



**Artigo de Pesquisa****DINÂMICA ESPACIAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS-BA ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO****Spatial dynamics of hotspots in the municipality of Barreiras-BA using remote sensing**

George Lincon de Castro Oliveira<sup>1</sup>, Elvis Bergue Mariz Moreira<sup>2</sup>, Fabio Corrêa Alves<sup>3</sup>


<sup>1</sup> Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro das Ciências Exatas e Tecnologias, Barreiras, Brasil. Email: glincon.701@icloud.com

 <https://orcid.org/0009-0003-3810-8463>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro das Humanidades, Barreiras, Brasil. Email: elvis.moreira@ufob.edu.br;

 <https://orcid.org/0000-0001-6732-3005>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro das Humanidades, Barreiras, Brasil. Email: fabio.alves@ufob.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0002-2941-8393>

Recebido em 12/02/2025 e aceito em 26/04/2025

**RESUMO:** O mapeamento de queimadas é essencial para entender a extensão e frequência dos incêndios em uma determinada região, assim como implementar estratégias eficazes de prevenção e resposta. Nesse sentido, esse trabalho tem por objetivo realizar análise espaço-temporal da dinâmica dos focos de queimadas no município de Barreiras – BA, através de sensoriamento remoto, e correlaciona-los com variáveis meteorológicas. Os dados utilizados foram obtidos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (BDQ/INPE), provenientes de imagens dos satélites de órbita polares da série (NOAA, TERRA/AQUA) e satélites de órbita geoestacionária (GOES e METEOSAT) no período de 2013 a 2023, e na PCD (Plataforma de Coleta de Dados Automática) Barreiras. Além da estimativa da densidade Kernel para análise espacial, utilizou-se da estatística e regressões lineares para análise da correlação dos focos de queimadas com variáveis meteorológicas (temperatura do ar, precipitação e umidade relativa do ar). No período analisado identificamos 2.124 focos, com média anual de 193, sendo os anos de 2022 e 2023 com as maiores concentrações, 317 e 298, respectivamente, representando 28,95% do total de focos no período. A maior densidade espacial (focos/km<sup>2</sup>) ocorreu nas áreas centrais do município, e com predominância na porção norte, possivelmente devido às condições ambientais favoráveis à agricultura. A umidade relativa do ar e a temperatura do ar, destacaram-se com maior contribuição na ocorrência dos focos de queimadas no município, evidenciando coeficientes de determinação ( $R^2$ ), de 0,78 e 0,38, respectivamente, enquanto a precipitação apresentou a menor correlação ( $R^2 = 0,23$ ). Os resultados encontrados poderão subsidiar informações para criação de banco de dados, que auxiliará no controle e na prevenção das perdas ambientais, decorrentes do descontrole do fogo.

**Palavras-chave:** Cerrado; Densidade de Kernel; Degradação Ambiental.

**ABSTRACT:** Burn scar mapping is essential for understanding the extent and frequency of fires in each region, as well as for implementing effective strategies for prevention and response. With this in mind, the aim of this study is to carry out a spatio-temporal analysis of the dynamics of fire outbreaks in the

municipality of Barreiras - BA, using remote sensing, and to correlate them with meteorological variables. The data used was obtained from the National Institute for Space Research (BDQ/INPE), from images of polar-orbiting satellites in the series (NOAA, TERRA/AQUA) and geostationary orbiting satellites (GOES and METEOSAT) from 2013 to 2023, and from the Barreiras Automatic Data Collection Platform (PCD). In addition to using kernel density estimation for spatial analysis, statistical extraction and linear regression analyses were performed to assess the relationship between fire hotspots and meteorological variables (air temperature, precipitation, and relative humidity). During the analyzed period, 2,124 fire hotspots were identified, with an annual average of 193, being the highest concentrations recorded in 2022 and 2023, with 317 and 298 hotspots, respectively, representing 28.95% of all detections. The highest spatial density (hotspots/km<sup>2</sup>) was observed in the central and northern portions of the study area, likely due to environmental conditions favorable for agriculture. Air relative humidity and air temperature showed the strongest correlations with fire hotspot occurrence, with coefficients of determination ( $R^2$ ) of 0.78 and 0.38, respectively, while precipitation showed the weakest correlation, of 0.23. These findings may contribute to the development of a comprehensive fire database that can aid in fire control and the prevention of environmental losses caused by uncontrolled fires.

**Keywords:** Cerrado; Kernel density; Environmental Degradation.

**RESUMEN:** La cartografía de los incendios es esencial para conocer su extensión y frecuencia en una determinada región, así como para implementar estrategias eficaces de prevención y respuesta. Teniendo esto en cuenta, el objetivo de este estudio es realizar un análisis espacio-temporal de la dinámica de los focos de incendios en el municipio de Barreiras - BA, utilizando la teledetección, y correlacionarlos con variables meteorológicas. Los datos utilizados se obtuvieron del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (BDQ/INPE), a partir de imágenes de satélites de órbita polar en serie (NOAA, TERRA/AQUA) y de órbita geoestacionaria (GOES y METEOSAT) de 2013 a 2023, y de la Plataforma de Recogida Automática de Datos (PCD) de Barreiras. Además de estimar la densidad Kernel para el análisis espacial, se utilizaron estadísticos y regresiones lineales para analizar la correlación entre los focos de incendio y las variables meteorológicas (temperatura del aire, precipitación y humedad relativa). Durante el periodo analizado se identificaron 2.124 conatos, con una media anual de 193. Los años 2022 y 2023 presentaron las mayores concentraciones, 317 y 298 respectivamente, lo que representa el 28,95% del total de conatos del periodo. La mayor densidad espacial (focos/km<sup>2</sup>) se dio en las zonas centrales del municipio, con predominio en la porción norte, posiblemente debido a las condiciones ambientales favorables para la agricultura. La humedad relativa y la temperatura del aire fueron los factores que más contribuyeron a la ocurrencia de focos de incendio en el municipio, con coeficientes de determinación ( $R^2 = 0,78$ ) y 0,38, respectivamente, mientras que las precipitaciones presentaron la menor correlación ( $R^2 = 0,23$ ). Los resultados

**Palabras clave:** Cerrado; Densidad del núcleo; Degradación ambiental

## INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado Brasileiro que ocupa 22% do território nacional, possui uma ampla variedade de formações vegetais e um alto índice de ocupação humana, sendo especialmente notável pela sua relevância na produção agrícola (TEOBALDO, 2017). Devido à sua vasta cobertura vegetal típica e rica biodiversidade, o Cerrado tornou-se alvo constante de degradação ambiental, principalmente por atividades de exploração altamente predatórias. Considerado como o segundo maior bioma do Brasil, o Cerrado ocupa 2 milhões de km<sup>2</sup> e abriga aproximadamente 12.070 espécies de plantas, das quais mais de 34% são endêmicas (KLINK, 2005).

A partir da década de 1970, a ocupação do Cerrado para práticas agrícolas ganhou destaque principalmente devido à escassez de terras disponíveis nas regiões Sul e

Sudeste (BIZERRIL, 2003). Embora a rica biodiversidade da flora e fauna local, com espécies de alto valor alimentício e propriedades medicinais também tenha atraído atenção, foi a falta de espaço nessas outras regiões que potencialmente impulsionou a expansão agrícola para esse Bioma.

A implementação de práticas como a monocultura e pastagem provocou alterações graduais nos solos, resultando em modificações significativas (SAMPAIO, 2019; FERREIRA *et al.*, 2021). Contudo, a alocação de recursos destinados à conservação dessas áreas em relação ao uso de suas terras revela-se insuficiente, o que acarreta evidentes sinais de degradação devido a transformações antrópicas.

Em razão de práticas predatórias adotadas pelos povos antigos para garantir sua própria subsistência, os seres humanos têm utilizado o fogo desde tempos remotos (LATURNER e SCHERER, 2004). Inicialmente, os impactos ambientais não geravam problemas graves, devido à baixa densidade populacional naquela época. Com a transição da vida nômade e o aumento das interações entre comunidades, as atividades agropecuárias começaram a prosperar. Essas práticas frequentemente requeriam um manejo sazonal do solo, o que, na maioria dos casos, envolvia o uso do fogo (MÉLO *et al.*, 2011).

Lopes *et al.* (2021) afirmam que o regime de queima é um dos principais fatores que alteram a estrutura e composição de uma comunidade vegetal. O fogo também é utilizado como ferramenta usual à limpeza de pastagens para plantio e queima do sobejo da lavoura. Grande parte dos índices deflagrados estão interligados ao desmatamento ilegal da vegetação através de ações antrópicas a fim de favorecer práticas agropecuárias. As queimadas promovem o chamado desequilíbrio ambiental, propiciam a redução da fauna, bem como a disponibilidade de nutrientes de plantas benéficas gerando prejuízos na produtividade das culturas.

O efeito das queimadas também exerce grande influência na saúde humana, destacando dentre os sintomas de doenças, infecções do sistema respiratório superior, asma, conjuntivite, bronquite, irritação dos olhos e garganta, tosse, falta de ar, nariz entupido, vermelhidão e alergia na pele, além de alteração no sistema cardiovascular (RADOJEVIC, 1998). Outro efeito significativo em termos climáticos é que as partículas em suspensão acabam por interferir no processo de formação de núcleos de condensação, alterando os mecanismos de formação de nuvens e o albedo, consequentemente alterando os processos radiativos e os ciclos hidrológicos nas regiões tropicais (YAMASOE *et al.*, 2000).

Os riscos de extinção enfrentados por espécies endêmicas devido à falta de monitoramento ambiental adequado, que impede a proteção efetiva dos recursos naturais em tempo real, é um fato. Diante disso, as técnicas de estudos geoespaciais e sensoriamento remoto têm ganhado destaque, somado aos avanços tecnológicos que permitem a obtenção de informações cada vez mais precisas, sem a necessidade de contato direto com a área de estudo.

Os sensores orbitais possibilitam a quantificação e o monitoramento espacial e temporal dos focos de queimadas em regiões de grandes extensões, produzindo banco de dados históricos, relevantes no acompanhamento das possíveis tendências naturais, ou de origem antrópica em uma determinada região (CARVALHO *et al.*,

2008). O princípio físico que possibilita o sensor realizar a detecção desses focos, relaciona-se ao fato que um corpo/alvo em chamas/fogo emite máxima radiação eletromagnética na faixa termal média do espectro óptico (3,7  $\mu\text{m}$  a 4,1  $\mu\text{m}$ ) (INPE, 2018).

Os dados sobre os focos de queimadas na vegetação na América do Sul, provenientes dos satélites de órbita polar (AQUA/TERRA e NOAA) e satélites de órbita geoestacionária (GOES e METEOSAT), vem sendo disponibilizados gratuitamente pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desde a década de 1980 (SETZER *et al.*, 2011). Essas informações podem ser utilizadas em ações operacionais de fiscalização, prevenção, planejamento e combate ao fogo (PEREIRA *et al.*, 2012).

Nesse sentido, esse trabalho analisou a dinâmica dos focos de queimadas no município de Barreiras – BA entre o período de janeiro de 2013 a dezembro de 2023 via dados de sensoriamento remoto, objetivando encontrar padrões espaciais e correlações com variáveis meteorológicas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

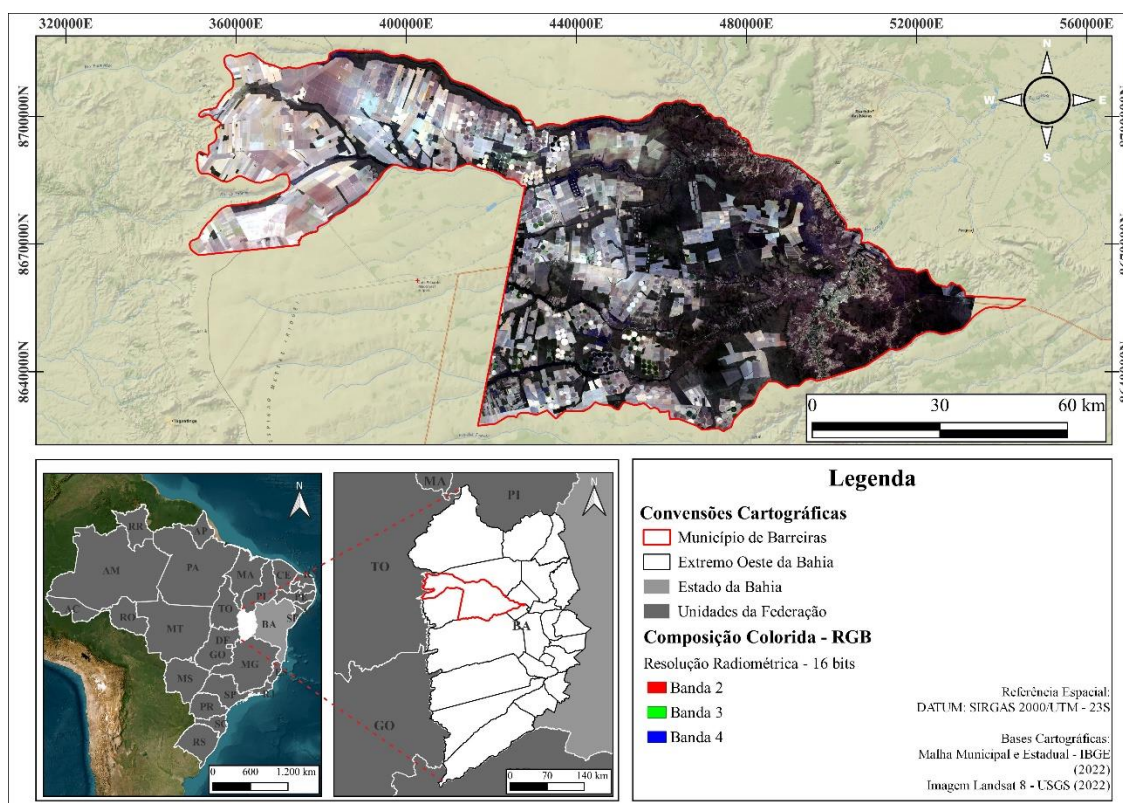
### Caracterização da área de estudo

O município de Barreiras, localizado na região Oeste do estado da Bahia (Figura 1), abrange uma área de 8.051,274 km<sup>2</sup> e possui uma população de 159.734 habitantes, com uma densidade demográfica de 19,84 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). Limita-se ao norte com Riachão das Neves, a leste com Catolândia e Angical, ao sul com São Desidério, e a oeste com Luís Eduardo Magalhães e o estado de Tocantins. A região é caracterizada pela presença de solos expostos e pela prática de agricultura irrigada, o que reflete as particularidades do uso da terra e suas implicações ambientais.

O Oeste da Bahia se encontra espacialmente inserido no bioma Cerrado, com feições típicas deste bioma. Esta região possui um total de 29 rios perenes inseridos dentro da bacia hidrográfica do Rio Grande, afluente da margem esquerda do rio São Francisco na Bahia, integrante da Região de Planejamento e Gestão das Águas RPGA XVI – Rio Grande.

O clima da região é classificado segundo Köppen, do tipo Aw como tropical subúmido, com chuvas predominantes no verão e um período seco bem definido durante o inverno, caracterizando-se como estação seca, sendo influenciada por sistemas atmosféricos: Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZACA) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).





**Figura 1.** Localização da área de estudo no Oeste da Bahia.

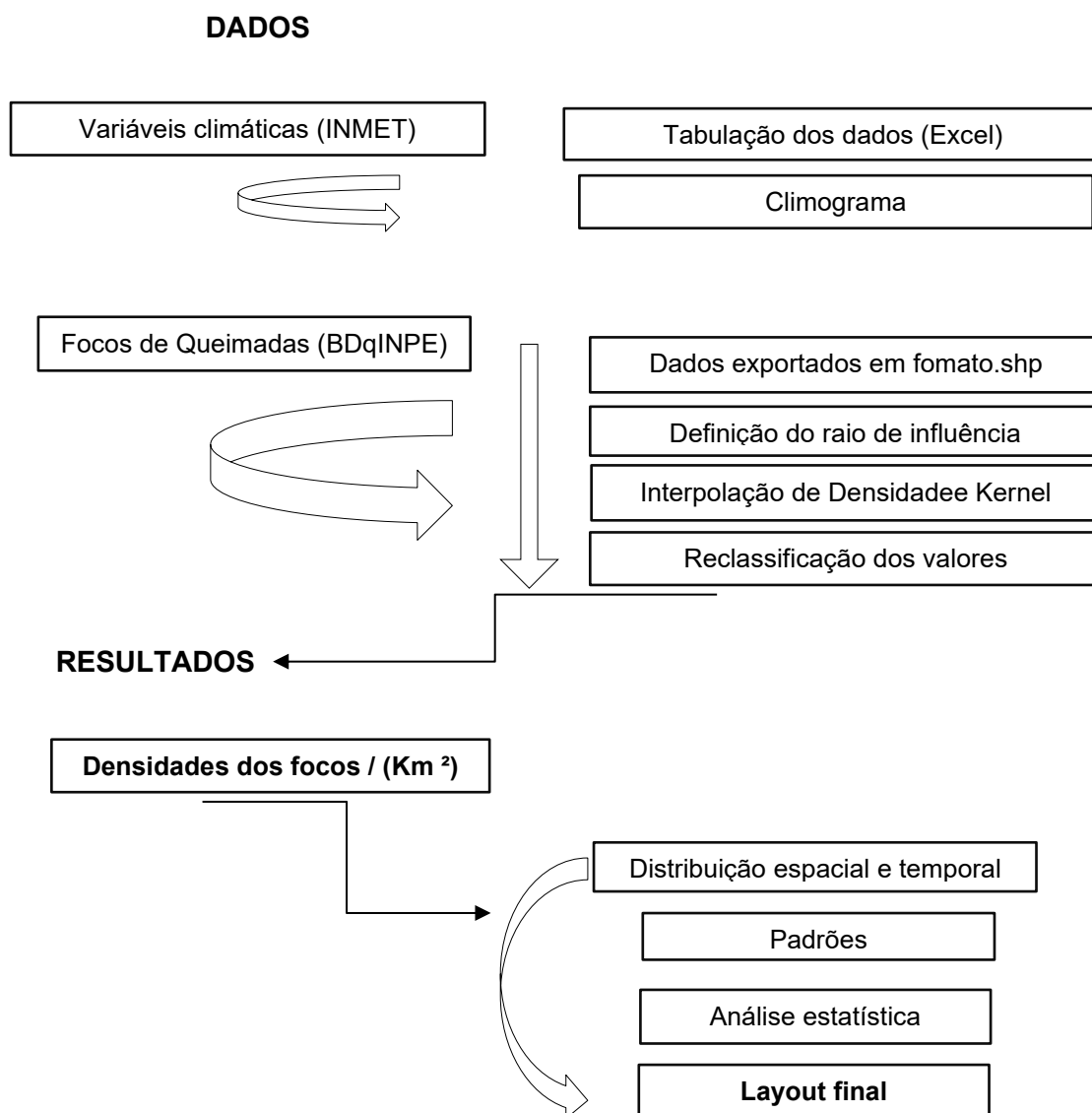
As temperaturas médias anuais atingem cerca de 24 C, e a precipitação anual varia de 900 mm a 1.500 mm na região (INMET, 2020). Conforme descrevem Almeida *et al.*, (2017), os meses de maio a setembro apresentam os menores volumes de precipitação, com o mês de junho registrando a menor média anual, em torno de 1 mm de chuva. Por outro lado, os maiores volumes de precipitação ocorrem de novembro a janeiro, com valores respectivos de 171,2 mm, 189,3 mm e 176,6 mm.

Anualmente, a região é impactada pelas queimadas provenientes de fatores climáticos, relacionados a baixa umidade relativa do ar e ausência de precipitações, especificamente nos meses de agosto a outubro, somado as ações antrópicas que, intensificam com maior severidade, sobretudo nas áreas agricultáveis, sendo exceções as feições irrigadas com pivôs e as veredas, localizadas nas proximidades dos corpos hídricos.

### Aquisição dos dados

A coleta dos dados e a sequência das etapas metodológicas do presente artigo são apresentadas no fluxograma da Figura 2.

### ETAPAS



**Figura 2.** Fluxograma das etapas realizadas.

A escala temporal dos dados dos focos de queimadas e das variáveis climáticas (precipitação, umidade relativa do ar e temperatura do ar), consistiu no intervalo de 10 anos (2013 a 2023). A escolha desse período foi motivada pela intensificação das modificações do uso e cobertura da terra nas últimas décadas no Cerrado, relacionadas a supressão da vegetação nativa e o aumento das áreas irrigadas.

Os registros dos focos de queimadas foram adquiridos de forma gratuita da plataforma eletrônica <http://www.cptec.inpe.br/queimadas>, “Bdqueimadas” do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) vinculada ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esses dados são fornecidos através das imagens de satélites meteorológicos de órbita polar, como os da série NOAA, TERRA/AQUA, e satélites de órbita geoestacionária, como o GOES e METEOSAT, sendo apresentados

na forma de geometria de pontos em intervalo máximos de um ano, conforme descrito na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características orbitais, espaciais, e o canal termal dos satélites utilizados.

Satélites	Orbita	Res. Espacial *	Canal Termal
AQUA/TERRA	Polar	1 x 1	20 (3,66 – 3,8 µm )
NOAA	Polar	1,1 x 1,1	3 (3,55 – 3,93 µm)
GOES	Geoestacionária	4 x 4	2 (3,8 – 4 µm)
METEOSAT	Geoestacionária	3 x 3	4 (3,48 – 4,36 µm)

\*Resolução espacial em quilômetros no canal termal

Além disso, as bases cartográficas da região de interesse foram obtidas através do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enquanto os dados sobre precipitação pluviométrica (mm), umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (°C) foram adquiridos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a partir do monitoramento da estação meteorológica automática (PCD) sobre registro (A402), localizada no município de Barreiras.

Após aquisição dos dados, as informações relacionadas a extensão territorial do município e os focos de queimadas em formato vetorial (shapefile) foram manuseadas a partir de operações de Geoprocessamento no Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS, versão 3.20 Odense.

## Processamento dos dados

Para a interpretação e a análise da dinâmica espacial dos focos de queimadas, aplicou-se o estimador de densidade Kernel, que fornece a densidade de pontos em uma área contínua (KRISP *et al.*, 2009). O tamanho do pixel de saída utilizado foi de 100 m e o raio de abrangência de 5 km. O interpolador foi aplicado considerando pontos vizinhos que ocorressem dentro de uma distância de 5 km do ponto central. Pontos localizados fora desse raio não tiveram influência na estimativa. Isso ajuda a equilibrar a suavização e a sensibilidade da interpolação em relação às variações locais.

Os resultados obtidos foram gerados por meio de um arquivo matricial, resultante da soma do agregado de  $n$  outras matrizes circulares de raio  $h$  para cada ponto dos dados de entrada, conforme a equação:

$$f(x) = 1/nh^2 \sum_{i=1}^n K \{x - X_i/h\}$$

Onde;

$n$  = número de pontos observados;

$h$  = largura de banda;

$K$  = é a função Kernel;

$x$  = é o vetor de coordenada que representa a localização do ponto estimado

$X_i$  = é o vetor da  $i$ -ésima coordenada que representa cada ponto observado em relação ao estimado;

Para identificar as regiões de concentração dos focos de queimadas, foi utilizada uma classificação em cinco níveis, analisando o histograma de cada matriz: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

O quantitativo dos focos de queimadas entre 2013 e 2023 foi relacionado aos dados mensais e anuais de precipitação (mm), umidade relativa do ar (%) e temperatura do ar (C) no mesmo período. Após a coleta, esses dados foram tabulados em uma planilha eletrônica no Excel, filtrados e organizados por ano e por mês.

### Análise estatística

A análise quantitativa dos focos de queimadas foi realizada utilizando boxplots, que permitiu identificar aspectos como dispersão, assimetria, extensão das caudas e a presença de outliers. Para complementar essa análise, foram aplicadas estatísticas descritivas que incluíram medidas de tendência central, como média e mediana, e medidas de dispersão, como os valores mínimo e máximo, o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV em porcentagem), afim de facilitar a interpretação da ocorrência dos focos.

Em seguida, foi aplicada regressão linear simples (equação 2) para cada uma das variáveis meteorológicas, considerando o número de focos como variável dependente e a precipitação, temperatura média do ar e umidade relativa do ar como sendo variáveis independentes. Por fim, foi calculado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para avaliar o grau de correlação entre as variáveis.

O modelo geral de regressão é dado pela seguinte expressão:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x$$

Onde;

$Y$  = Indica a variável dependente, nesse caso o número total de focos de queimada;

$\beta_0$  = coeficiente angular;

$\beta_1$  = coeficiente linear;

$x$  = representa as variáveis independentes, neste caso, a precipitação, umidade relativa do ar e temperatura média do ar.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

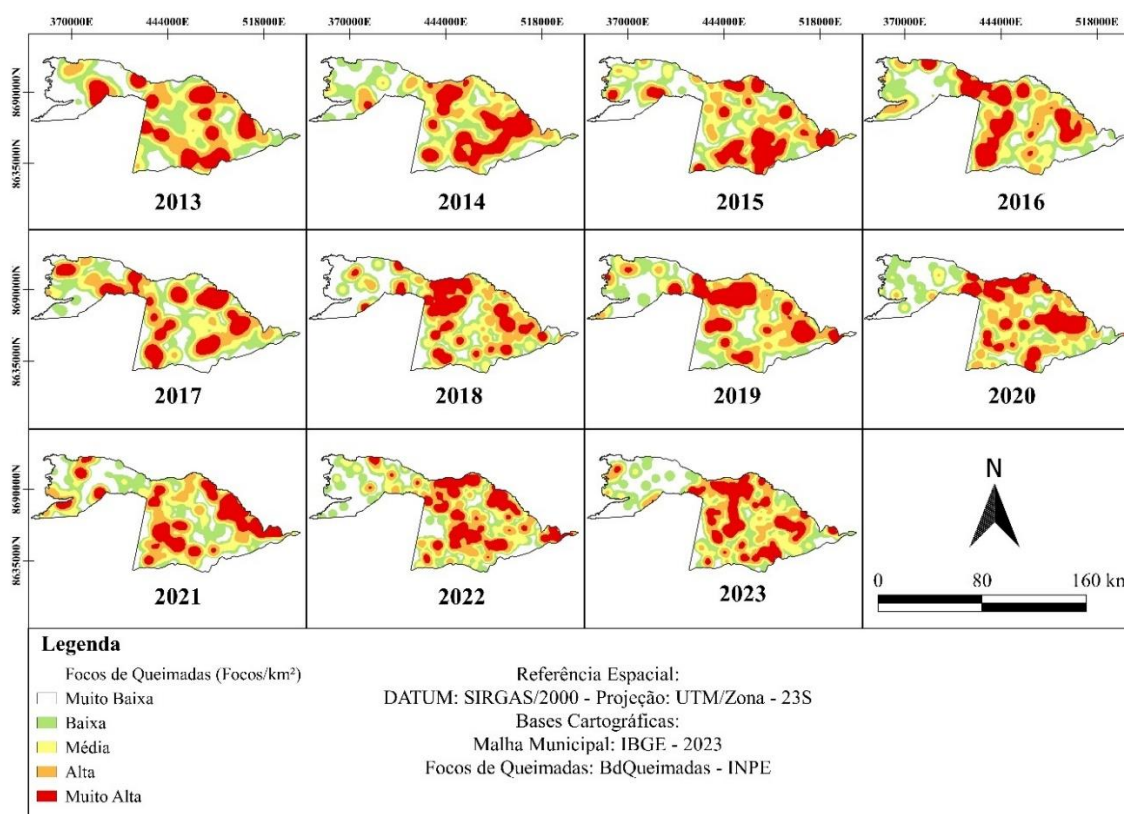
A densidade dos focos de queimadas no período de 2013 a 2023, a partir da interpolação dos dados em cada ano (Figura 3), ressalta a consistência da ocorrência



desses eventos ao longo de cada ano, permitindo verificar o grau de severidade do processo em diferentes períodos.

Observa-se que as áreas queimadas estão concentradas principalmente nas regiões centrais da extensão municipal, mais especificamente em sua porção norte, o que pode ser explicado pela ocorrência de condições ambientais mais propícias às atividades de agricultura (áreas ao plantio e à criação de gado), tendo em vista o cultivo de grãos, prática bem consistente na região do extremo oeste. Além destes, fatores como umidade e disponibilidade hídrica podem explicar o elevado número de focos de queimadas registrado neste setor de Barreiras.

As imagens mostram uma distribuição espacial irregular dos focos de queimadas, com densidade média a alta (tons laranja e vermelho), em toda extensão do município. Em 2013, os focos foram registrados de forma dispersa, com maior concentração no setor leste, enquanto nos anos 2014 e 2020, a maior incidência foi observada no setor central, já em 2021, destacou as maiores densidades no setor nordeste.



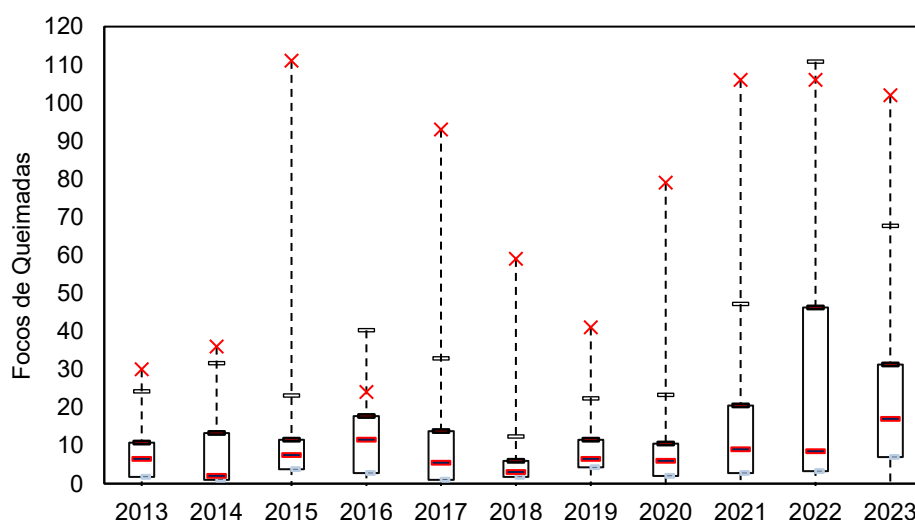
**Figura 3.** Densidade dos focos/km<sup>2</sup> de queimadas no período de 2013 a 2023.

Rocha e Nascimento (2021) utilizaram satélites polares e geoestacionários com sensores ópticos a partir do banco de dados do INPE com o objetivo de analisar a distribuição espaço-temporal dos focos de queimadas no Cerrado, e constatarem uma expressiva concentração dos focos no período seco, localizados nas regiões de alta produtividade agrícola. Diante da ocupação acelerada presenciada em municípios do extremo oeste baiano, como em Barreiras, em decorrência do alto potencial agrícola

crescente na região a partir dos anos 2000, é possível que a sua ocorrência esteja relacionada com atividades agropecuárias, através de modificações no uso e cobertura da terra, assim como desmatamento de mata nativa conforme exposto por Ferreira *et al* (2021).

Canzian *et al.*, (2020), destacam que a origem de um incêndio em vegetação pode ser atribuída a dois principais contextos: causas naturais ou ações antrópicas, incluindo negligência ou intencionalidade. Enquanto em diversas partes do globo o fogo é empregado para a limpeza de áreas, no Brasil, sua gestão visa favorecer atividades agropecuárias por meio da queima e da criação de pastagens. Dessa forma, os resultados da interpolação, revelaram a eficácia dessa abordagem na detecção de regiões potencialmente sujeitas a queimadas, evidenciando de maneira clara sinais de desmatamento local por toda a extensão do município.

Durante o período de 11 (onze) anos de monitoramento orbital (Figura 4), foram identificados 2.124 focos de queimadas em todo o território do município de Barreiras, resultando em uma média anual de 193 focos. Os anos com o maior número de registros foram 2022 e 2023, com 317 e 298 ocorrências respectivamente, concentrando 28,95% do total de ocorrências no período analisado. A análise também destacou outros dois anos com altos índices de queimadas (2015 e 2021), que, embora inferiores aos de 2022 e 2023, foram significativamente maiores que nos demais anos.



**Figura 4.** Boxplot anual dos focos de queimadas para o período de 2013 a 2023.

Analisando a estatística da Tabela 2, verificou-se coeficiente de variação alto entre a repartição dos focos anuais, resultando numa significativa dispersão dos dados em torno da média. Hand (2008) afirma que a alta variabilidade pode ser explicada por anos com valores extremos, que aumentam a dispersão em torno da média. Oliveira *et al.*, (2011) atribuem essa variação à forte influência de condições climáticas extremas ou de outros fatores sazonais.

Em 2018, o CV foi o mais alto, alcançando 178,98%, sugerindo uma alta dispersão em relação à média anual. Este valor elevado indica que houve grandes oscilações na quantidade de focos durante esse ano. Em contrapartida, o ano de 2016 apresentou um dos menores coeficientes de variação (CV), de 76,04%, o que representa uma menor variabilidade. Isso sugere que os dados de focos de queimadas naquele ano foram mais consistentes em torno da média, com quantidades relativamente semelhantes ao longo dos meses.

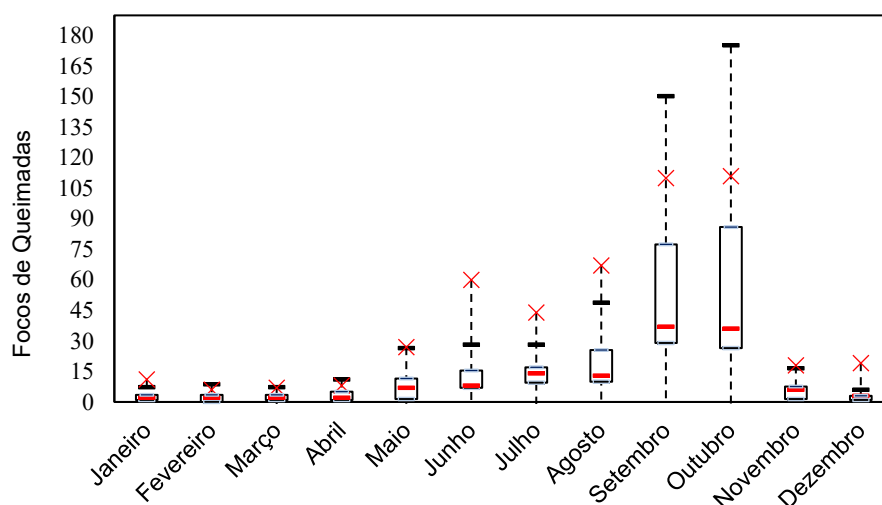
O maior desvio padrão foi observado em 2015 (40,83), indicando que os focos de queimadas nesse ano tiveram uma grande variabilidade em relação à média anual. O menor desvio padrão foi registrado em 2016 (8,68), sugerindo que os focos de queimadas foram mais uniformemente distribuídos em relação à média anual nesse ano.

**Tabela 2.** Focos, frequência (%), CV (%) e desvio padrão (DP) no município de Barreiras, período de 2013-2023.

Anos	Focos	Frequência (%)	CV (%)	DP
2013	105	4,94	110,82	9,70
2014	104	4,90	136,38	11,82
2015	283	13,32	173,14	40,83
2016	137	6,45	76,04	8,68
2017	200	9,42	166,74	27,79
2018	123	5,79	178,98	18,35
2019	129	6,07	111,71	12,01
2020	165	7,77	164,92	22,68
2021	263	12,38	147,37	32,30
2022	317	14,92	125,69	33,20
2023	298	14,03	114,15	28,35

A distribuição mensal da ocorrência dos focos, mostra os meses de agosto a outubro com maior número de focos registrados (Figura 5), coincidindo ao período mais seco. Foi observado uma aparente estabilização, com baixos números de focos, entre os meses de janeiro a junho. Com isso é possível observar dois períodos bem distintos: i) um com pouca ocorrência de focos de queimadas entre janeiro a junho e outro com ii) alta ocorrência de focos entre agosto-outubro, sendo este o mais suscetível às maiores ocorrências de queimadas no município de Barreiras.

Os resultados dos meses mencionados são propícios para ocorrência de incêndios e queimadas devido à vegetação mais seca, característica dessa época do ano, onde há a redução das chuvas. Santos, Souza, Silva (2011), pontuam que a vegetação típica do cerrado durante esse período, é composta principalmente por galhos, folhas e troncos, e assim contribui como combustível para a propagação do fogo.



**Figura 5.** Boxplot mensal dos focos de queimadas no município de Barreiras, no período de 2013 a 2023.

Os meses com maior ocorrência de focos (Tabela 3), representam 67,14% do total de ocorrências no período analisado. Setembro (27,07%) e outubro (29,00%) juntos concentraram mais da metade das ocorrências, evidenciando uma sazonalidade clara, com a maior parte das queimadas ocorrendo no final do período seco.

**Tabela 3.** Focos, frequência (%), CV (%) e desvio padrão (DP) dos focos mensais de queimadas no período de 2013-2023.

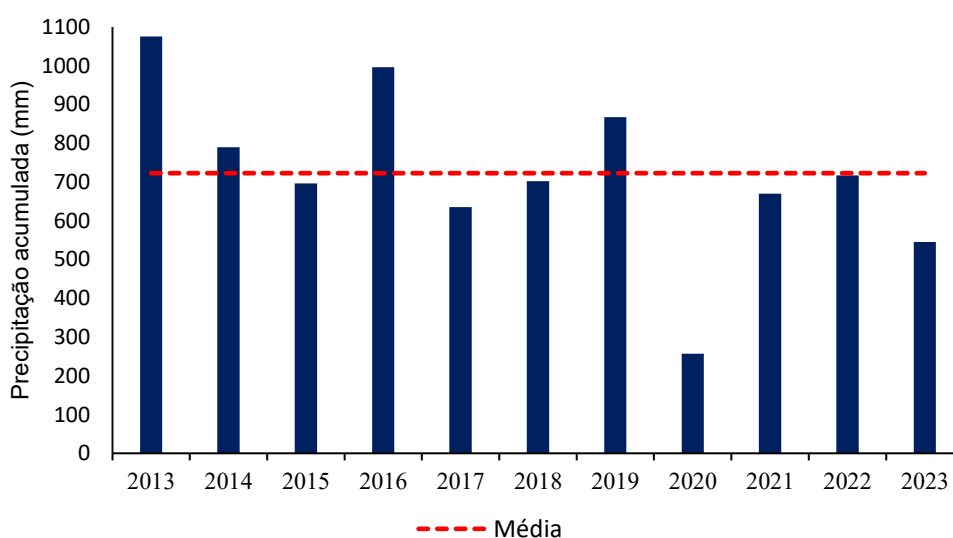
Meses	Focos	Frequência (%)	CV (%)	DP
Janeiro	35	1,65	99,21	3,16
Fevereiro	25	1,18	104,29	2,37
Março	28	1,32	77,31	1,97
Abril	33	1,55	91,89	2,76
Maio	89	4,19	101,08	8,18
Junho	194	9,13	110,07	19,41
Julho	184	8,66	68,64	11,48
Agosto	235	11,06	91,01	19,44
Setembro	575	27,07	69,03	36,08
Outubro	616	29,00	62,51	35,00
Novembro	68	3,20	101,75	6,29
Dezembro	42	1,98	138,50	5,29

Assim, como na análise anual dos registros, verificou-se um coeficiente de variação (CV) alto entre a distribuição mensal. Essa estimativa já era esperada em decorrência aos valores elevados no período de estiagem (agosto a outubro) quando sofrem um aumento significativo, alterando o conjunto dos dados heterogêneos, já que a quantidade de focos ativos nos meses que antecedem esse trimestre é baixa. O CV mais alto foi observado em dezembro (138,50%), sugerindo que as ocorrências de

queimadas nesse mês variaram bastante ao longo dos anos. Em contraste, os menores CVs foram registrados em outubro (62,51%) e setembro (69,03%), indicando que nesses meses as queimadas foram mais consistentemente elevadas ao longo do período analisado, com menor variação em relação à média.

Os maiores desvios padrão foram registrados em setembro (36,08) e outubro (35,00), refletindo a alta concentração de queimadas nesses meses, com grande variação no número de focos de ano para ano. Os menores desvios padrão foram observados em março (1,97) e fevereiro (2,37), sugerindo que, nesses meses, o número de focos de queimadas foi mais consistente e com menor variação.

Os dados pluviométricos de 2013 a 2023 (Figura 6), registraram volume anual com média de 730 mm, sendo o ano de 2020, os menores volumes de precipitação acumulada, apresentando apenas 256,60 mm. O ano de 2013, apresentou 1.075,25 mm de volume acumulado, sendo considerado o mais chuvoso, conforme mencionado previamente, a variação sazonal da precipitação no município é caracterizada por duas estações bem definidas: estação chuvosa que abrange (novembro a abril) e uma estação menos chuvosa (estação seca) que corresponde geralmente ao período de maio a outubro. Do total precipitado, 93,06% ocorreu na estação chuvosa e 6,94% na estação seca.



**Figura 6.** Precipitação Pluviométrica acumulada (mm) do município da Barreiras/BA, para os anos de 2013 a 2023.

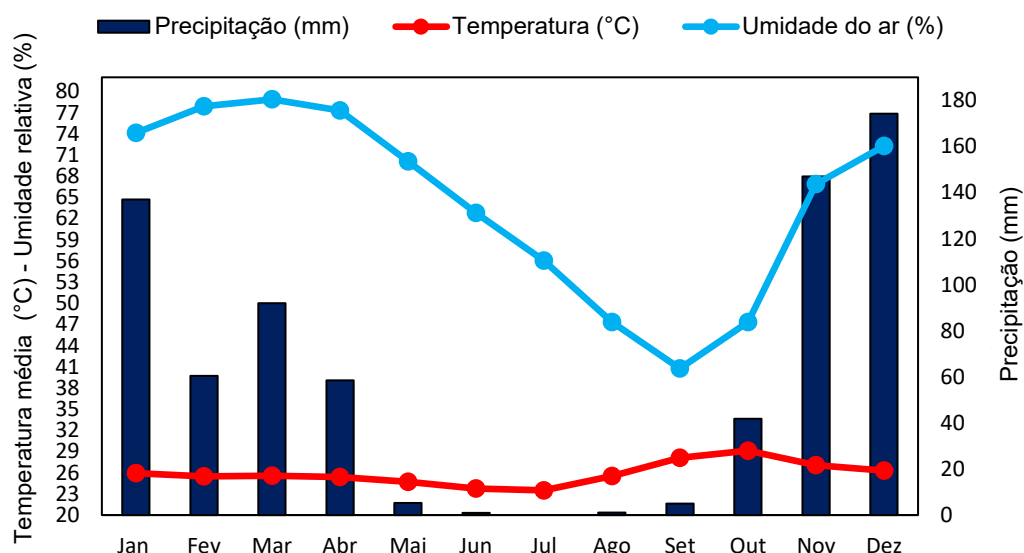
Embora a diferença entre os valores máximos e mínimos seja expressiva, a maioria dos anos registrou volumes de chuva próximos à média, sugerindo uma tendência de precipitação estável no local. No entanto, o ano de 2020 foi uma exceção, possivelmente devido às falhas no registro.

Ao comparar a série histórica de precipitação (Figura 6) com a de focos de queimadas (Figura 4), percebe-se uma relação inversa, em que anos com alto acumulados de precipitação, correspondem a uma baixa ocorrência de focos. No entanto, essa tendência não é absoluta. A exemplo do ano de 2022, que apresentou a maior



ocorrência dos focos de queimadas, o ano de 2020, com o menor acumulado de precipitação (256,6 mm) não apresentou o maior número de focos. Esses dados sugerem que, embora exista uma aparente correlação entre precipitação e focos de queimadas, outros fatores, tanto ambientais quanto antrópicos (como a ação humana na ignição do fogo), desempenham um papel significativo na variação anual (SANTOS *et al.*, 2019).

Para a análise da precipitação média mensal, observa-se que o período mais chuvoso ocorre no verão (novembro, dezembro e janeiro) com valores  $\geq 130$  mm, e o mais seco ocorreu no inverno (junho, julho e agosto) com valores  $< 2$  mm (Figura 7). Rios *et al.*, (2018) afirmam ser característica do Cerrado apresentar uma redução na disponibilidade hídrica durante a estação seca, o que leva à perda das folhas como forma de minimizar a perda de água. Esse processo resulta em uma maior quantidade de matéria seca disponível para combustão, o que facilita a ocorrência de queimadas, sejam elas naturais ou provocadas por ação humana.



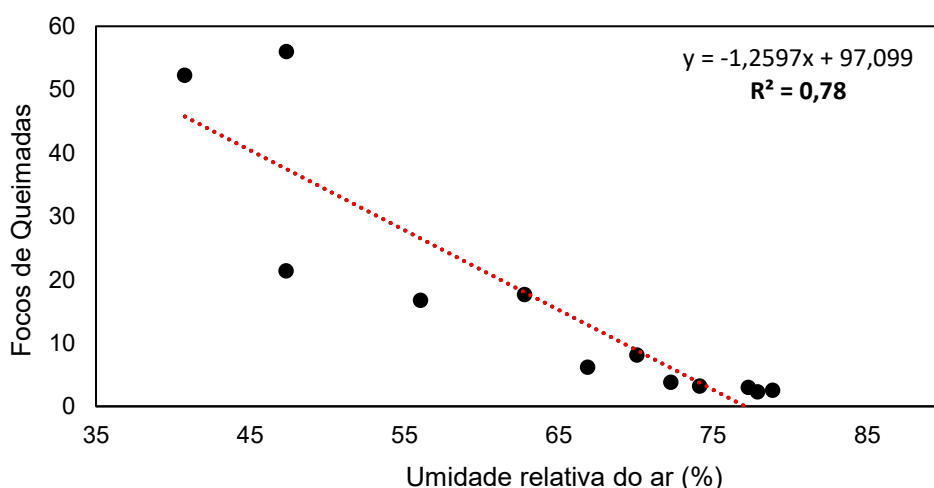
**Figura 7.** Médias mensais (2013 a 2023) de precipitação pluviométrica (mm), temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%).

A temperatura média no período variou entre 24°C e 29°C (Figura 7) atingindo os maiores valores nos meses de setembro e outubro, e os menores em junho e julho. O ano mais frio foi julho de 2021, com 22,5°C, e o mais quente foi outubro de 2023, com 30,4°C. As maiores temperaturas registradas, acontecem com uma maior incidência dos focos, caracterizado como período seco. Em 2022, a temperatura média anual do ar foi a menor registrada nos últimos 11 anos, atingindo 25,1°C, enquanto a maior amplitude térmica ocorreu em 2019, com uma média de 26,3°C. Em relação à umidade relativa do ar, 2023 registrou o valor médio anual mais baixo, com 60,72%, enquanto 2020 apresentou a maior umidade relativa média anual, atingindo 70,19%.

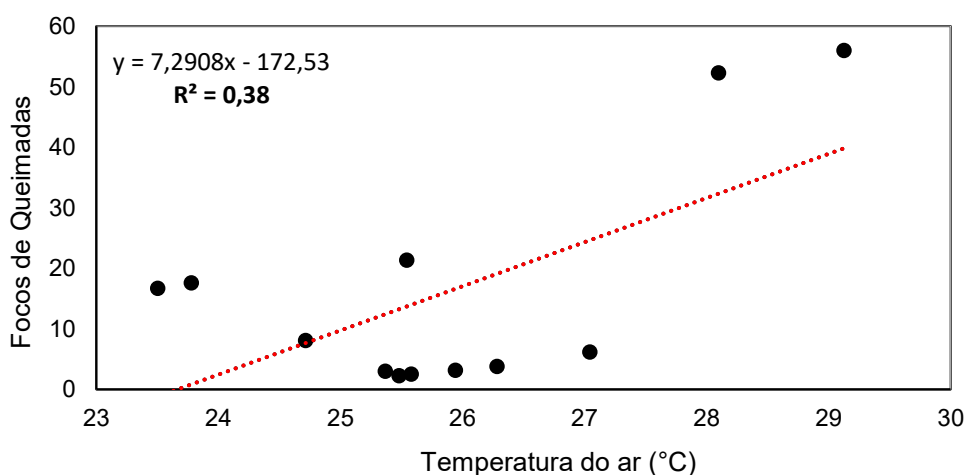
Para a estação seca, houve um aumento da temperatura do ar nos meses de agosto a outubro e no mesmo período, de forma inversa, a umidade relativa do ar apresentou redução em relação ao período chuvoso, expondo temperatura média mensal com

mínima de 23,7°C e máxima de 29,1°C, umidade média mensal mínima de 40,76% e máxima de 78,88%. Onde correm às máximas de precipitação e umidade do ar, os focos de queimadas decrescem. Silva *et al.* (2021) evidenciaram a influência do clima, incluindo a umidade relativa do ar na atividade de incêndios no Cerrado, demonstrando que variações climáticas afetam diretamente o comportamento do fogo na região.

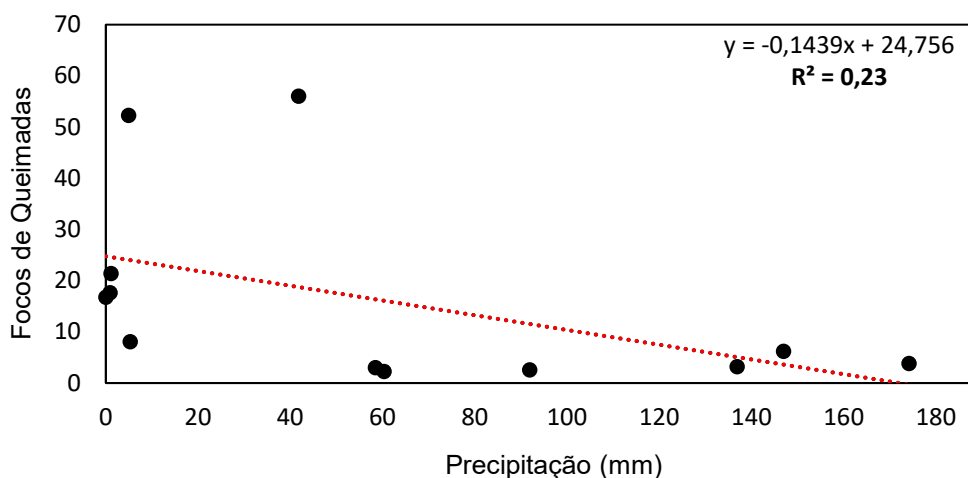
Analizando os gráficos de regressão linear das variáveis meteorológicas no período de 2013 a 2023 (Figuras 8, 9 e 10), observa-se que a umidade relativa do ar apresentou a maior correlação com os focos de queimadas, destacando um  $R^2$  de 0,78. A temperatura do ar mostrou correlação moderada ( $R^2 = 0,38$ ), enquanto a precipitação pluviométrica a menor correlação ( $R^2 = 0,23$ ).



**Figura 8.** Regressão dos Focos de Queimadas e a Umidade relativa do ar (2013 – 2023).



**Figura 9.** Regressão dos Focos de Queimadas e a Temperatura do ar (2013 – 2023).



**Figura 10.** Regressão dos Focos de Queimadas e a Precipitação (2013 – 2023).

Os resultados da análise estatística por regressão linear evidenciaram uma maior correlação entre umidade, temperatura e os focos de queimadas em comparação à precipitação, sendo compatíveis com interpretações de estudos prévios. Segundo Gouveia *et al.* (2021), a temperatura elevada aumenta a evaporação, reduzindo a umidade do solo e da vegetação. Isso torna a vegetação mais seca e altamente inflamável, o que pode facilitar o início e a propagação de queimadas. Altas temperaturas também podem acelerar as reações químicas que levam à combustão, aumentando assim a probabilidade de incêndios. Martins *et al.* (2020), afirmam que embora a precipitação tenha uma relação inversa com os focos de queimadas, assemelhando com os resultados encontrados nessa pesquisa, ela pode ter um impacto mais direto em certos contextos, especialmente durante períodos de seca prolongada, onde a ausência de precipitação já estabeleceu condições secas. Nesses casos, variações na temperatura podem ter um efeito ampliado sobre a probabilidade de incêndio.

As correlações encontradas são coerentes com o que é relatado em estudos sobre a ecologia do fogo e as mudanças climáticas, onde a umidade e temperatura desempenham um papel crucial na dinâmica dos incêndios, especialmente em combinação com outros fatores ambientais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espacialização dos dados através do interpolador Kernel, possibilitou identificar as áreas com maior densidade dos focos de queimadas (focos/km<sup>2</sup>), que foram concentradas nas regiões centrais do município, especialmente na porção norte, possivelmente devido às condições ambientais favoráveis à agricultura nessas áreas.

A temperatura e a umidade relativa do ar mostraram-se como os principais fatores climáticos que influenciam na ocorrência dos focos de queimadas no município, demonstrando uma relação direta com os resultados observados. Em contrapartida, a

precipitação apresentou uma forte correlação negativa, sendo um fator crucial na criação de condições propícias para a ocorrência de queimadas.

Os resultados dessa pesquisa poderão subsidiar a criação de um banco de dados, que auxiliará no monitoramento e na fiscalização das queimadas no município, visando o controle e a prevenção de incidentes e perdas decorrentes do descontrole do fogo. Para estudos futuros, recomenda-se a inclusão e a correlação de outras variáveis microclimáticas, a exemplo da velocidade do vento, evapotranspiração, classes de vegetação e declividades do terreno, a fim de estabelecer relações mais detalhadas com os focos de queimadas.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Oeste da Bahia e ao Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), pela disponibilização gratuita dos dados.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

**Concepção:** Georje Lincon de Castro Oliveira e Elvis Bergue Mariz Moreira. **Metodologia:** Georje Lincon de Castro Oliveira e Elvis Bergue Mariz Moreira. **Análise formal:** Elvis Bergue Mariz Moreira e Fabio Corrêa Alves. **Pesquisa:** Georje Lincon de Castro Oliveira. **Preparação de dados:** Georje Lincon de Castro Oliveira. **Escrita do artigo:** Georje Lincon de Castro Oliveira e Elvis Bergue Mariz Moreira. **Revisão:** Elvis Bergue Mariz Moreira e Fabio Corrêa Alves. **Supervisão:** Elvis Bergue Mariz Moreira e Fabio Corrêa Alves. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

## REFERÊNCIAS

- BIZERRIL, M. X. A. O Cerrado nos livros didáticos de geografia e ciências. **Ciência hoje**, v. 32, n. 192, 2003.
- BORMA, L. D. S; NOBRE, C. A. Secas na Amazônia: causas e consequências. Oficina de Textos, 2013.
- CANZIAN, W. P. et al. Análise de causa e influência de elementos meteorológicos em ocorrências de incêndios em florestas de produção. **Ciência Florestal**, v.30, n.3, p. 835-844, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509837802>
- CLEMENTE, S. D.; OLIVEIRA, J. F. D.; PASSOS LOUZADA, M. A. Focos de queimadas na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, 669-677, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324014>
- CORREIA FILHO, W. L. F. et al. Diagnóstico da Precipitação e EVI em dois Eventos de Seca no Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v.35, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.140068>

FERREIRA, A. B. R. et al. As mudanças no uso e cobertura da terra na região oeste da Bahia a partir da expansão agrícola. **Revista Formação**, v.28, n.53, p. 389-412, 2021.

FLORES, P. M. et al. Análise multitemporal da expansão agrícola no município de Barreiras-Bahia (1988-2008). **Revista de Geografia agrária**, v.7, n.14, jan de 2012. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/14955/11243>

GOUVEIA, J. R. F. et al. Caracterização de Cicatrizes de Queimadas nas Mesorregiões do Sertão e São Francisco Pernambucano a partir de dados do Sensor MODIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.2, 2021. Pg. 881-996. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p881-996>

HAND, D.J. Estatística: Statistics: A Very Short Introduction. OUP Oxford, (2008).

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2020. Sistema de Monitoramento – Banco de Dados de Queimadas.

INMET - Instituto Nacional De Meteorologia. Informações meteorológicas por município, 2014.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, 2005. v.1, 2005. Pg. 147-155.

KRISP, J.M.; PETERS, E.; MURPHY, C.E.; FAN, H. Visual Bandwidth Selection for Kernel Density Maps, **Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation**, Vol. 5, p.441–450, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1127/1432-8364/2009/0032>

LATURNER, N; SCHERER, H. As queimadas e os incêndios florestais em Mato Grosso. **Revista Geonotas**, v.8, 2004.

LOPES, S. F.; VALE, V. S.; SCHIAVINI, I. Efeito de queimadas sobre a estrutura e composição da comunidade vegetal lenhosa do cerrado sentido restrito em Caldas Novas, GO. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.695-704, 2009.

LOTUFO, J. B. et al. Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.02, 2020. Pg. 648-663. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p648-663>

MARTINS, G. et al. Dinâmica Espaço-Temporal das Queimadas no Brasil no Período de 2003 a 2018. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.4, 2020. Pg.1558-1569. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1558-1569>

MARQUES, R. J.; SOBRINHO, W. F. R. Detecção das ocorrências de focos de queimadas e produção de mapas de calor Timon, MA. **Revista Geonorte**, v. 11, n. 37, 2020. Pg. 210-228.

DOI: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2020.V.11.N.37.210.228>

MÉLO, A. S. et al. Suscetibilidade do ambiente a ocorrências de queimadas sob condições climáticas atuais e de futuro aquecimento global. **Revista Brasileira de**



**Meteorologia**, v.26, 2011. Pg.401-418. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000300007>.

MOREIRA, B.; CARVALHO, F. A. Regeneração de agroflorestas: a importância da cobertura arbórea na transição florestal. **Biotemas**. v.31, n.1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2018v31n1p21>

NOBREGA, T. F.da. **Caracterização de queimadas e sua emissão de aerossóis e gases de efeito estufa no sul da Amazônia**. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-26102023-194314/>. Acesso em: 10 fev. 2025.

OLIVEIRA, G. C. S. et al. Uma abordagem da geografia do clima sobre eventos extremos de precipitação em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, p. 238-251, 2011.

PEREIRA, et al. Validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital 335 de queimadas por meio de imagens TM. *Cerne*, Lavras, v. 18, n. 2, p. 335-343, abr./jun. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/f8FXmqMx3PdxwNNBJdQHxxg/?lang=pt&format=pdf>

PITTA, I. Origem de Barreiras, disponível em: <http://www.historiadebarreiras.com/2010>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

PMGRS. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no município de Barreiras/Bahia. Disponível em: [https://barreiras.ba.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/Versao\\_PMGIRS\\_27\\_11\\_14.pdf](https://barreiras.ba.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/Versao_PMGIRS_27_11_14.pdf). Acesso em: outubro de 2023.

RADOJEVIC, M. Burning issues. **Chemistry in Britain**, 34(12): 38-42,1998.

RIOS, M. D. S.; SOUSA-SILVA, J. C.; MALAQUIAS, J. V. Mudanças pós-fogo na florística e estrutura da vegetação arbóreo-arbustiva de um cerrado sentido restrito em planaltina, DF. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 469-482, abr.- jun., 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832028>

ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.3, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1220-1235>

SAMPAIO, M. A. P. Oeste da Bahia: agricultura globalizada, desterritorialização e movimentos políticos emancipatórios. **Revista Geografia em Atos**, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, (60 anos do curso de Geografia da FCT/UNESP: memórias e desafios), n. 15, v. 8, p. 8-32, dez/2019. ISSN: 1984-1647.

SANTOS, B. A. et al. Distribuição espaço-temporal dos focos de queimadas no Estado de Minas Gerais. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.42, n.3, 2019. Pg.64-84. DOI: [https://doi.org/10.11137/2019\\_3\\_64\\_84](https://doi.org/10.11137/2019_3_64_84)

SCHMIT, T. J. et al. A closer look at the ABI on the GOES-R series. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 98, n. 4, 2017. Pg. 681-698. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00230.1>

SEMATUR. Estudo Final para Proposta de Implantação do Parque Municipal Natural de Barreiras-BA, 2020. Disponível em: <https://barreiras.ba.gov.br/wp-content/uploads/2020/10/estudo-final-parque-municipal-atualizado-29-10-20.pdf>

SILVA, C. et al. Efeito do fogo na abundância e diversidade fúngica no solo do Cerrado. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 4, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509854717>

STIEFELMANN, G. C. Mudanças na visão sobre ambiente entre conferência das Nações Unidas para o meio ambiente e o desenvolvimento (ECO 92) e a conferência das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável (Rio+ 20). *Relações Internacionais-Florianópolis*, 2012.

TOMASONI, M. A. **Análise das transformações socioambientais com base em indicadores para recursos hídricos no cerrado baiano: O caso da Bacia hidrográfica do Rio de Ondas/BA, 2008**. Tese (Núcleo de Pós-Graduação em Geografia). Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2008.

YAMASDE, E., M.A.; ARTAXO, P.; MIGUEL, A.H.; ALLEN, A.G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. **Atmospheric Environment**, v. 34, n.10, p. 1641- 1653, 2000. DOI: 10.1016/s1352-2310(99)00329-5



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0