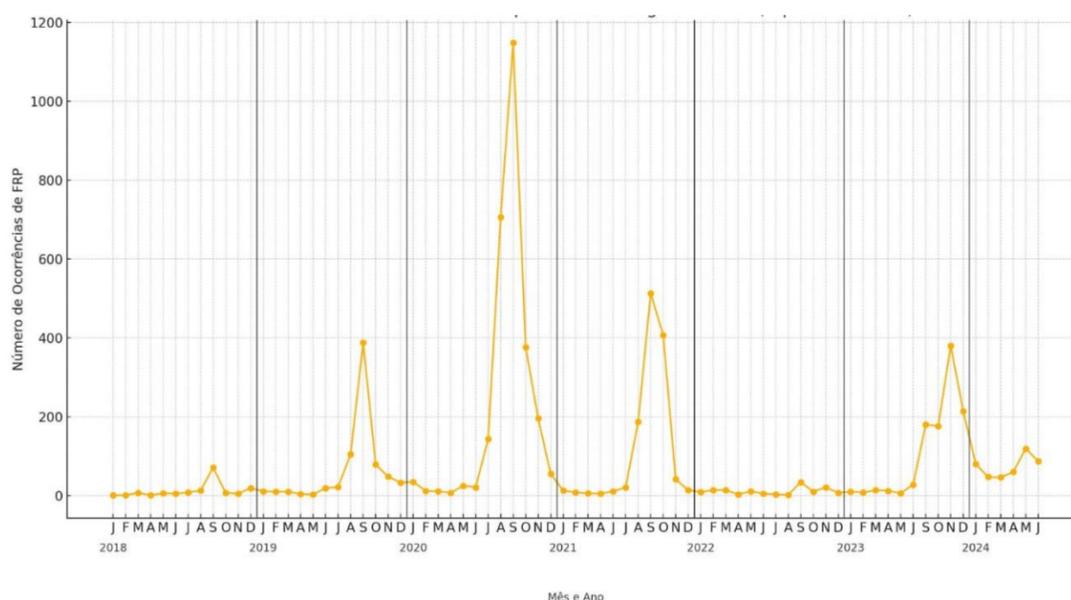
Metodologia

Os dados de FRP foram coletados a partir de registros de satélite fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Banco de Dados de queimadas (Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>) para a região de Cáceres, abrangendo o período de 2018 a 2024. Os valores de FRP foram agrupados por mês e analisados utilizando o algoritmo *K-means*. A escolha do número de clusters foi baseada no método do cotovelo, que identifica o ponto onde a redução na inércia (soma das distâncias quadráticas dos pontos ao centro do cluster) começa a se estabilizar. Os dados foram, então, classificados em dois clusters distintos, representando diferentes níveis de ocorrência de FRP, baixo período de ocorrência de queimadas e alto período. Além disso, os dados foram organizados para a melhor visualização do período.

Resultados e Discussão

Os resultados demonstram que a ocorrência de FRP não é uniforme ao longo do ano (Figura 01), apresentando picos específicos que correspondem aos períodos de seca na região, conforme relatado em estudos anteriores (Lázaro e Oliveira-Junior et al., 2020). A análise temporal revela picos significativos de ocorrências de FRP, que correspondem aos meses de agosto a outubro de cada ano. Estes meses, caracterizados por condições climáticas secas, são os mais propensos a incêndios florestais. Os dados mostram um padrão consistente de aumento nas ocorrências de FRP durante este período, seguido por uma queda nos meses subsequentes.

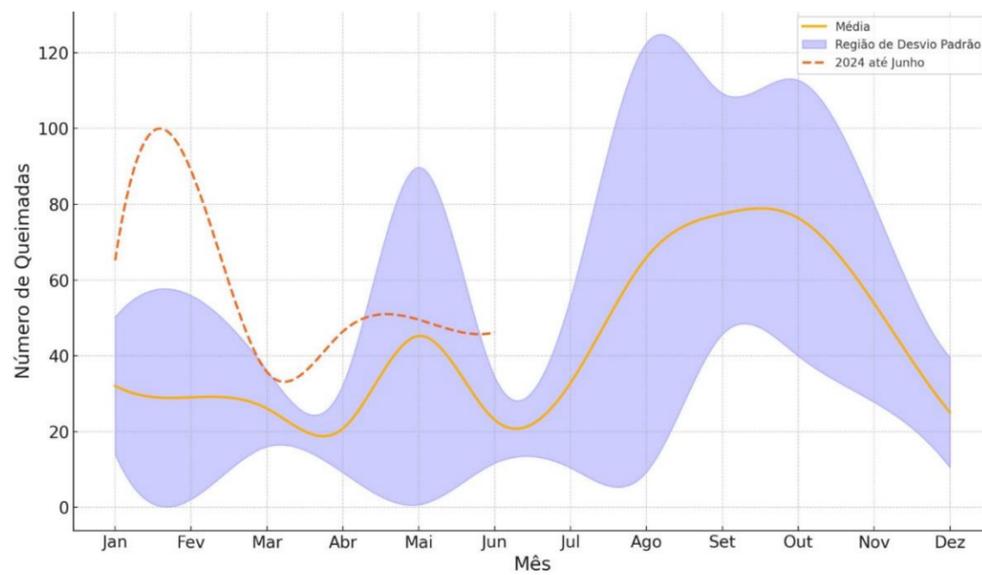
Figura 1: Número de Ocorrências de FRP por Mês ao Longo dos Anos (a partir de 2018).



Os dados parciais de 2024 até junho mostram uma tendência inicial que **NÃO** segue o padrão histórico (Figura 02), com um aumento em fevereiro e março, seguido de uma redução em abril e maio. *Estes dados sugerem que, se as condições climáticas seguirem as tendências históricas, o número de queimadas pode aumentar novamente nos meses subsequentes de 2024.*

Os resultados destacam a importância de estratégias de manejo de fogo baseadas em dados para mitigar os impactos ambientais e sociais das queimadas. *Estudos futuros devem continuar a explorar a relação entre variabilidade climática e queimadas, visando aprimorar as práticas de gestão de recursos naturais na região.*

Figura 2: Média de Queimadas por Mês com Desvio Padrão e 2024 até junho (2018-2024) em Cáceres.

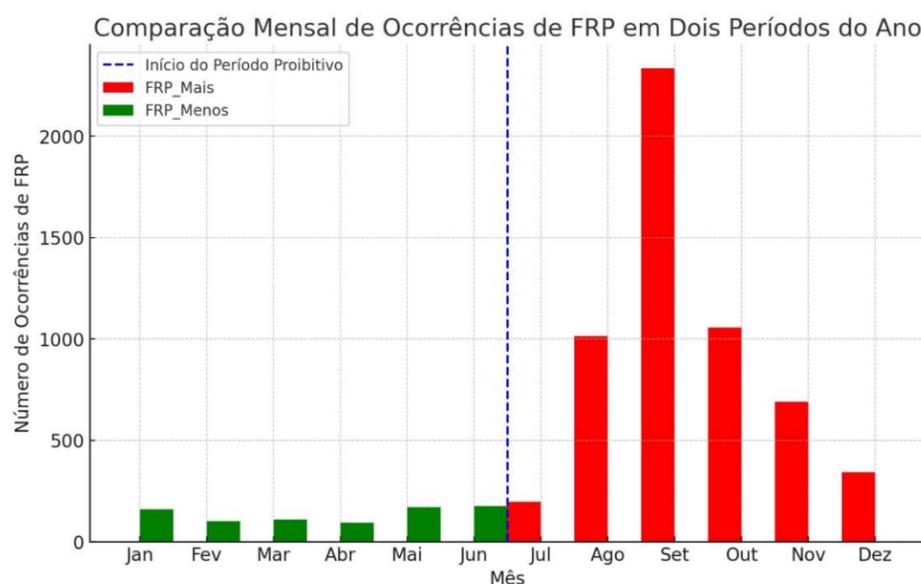


A média mensal de queimadas entre 2018 e 2024, ilustrada na Figura 2, fornece uma visão clara dos padrões sazonais de ocorrência de queimadas na região de Cáceres. O gráfico destaca a média do número de queimadas por mês (linha amarela), a região de desvio padrão (área sombreada azul) e os dados parciais de 2024 até junho (linha tracejada vermelha).

Os dados indicam que a partir de julho, há uma tendência de aumento significativo no número de queimadas, ocorrendo pico entre agosto e outubro, e, uma tendência a diminuição no número de queimadas nos meses subsequentes. Este padrão é consistente com os meses de seca na região, que são mais propícios para a ocorrência de incêndios florestais.

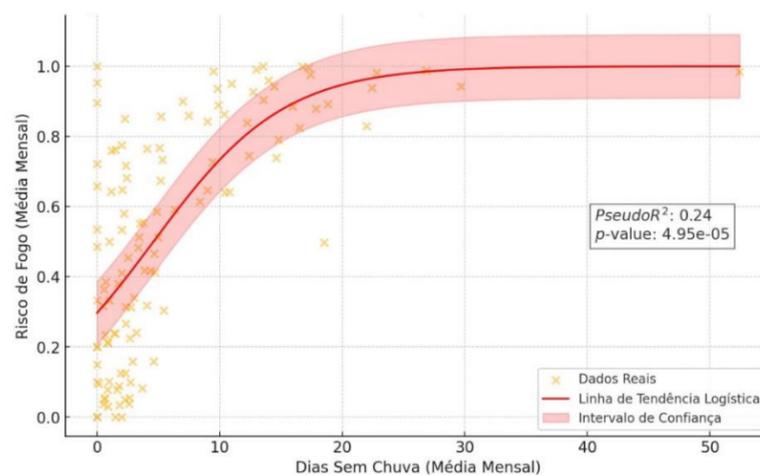
Corroborando com esses resultados, a figura 3 apresenta uma divisão em relação as ocorrências de FRP por ano. Em verde são os meses de menor FRP, já em vermelho os meses de maior ocorrência, sendo o mesmo período de proibição de uso do fogo estabelecido pela legislação estadual.

Figura 3: Comparação mensal de Ocorrências de FRP dividida em dois períodos do ano.



A análise das médias mensais e da variabilidade das queimadas ao longo dos anos fornece informações importantes sobre os padrões sazonais das queimadas na região de Cáceres. **As informações destacam a importância de monitorar continuamente os dados de FRP e de queimadas para antecipar períodos críticos e implementar medidas preventivas eficazes.** A correlação entre os padrões climáticos sazonais e as ocorrências de queimadas reforça a necessidade de estratégias de manejo de fogo adaptativas, baseadas em previsões climáticas. Desta forma, observa-se que anos com maior incidência de queimadas também são aqueles mais secos, obviamente (Figura 04). **Destaca-se que o ano de 2024 tem apresentado níveis bastante baixos de umidade relativa do ar e de pluviosidade, o que infere em um potencial risco de queimadas na região para os próximos meses.**

Figura 4: Linha de Tendência Logística com Intervalo de Confiança - Dias Sem Chuva e Risco de Fogo (Médias Mensais).



A análise apresentada na Figura 4 investiga a relação entre o número de dias sem chuva (média mensal) e o risco de fogo, representado pela média mensal do FRP. A linha de tendência logística (linha vermelha) indica a relação entre essas variáveis, enquanto a região sombreada em vermelho representa o intervalo de confiança.

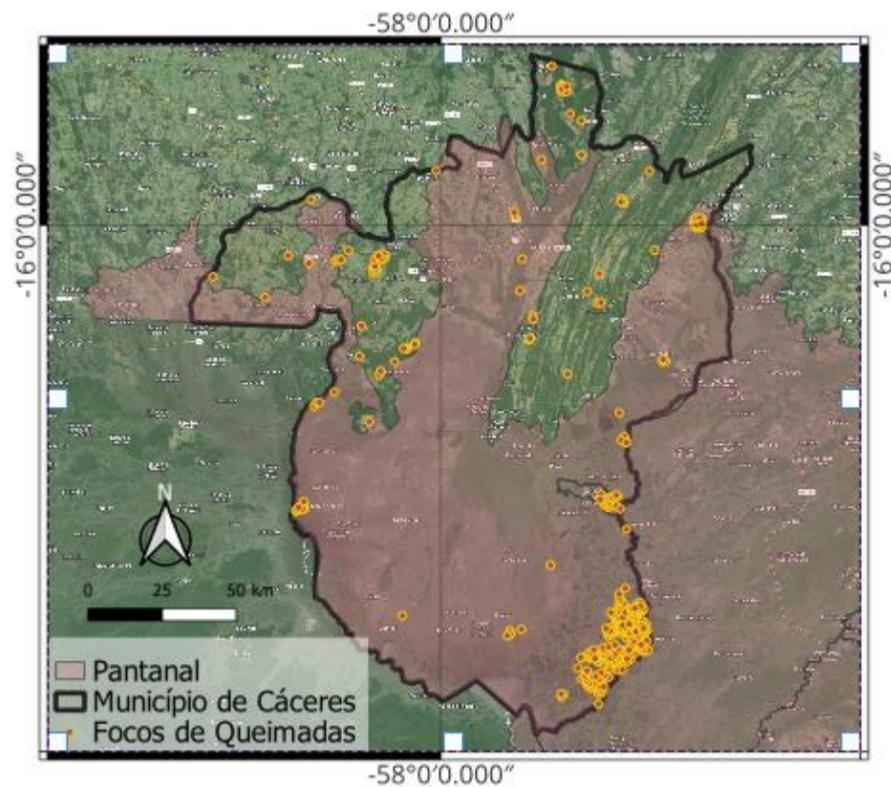
Os resultados mostram uma correlação positiva entre os dias sem chuva e o risco de fogo, com um aumento significativo no risco de fogo à medida que o número de dias sem chuva aumenta. Esta relação é estatisticamente significativa, conforme indicado pelo valor de $pseudoR^2$ de 0,24 e o p -valor menor do que 0.01.

Os dados mostram que a probabilidade de ocorrência de incêndios aumenta exponencialmente com o número de dias sem precipitação. Esta tendência reflete a seca progressiva da vegetação, que se torna mais suscetível a queimadas após períodos prolongados de estiagem. A linha de tendência logística modela esta relação de forma precisa, evidenciando um ponto de inflexão em torno de 20 dias sem chuva, após o qual o risco de fogo se estabiliza em níveis elevados, com alta probabilidade de queimada. **Ressalta-se que o Pantanal de Cáceres já se encontra a mais de 60 dias sem precipitação, potencializando o risco de fogo para este período e próximos.**

Esses resultados corroboram estudos anteriores que indicam a importância das condições meteorológicas na dinâmica dos incêndios florestais (Andela et al., 2017; Van der Werf et al., 2008). A variabilidade nas observações individuais destaca a complexidade dos fatores que influenciam os incêndios, incluindo variáveis não meteorológicas como práticas agrícolas e ações humanas.

Como ponto fundamental a ser observado, além do número de queimadas, e da redução de umidade e precipitação (Pinheiro et al 2022), é também a localização das queimadas. Os diferentes tipos de vegetação afetados revelaram que os incêndios em áreas florestais tendem a ser mais intensos devido à alta biomassa disponível e são mais suscetíveis durante os períodos de seca severa. Em áreas de savana, onde a vegetação é mais dispersa, os incêndios são menos intensos e mais frequentes. As áreas de pastagem apresentaram um aumento significativo nas ocorrências de incêndios, impactando diretamente a economia local. A figura 5 demonstra os locais onde houve queimadas no ano de 2024 (figura 05). Percebe-se uma grande espacialidade nos focos, com uma maior incidência na região do Pantanal da Estação Ecológica de Taiamã, a qual apresentou uma grande quantidade de focos já no mês de janeiro deste ano. Ressalta-se que com o baixo nível do rio Paraguai, esses focos de queimadas podem ser mais frequentes em áreas onde a vegetação é bastante abundante com grande quantidade de biomassa.

Figura 5: Localização dos Focos de Queimadas no Município de Cáceres no ano de 2024, entre Janeiro e Junho.



Assim, acredita-se que ações emergenciais devem ser realizadas, tais como:

- 1- Implementação de um sistema eficiente de comunicação entre a população e os órgãos de gestão para a comunicação de eventuais ocorrências durante o período proibitivo de queimadas (e.g. Número de telefone específico e ampla divulgação deste número);
- 2- Viabilização de recursos emergenciais para a realização de fiscalização de locais com potencial risco de queimadas (e.g. Solicitação de fundos estaduais e federais para ações de combate aos incêndios);
- 3- Disponibilização de equipamentos para o combate às queimadas (e.g. abafadores, bombas d'água, além de equipamentos para as condições dos brigadistas nas ações de combate e descanso);
- 4- Fomento para a participação de pessoal com guarda em alerta especializados (além do Prevfogo, bombeiros e brigada civil) para o combate em caráter de urgência (e.g. formação de novos brigadistas emergenciais);
- 5- Realização de curso emergencial com a comunidade disposta a atuar no combate aos incêndios para a atuação ainda em 2024 (vide exemplo acima);
- 6- Educação ambiental nas margens do rio Paraguai para a prevenção de realização de fogueiras por acampamentos e pescadores esporádicos;
- 7- Organização de grupos como guarda mirim, bombeiro mirim para a disponibilização de pessoal em educação ambiental para a prevenção de queimadas.

Conclusão

A análise logística confirma a forte dependência do risco de fogo em relação aos dias sem chuva. ***A tendência observada sugere que políticas de manejo de fogo devem considerar a monitorização contínua das condições meteorológicas, especialmente durante períodos prolongados de seca dos meses de julho a dezembro. Medidas preventivas podem incluir restrições temporárias de atividades agrícolas que possam desencadear incêndios e campanhas de conscientização pública durante períodos de alto risco.***

Referências

- Andela, N., Morton, D. C., Giglio, L., Chen, Y., van der Werf, G. R., Kasibhatla, P. S., ... & Randerson, J. T. (2017). A human-driven decline in global burned area. *Science*, 356(6345), 1356-1362.
- Justice, C. O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., ... & Kaufman, Y. J. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 244-262.
- Lázaro, W. L., Oliveira-Júnior, E. S., Silva, C. J. D., Castrillon, S. K. I., & Muniz, C. C. (2020). Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, e104.
- Pinheiro, S. de L. L. de A.; Souza, R. de F.; Santos, F. L. dos. Secas prolongadas e ocorrência de queimadas no Mato Grosso - Machine Learning aplicado à análise de dados ambientais. In: XXX Congresso Latinoamericano De Hidráulica, 2022, [s.l.]. Anais [...], [s.l.], 07 a 11 nov. 2022.
- Silva, J. M., Pereira, J. M., & Barbosa, P. (2017). Análise das queimadas no bioma Pantanal. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(1), 21-30.
- Tomas, W. M., Berlinck, C. N., Chiaravalloti, R. M., Tortato, F. R., Morato, R. G., & Roque, F. O. (2021). Distance sampling surveys reveal 17 million vertebrates directly killed by the 2020's wildfires in the Pantanal, Brazil. *Scientific Reports*, 11, 23547. DOI: 10.1038/s41598-021-02844-5.
- Van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Giglio, L., Gobron, N., & Dolman, A. J. (2008). Climate controls on the variability of fires in the tropics and subtropics. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(3).