

ANÁLISE GEOESPACIAL DOS FOCOS DE CALOR NA MATA ATLÂNTICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Geospatial Analysis of Fire Foci in the Atlantic Forest of the State of Rio De Janeiro

Renato Brito Neves da Silva

Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil

renatobr85@gmail.com.br

Cristiane Nunes Francisco

Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil

cristianenf@id.uff.br

Eduarda Machado Soares

Universidade, Federal Fluminense, UFF, Brasil

eduardamachadosoares@id.uff.br

José Francisco de Oliveira Júnior

Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Brasil

jose.junior@icat.ufal.br

Recebido: 23/05/2025

Aceito: 20/07/2025

Resumo

O estado do Rio de Janeiro, com apenas 12% da mata original concentrada nos contrafortes da Serra do Mar, apresenta variabilidade fisiográfica e pluviométrica que o torna um local privilegiado para estudar os condicionantes ambientais que influenciam na ocorrência dos incêndios. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo compreender a distribuição espaço-temporal dos incêndios no estado do Rio de Janeiro, em ano de elevada incidência de focos, através da análise dos condicionantes ambientais. Para isto, foram analisados dados dos focos de calor do BD queimadas/INPE conjuntamente com as condicionantes topográficas – elevação, declividade e orientação de vertentes; climatológicas – chuva e radiação; e de combustibilidade – índice de vegetação (NDVI) e uso e cobertura da terra, através da análise de agrupamento com o algoritmo K-means. Neste estudo, evidenciou-se que o número recorde de focos de calor registrados em 2014, que atingiram os remanescentes de floresta ombrófila densa na região serrana do estado, está associado ao volume de chuva abaixo da normal climatológica. No entanto, identificaram-se diferenças na distribuição espacial dos focos durante o ano, nos primeiros e segundos trimestres, verificou-se que os focos predominam em áreas com atividades antrópicas (urbanas e rurais) e acessíveis - declividade ($<10^\circ$) e altitude baixa ($<50\text{m}$). No segundo semestre, há a inversão, ou seja, os focos (70%) predominaram em terrenos mais elevados ($>400\text{ m}$) e inclinados ($>30^\circ$) e, sobretudo no quarto trimestre, nos remanescentes florestais, representando aproximadamente 40% das ocorrências. O estudo revelou que áreas de difícil acesso e cobertas por florestas úmidas são afetadas pelo fogo quando submetidas a condições climáticas extremas.

Palavras-chave: Mata Atlântica; Focos de Calor; Incêndios Florestais; K-means.

Abstract

The state of Rio de Janeiro, with only 12% of its original forest remaining in the foothills of the Serra do Mar, presents physiographic and rainfall variability that makes it a privileged location to study the environmental factors influencing the occurrence of fires. Thus, the present study aimed to understand the spatiotemporal distribution of fires in the state of Rio de Janeiro during a year of high fire incidence, through the analysis of environmental factors. For this purpose, data on fires from BDqueimadas/INPE were analysed together with topographic factors – elevation, slope, and slope orientation; climatological factors – rainfall and radiation; and combustibility factors – vegetation index (NDVI) and land use and land cover, through cluster analysis using the K-means algorithm. This study showed that the record number of fires recorded in 2014, which affected the remnants of dense rainforest in the mountainous region of the state, is associated with rainfall volumes below the climatological normal. However, differences were identified in the spatial distribution of fires during the year. In the first and second quarters, fires predominated in areas with human activities (urban and rural) and accessible areas - slope ($<10^\circ$) and low altitude ($<50\text{m}$). In the second half of the year, an inversion occurred, where fires (70%) predominated in higher terrain ($>400\text{m}$) and on inclined slopes ($>30^\circ$), and, especially in the fourth quarter, in forest remnants, representing approximately 40% of occurrences. The study revealed that areas difficult to access and covered by humid forests are vulnerable to fire when subjected to extreme weather conditions.

Keywords: Atlantic Forest; Fire Foci; Wildfire; K-Means.

1. INTRODUÇÃO

O bioma Mata Atlântica, localizado na costa leste brasileira e se estendendo para 17 estados da federação, cobria cerca de 15% do território nacional até a chegada dos europeus no continente americano. No entanto, ao longo do processo de ocupação do território brasileiro, a cobertura vegetal foi substituída por atividades antrópicas, restando hoje apenas 12,4% da área original composta por fragmentos acima de 3 hectares (ha) (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2024), configurando-se como um mosaico de ilhas de vegetação rodeadas por uma matriz de áreas degradadas (Joly *et al.*, 2014).

Nas últimas décadas, com as mudanças climáticas, a preservação das florestas tropicais em todo o mundo está ameaçada. Com a maior incidência dos eventos climáticos extremos (ZHANG *et al.*, 2006), especialmente temperaturas elevadas e condições de seca, verifica-se o aumento da frequência e da propagação dos incêndios florestais (Xing *et al.*, 2023; Davis *et al.*, 2019; Walker *et al.*, 2019).

A suscetibilidade ao fogo em florestas tropicais está associada, em grande parte, ao estresse hídrico durante os períodos de seca prolongada, quando os combustíveis normalmente úmidos ressecam e se tornam potencialmente inflamáveis (Cochrane, 2003). Assim, com o aumento da frequência dos eventos extremos, a exposição das florestas ao fogo também cresce.

Estudo realizado na Mata Atlântica mostra que os eventos climáticos adversos influenciaram na dinâmica dos incêndios no estado do Rio de Janeiro, pois os maiores registros de focos de calor, no período de 1998 a 2015, coincidiram com os ciclos de El Niño e La Niña nas categorias forte e fraco (Clemente *et al.*, 2017a). Gois *et al.* (2020) também apontaram um aumento significativo na média de focos de calor entre 2000 e 2015 nesse estado. No entanto, observaram uma alta variabilidade espaço-temporal nas regiões fluminenses, devido à ocupação antrópica e, também, às características ambientais locais, como a complexidade topográfica, crucial para compreender a dinâmica do fogo no estado. Clemente *et al.* (2017b) também consideraram que a alta variabilidade dos focos no Rio de Janeiro se deve às atividades antrópicas, como o uso e a ocupação da terra, as práticas agropastoris e as atividades industriais.

Os incêndios florestais podem ser definidos como sendo a combustão sem controle que se propaga de maneira espontânea, consumindo os recursos naturais de uma floresta, influenciados pelo clima, topografia e características da combustibilidade da matéria orgânica vegetal (Batista; Soares, 2003). A interação entre os principais condicionantes ambientais dos incêndios - combustibilidade, topografia e clima - é fundamental na definição do comportamento do fogo. Cada um desses exerce influência direta na taxa e intensidade do calor liberado durante a queima do material combustível e a propagação do fogo (Whiteman, 2000). Silveira *et al.* (2013) destacam que elementos climatológicos, como a frequência de secas e magnitude dos ventos, assim como as características do relevo, desempenham um papel crucial na propagação de incêndios e na determinação dos efeitos devastadores.

Para proteger a vegetação contra incêndios, a adoção de medidas preventivas e o estabelecimento de sistemas de monitoramento são necessários. Assim como a determinação da área afetada e a distribuição dos níveis de gravidade, pois permitem a análise dos efeitos na sucessão da vegetação pós-fogo e, conseqüentemente, auxiliam no processo de tomada de decisão para restaurar as zonas afetadas. No entanto, o mapeamento dos níveis de gravidade resultantes de grandes incêndios por meio de métodos tradicionais é uma tarefa difícil, especialmente em áreas atingidas com topografia complexa, declives íngremes e vegetação heterogênea (Escuin *et al.*, 2008).

Desse modo, os sensores espectrais são amplamente empregados no monitoramento das áreas atingidas pelo fogo (Clemente *et al.*, 2017a; Fernandes *et al.*, 2016). As informações derivadas dos sensores orbitais permitem compreender a dinâmica

dos sistemas ambientais no planeta, tornando-os uma ferramenta indispensável para o inventário, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais (USDA, 2017).

O monitoramento dos incêndios florestais no Brasil é realizado pelo Programa Queimadas do INPE, com base em dados de focos de calor que integram o Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas/INPE). Considera-se como foco de calor a presença de fogo em um elemento da imagem (pixel) cuja resolução espacial varia de 375 m a 5 km, dependendo das características do sensor utilizado na detecção (INPE, 2022). Essa base de dados, coletada por sensores orbitais que atuam na faixa do infravermelho termal, corresponde ao conjunto de focos produzido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e pela Universidade de Maryland/EUA.

Nesse contexto, considerando os condicionantes – o clima, a topografia e a combustibilidade - dos incêndios florestais e a variabilidade das características ambientais no estado do Rio de Janeiro, o presente estudo tem como objetivo compreender a distribuição espaço-temporal dos focos de calor, com ênfase nos remanescentes de Mata Atlântica, por meio da análise desses condicionantes em um ano de elevada incidência de focos.

O estado do Rio de Janeiro, localizado na região Sudeste do Brasil, concentra o terceiro maior contingente populacional do país correspondente a 16 milhões de habitantes e atividades econômicas que representam 11% do PIB brasileiro em 2024 (IBGE, 2024). O processo histórico de ocupação do estado, desde o período colonial, resultou na redução da área da Mata Atlântica, que originalmente cobria todo o território fluminense e atualmente contempla apenas 18,8% correspondente a polígonos maiores do que 3 ha (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2024).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise da distribuição espaço-temporal dos focos de calor foi realizada com base em sete variáveis selecionadas para compor o tripé dos condicionantes ambientais associados ao fogo: topografia (elevação, declividade e orientação de vertentes); clima (chuva e radiação); e combustibilidade (índice espectral de vegetação e uso e cobertura da terra).

O estudo foi desenvolvido em três partes com utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) QGIS 3.10, desenvolvido pela QGIS Development Team, sob licença de código aberto (QGIS, 2025). Na primeira parte do trabalho, foram coletados os focos de calor e as variáveis dos condicionantes ambientais (Figura 1). Na segunda parte do estudo,

o tratamento dos dados incluiu as operações de reamostragem, álgebra de mapas, reclassificação e geração de buffer para a construção de um banco de dados georreferenciados, contendo a estatística descritiva dos condicionantes dos focos de calor. A partir desse banco de dados, foi realizada a última parte do trabalho, que consistiu na aplicação do algoritmo K-means para a identificação de padrões espaciais dos focos de calor.

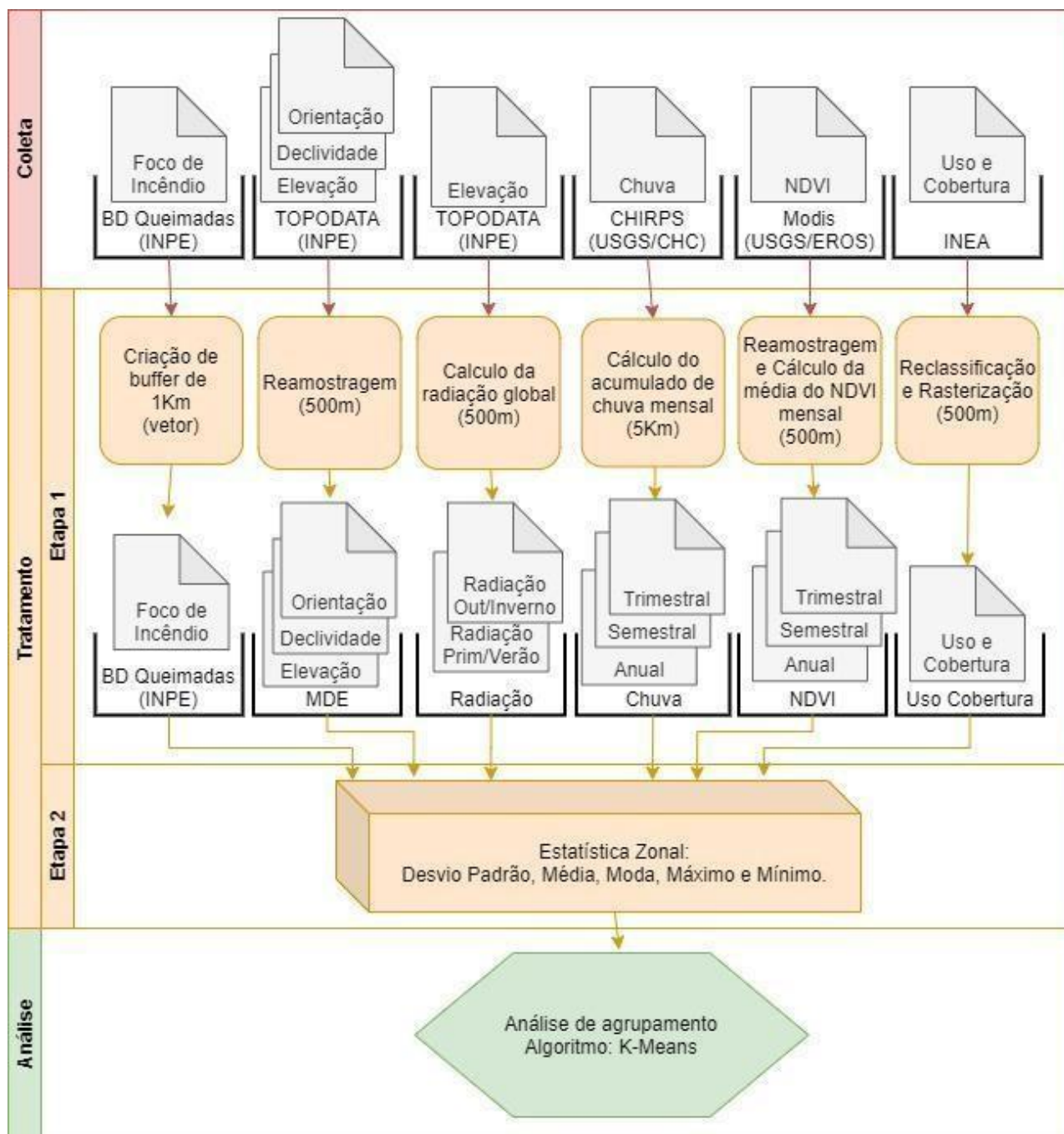


Figura 1 – Fluxograma das etapas do trabalho

Fonte: Autores, 2023.

2.1. Levantamento dos focos de calor

O BDQueimadas/INPE, fonte dos focos de calor, é constituído por um conjunto de dados obtidos por sistemas orbitais desde o final da década de 1990. A partir de 2012, o banco passou a incluir dados do sensor orbital NPP-SUOMI/VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), com resolução espacial de 375 m e capacidade de detecção 10 vezes maior do que os sensores orbitais anteriores (INPE, 2022). Devido ao seu erro de acurácia máximo ser próximo a 400 m, ou seja, correspondente a um pixel, e à obtenção de dados ser diária, os focos obtidos por esse sensor foram utilizados no presente estudo (INPE, 2022).

Foram analisados os focos de calor agrupados em quatro trimestres do ano de 2014. Nesse ano, o número de ocorrências foi de 8,7 mil focos, o que corresponde a 19% dos anos de 2012 a 2021, mais que o dobro dos demais anos desse período, exceto 2017, que registrou 16% do total.

Como os focos de calor são representados por pontos, foi necessário gerar uma camada de *buffers* com raio de 1 km, considerando a resolução espacial e a acurácia dos focos provenientes do sensor NPP-SUOMI/VIIRS. A criação de *buffers*, área ao redor de feições vetoriais delimitada com base em um raio predefinido (QGIS, 2025), é uma operação disponível nos SIG.

2.2. Levantamento dos condicionantes ambientais

Como condicionante topográfico, foi utilizada a base do Topodata, um conjunto de dados topográficos composto por Modelos Digitais de Elevação (MDE) e suas derivações geomorfométricas (INPE, 2021). Os MDE, com resolução espacial de 30 m, foram derivados da interpolação por Krigagem dos modelos oriundos da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (NASA, 2022). Neste trabalho, foram utilizadas as bases de orientação de vertentes (ON), declividade (SN) e altitude (ZN), reamostradas para uma resolução espacial de 500 m por meio da agregação por média.

Como condicionante climatológico, foram utilizados os dados pluviométricos oriundos do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS), desenvolvido pelo *Climate Hazards Center* da Universidade da Califórnia em colaboração com o *USGS Earth Resources Observation and Science Center* (EROS) (Chirps, 2025). A base CHIRPS, desde 1981, é constituída por grades de precipitação com resolução espacial de 0,05° (aproximadamente 5 km). As grades são geradas por meio da agregação

e interpolação de dados observados por estações pluviométricas de superfície, dados orbitais e MDE (Funk *et al.*, 2015).

Outro condicionante climatológico utilizado foi a radiação solar, calculada com base nos dados altimétricos do Topodata para os seis meses correspondentes ao outono e inverno e os seis meses correspondentes à primavera e verão. O produto foi obtido por meio do algoritmo *Area Solar Radiation*, disponível na extensão *ArcGIS Spatial Analyst* (ESRI, 2025), que calcula a radiação global, correspondente à soma da radiação direta e difusa por unidade de área.

O condicionante de combustibilidade foi representado pelo índice de vegetação calculado com dados espectrais coletados por sensores remotos. Dentre os índices mais utilizados, destaca-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index), proposto por Rouse *et al.* (1973) e calculado com base na diferença normalizada das bandas do infravermelho próximo e do vermelho.

Utilizou-se o NDVI obtido com base nas imagens do sensor orbital MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer), disponibilizadas em intervalos de 16 dias com resolução espacial de 250 m (NASA, 2022). As grades foram reamostradas para 500 m, e os índices anuais, trimestrais e semestrais foram calculados pela média dos arquivos NDVI de acordo com metodologia descrita por Moreira *et al.* (2015).

O mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2015, disponibilizado no portal GEOINEA - Base de Dados Geoespaciais do Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2025), também foi utilizado como variável representativa do condicionante combustibilidade. O mapa foi elaborado com bandas multiespectrais e pancromáticas do LANDSAT-8/OLI classificadas por meio da análise baseada em objetos (GEOBIA) na escala 1:100.000.

Neste estudo, o mapa foi rasterizado para uma resolução espacial de 500 m, e a sua legenda reclassificada para seis classes agregadas de acordo com o potencial de combustibilidade (Figura 2): 1- Comunidade Relíquia, Cordões Arenosos, Dunas, Mangue, Nuvem, Salinas, Solo Exposto, Sombra, Água, Afloramento Rochoso, 2- Urbano, Áreas Úmidas, 3- Vegetação Secundária, Vegetação Secundária Inicial, Reflorestamento, 4 – Agricultura, 5 – Campo/Pastagem, 6 – Restinga.

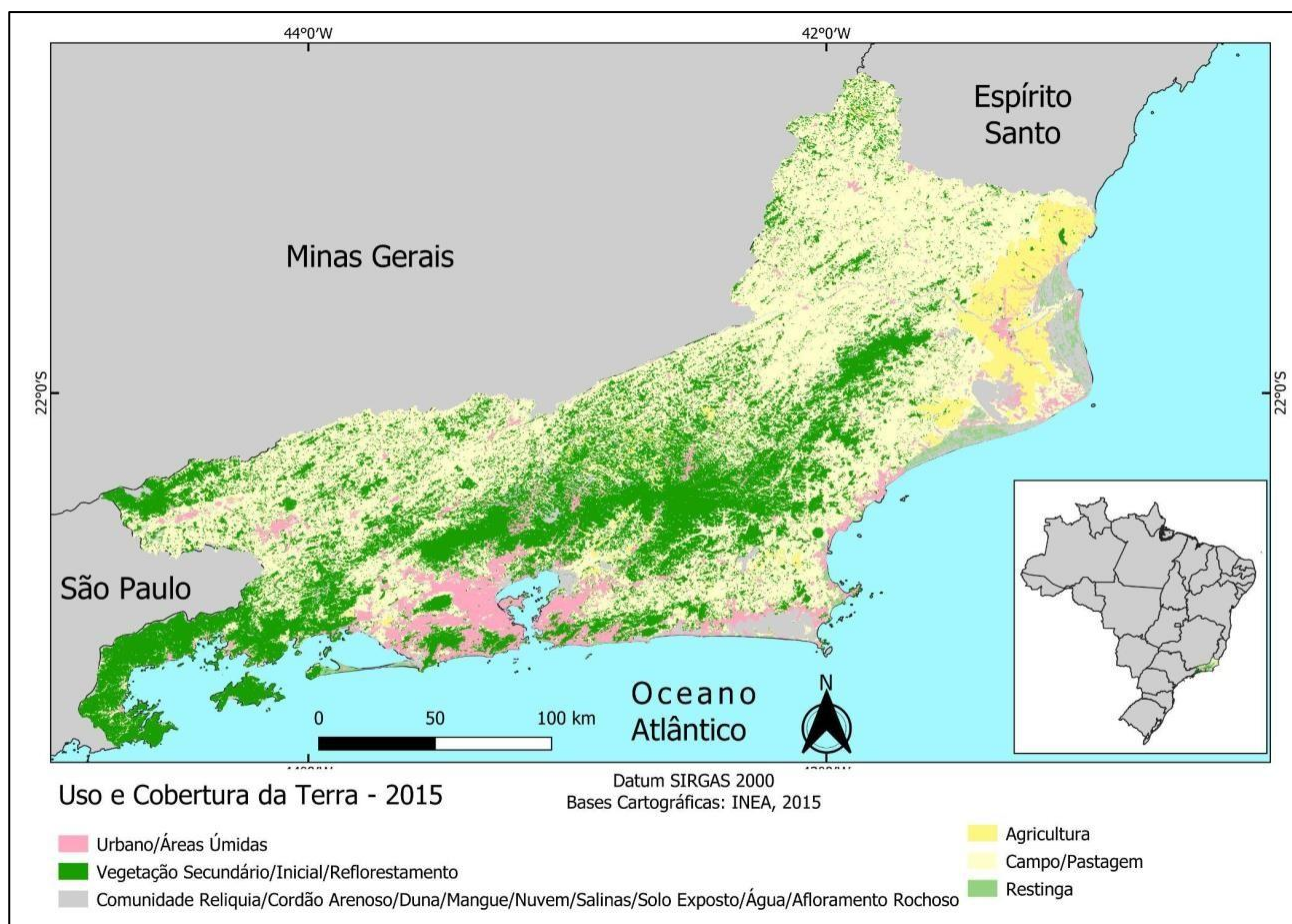


Figura 2 – Mapa de uso e cobertura da terra do estado do RJ.

Fonte: INEA, 2015 – adaptado pelos autores, 2022.

2.3. Processamento e análise dos dados

Nesta parte do estudo, foi elaborado o banco de dados com os focos de calor de 2014 contendo a estatística descritiva dos condicionantes ambientais. Para isso, foi utilizada a operação estatística zonal no ambiente SIG, que consiste no cálculo de estatísticas descritivas dos valores de um *raster* (condicionantes ambientais) contidos nas zonas delimitadas por uma camada de polígonos, neste caso os *buffers* dos focos de calor (QGIS, 2025).

Com base nesse banco de dados, foi realizada a última parte do trabalho, que consistiu na análise de agrupamento para identificar o padrão espacial dos focos de calor com base nos condicionantes ambientais. Essa técnica multivariada de mineração de dados tem como objetivo agrupar de forma automática e por aprendizado não supervisionado n casos de dados em k grupos, organizados em clusters (agrupamentos), o processo busca maximizar a homogeneidade dentro de cada cluster e a heterogeneidade entre os clusters (Wu; Kumar, 2008). Em outras palavras, os dados mais semelhantes são agrupados em clusters naturais, enquanto os diferentes entre si são separados em grupos distintos.

Desde a publicação do primeiro trabalho sobre clusterização desenvolvido por Sorensen (1948), baseado no Método Hierárquico de Ligação Completa, foram propostos diversos algoritmos de agrupamento, entre eles K-means. Esse algoritmo se destaca por sua simplicidade de implementação e por ser, historicamente, um dos mais importantes para a mineração de dados (WU; KUMAR, 2008). Originalmente introduzido por MacQueen (1967), o K-means segmenta um conjunto de dados em k clusters, de modo que a soma dos quadrados dos erros entre a média de cada cluster e os dados pertencentes a ele seja minimizada (Eghtesadifard *et al.*, 2020; Jain, 2010).

3. RESULTADOS

Foi analisado o ano de 2014, que apresentou a maior incidência de focos de calor, considerando a série a partir de 2012, quando foram incorporados no BDQueimadas os dados do sensor orbital NPP-SUOMI/VIIRS, com maior resolução espacial. Nesse ano, o número de focos alcançou 8,8 mil, que corresponde a 19% das ocorrências entre 2012 e 2021 e ao dobro do valor anual na maioria dos anos desse período (Tabela 1).

Tabela 1: Número de focos de calor mensais detectados pelo sensor NPP-SUOMI/VIIRS do período de 2012 a 2021 no RJ.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total	
2012	35	170	189	67	70	87	332	484	1.063	1.040	101	182	3.820	8%
2013	85	156	54	61	132	156	293	644	592	263	261	41	2.738	6%
2014	340	1.135*	269	106	157	214	351	1.002	1.816*	2.894*	295	206	8.785	19%
2015	970	371	178	268	104	204	379	886	515	493	16	17	4.401	10%
2016	17	25	31	186	82	60	479	1.350*	804	198	240	108	3.580	8%
2017	144	411	133	124	121	170	433	885	3.082*	1.466*	324	90	7.383	16%
2018	0	16	24	45	129	153	610	247	440	99	41	193	1.997	4%
2019	528	177	65	82	107	346*	963	804	1.121	374	96	77	4.840	11%
2020	66	41	39	136	117	351*	855	901	1.412*	329	55	49	4.351	10%
2021	236	132	188	126	160	189	860	1.030	582	54	113	38	3.708	8%
Média	242	263	117	120	118	193	556	823	1.143	480	154	100	5.117	
Total	2.421	2.634	1.170	1.201	1.179	1.930	5.555	8.233	11.427	7.210	1.542	1.001	45.603	
	5%	6%	3%	3%	3%	4%	12%	18%	25%	16%	3%	2%		

Fonte: Autores, 2023.

*Outliers do mês – Z-score maior ou igual a 3.

Os focos estão concentrados no trimestre de julho a setembro, que juntos somam 55% das ocorrências. No entanto, em três anos, o número permaneceu acima de mil no mês de outubro, como ocorreu em 2014, quando foram registradas quase três mil ocorrências – valor que configura um *outlier* entre os registros desse mês, assim como em

2017. Se esses dois outliers forem desconsiderados, a média de outubro cai para 7%. Esse valor se aproxima do observado nos demais meses, de novembro a maio, cujo número de focos representa de 2% a 6% das ocorrências mensais do decênio analisado, com os maiores valores concentrados em janeiro e fevereiro.

Além do número elevado em 2014, observa-se também uma mudança no padrão da distribuição das ocorrências em comparação com os demais anos. No mês de outubro, houve um aumento no número de focos em relação a setembro, um comportamento atípico no período analisado. Além disso, os valores permaneceram acima da média nos meses seguintes, estendendo-se até o primeiro trimestre do ano seguinte.

Destaca-se ainda o elevado número de focos no primeiro trimestre de 2014, inclusive com fevereiro alcançando mais de mil ocorrências e configurando-se como um *outlier*. A soma das ocorrências em fevereiro e outubro, ambos pertencentes ao semestre chuvoso, representa 46% do total anual. Esse comportamento fez de 2014 o ano com o maior número de ocorrências no decênio de 2012 a 2021 no estado do Rio de Janeiro.

A distribuição espacial dos focos de calor nesse estado também evidencia uma mudança de padrão sazonal. Como mostrado na Figura 3, entre 2012 e 2021, os focos se concentraram majoritariamente no semestre seco (de abril a setembro). No entanto, 2014 foi uma exceção, sendo o único ano em que a maior parte das ocorrências foi registrada no período úmido, correspondendo a 58% do total anual.

Observa-se também que, no período úmido, os focos de calor tendem a se concentrar na faixa costeira. No entanto, em 2014, eles estiveram presentes em todo o estado durante os dois trimestres úmidos (primeiro e quarto), inclusive na região serrana, nas proximidades do divisor de águas da Serra do Mar, onde as ocorrências costumam ser em menor número nesse período, conforme mostrado na Figura 4.

Nessa figura, são apresentados os três grupos de focos de calor definidos por meio de análise de agrupamento para os quatro trimestres de 2014 considerando os condicionantes ambientais. Como o estado do Rio de Janeiro é composto por dois grandes compartimentos geomorfológicos, separados pela Serra do Mar - que exerce forte influência sobre as características climáticas e a ocupação do território (INEA, 2011) - para facilitar a compreensão da distribuição espacial dos focos, esses grupos foram associados aos seguintes compartimentos:

- Frente da Serra do Mar – composta por planícies costeiras entrecortadas por maciços cristalinos, morros e colinas, onde ocorrem as maiores temperaturas do estado. Abrange a Região Metropolitana, que concentra cerca de 80% da população fluminense, além de uma área significativa de plantação de cana-de-açúcar, localizada no norte do estado (IBGE, 2022; INEA, 2015);
- Serra do Mar – corresponde à frente da escarpa ao reverso imediato da Serra do Mar, onde os remanescentes da Mata Atlântica estão preservados e, em parte, protegidos por Unidades de Conservação. Devido à altitude, que ultrapassa mil metros, é a região mais chuvosa e com as menores temperaturas do estado (INEA, 2011); e
- Reverso da Serra do Mar – situado no Vale do Paraíba e formado por feições morfológicas de diferentes amplitudes altimétricas como morros, serras escarpadas e serras isoladas. Predominam as atividades rurais, principalmente, pastagens e campos antrópicos, que cobrem mais de 50% do território fluminense (INEA, 2015; INEA, 2011).

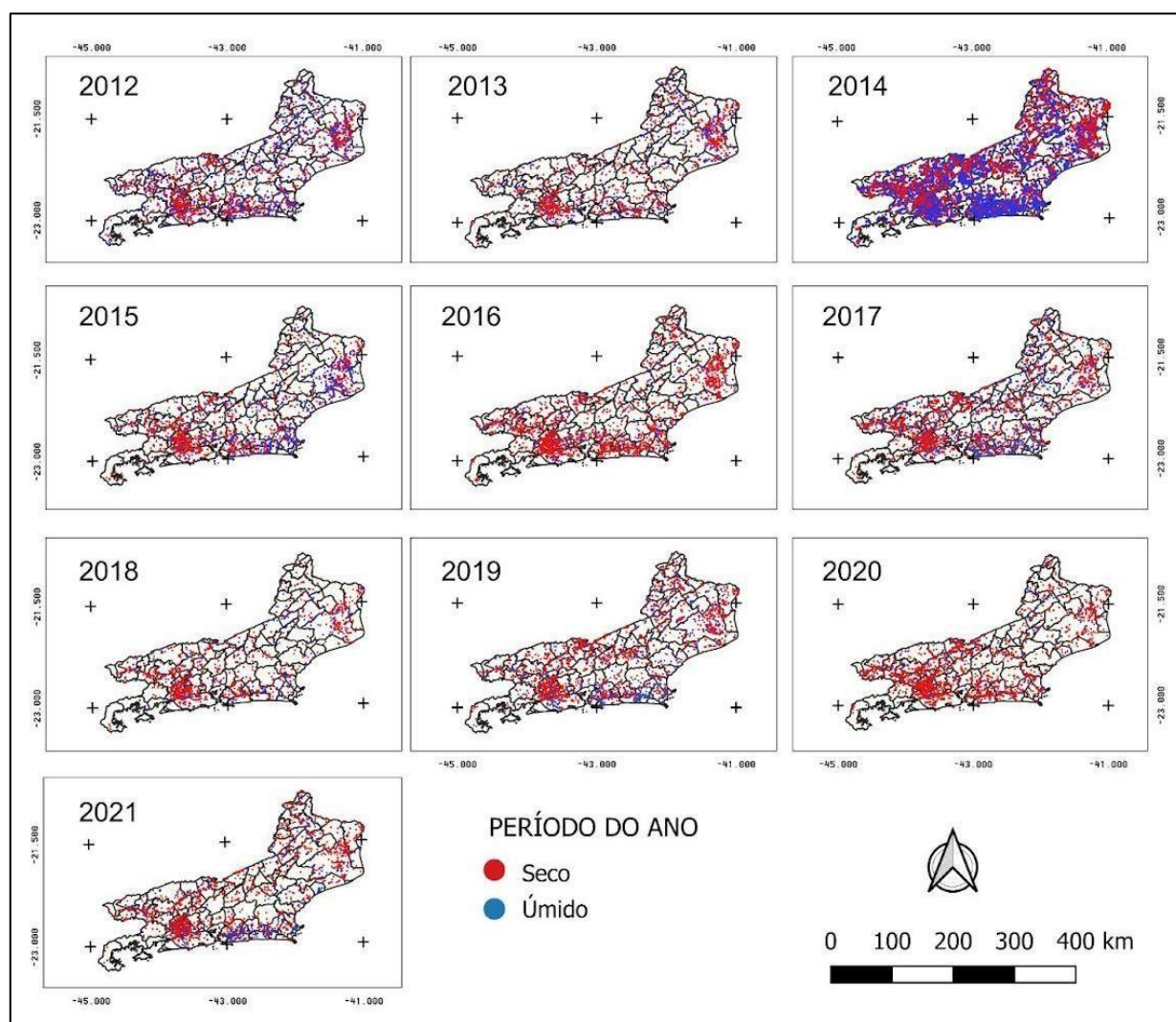


Figura 3 – Distribuição espacial dos focos de calor no período 2012-2021, RJ.

Fonte: Autores, 2023.

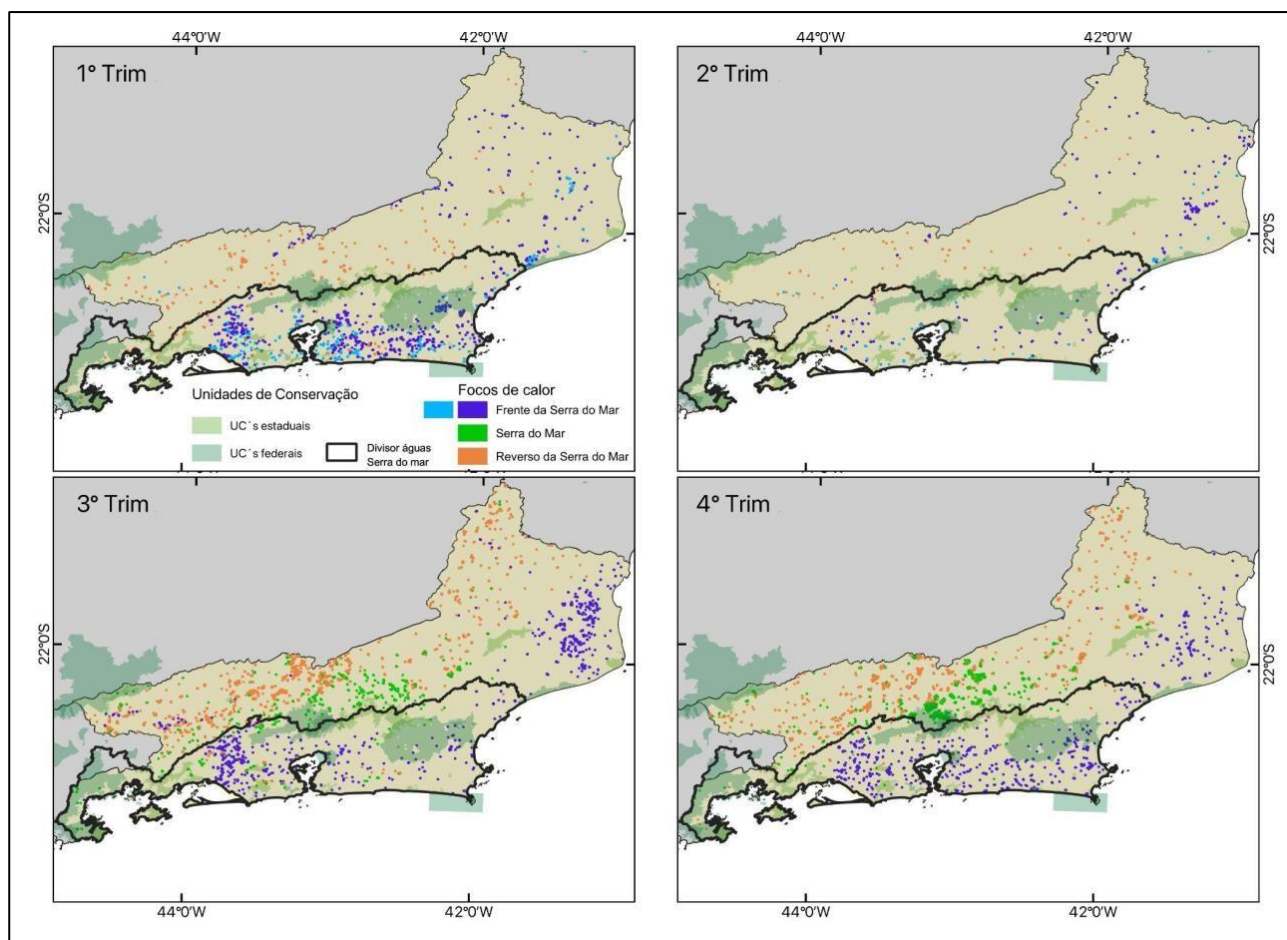


Figura 4 – Agrupamento dos focos de calor por trimestre no ano de 2014 no RJ.

Fonte: Autores, 2023.

Dos sete condicionantes ambientais utilizados na análise de agrupamento, apenas o NDVI e a orientação de vertentes obtiveram R^2 abaixo de 0,5 na separação dos grupos nos quatro trimestres (Tabela 2). A variável chuva apresentou um valor maior apenas no quarto trimestre, enquanto uso e cobertura da terra apresentaram menor no terceiro trimestre. As demais variáveis – altimetria, declividade e radiação – apresentaram valores acima de 0,5 em todos os trimestres. Como o cálculo da radiação considera a declividade, essas duas variáveis estão correlacionadas, ou seja, os grupos com maior declividade também apresentaram maior incidência de radiação (ESRI, 2025).

As demais variáveis não apresentaram influência significativa na separação dos grupos. A variável chuva teve destaque apenas no quarto trimestre, quando o aumento dos focos coincidiu com áreas que receberam maior volume pluviométrico, possivelmente refletindo as chuvas de novembro e dezembro.

A orientação de vertentes não se mostrou relevante em nenhum dos trimestres, possivelmente por se tratar de uma variável categórica, embora possa contribuir com a ocorrência de focos de calor, devido à influência na umidade do terreno. Encostas voltadas

para o norte recebem maior incidência solar, o que eleva evapotranspiração e as torna mais secas. Por sua vez, as encostas voltadas para o sul, além de receberem menor radiação solar, são atingidas pelas chuvas frontais, o que contribui para maior umidade (INEA, 2011).

O NDVI foi outra variável que não se mostrou relevante, apesar de indicar o estresse hídrico da vegetação. Nesse sentido, recomenda-se que, em estudos futuros, os índices sejam apenas atribuídos aos focos ocorridos na vegetação, excluindo-se os valores correspondentes às demais classes de uso e cobertura da terra. Isso porque a inclusão dessas classes pode comprometer a capacidade da análise de agrupamento de separar os grupos com base na umidade da vegetação.

Tabela 2: Estatística dos condicionantes ambientais nos três grupos dos trimestres de 2014.

Grupos	1 trim					2trim					3trim					4trim				
	ZN	UCOB	SN	RG	PPT	ZN	UCOB	SN	RG	PPT	ZN	UCOB	SN	RG	PPT	ZN	UCOB	SN	RG	PPT
	R ²					R ²					R ²					R ²				
	0,69	0,67	0,59	0,72	0,3	0,7	0,73	0,65	0,6	0,05	0,68	0,39	0,7	0,53	0,17	0,73	0,51	0,71	0,7	0,6
	$\bar{x}$					$\bar{x}$					$\bar{x}$					$\bar{x}$				
1	50	5	11	462	211	524	4	34	278	202	453	5	31	336	124	33	4	10	492	211
2	35	2	8	462	224	46	5	9	256	187	54	4	9	317	171	479	5	34	513	352
3	562	4	35	483	315	46	2	6	257	222	781	3	40	351	147	931	3	43	533	359

Fonte: Autores, 2023.

Nota: Em que representam a média das seguintes condicionantes: ZN - altimetria (m); UCOB - classe de uso e cobertura da terra; SN - declividade (graus); RG - radiação global (W/m²); PPT - chuva (mm). As classes de uso e cobertura da terra correspondem: 1- Comunidade Relíquia, Cordões Arenosos, Dunas, Mangue, Nuvem, Salinas, Solo Exposto, Sombra, Água, Afloramento Rochoso, 2- Urbano, Áreas Úmidas, 3- Vegetação Secundária, Vegetação Secundária Inicial, Reflorestamento, 4 – Agricultura, 5 – Campo/Pastagem, 6 – Restinga.

Os dois primeiros trimestres apresentaram as menores ocorrências dos focos em 2014, correspondendo, respectivamente, a 20% e 5% do total. Foram definidos um grupo de focos no reverso da serra e dois grupos na frente da serra. Estes últimos, representando cerca de 80% das ocorrências, localizam-se em áreas de baixa altitude (média de 35 a 50 m) e baixa declividade (média de 6 a 11°), com um grupo predominante em pastagens e campos antrópicos e o outro em área urbana. No grupo do reverso da serra, os focos estavam localizados, predominantemente, em áreas agrícolas e em relevo acidentado, com média de declividade de 35° e altitude de 500 m.

O terceiro e o quarto trimestre apresentaram os maiores valores, correspondendo, respectivamente, a 35% e 38% das ocorrências de 2014. A distribuição espacial foi contrária à dos dois trimestres anteriores, ou seja, foram definidos dois grupos no interior, localizados na Serra do Mar e em seu reverso, e um grupo na frente da serra. As

ocorrências no interior situaram-se em áreas de altitude média elevada acima de 400 m, ultrapassando 900 m no quarto trimestre. A declividade foi superior a 30°, superando 43° também no último trimestre, quando predominantemente as florestas foram atingidas. No grupo do litoral, os focos se concentraram em áreas com altitude média inferior a 55 m, declividade média próxima a 10° e, no último trimestre, situaram-se principalmente em área agrícola.

4. DISCUSSÃO

Estudo sobre a distribuição de focos de calor no estado do Rio de Janeiro, no período de 1998 a 2015, identificou um padrão semelhante ao observado neste trabalho. Os meses de agosto a outubro apresentam maior susceptibilidade à ocorrência dos focos nos remanescentes do bioma Mata Atlântica, o que foi associado à ausência de chuvas nesse período (Clemente *et al.*, 2017a; Clemente *et al.*, 2017b).

A análise da climatologia da chuva mensal no período de 1981 a 2010 para a região 109, onde está situado o estado do Rio de Janeiro, evidencia a relação entre o número de focos de calor e o volume pluviométrico (Figura 5). Observa-se uma redução das chuvas a partir de abril, atingindo o mínimo em agosto, seguida de um aumento a partir de setembro, com os maiores volumes registrados em dezembro e janeiro (CPTEC/INPE, 2022).

Outro estudo, realizado para o período de 1967 a 2013, corrobora esse padrão do regime de chuvas no estado do Rio de Janeiro. Os meses de junho a agosto são os mais secos, com valores médios entre 20 e 100 mm, enquanto os meses de novembro a janeiro são os mais chuvosos, com médias que podem alcançar até 400 mm (Brito *et al.*, 2017).

Assim, verifica-se que a maior ocorrência de focos de calor coincide com a transição entre a estação seca e o início do período chuvoso, aumentando alguns meses após a redução das chuvas. Esse padrão está associado à combinação de baixos totais pluviométricos, da soma desse baixo volume e da baixa umidade do ar, além do aumento da temperatura, já que esse período coincide com o início da primavera (Clemente *et al.*, 2017b).

A defasagem entre a diminuição das chuvas (abril) e o aumento do número de focos de calor (julho), assim como entre o início das chuvas (setembro) e a redução dos focos (novembro), pode estar relacionada ao tempo necessário para que a vegetação responda ao aumento da disponibilidade hídrica (Marques *et al.*, 2019; Campos *et al.*, 2009). Nesse intervalo, a vegetação permanece seca e, portanto, mais suscetível à combustão, conforme apontado por trabalhos realizados na Mata Atlântica por Santana *et al.* (2025) e Clemente

et al. (2017a). O trabalho de Andrade *et al.* (2019) corrobora essa análise ao indicar que as variáveis meteorológicas que mais influenciaram a ocorrência de focos de calor foram a baixa umidade do solo e do ar, que contribuem para o estresse hídrico da vegetação, aumentando sua suscetibilidade à combustão.

Região 109

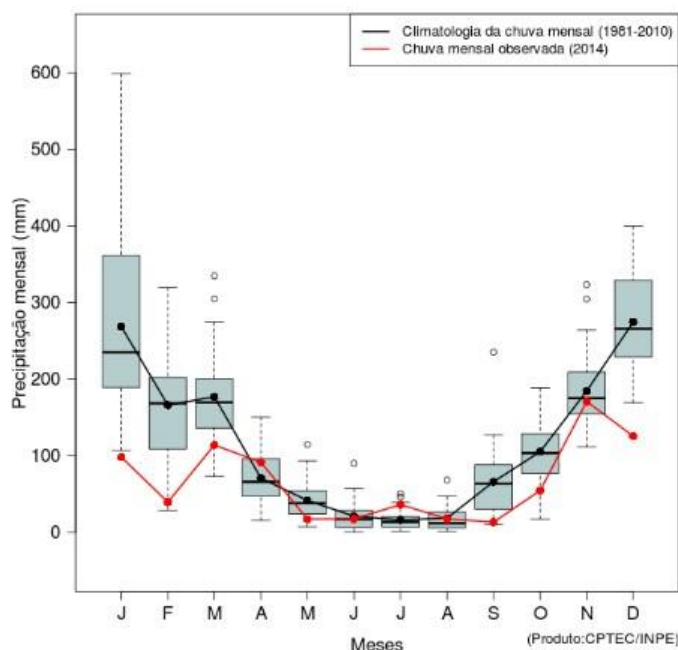
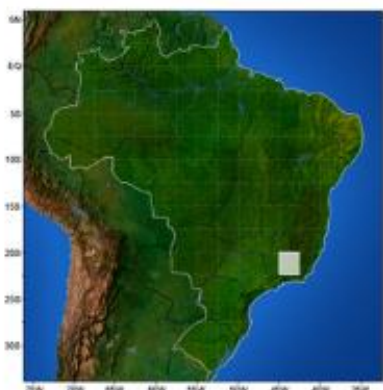


Figura 5 – Diagrama de caixa da precipitação mensal das chuvas na região 109 entre 1981 e 2010.

Fonte: CPTEC/INPE, 2022.

Nota: A região 109 abrange parte do estado do Rio de Janeiro, em uma divisão do Brasil em 124 regiões, cada uma correspondendo a áreas de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude.

O número recorde de focos de calor em 2014 está, assim, associado ao volume pluviométrico, inferior à climatologia de chuva mensal de 1981 a 2010, especialmente nos meses chuvosos, resultando em anomalia negativa ao longo do ano na região 109 (CPTEC/INPE, 2022). Conforme apresentado na Figura 4, nos meses de setembro e outubro, as chuvas ficaram abaixo do primeiro quartil, prolongando a estação seca e resultando em outliers no número de focos nesses meses.

Clemente *et al.* (2017a) apontam que, nos anos de 2014 e 2015, ocorreu um evento de El Niño classificado como forte, o que favoreceu, no trimestre de agosto a outubro de 2014, a ocorrência de altas temperaturas, baixa umidade do ar e escassez de chuvas, principalmente, no mês de agosto, na região Sudeste. Nos meses seguintes, essas condições persistiram, com outubro apresentando temperaturas acima dos 40°C no estado do Rio de Janeiro.

Ainda de acordo com a climatologia mensal de 1981 a 2010, os meses de janeiro e fevereiro, apesar de tipicamente chuvosos, apresentaram volumes muito abaixo da média em 2014, ficando próximos ao limite inferior, o que pode explicar o *outlier* no número de focos em fevereiro.

O período de baixa umidade nesses meses é denominado veranico (Brito *et al.*, 2017). Apesar de novembro a janeiro serem, em geral, meses mais chuvosos, pode ocorrer um intervalo de 4 a 15 dias com tempo quente, seco e sem chuvas, devido à subsidência de ar seco causada por sistemas de alta pressão próximos à costa. Inclusive, veranicos com duração de 11 a 15 dias foram mais comuns durante o mês de fevereiro no período de 1967 a 2013.

A conjugação de condições adversas, ou seja, período chuvoso (janeiro a março) com baixo volume de chuvas, baixa umidade, temperaturas elevadas e o prolongamento do período seco, provocou um forte déficit hídrico na vegetação. Isso contribuiu para que os meses de setembro e outubro de 2014 apresentassem os cinco maiores registros de focos no período analisado (2012-2021).

A distribuição espacial dos focos de calor também sofre influência do volume de chuvas, o que, por sua vez, está associado à compartimentação geomorfológica do estado do Rio de Janeiro. A Serra do Mar, que atravessa o estado na direção SW-NE, com altitudes que superam 2.000 m, representa uma barreira aos ventos úmidos marinhos, favorecendo a ocorrência das chuvas orográficas e influenciando a distribuição pluviométrica no estado. Enquanto na frente da escarpa (barlavento), ocorre o maior volume de chuvas, podendo alcançar 2.000 mm anuais nas encostas, no reverso da serra (sotavento), registram-se menores volumes, com valores que não ultrapassam 1.600 mm. As baixadas litorâneas, por sua vez, por apresentarem maior incidência solar no relevo plano, apresentam temperaturas mais elevadas e maior evapotranspiração (INEA, 2011).

Além da influência do relevo sobre os padrões de precipitação, a distribuição da temperatura também é afetada por fatores geomorfológicos, como a maior exposição solar nas baixadas litorâneas, que eleva as temperaturas e a evapotranspiração (INEA, 2011).

Esse padrão foi observado também nos quatro trimestres de 2014. A Serra do Mar apresentou acumulados acima de 300 mm, especialmente no sul do estado, onde os totais ultrapassaram 500 mm nos dois trimestres mais chuvosos (Figura 6). No entanto, no trimestre mais seco, de julho a setembro, essa área se reduziu, restringindo-se às porções mais elevadas da Serra do Mar. Enquanto as demais regiões apresentaram,

predominantemente, acumulados inferiores a esse valor ao longo dos trimestres, com registros que chegaram próximos a 30 mm.

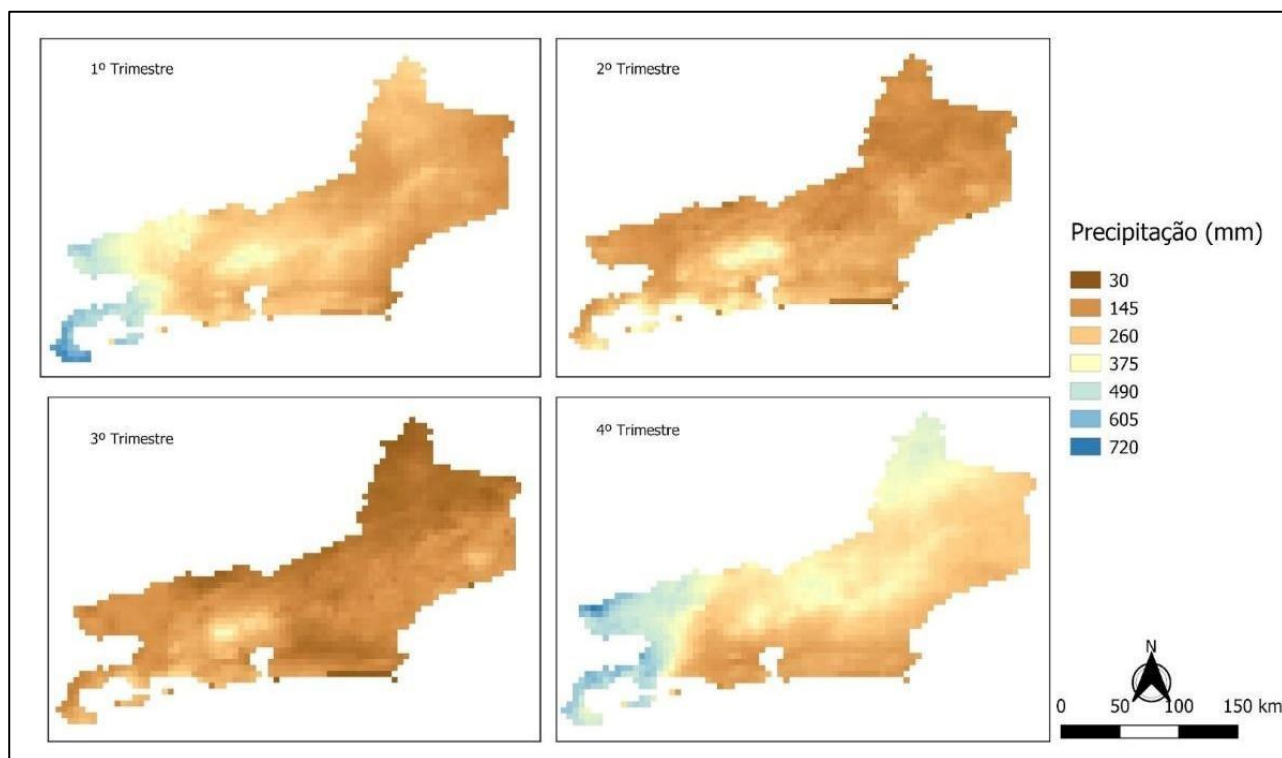


Figura 6 – Distribuição do acumulado de chuvas por trimestre do ano de 2014 no RJ.

Fonte: CHIRPS, 2023 – adaptado pelos autores, 2023.

A compartimentação geomorfológica também influencia a ocupação do território fluminense. Nas áreas mais elevadas da Serra do Mar, em razão da forte declividade das encostas, encontram-se os remanescentes da Mata Atlântica, que representam cerca de 30% da cobertura vegetal do estado (INEA, 2015). Nessa região, a elevada pluviosidade, associada à presença da floresta ombrófila densa, contribui para a menor incidência de focos de calor, como verificado no decênio de 2012 a 2021.

Contudo, em 2014, nos terceiro e quarto trimestres, esse padrão foi alterado: o maior número de ocorrências concentrou-se em áreas de maior altitude e declividade, predominantemente rurais, alcançando inclusive os remanescentes florestais dos grupos da Serra do Mar e do reverso da Serra do Mar. Esse resultado é corroborado por Clemente *et al.* (2017a), que identificaram o centro-sul fluminense, onde se localiza o grupo Serra do Mar, como a região com a maior quantidade de focos de calor nos anos com pico de ocorrências (2010/2011 e 2014/2015) no período analisado entre 1998 e 2015.

Nos dois primeiros trimestres de 2014, entretanto, o padrão se manteve: a maior incidência de focos de calor foi registrada nos grupos da frente da Serra do Mar, abrangendo o litoral, onde há maior área urbana, e a planície costeira no norte-fluminense, onde predomina a atividade agrícola.

Outros estudos também registraram maior ocorrência de focos nessas áreas (Gois *et al.*, 2020; Clemente *et al.*, 2017b), que se destacam por apresentar as temperaturas mais elevadas do estado, variando entre 26 e 27,5°C no inverno e entre 32 e 33,5°C no verão. Além disso, o norte e o noroeste fluminense apresentaram um dos menores índices pluviométricos do estado, com média anual próxima de 1.000 mm (Silva; Dereczynski, 2014). Nessa região, destaca-se o município de Campos dos Goytacazes com maior registro de focos entre 1998 e 2015. Além das condições climáticas adversas, a presença de extensas áreas planas ocupadas por pastagens e monocultura de cana-de-açúcar, onde é comum o uso do fogo, constitui um dos principais fatores associados à alta incidência de focos (Gois *et al.*, 2020; Clemente *et al.*, 2017b).

5. CONCLUSÕES

Neste estudo foi realizada a análise espaço-temporal dos focos de calor do ano de 2014, que apresentou o maior número de ocorrências no decênio de 2012 a 2021. Verificou-se que esse número recorde está associado ao volume de chuvas abaixo da normal climatológica, em decorrência do veranico, ocorrido no início do ano, e da estiagem prolongada que se estendeu até outubro, retardando o início da estação chuvosa.

Ao longo do ano, observou-se uma variação no padrão espacial dos focos. Nos dois primeiros trimestres, que concentraram $\frac{1}{4}$ das ocorrências, os focos predominaram em áreas antropizadas (urbanas e rurais), caracterizadas por relevo pouco acidentado (declividade $<10^\circ$) e baixa altitude (<50 m). No segundo semestre, houve uma inversão desse padrão, com aumento da incidência em áreas menos acessíveis com terrenos mais elevados (>400 m) e inclinados ($>30^\circ$). No quarto trimestre, os focos atingiram remanescentes de floresta ombrófila densa, comportamento não observado nos trimestres anteriores. As evidências indicam que o déficit pluviométrico ao longo do ano, inclusive no período chuvoso, foi o principal fator para a ocorrência recorde de focos de calor.

Quanto aos condicionantes ambientais, as variáveis altitude, declividade e uso e cobertura da terra mostraram-se relevantes na separação dos grupos na análise de agrupamento, pois, indiretamente, definiram as áreas de acordo com o grau de antropização. No período com mais chuvas, focos concentraram-se em áreas mais

antropizadas e de relevo suave; já na estiagem, também atingiram áreas mais acidentadas e florestadas, com o déficit hídrico contribuindo para o aumento da combustibilidade da vegetação.

Os resultados demonstram que, sob condições climáticas extremas, até mesmo áreas de difícil acesso e cobertas por florestas úmidas podem ser afetadas pelo fogo. Essa realidade se insere no contexto das mudanças climáticas, que intensificam a frequência e a severidade dos eventos extremos, como os incêndios florestais em diversas partes do mundo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. F.; DUARTE, J. B.; BARBOSA, M. L. F.; ANDRADE, M. D.; OLIVEIRA, R. O.; DELGADO, R. C.; PEREIRA M. G.; BATISTA, T. S.; TEODORO, P. E. Fire outbreaks in extreme climate years in the state of Rio De Janeiro, Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 30, n. 11, p. 1379-1389, 2019.

BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2003. 52p.

BRITO, T. T.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LYRA, G. B.; GOIS, G.; ZERI, M.; Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. **Meteorology Atmospheric Physics**. v. 129, n. 5, p 469–478, 2017.

CLIMATE HAZARDS CENTER. **CHIRPS**: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data. Disponível em: <https://www.chc.ucsb.edu>. Acesso em: 15 abr. 2025.

CLEMENTE, S. S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LOUZADA, M. A. P. Focos de Calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 32, n. 4, 2017a.

CLEMENTE, S. S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LOUZADA, M. A. P. Focos de calor do bioma Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro: Uma abordagem de gestão e legislação ambiental. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 15, n. 2, 2017b.

COCHRANE, M. A. Fire science for rainforests. **Nature**, v. 421, p. 913–919, 2003.

CPTEC/INPE - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Evolução Mensal e Sazonal das Chuvas**. Disponível em: <https://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt>. Acesso em: 29 de mar. 2022.

CAMPOS, I. B. P.; PAIVA C. M.; OLIVEIRA, L. M. T.; FRANÇA, G. B.; Análise dos efeitos do déficit hídrico na resposta temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em diferentes condições climáticas do Estado do Rio de Janeiro. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais....** Natal: INPE, 2009. p. 4671-4677.

DAVIS, K. T.; DOBROWSKI, S. Z.; HIGUERA, P. E.; HOLDEN, Z. A.; VEBLEN, T. T.; ROTHER, M. T.; MANETA, M. P. Wildfires and climate change push low-elevation forests across a critical climate threshold for tree regeneration. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**. v. 116, n. 13, 2019.

EGHTESADIFARD, M.; AFKHAMI, P.; BAZYAR, A. An integrated approach to the selection of municipal solid waste landfills through GIS, K-Means and multi-criteria decision analysis. **Environmental Research** v. 185, p. 109348, 2020.

ESCUIN, S.; NAVARRO, R.; FERNÁNDEZ P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images, **International Journal of Remote Sensing**, v. 29 n. 4, 2008.

ESRI. ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. **ArcGIS Spatial Analyst**. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. **Raster Solar Radiation (Spatial Analyst)**. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/-/analyst/raster-solar-radiation.htm>. Acesso em: 15 mar. 2025.

FERNANDES, P. M.; MONTEIRO-HENRIQUES, T.; GUIOMAR, N.; LOUREIRO, C.; BARROS, A. M. G. Bottom-Up Variables Govern Large-Fire Size in Portugal. **Ecosystems**, v. 19, p. 1362–1375, 2016.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2022-2023**. São José dos Campos, 2024. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/sobre/relatorios-e-balancos>. Acesso em: 15 abr. 2025.

FUNK, C., PETERSON, P., LANDSFELD, M., PEDREROS, D., VERDIN, J., SHUKLA, S., HUSAK, G., ROWLAND, J., HARRISON, L., HOELL, A., MICHAELSEN, J. The climate hazards group infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, p. 150066, 2015.

GOIS, G.; FREITAS W. K.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. Spatial-temporal of fire foci in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Bioscience Journal**. v. 36, n. 3, 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e estados do Brasil**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>. Acesso em: 20 fev. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto – PIB**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em: 20 fev. 2025.

INEA - INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Portal GeoInea – Mapa Uso e Cobertura do Solo – RJ**. 2015. Disponível em: <https://geoportal.inea.rj.gov.br/porta/apps/experiencebuilder/experience>. Acesso em: 16 abr. 2025.

INEA - INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Portal Geolnea - Informações geoespaciais do Estado do Rio de Janeiro**, 2025. Disponível em: <https://geoportal.inea.rj.gov.br/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=811a0feace564581afae2f9149b8031d>. Acesso em: 16 abr. 2025.

INEA - INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE; SECRETARIA ESTADUAL DO AMBIENTE. **O estado do ambiente**: indicadores ambientais do Rio de Janeiro 2010. Rio de Janeiro: INEA, 2011. 160p.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **TOPODATA**: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.dsr.inpe.br/topodata>. Acesso em: 15 de dez. de 2025.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Programa Queimadas do INPE**. 2022. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/faq/index>. Acesso em: 15 de mar. 2022.

JAIN, A. K. Data clustering: 50 years beyond K-means. **Pattern Recognition Letters**, v. 31, n. 8, p. 651–666, 2010.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 459-473, 2014.

MCQUEEN, J. Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. **Computer and Chemistry**, v. 4, p. 257-272, 1967.

MARQUES, M. C. S.; ROTUNNO FILHO, O. C.; MOREIRA, D. M.; RODRIGUEZ D. A.; Investigação sobre a variabilidade espaço-temporal da chuva por produtos baseados em sensoriamento remoto na Bacia do Rio Jauru – MT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 19., 2019, Santos. **Anais...** Santos: 2019.

MOREIRA, M. E. M.; LEAL M. R. L V.; PICOLI, M. C. A.; DUFT, D. G. Análise estatística do uso da média mensal do ndvi no monitoramento da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA. 44., 2015. **Anais...** 2015.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY Mission (SRTM)**. 2022. Disponível em: <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>. Acesso em: 15 abr. 2025.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **MODIS VEGETATION INDEX Products (NDVI and EVI)**. 2022. Disponível em: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataprod/mod13.php>. Acesso em: 19 de abr. de 2025.

QGIS. **QGIS User Guide**. Versão 3.4. 2025. Disponível em: <https://docs.qgis.org/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-SYMPOSIUM, 3., Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973. p. 309-317.

SANTANA, R. O.; DELGADO, R. C.; SCHIAVETTI, A.; TRINDADE, L. R. S. L. C.; Índice de perigo de incêndio florestal em unidades de conservação do corredor central da mata atlântica, brasil no período de 2001 a 2019. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 26, n. 103, p. 290–304, 2025.

SILVA, W. L.; DERECHYNSKI, C. P. Climatological Characterization and Observed Trends in Climatic Extremes in the State of Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. v. 37, n. 2, 2014.

SORENSEN, T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. **Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biologiske Skrifter**. v. 5, n. 4, p. 1-34, 1948.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. The Origins of Forest Service Wildland Fire Research. **Forest Service 1085**. 2017. Disponível em: https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_series/wo/wo_fs1085.pdf. Acesso em: 15 de mar. 2022.

XING, H.; FANG, K.; YAO, Q.; ZHOUF, O.; LIU, J.; ZHOU S.; JIANG, S.; CHEN Y.; BAI, M.; CHEN, J. M. Impacts of changes in climate extremes on wildfire occurrences in China, **Ecological Indicators**, v. 157, 2023.

ZHANG, Y.; XU, Y.; DONG, W.; CAO, L.; SPARROW, M.; A future climate scenario of regional changes in extreme climate events over China using the PRECIS climate model. **Geophysical Research Letters**. v. 33 n. 24, 2006.

WALKER, X. J.; BALTZER, J. L.; CUMMING, S. G.; DAY, N. J.; EBERT, C.; GOETZ, S.; MACK, M. C. Increasing wildfires threaten historic carbon sink of boreal forest soils. **Nature**. v. 572, n. 7770, p. 520–523, 2019.

WHITEMAN, C. D. **Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications**. Oxford: University Press, 2000. 265p.

WU, X.; KUMAR, V.; ROSS QUINLAN, J.; GHOSH J., YANG Q., MOTODA H.; MCLACHLAN G. J.; ANGUS NG; LIU B.; YU P. S.; ZHOU Z.; STEINBACH M.; HAND D. J.; STEINBERG D. Top 10 algorithms in data mining. **Knowledge and Information Systems**, v. 14, p. 1–37, 2008.

Recebido: 23/05/2025

Aceito: 20/07/2025