Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ESTUDO DA CORRELAÇÃO CRUZADA ENTRE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E QUEIMADAS NO ESTADO DA BAHIA

Study of the cross-correlation between meteorological variables and burnings in the State of Bahia

Estudio de la correlación cruzada entre variables meteorológicas y quemadas en el Estado de Bahía

Rogério Gomes Matias
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)
Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente
rgmatias@uefs.br

Thiago Pires Santana
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)
Departamento de Ciências Exatas
tpsantana@uefs.br

Regivaldo Sousa Ferreira
Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
r225153@dac.unicamp.br

Ana Tereza Costa Silva
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)
Departamento de Física
tereza@uefs.br

Takaaki Ohishi
Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
takaaki@unicamp.br

Gilney Figueira Zebende
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)
Departamento de Física
gfzebende@uefs.br

Resumo: As queimadas representam uma grande preocupação ambiental dado o alcance dos seus impactos em contextos globais e/ou locais, impulsionadas e influenciadas por uma série de interações complexas que decorrem de fatores meteorológicos. Deste modo, este trabalho tem por objetivo investigar a autocorrelação e correlação cruzada entre o número de focos de queimadas no Estado da Bahia e variáveis meteorológicas, no período de 2001 a 2024. Para isso, consideramos as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, rajada de vento e radiação solar, além dos registros do número de queimadas para a realização da análise de autocorrelação por meio do expoente α_{DFA} e correlação cruzada pelo coeficiente ρ_{DCCA}. Os resultados da análise de autocorrelação revelam um comportamento de memória persistente nas séries temporais para escalas de até 12 meses, confirmando o comportamento sazonal das variáveis. O coeficiente ρ_{DCCA} demonstrou que a variável rajada de vento possui uma correlação positiva forte com as queimadas, enquanto a umidade relativa do ar exibe uma anticorrelação igualmente forte, sobretudo em escalas temporais mais curtas. Desse modo, a umidade relativa do ar e a rajada de vento são principais variáveis meteorológicas que modulam a intensidade da ocorrência de queimadas no Estado da Bahia com picos sazonais evidentes, em particular, nos meses de setembro e outubro.

Palavras-chave: Fogo, Dados Atmosféricos, Séries Temporais, α_{DFA} , ρ_{DCCA}.

Abstract: Wildfires represent a primary environmental concern due to the extent of their impacts at both global and local scales, driven and influenced by a complex set of interactions arising from meteorological factors. Accordingly, this study aims to investigate the autocorrelation and cross-correlation between the number of wildfire outbreaks in the State of Bahia and meteorological variables over the period from 2001 to 2024. For this purpose, we considered air temperature, relative humidity, precipitation, wind gusts, and solar radiation, in addition to wildfire records, to conduct an autocorrelation analysis through the α_{DFA} exponent and a cross-correlation analysis using the ρ_{DCCA}coefficient. The results of the autocorrelation analysis reveal a persistent memory behavior in the time series for scales of up to 12 months, confirming the seasonal behavior of the variables. The ρ_{DCCA} coefficient indicated that wind gusts exhibit a strong positive correlation with wildfire occurrences. At the same time, relative humidity displays an equally strong anticorrelation, particularly at shorter time scales. Thus, relative humidity and wind gusts emerge as the main meteorological variables modulating the intensity of wildfire occurrences in the state of Bahia, with evident seasonal peaks, especially during September and October.

Keywords: Fire, Atmospheric Data, Times Series, α_{DFA} , ρ_{DCCA}.

Resumen: Los incendios forestales representan una preocupación ambiental importante debido a sus impactos de gran alcance en contextos globales y/o locales, impulsados e influenciados por una serie de interacciones complejas derivadas de factores meteorológicos. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo investigar la autocorrelación y la correlación cruzada entre el número de incendios forestales en el Estado de Bahía y las variables meteorológicas de 2001 a 2024. Para ello, se consideraron las variables temperatura del aire, humedad re lativa, precipitación, ráfagas de viento y radiación solar, además de los registros del número de incendios forestales, para realizar un análisis

de autocorrelación utilizando el exponente α_{DFA} y una correlación cruzada utilizando el coeficiente ρ_{DCCA}. Los resultados del análisis de autocorrelación revelan un comportamiento de memoria persistente en la serie temporal para escalas de hasta 12 meses, lo que confirma el comportamiento estacional de las variables. El coeficiente ρ_{DCCA} demostró que la variable ráfaga de viento tiene una fuerte correlación positiva con los incendios forestales, mientras que la humedad relativa exhibe una anticorrelación igualmente fuerte, especialmente en escalas de tiempo más cortas. Así, la humedad relativa y las ráfagas de viento son las principales variables meteorológicas que modulan la intensidad de los incendios en el Estado de Bahía, con picos estacionales evidentes, particularmente en los meses de septiembre y octubre.

Palabras clave: Incendio, Datos Atmosféricos, Series Temporales, α_{DFA}, ρ_{DCCA}.

Submetido em: 20/09/2025
Aceito para publicação em: 25/08/2026
Publicado em: 10/11/2026

1. INTRODUÇÃO

As variações meteorológicas e eventos climáticos extremos em escalas globais têm sido consideradas fatores importante nos registros de focos de incêndios florestais para distintos tipos de climas e vegetações em diversas partes do mundo (Abatzoglou *et al*., 2025; Matteo *et al*., 2025; Xu *et al*., 2025). A ocorrência de incêndios florestais é influenciada por características naturais do ambiente, como, por exemplo, o tipo de vegetação propício à combustão que, somadas aos efeitos das condições meteorológicas do ambiente, torna esses eventos inevitáveis em certos períodos anuais, dado o comportamento sazonal que possui (Haas; Prentice; Harrison, 2022). Além das causas naturais, como raios, combustão espontânea ou erupções vulcânicas, a ação humana exerce seu papel de influência, destacando-se por práticas tradicionais de limpeza de áreas para manejo agrícola por meio do uso do fogo, que podem sair do controle e se propagar para áreas de vegetação nativa. Soma-se a isso a ocorrência de queimadas de origem criminosa, frequentemente associados à ocupação irregular de áreas protegidas, tais fatores potencializam a ocorrência de queimadas diante as condições de variabilidade meteorológicas adversas (Harrison *et al*., *[S.d.]*).

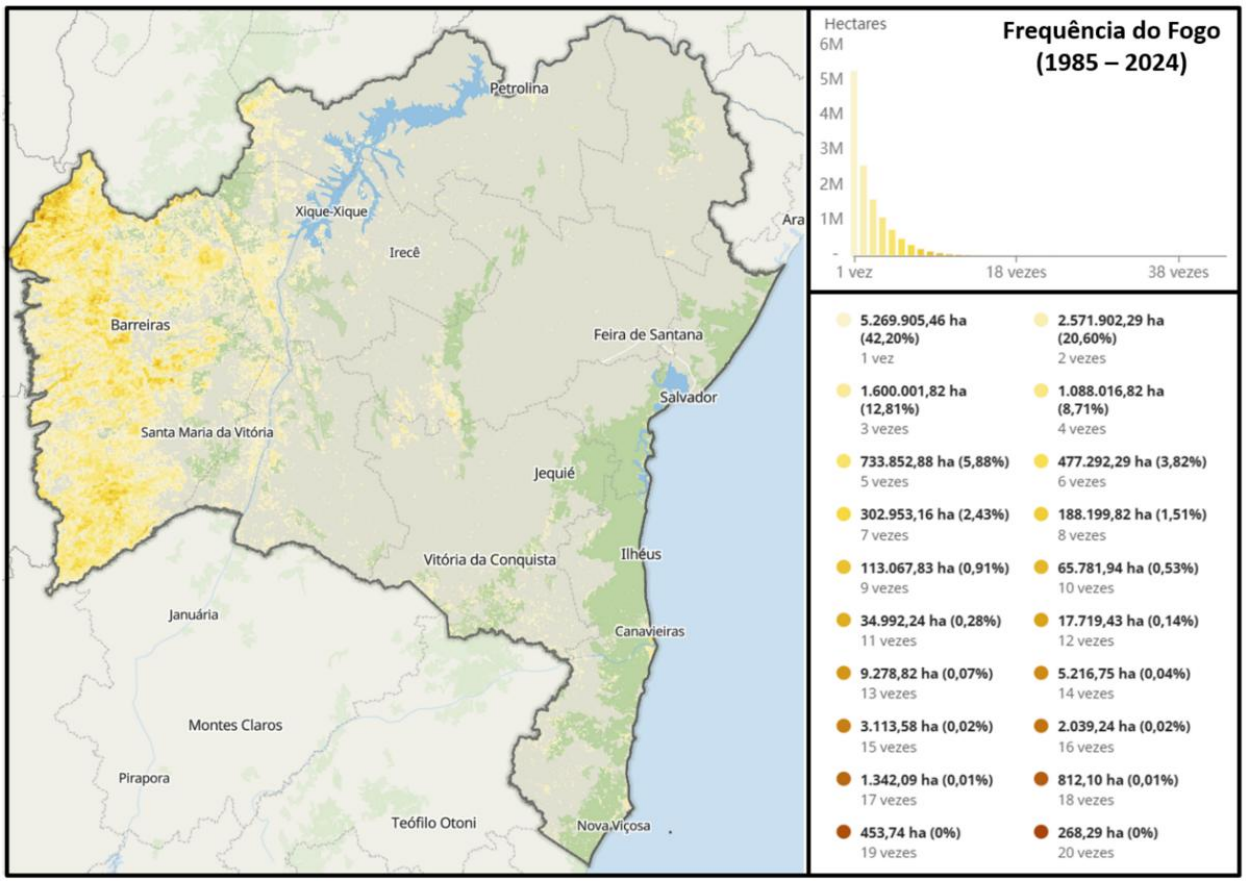
Os estudos acerca das predições nos regimes de queimadas buscam implementar modelos que consigam estimar a ocorrência e intensidade do fogo para ações de controle que minimizem os seus potenciais efeitos, desde o impacto no próprio ecossistema, passando pelo aumento da incidência de doenças respiratórias dado a piora da qualidade do ar, até prejuízos em áreas de produções agrícolas (Aguilera *et al*., 2021; Kouassi; Wandan; Mbow, 2020).

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em 2024 as áreas que registraram a ocorrência do fogo no Brasil superaram a média da série história de queimadas (INPE, *[S.d.]*). Em seu relatório anual, o MapBiomas indica um aumento percentual de quase 50% de áreas de queimadas registradas nos últimos dez anos. Os Estados brasileiros que mais tiveram ocorrência de queimadas até 2022 foram respectivamente os Estados de Mato Grosso, Pará e Maranhão. Apesar da Bahia não estar nesse dramático pódio, o município baiano, Formosa do Rio Preto, se apresenta entre os três que mais tiveram número de queimadas no país (MapBiomas Brasil, 2025).

O território baiano possui significativos registros de queimadas que têm impulsionado o desmatamento da vegetação, além disso, a região oeste do Estado apresenta o maior

número de queimadas registradas ao longo das últimas décadas, chegando à extensão de milhões de hectares (MapBiomas Brasil, 2025). A ocorrência desses focos de queimadas registradas na vegetação do território baiano, é decorrente principalmente pelas interações complexas entre as mudanças climáticas e também por ações antrópicas, representando uma preocupação ambiental (Ardila, 2025; Mataveli *et al*., 2018).

Figura 1 - Frequência do Fogo por classe de extensão**.**



Fonte: Adaptado MapBiomas (2025).

Na Figura 1, nota-se que a distribuição da frequência dos focos de queimadas no território baiano como também as áreas com as maiores extensões do alcance do fogo estão concentradas no oeste do Estado, região em amarelo, que se destaca por uma forte atividade do uso e cobertura do solo por atividades agrícolas frente as outras áreas do estado, de modo que tal dinâmica torna a região o oeste do Estado suscetível a queimadas (Ferreira *et al*., 2021; Pimenta *et al*., 2021). Tal região ainda possui uma dinâmica meteorológica com a prevalência de temperaturas elevadas, baixa umidade relativa do ar e forte variabilidade de precipitação pluviométrica (Júnior *et al*., 2020).

A ocorrência de queimadas são predominantemente derivadas de práticas agrícolas tradicionais com o uso de fogo na limpeza e manejo das pastagens, acabando por vez no descontrole da queimada atingindo áreas de proteção ambiental com vegetações nativas que estão passando pelo processo de regeneração natural dada os períodos de estiagem que exacerbam o risco a queimadas ao ressecar a biomassa e elevar as temperaturas *(Borges et al*., 2016; Eloy *et al*., 2019; Pivello, 2011).

Unidades de conservação de proteção integral, como o Parque Nacional da Chapada Diamantina – Bahia, têm sofrido impactos diretamente na composição e estruturação da sua vegetação nativa alterando inclusive a distribuição da abundância das espécies vegetais na região, pela prevalência do regime de queimadas (Leite *et al*., 2017; Santos *et al*., 2020). É observada uma redução da diversidade de determinadas espécies e a predominância das mais adaptadas ao fogo onde existem uma maior frequência de queimadas. A identificação desses padrões demonstra que a ocorrência do fogo, além de afetar a biodiversidade, compromete a resiliência ecológica quando avaliada a longo prazo (Gonçalves *et al*., 2011).

O Estado da Bahia, como região de estudo, possui uma cobertura de vegetação marcada por diferentes características, dentre elas vegetações de três biomas diferentes Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica. Em grande parte do território baiano, há uma predominância de vegetação do tipo gramíneas e arbustos esparsos (Costa *et al*., 2017), esta, durante o período prolongado de seca pode se tornar um ambiente potencialmente inflamável favorecendo o início de focos de queimadas ou um ambiente propício para a propagação do fogo (Ardila, 2025).

Para a compreensão sobre a dinâmica e a ocorrência das queimadas faz-se necessário entender o comportamento das variáveis meteorológicas (Minaki; Montanher, 2020), pois tais condições são determinantes para indicar a forte associação dos períodos prolongados de seca, com as variabilidade de temperaturas, umidade relativa do ar, déficit de precipitação e a velocidades dos ventos, no aumento da inflamabilidade da vegetação que favorecem a propagação do fogo (FAO, 2002). A disponibilidade de biomassa vegetal constitui um elemento igualmente determinante, pois algumas formações vegetais podem apresentar menor suscetibilidade ao fogo mesmo durante períodos de seca devido à reduzida disponibilidade de material combustível. Em contrapartida, áreas com elevado acúmulo de

biomassa vegetal seca tendem a favorecer a ignição e a propagação das chamas, potencializando os impactos dos eventos de fogo (Rodrigues; Lourenço Zirondi; Fidelis, 2021). Além disso, as queimadas em áreas florestais afetam profundamente a biodiversidade, causando destruição de habitats, redução de espécies e alterações nos ciclos ecológicos

A análise de autocorrelação e correlação cruzada a partir dos métodos DFA (*Detrended Fluctuation Analysis*) e DCCA (*Detrended Cross-Correlation Analysis*) tem sido aplicada a inúmeros problemas que buscam identificar a relação entre variáveis ao longo do tempo, qualificar e quantificar a interação entre elas. A utilização desses métodos pode ser encontrada numa vasta literatura e aplicada a inúmeros objetivos de pesquisa, dentre eles as ciências ambientais, no estudo de variáveis meteorológicas, como pode ser visto em (Brito, 2021; Fernandez; Oliveira; Zebende, 2024; Király; Jánosi, 2005; Santos *et al*., 2026; Vassoler; Zebende, 2012; Zebende *et al*., 2021).

Desse modo, buscaremos quantificar e qualificar o nível de autocorrelação e correlação cruzada entre variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, rajada de vento, e radiação solar) e o número de queimadas registrados na Bahia no período de 2001 até 2024 por meio do expoente α_{DFA} e coeficiente de correlação cruzada ρ_{DCCA}.

2. METODOLOGIA

O presente estudo busca realizar uma análise do nível de autocorrelação e correlação cruzada pelos métodos DFA (*Detrended Fluctuation Analysis*) e DCCA (*Detrended Cross-Correlation Analysis*) entre os registros de queimadas e as variáveis meteorológicas como temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, rajada de vento e radiação solar, ao longo dos meses, no território baiano, no período de 2001 a 2024.

O levantamento dos dados é proveniente de fontes públicas e oficiais como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para os dados referentes aos registros de queimadas, extraídos dos satélites de referência (NOAA-12 e AQUA_M-T) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para as variáveis meteorológicas, das suas estações automáticas. Para as variáveis meteorológicas, foram calculadas as médias mensais a partir dos registros hora a

hora, enquanto para os focos de queimadas foi utilizado o somatório mensal das detecções. A adoção dos dados em médias e somatórios mensais busca caracterizar as condições meteorológicas e do fogo predominantes de cada mês, no intuito de extrair informações de dependência das relações do sistema clima-fogo em séries temporais ambientais.

A metodologia utilizada para a análise estatística da dependência temporal dos dados climáticos no número de focos de queimadas na Bahia, foi realizada pelo expoente α_{DFA} e o coeficiente ρ_{DCCA}, que são apresentados a seguir.

A função de análise de flutuação sem tendência definida por Peng *et al*. (1994) pode ser denotada por:

$$F_{DFA}(n) \sim n^{\alpha_{DFA}} \qquad (1)$$

Essa função, através do valor numérico do expoente α_{DFA}, determina o tipo de autocorrelação que uma série temporal descrita por uma lei de potência pode apresentar. Na Tabela 1, apresentamos a classificação do comportamento de uma série ao longo do tempo, dado o valor do expoente de autocorrelação α_{DFA}, definida por Peng *et al*. (1994).

Tabela 1 - Escala de classificação do tipo de autocorrelação do expoente α_{DFA}.

α_{DFA}	Descrição
$\alpha_{DFA} < 0{,}5$	Correlacionada Antipersistente
$\alpha_{DFA} \simeq 0{,}5$	Descorrelacionada
$\alpha_{DFA} > 0{,}5$	Correlacionada Persistente
$\alpha_{DFA} \simeq 1{,}0$	Ruído 1/f
$\alpha_{DFA} > 1{,}0$	Não Estacionária
$\alpha_{DFA} \simeq 1{,}5$	Ruído Browniano

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tratando-se de duas séries temporais com características não lineares, o método para medir o níveis de correlações que apresenta bastante robustez é o algoritmo do coeficiente

de análise de correlação cruzada, definida por Zebende (2011), que utiliza os valores da função F_{DFA} e F_{DCCA}, dada pela seguinte equação:

$$\rho_{DCCA}(n) = \frac{F^2{}_{DCCA-xy}(n)}{F_{DFA-x}(n) \times F_{DFA-y}(n)} \qquad (2)$$

Em que $\rho_{DCCA}(n)$, é um coeficiente adimensional que varia de -1,0 a 1,0 com potencialidades para descrever a intensidade da correlação existente entre duas séries temporais ao longo do tempo, para várias escalas, mais detalhes sobre a descrição dos algoritmos de autocorrelação e correlação cruzada podem ser vistos em Santana *et al*. (2023, 2024). Na Tabela 2, são apresentados os intervalos do coeficiente $\rho_{DCCA}(n)$, que caracterizam o tipo de correlação cruzada em séries temporais.

Tabela 2 - Escala de classificação do tipo de correlação do coeficiente ρ_{DCCA}.

ρ_{DCCA}	Descrição
0,999 a 0,666	Correlação positiva forte
0,666 a 0,333	Correlação positiva moderada
0,333 a 0,000	Correlação positiva fraca
0,000 a -0,333	Correlação negativa fraca
-0,333 a -0,666	Correlação negativa moderada
-0,666 a -0,999	Correlação negativa forte

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A utilização do ρ_{DCCA} ocorre pelo fato da sua capacidade e robustez em avaliar correlações cruzadas entre séries ambientais e climáticas dada às flutuações complexas e tendências sazonais desses tipos de dados (Inacio *et al*., 2022; Vassoler; Zebende, 2012). Este coeficiente é uma extensão robusta da análise de correlação cruzada sem tendência (DCCA), sendo utilizado para analisar as dependências não estacionárias de longo prazo entre séries temporais. O método DCCA foi especificamente implementado para investigar correlações cruzadas de lei de potência entre diferentes séries temporais simultâneas não estacionárias (Podobnik; Stanley, 2008).

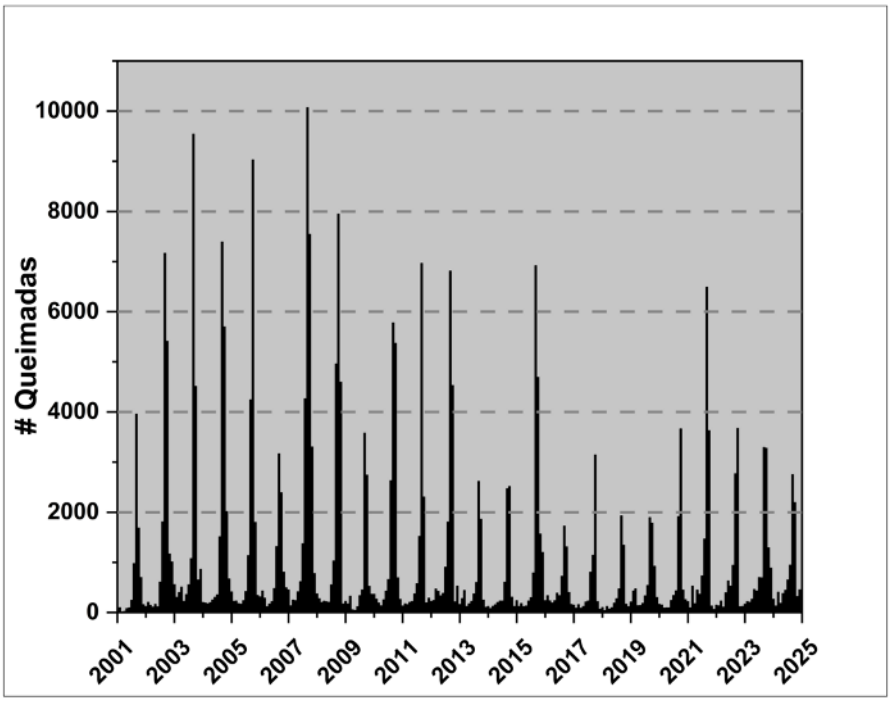
A análise da relação entre séries temporais que descrevem fenômenos meteorológicos e outros tipos de dados requer abordagens estatísticas sofisticadas que consigam determinar resultados relevantes dada a complexidade que envolve as variáveis (Boers; Kurths; Marwan, 2021; Zabaleta-Ortega *et al*., 2024). No contexto desse estudo, compreender as flutuações meteorológicas ou das queimadas ao longo do tempo, por si só, já se configura uma análise sistêmica complexa, dadas as características inerentes às próprias variáveis. Tal estudo torna-se ainda mais desafiador quando se busca compreender a associação entre as condições meteorológicas e ocorrência de queimadas em diferentes escalas e temporais.

3. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção apresentaremos os resultados e as discussões das análises feitas sobre o levantamento de dados acerca dos focos de queimadas no Estado da Bahia e dos níveis de correlação com as variáveis meteorológicas, temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, rajada de vento e radiação solar.

A Figura 2 apresenta a distribuição temporal do número de queimadas, mês a mês, desde o ano de 2001 até 2024, no território baiano. A média registrada nesse período chegou a ser superior a mil focos de queimadas por mês, um número significativamente expressivo, além de concentrar os maiores registros sempre no segundo semestre de cada ano, período caracterizado pelo aumento de temperaturas e baixos níveis de precipitação. Os dados da série histórica de queimadas na Bahia indicam a presença de irregularidades e variações sazonais tanto para períodos mensais, quanto para anuais.

Figura 2 - Série histórica do número de queimadas na Bahia.

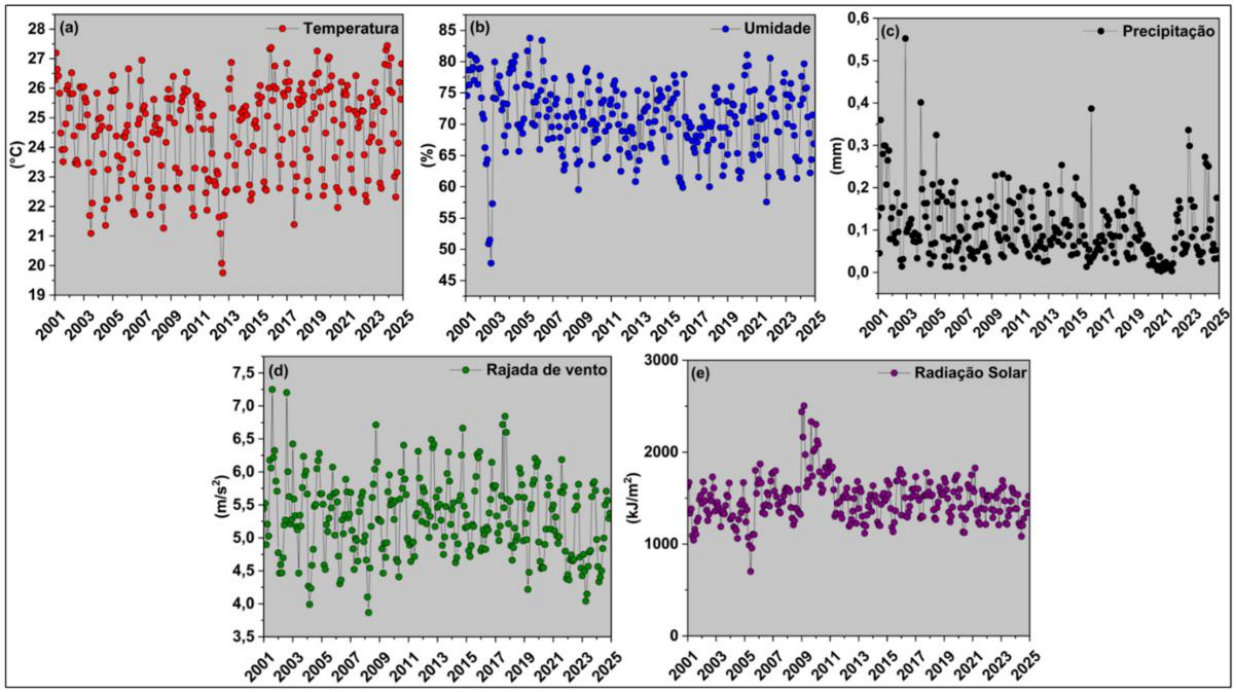


Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Identifica-se na Figura 2 que em 2007 ocorreu o maior número de queimadas da série com um total de 29.468, enquanto o menor ocorreu em 2018 com um valor de 4.956 focos, obtendo uma média anual de 12.479 queimadas. Os anos com maior número de registros da ocorrência do fogo foram 2007 e 2008; neste período o Estado passou por uma grande seca e estava sujeito aos efeitos do El Niño (INMET, 2024). Em 2007 as variáveis meteorológicas tiveram registro médio de aproximadamente: temperatura do ar 24°C, umidade relativa do ar foi de 69%, precipitação 0,07 m, rajada de vento 5 $\mathrm{m/s^2}$ e radiação solar de 1536$\mathrm{kJ/m^2}$.

A Figura 3 apresenta a dinâmica temporal, mês a mês, das cinco variáveis meteorológicas consideradas neste estudo. A temperatura do ar representada na Figura 3 (a), possui uma flutuação entre 20°C e 28°C, umidade relativa do ar (Figura 3 (b)) apresentou uma amplitude de variação de 36 pontos, não ultrapassando o percentual de 85%. Com relação à precipitação (Figura 3(c)) a variável apresentou um comportamento, em geral, com baixos registros na sua distribuição mensal, mas com expressiva variabilidade, indicando características já conhecidas dada a localização geográfica da área de estudo que possui recorrentes períodos de seca.

Figura 3 - Séries temporais meteorológicas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na Figura 3(d), temos os registros da rajada de vento que apresentou forte variação com destaque para os anos de 2002 e 2003. As medidas de radiação solar (Figura 3(e)) apresentaram menor variabilidade em comparação com as outras variáveis, característica que está associada à localização do Estado na faixa equatorial.

O número de queimadas apresenta dispersão expressiva ao longo de toda a série, aspectos que indicam associação com as variáveis meteorológicas exibidas na Figura 3. Pela percepção das características sazonais do número de queimadas e pela sua vinculação às estações do ano, entendemos que esta variável pode ser melhor explorada em uma análise descrita mensal, ver Tabela 3.

Tabela 3 - Estatística descritiva do número de queimadas.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Méd	227,9	196,9	270,6	185,6	250,1	340,5	562,7	1228,3	4281,4	3702,2	1017,6	378,3
Dp	122,1	102,3	136,2	111,8	121,2	148,2	262,3	809,8	2534,7	2059,2	1048,0	325,5
Cv	217,0	193,0	233,0	157,0	217,0	244,0	482,0	949,0	3768,5	3454,5	590,0	295,0
Ass	52,3	50,0	53,1	62,0	52,1	47,6	50,7	69,8	55,5	53,5	110,1	79,6
Curt	0,9	0,7	0,5	1,6	0,6	0,7	1,7	2,3	0,6	0,9	2,1	0,9

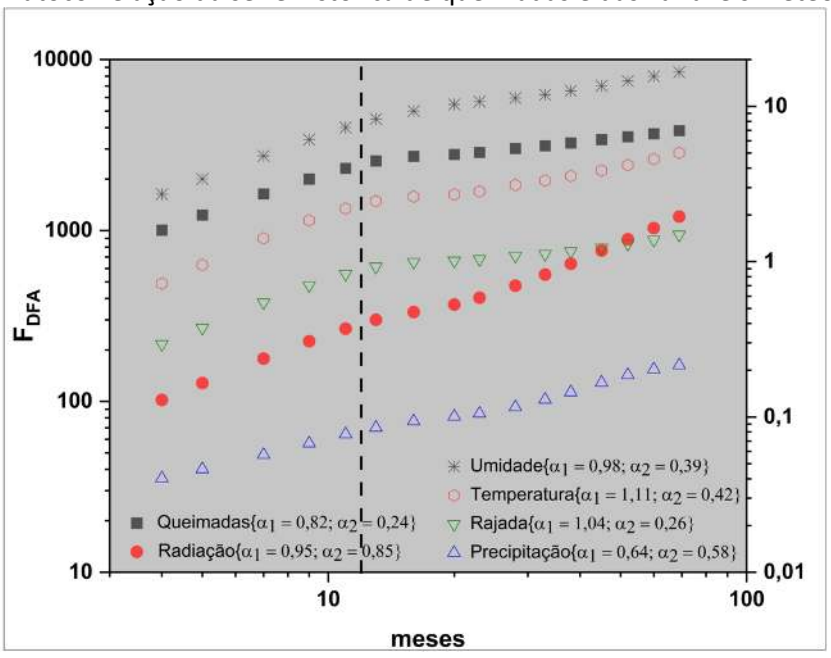
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Desse modo, apresentamos na Tabela 3 uma análise da estatística descritiva dos registros de queimadas para cada período mensal. Observamos que os meses de setembro e outubro registraram em todos os anos ao longo do período de estudo, número de focos de queimadas acima da média da série histórica, meses estes em que também se registraram os menores níveis de precipitação e umidade relativa do ar e bem como rajada de vento acima da média. Ainda, nos meses de setembro e outubro identificamos pela assimetria e curtose uma distribuição assimétrica à direita e platicúrtica, ou seja, nestes meses a maioria dos dados estão acima da média e estão bem distribuídos.

O estudo de autocorrelação foi realizado dividindo as janelas temporais em dois intervalos de análise, levando em consideração o comportamento de sazonalidade das séries temporais. O primeiro intervalo até 12 meses, determinando o valor do expoente α_1 da função de flutuação F_{DFA} definida em (1) e o segundo intervalo para janelas superiores a 12 meses, definindo um outro valor para o expoente (α_2) da função de flutuação.

Na Figura 4, apresentamos o comportamento de autossimilaridade das séries temporais de queimadas e variáveis meteorológicas em um gráfico de escala log-log, para a função de flutuação. O intervalo para os valores de F_{DFA}, em relação a queimadas e radiação solar estão de 100 a 10000 (eixo-esquerdo, Figura 4) e para as demais variáveis estão de 0,01 a 20 (eixo-direito-Figura 4).

Figura 4 - Autocorrelação da série histórica de queimadas e das variáveis meteorológicas.



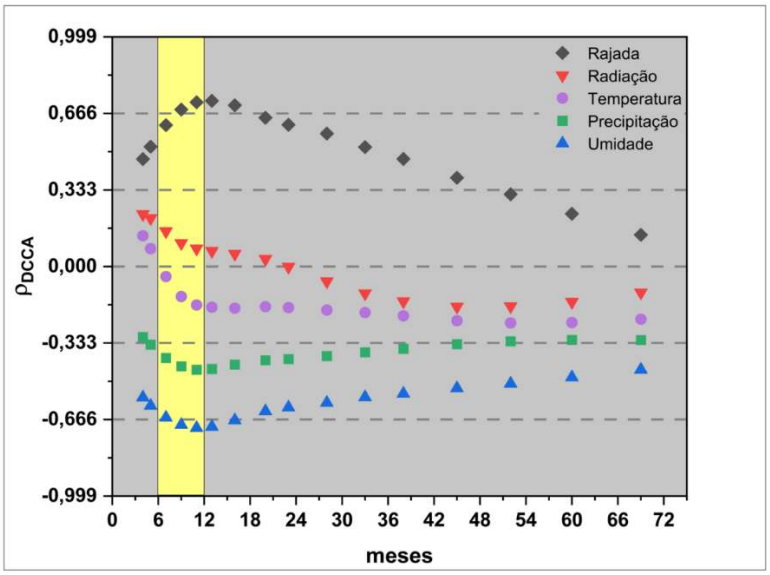
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Desse modo, detectamos que todas as variáveis possuem um comportamento de memória persistente, dado que os valores de α_1 são maiores que 0,5, isto é, de fato essas variáveis possuem um comportamento de autocorrelação para escalas menores que 12 meses, demonstrando a presença do fator sazonal que também é indicado nas Figuras 2 e 3. Além disso, os resultados indicam que existe uma tendência linear para o número de queimadas, de maneira que meses com crescentes números de focos tendem a ser sucedidos por meses com maior quantidade de registros de queimadas. Também temos a presença da não estacionaridade nas variáveis temperatura do ar e rajada de vento, o que torna impreciso o número de queimadas quando influenciado apenas por essas variáveis.

Para grandes escalas, α_2, há presença de antipersistência para a maioria das variáveis, exceto para radiação solar e precipitação que mantêm aproximadamente o nível de persistência, o que se relaciona com a localização da região na faixa equatorial. Para a variável, que é menor que 0,5. Nota-se um comportamento distinto na relação entre pequenas e grandes escalas, indicando a ausência da influência das estações do ano a longo prazo, mas podendo existir a interferência de outros fenômenos, como El Niño e La Niña, em regime de escalas maiores.

Na Figura 5 calculamos o coeficiente de correlação cruzada sem tendência, ρ_{DCCA}, para quantificar/qualificar a relação de cada variável meteorológica com o número de queimadas.

Figura 5 - Correlação cruzada da série histórica de queimadas com variáveis meteorológicas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Temos na Figura 5 que, rajada de vento e a umidade relativa do ar apresentam maior dependência temporal no número de queimadas, sugerindo uma forte relação de influência, em especial para pequenas escalas. Rajada de vento apresenta correlação cruzada moderada a forte para pequenas escalas, enquanto a umidade relativa do ar está anticorrelacionada. Isto é, a rajada de vento é diretamente proporcional ao número de queimadas e a umidade relativa do ar é inversamente proporcional. Esses resultados são consistentes com o que tem sido reportado na literatura, evidenciando forte coerência entre os achados deste estudo e outras pesquisas (Jain *et al*., 2022; Sutherland *et al*., 2023; Yoo *et al*., 2026).

A combinação de baixos níveis de umidade relativa do ar, fortes ventos, além da variabilidade da precipitação, potencializam o alcance do fogo, provocando grandes prejuízos. No que se trata das variáveis radiação solar e temperatura do ar, apresentaram flutuações no comportamento, com níveis de correlações cruzadas positivas e negativas (anticorrelações) respectivamente fracas, mostrando pouca relação de dependência temporal, o que sugere baixa influência na variação dos casos de queimadas (Nascimento *et al*., 2023).

Para escalas menores que 12 meses é observado o aumento da correlação cruzada em todas as variáveis, exceto temperatura do ar, o que indica a associação temporal das condições meteorológicas anuais (como as estações do ano) na sazonalidade do número de queimadas. A longo prazo, a análise sugere que o efeito dessas diminui significativamente, sendo a umidade relativa do ar e a precipitação a manterem pequena influência a longo prazo devido à correlação existente entre elas (Zebende, 2011).

Diante a extensão da área de estudo, as correlações cruzadas entre precipitação e queimadas podem superestimar ou subestimar associação de dependência temporal em grandes escalas para diferentes áreas do Estado, sobretudo com relação a áreas de biomas diferentes com características de regimes de chuvas que podem sugerir inferências diferentes, sobretudo quando as análises levam em considerações dados do Litoral e da região oeste do Estado. Contudo, é possível identificar de forma clara em pequenas escalas, mesmo para precipitação, a relação das condições ambientais locais e a ocorrência de comportamentos emergentes, no número e extensão de queimadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho discutimos a dinâmica das variáveis meteorológicas relacionada ao número de focos de queimadas no Estado da Bahia. Para isso, quantificamos e qualificamos os níveis de correlação existentes e como cada variável climática influencia na flutuação dos focos de queimadas no território baiano.

A Bahia, assim como outros Estados brasileiros e certas regiões do planeta, possui uma característica que a torna suscetível e propícia a ter números expressivos de focos de queimadas em vegetações ano após ano, seja pela contribuição de ações antrópicas ou pela influência dos padrões climáticos, ou ainda pelas características diversas das vegetações de cada bioma presente no território baiano, que favorecem a persistência da atividade do fogo em certos períodos, evidenciando a componente sazonal na série temporal de queimadas.

Apesar das características intrínsecas que a variável temperatura do ar e radiação solar possuem, seus registros, neste estudo não estão fortemente correlacionados com o número de casos de queimadas. Com relação à temperatura do ar não foi registrada uma grande variação e tampouco sua máxima ultrapassou valores expressivamente altos. No entanto, as variáveis rajada de vento e umidade relativa do ar apresentaram comportamentos de fortes correlações cruzadas (positivas/negativas), com os casos de queimadas especialmente para escalas temporais de até 12 meses.

Este estudo foi realizado levando em consideração apenas as flutuações dos dados meteorológicos do território baiano. Porém, outros fatores em escalas globais de eventos climáticos, como o El Niño e La Niña, também influenciam a dinâmica de ocorrência de focos das queimadas, por serem fenômenos que exercem influência direta na distribuição das chuvas, como também na intensidade de secas em determinadas regiões, criando condições propícias para ocorrência da propagação do fogo.

Em estudos futuros, estenderemos nossa análise para o território brasileiro considerando biomas, taxa de desmatamento e outras variáveis climáticas, além da implementação de modelos preditivos para uma análise espaço-temporal da dinâmica do fogo capaz de identificar o limiar das variáveis meteorológicas em relação à ocorrência de queimadas.

REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, John T. *et al.* Climate change has increased the odds of extreme regional forest fire years globally. **Nature Communications**, v. 16, n. 1, p. 6390, 10 jul. 2025.

AGUILERA, Rosana *et al.* Wildfire smoke impacts respiratory health more than fine particles from other sources: observational evidence from Southern California. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 1493, 5 mar. 2021.

ARDILA, Mauricio Alejandro Perea. Four-Decade Analysis of Fire Behavior in the Brazilian Caatinga Biome 1985-2023. 11 abr. 2025.

BOERS, Niklas; KURTHS, Jürgen; MARWAN, Norbert. Complex systems approaches for Earth system data analysis. **Journal of Physics: Complexity**, v. 2, n. 1, p. 011001, abr. 2021.

BORGES, Sílvia Laine *et al.* FIRE MANAGEMENT IN VEREDAS (PALM SWAMPS): NEW PERSPECTIVES ON TRADITIONAL FARMING SYSTEMS IN JALAPÃO, BRAZIL. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, p. 269–294, set. 2016.

BRITO, Andrea de Almeida. Modelagem computacional de auto correlações e correlações cruzadas aplicada em variáveis meteorológicas e simuladas. 29 jan. 2021.

COSTA, Wanessa Luana de Brito *et al.* Phenological Dynamics of Vegetation Using the Enhanced Vegetation Index (EVI) in Regions of Bahia State. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 7, n. 7, p. 399–407, 2017.

ELOY, Ludivine *et al.* Seasonal fire management by traditional cattle ranchers prevents the spread of wildfire in the Brazilian Cerrado. **Ambio**, v. 48, n. 8, p. 890–899, ago. 2019.

FAO. Diversidade biológica florestal. **Unasylva**, v. 53, n. 209, 2002/2. Roma: FAO, 2002. Disponível em: https://www.fao.org/4/y3582e/y3582e08.htm. Acesso em: 10 set. 2025.

FERNANDEZ, Basílio; OLIVEIRA, Lidiane Alves de; ZEBENDE, Gilney Figueira. Análise estatística de autocorrelação e correlação cruzada: um estudo de caso inerenete a questão de segurança hídrica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 35, p. 735–751, 18 dez. 2024.

FERREIRA, André Barbosa Ribeiro *et al.* **AS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO OESTE DA BAHIA A PARTIR DA EXPANSÃO AGRÍCOLA | Formação (Online)**. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/7871>. Acesso em: 4 jun. 2026.

GONÇALVES, Cezar Neubert *et al.* Recorrência dos incêndios e fitossociologia da vegetação em áreas com diferentes regimes de queima no Parque Nacional da Chapada Diamantina. **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 161–179, 12 dez. 2011.

HAAS, Olivia; PRENTICE, Iain Colin; HARRISON, Sandy P. Global environmental controls on wildfire burnt area, size, and intensity. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 6, p. 065004, maio 2022.

HARRISON, Sandy P. *et al.* Climate, vegetation, people: disentangling the controls of fire at different timescales. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 380, n. 1924, p. 20230464, *[S.d.]*.

INACIO, Claudio Marcio Cassela *et al.* Measuring Cross-Correlations, Contagion and Long-Range Behavior between Fires in Brazil and Some Time Series Related to Its Economic Growth. **Fire**, v. 5, n. 5, p. 148, out. 2022.

INMET. **El Niño: saiba como foi a atuação do fenômeno no Brasil**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/el-ni%C3%B1o-saiba-como-foi-a-atua%C3%A7%C3%A3o-do-fen%C3%B4meno-no-brasil>. Acesso em: 10 set. 2025.

INPE. **Área Queimada 1km • Programa Queimadas • INPE**. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/aq1km>. Acesso em: 6 ago. 2025.

JAIN, Piyush *et al.* Observed increases in extreme fire weather driven by atmospheric humidity and temperature. **Nature Climate Change**, v. 12, n. 1, p. 63–70, jan. 2022.

JÚNIOR, Francisco Rubens Feitosa *et al.* Queimadas em áreas do Cerrado brasileiro. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 7, p. 587–601, 10 ago. 2020.

KIRÁLY, A.; JÁNOSI, I. M. Detrended fluctuation analysis of daily temperature records: Geographic dependence over Australia. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 88, n. 3, p. 119–128, 1 abr. 2005.

KOUASSI, Jean-Luc; WANDAN, Narcisse; MBOW, Cheikh. Predictive Modeling of Wildfire Occurrence and Damage in a Tropical Savanna Ecosystem of West Africa. **Fire**, v. 3, n. 3, p. 42, set. 2020.

LEITE, Cândida Caroline Souza de Santana *et al.* ANÁLISE DOS INCÊNDIOS OCORRIDOS NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DIAMANTINA-BAHIA EM 2008 E 2015 COM SUPORTE EM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 6, 14 jun. 2017.

MAPBIOMAS BRASIL. **Área queimada no Brasil em 2024 supera média histórica em 62%**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2025/06/24/area-queimada-no-brasil-em-2024-supera-media-historica-em-62/>. Acesso em: 11 set. 2025.

MATAVELI, Guilherme Augusto Verola *et al.* Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 18, n. 1, p. 125–144, 10 jan. 2018.

MATTEO, Aurora *et al.* **Challenges in assessing Fire Weather changes in a warming climate**. arXiv, , 17 mar. 2025. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2503.01818>. Acesso em: 5 ago. 2025

MINAKI, Cíntia; MONTANHER, Otávio Cristiano. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E OS REGISTROS DE INCÊNDIOS EM MARINGÁ-PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 518–538, 2020.

NASCIMENTO, Ana Lucia da Silva *et al.* Padrões sinóticos associados a ocorrência de incêndios florestais na Estação Ecológica do Taim e Campos Neutrais - Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 463–493, 10 jan. 2023.

PENG, C. K. *et al.* Mosaic organization of DNA nucleotides. **Physical Review E**, v. 49, n. 2, p. 1685–1689, 1994.

PIMENTA, Fernando Martins *et al.* Historical Changes in Land Use and Suitability for Future Agriculture Expansion in Western Bahia, Brazil. **Remote Sensing**, v. 13, n. 6, 11 mar. 2021.

PIVELLO, Vânia R. The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, abr. 2011.

PODOBNIK, Boris; STANLEY, H. Eugene. Detrended Cross-Correlation Analysis: A New Method for Analyzing Two Nonstationary Time Series. **Physical Review Letters**, v. 100, n. 8, 2008.

RODRIGUES, Cassy; LOURENÇO ZIRONDI, Heloiza; FIDELIS, Alessandra. Fire frequency affects fire behavior in open savannas of the Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118850, 1 fev. 2021.

SANTANA, Thiago *et al.* A Study of The Market of Fat Ox and Corn in Bahia/Brazil Via Weighted Networks By P_DCCA. **Revista de Gestão - RGSA**, v. 18, n. 7, p. e07007–e07007, 12 jun. 2024.

SANTANA, Thiago Pires *et al.* Effects of Interdependence and Contagion on Crude Oil and Precious Metals According to ρDCCA: A COVID-19 Case Study. **Sustainability**, v. 15, n. 5, p. 3945, jan. 2023.

SANTOS, Roberta Pimenta Cunha dos *et al.* CORRELAÇÃO CRUZADA ENTRE AS OCORRÊNCIAS DE INFECÇÕES POR CHIKUNGUNYA E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO ESTADO DA BAHIA. **Revista de Geopolítica**, v. 17, n. 4, p. e2306, 1 abr. 2026.

SANTOS, Sarah Moura Batista dos *et al.* Characterization of severity in fires that occurred in 2015 at the Chapada Diamantina National Park. **Biodiversidade Brasileira**, v. 10, n. 1, p. 73–73, 27 jul. 2020.

SUTHERLAND, Duncan *et al.* Implementation of spatially-varying wind adjustment factor for wildfire simulations. **Environmental Modelling & Software**, v. 163, p. 105660, 1 maio 2023.

VASSOLER, R. T.; ZEBENDE, G. F. DCCA cross-correlation coefficient apply in time series of air temperature and air relative humidity. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 391, n. 7, p. 2438–2443, 1 abr. 2012.

XU, Wenxuan *et al.* Land use and climatic drivers of early 21st-century fire activity in the Amazon. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 372, p. 110664, 15 set. 2025.

YOO, Seungmin *et al.* Incorporating Short-Term Forecast Mean Winds and NWP Maximum Gusts into Effective Wind Speed for Extreme Weather-Aware Wildfire Spread Prediction. **Fire**, v. 9, n. 1, 7 jan. 2026.

ZABALETA-ORTEGA, Álvaro *et al.* Statistical Interdependence between Daily Precipitation and Extreme Daily Temperature in Regions of Mexico and Colombia. **Entropy**, v. 26, n. 7, p. 558, jul. 2024.

ZEBENDE, G. F. DCCA cross-correlation coefficient: Quantifying level of cross-correlation. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 390, n. 4, p. 614–618, 15 fev. 2011.

ZEBENDE, Gilney Figueira *et al.* UMA VISÃO HORA A HORA DA AUTOCORRELAÇÃO EM DADOS DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR NA BAHIA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, 13 out. 2021.