



RISCOS

territorium 32 (N.º Especial), 2025, 179-192

journal homepage: <https://territorium.riscos.pt/numeros-publicados/>

DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_32-extra1_14

Artigo científico / Scientific article



ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS
A PARTIR DOS MAPEAMENTOS DE FOCOS DE CALOR E DE SUAS ÁREAS MAIS SUSCETÍVEIS*

179

ANALYSIS OF FOREST FIRE OCCURRENCES
BASED ON THE MAPPING OF HEAT SPOTS AND THEIR MOST SUSCEPTIBLE AREAS

Paulo Queiroz Trinta

Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro (Brasil)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente
ORCID 0009-0009-7963-6741 trinta.defesacivil@gmail.com

Diego Donato Fonseca

Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro (Brasil)
ORCID 0009-0008-7139-4111 diegodonato@hotmail.com

Marco Antonio Basques Sobrinho

Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro (Brasil)
ORCID 0009-0001-3300-9904 mbasques@gmail.com

Leandro de Souza Camargo

Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro (Brasil)
ORCID 0000-0003-2464-8488 leandrocamargocartografo@gmail.com

Luciene Pimentel

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós Graduação em Gestão Urbana (Brasil)
ORCID 0000-0002-6533-9430 pimentel.luciene@pucpr.br

RESUMO

Os incêndios florestais têm se apresentado a cada temporada com maiores complexidades e intensidades, dificultando a gestão desse desastre e aumentando danos e prejuízos. O artigo pretende analisar 1.105 focos de calor confrontados com as respostas às 1.559 ocorrências de incêndios florestais atendidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) entre 2015 e 2022. Notou-se uma relação positiva entre os registros de ocorrências/focos de calor, sendo mais forte no período úmido e mais fraca no período seco. Os resultados sugerem que à medida que aumenta o número de focos de calor, também aumenta o número de ocorrências de incêndios em vegetação. A correlação estatisticamente significativa reflete a intrincada interação de variáveis climáticas, antropogênicas e geoespaciais. Concluiu-se que existe a necessidade de construir um novo mapeamento que seja convergente com as ações de resposta da corporação e a premente demanda por políticas públicas que regulem a utilização do solo de maneira mais consciente, visando a educação preventiva da população para a redução de risco desse desastre.

Palavras-chave: Fogo em vegetação, desastre ambiental, redução de risco de desastres.

ABSTRACT

Forest fires have been occurring each season with greater complexity and intensity, making the management of this disaster difficult and increasing damage and losses. This article intends to analyse 1,105 hot spots compared with the responses to the 1,559 forest fire incidents attended by the Military Fire Brigade of the State of Rio de Janeiro (CBMERJ) between 2015 and 2022. A positive relationship was noted between the records of occurrences/hot spots, which was stronger in the wet season and weaker in the dry season. The results suggest that as the number of hot spots increases, the number of vegetation fires also increases. The statistically significant correlation reflects the intricate interaction of climatic, anthropogenic, and geospatial variables. It was concluded that there is a need to build a new mapping that is convergent with the corporation's response actions and the pressing demand for public policies that regulate land use in a more conscious way, aiming at preventive education of the population to reduce risk of this disaster.

Keywords: Vegetation fire, environmental disaster, disaster risk reduction.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 16-10-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 01-03-2024. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Um incêndio florestal é qualquer fogo sem controle e com poder destrutivo que ocorra na vegetação, sendo iniciado por ações antrópicas ou naturais (erupções vulcânicas e raios), que acabam por acarretar fragmentos de florestas, a perda de biodiversidade, danos materiais, erosão, empobrecimento do solo, assoreamento dos corpos hídricos, piora da qualidade do ar com impactos na saúde respiratória, e até mesmo a óbitos de moradores e brigadistas, sendo esse o maior impacto social (Ramalho *et al.*, 2021; Douglas-Vail *et al.*, 2023).

A importância conceitual deve ser abordada por vários prismas, sendo que suas definições devem utilizar uma análise transdisciplinar para poder caracterizar, mensurar e compreender sua magnitude, sendo necessária uma terminologia que possibilite transferências de conhecimentos comuns às diversas agências operacionais, aos pesquisadores, às comunidades intervenientes e aos legisladores de políticas públicas (Tedim *et al.*, 2018).

Existe a percepção global de que os incêndios florestais estão piorando. Conforme apontam Zhou *et al.* (2023), em junho de 2023, a fumaça dos incêndios no Canadá atingiram cidades americanas e até a Europa. As ocorrências de ondas de calor têm sido mais frequentes e os períodos de estiagem têm se alongado em várias partes do mundo. Temperaturas mais altas e períodos mais longos de estiagem geram um ambiente mais seco, aumentando a susceptibilidade e a frequência dos incêndios florestais. Isso contribui para a retroalimentação do aquecimento global, já que os incêndios aumentam as emissões de gases, alimentando o aquecimento global e contribuindo para o aumento da frequência dos incêndios (Maccarthy *et al.*, 2022).

O Marco de Ação de Sendai (UNISDR, 2015) descreve medidas para Redução dos Riscos e Desastres envolvendo incêndios florestais. Um componente crítico para a prevenção efetiva dos incêndios é a avaliação de longo prazo dos riscos, baseados em métodos que possam apropriar em termos de localização espacial e temporal a natureza dos riscos dos incêndios. A prevenção de incêndios não é só preferível, como também reduz os custos em relação às medidas de combate e supressão de incêndios.

Entre as medidas de gestão e redução de riscos dos incêndios, sobretudo na prevenção, além da formação e capacitação de brigadas de incêndio, a instalação de torres de observação e a construção de castelos de água, são os mapeamentos que permitem o planejamento e a vigilância mais acurados. Essa informação, através da análise de mapas com bases em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), é extremamente útil na implementação de medidas para a redução dos riscos. Auxiliam também a otimizar os recursos na resposta aos combates a incêndios florestais diminuindo a frequência,

o tempo de combate inicial, facilitam as estratégias e, concomitantemente, reduzem os danos ao homem e ao meio ambiente (Soares Neto *et al.*, 2016).

Possuindo o objetivo comum de correlacionar as ocorrências de incêndios florestais com um mapeamento prévio em área específica do Distrito Federal - Brasil, Tavares *et al.* (2018), compararam os dados de foco de calor fornecidos pelas diversas agências públicas, que abastecem os principais SIG do país, com informações de pessoas que reportavam os incêndios florestais por aplicativos, fundindo também dados de outras fontes dinâmicas. Tal metodologia pretendeu integrar-se num dado momento com as operações de resposta dos corpos de bombeiros e voluntários que atuam na prevenção e combate no bioma Cerrado, parte central do país. Dessa forma, concluíram que tais informações, organizadas em um algoritmo específico, conseguem complementar e contribuir para a adequada gestão desse desastre.

A importância do mapeamento do comportamento dos incêndios é também descrita por McClure *et al.* (2023) onde foi possível monitorar em tempo real, além da fumaça, a progressão do incêndio através da área queimada. Dessa forma a detecção precoce pela metodologia do cruzamento de informações de satélites, quando se integra com a rápida resposta, traz informações valiosas ao serem cruzadas com outros dados e validados pela estratégia de supressão da equipe na cena do desastre.

O Bioma Mata Atlântica no Brasil é historicamente o mais impactado e vulnerável ao desmatamento. Nesse Bioma, estão localizadas as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, com altas densidades populacionais, além de outras cidades importantes das Regiões Nordeste e Sul do país. Chama atenção também nessa região os contingentes populacionais de vulneráveis que habitam os territórios periféricos, mais susceptíveis a desastres. Os fragmentos florestais remanescentes desse bioma têm função importante na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e constituem várias áreas de conservação da biodiversidade (Rodrigues *et al.*, 2009).

Os dados estatísticos do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) apontam que, só no ano de 2022, foram recebidos mais de 12.000 chamados de “Fogo em Vegetação”, definição dada para os eventos de incêndios em vegetações diversas no sistema associado à Corporação. O mapeamento de susceptibilidade às ocorrências de foco de calor, dividido em trimestre seco, trimestre úmido e período anual, permite comparar sazonalmente os dados de ocorrência de incêndios, analisando períodos críticos de estiagem e uma previsibilidade dos inícios dos incêndios.

A hipótese testada supõe que os atendimentos aos chamados para incêndios florestais tenham alguma correlação com a localização prevista de focos de calor

descritos pelo mapeamento de susceptibilidade aos incêndios florestais. O objetivo principal do presente artigo é apontar tais relações, validando nuances dos mapas pode-se utilizar como instrumento de planejamento para a Secretaria de Estado de Defesa Civil (SEDEC), que subsidiará com informações as ações de RRD prestadas pelo CBMERJ, especificamente, no combate aos incêndios florestais.

Materiais e Métodos

Caracterização da Unidade Territorial de Estudo

A unidade territorial de estudo está inserida em um dos biomas mais ameaçados do Brasil, o de Mata Atlântica, sobretudo em seus domínios no Estado do Rio de Janeiro (ERJ). O ERJ possui 43.750,425 km² de área e 16.054.524 habitantes e densidade demográfica de 366,96 hab/m², segundo o Censo 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Administrativamente, o ERJ é dividido em seis Mesorregiões com 92 municípios: Noroeste Fluminense (NOF), Norte Fluminense (NF), Baixadas Litorâneas (BL), Centro Fluminense (CF), Metropolitana do Rio de Janeiro (MRJ) e Sul Fluminense (SF) (fig. 1).

O Rio de Janeiro possui seu bioma com cerca de 1,3 milhão de hectares de vegetação nativa remanescente de Mata Atlântica, correspondendo a 29,9% do seu território de acordo com os dados da Fundação SOS Mata Atlântica e INPE (2021).

O clima nas diferentes regiões, conforme a classificação de Köppen, varia de tropical no NOF, NF e BL; marítimo úmido no SF; e tropical subtropical/de altitude no MRJ (Alvares *et al.*, 2013). Mudanças no uso e cobertura do solo têm impactado o ERJ, aumentando a vulnerabilidade a eventos meteorológicos extremos, como aumento da temperatura do ar devido a ilhas de calor, chuvas intensas e estiagens prolongadas (Brito *et al.*, 2017; Sobral *et al.*, 2018).

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é um componente fundamental da circulação atmosférica subtropical do hemisfério sul, com grande influência na determinação das condições climáticas na região sudeste do Brasil (Reboita *et al.*, 2010; Reboita *et al.*, 2015). No contexto do Estado do Rio de Janeiro (ERJ), o ASAS afeta aspectos como a distribuição de precipitação, a ocorrência de eventos meteorológicos extremos, a formação de inversões térmicas e a circulação dos ventos locais de baixa intensidade com predominância

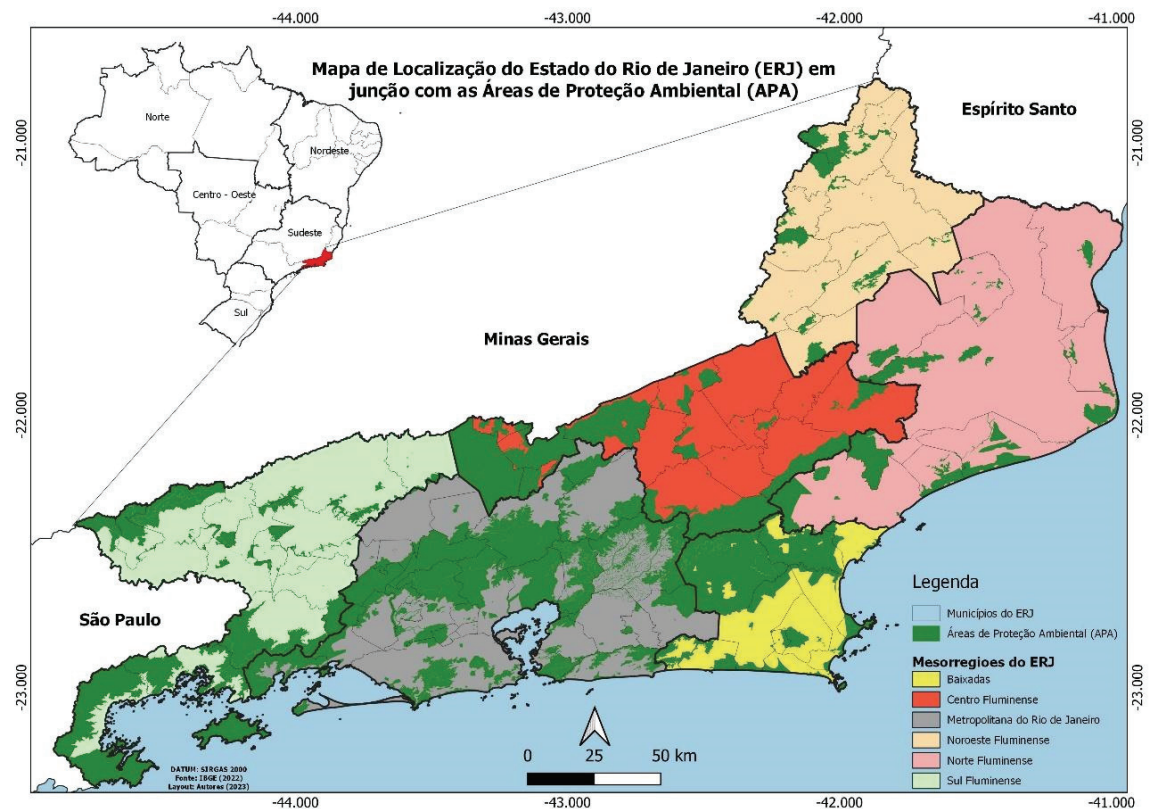


Fig. 1 - Mapa de Localização do Estado do Rio de Janeiro e suas meso regiões administrativas, em junção com as Áreas de Proteção Ambiental.

Fig. 1 - Location Map of the State of Rio de Janeiro and its administrative meso- administrative regions, in conjunction with the Environmental Protection Areas.

nas direções norte e nordeste que afetam especialmente o nordeste do estado (FIDERJ, 1978).

A formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) predomina entre os meses de novembro e março (Kousky, 1988; Kodama 1992a, b, 1993). A topografia complexa acidentada e proximidade com a costa e o mar levam a altas variabilidades das precipitações, influenciando a ocorrência de sistemas meteorológicos de mesoescala, como brisas terrestres/marítimas e de vale/montanha, e Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) (Brito *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2021). Localmente, os índices pluviométricos médios anuais são influenciados pela altitude, com maiores valores em áreas elevadas e menores em áreas baixas e costeiras (Silva e Dereczynski, 2014; Sobral *et al.*, 2018). As médias anuais de precipitação variam de 1000 mm a 2300 mm, com regiões como SF e MRJ acima da média estadual, e BL, NOF e NF abaixo da média (Brito *et al.*, 2017; Sobral *et al.*, 2018). A sazonalidade mostra menor precipitação em junho, julho e agosto, e maior nos meses de novembro a março, dependendo da região do estado.

As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) desempenham um papel fundamental na conservação e preservação dos recursos naturais no ERJ devido a sua rica diversidade de ecossistemas e atuação como corredores ecológicos, protegendo ecossistemas vitais, promovendo a conservação da biodiversidade, além de promover a conservação de nascentes e cursos d'água, fornecendo um serviço essencial para a população local (Brito, 2012; Gaudereto *et al.*, 2017). Outro importante aspecto das APAs é a preservação do patrimônio cultural e histórico das localidades, enriquecendo a identidade do ERJ e oferecendo oportunidades para o desenvolvimento de atividades turísticas sustentáveis (Rodrigues e Schumacher., 2020). Com sua gestão adequada, as APAs do ERJ integram a preservação da fauna e flora local e o bem-estar das comunidades locais, tornando-se um legado valioso para as futuras gerações (Limaverde *et al.*, 2005).

O CBMERJ é o órgão de resposta às emergências em todo território do ERJ, funcionando em 2023 com 111 unidades operacionais, atendendo mais de 200 mil eventos até julho do mesmo ano. As estatísticas estão divididas em 13 tipos principais de registros, sendo o Combate a incêndios subdividido em incêndio, fogo em veículo, fogo em via pública e fogo em vegetação (origem dos números de ocorrências), este último com 12.002 registros. A Diretoria Geral de Comando e Controle Operacional (DGCCO) é o Órgão de Direção Setorial, responsável por emanar doutrina de Comando e Controle de Operações, por executar o equilíbrio operacional da corporação dentro do ERJ e gerenciar todos os registros de chamadas para os eventos, que são lançadas pelo *software* chamado *On Call* e que possibilita

a visualização de todas as ocorrências através do Sistema de Gestão de Ocorrências (SisGeO).

O SisGeO é uma ferramenta de consciência situacional e de apoio à tomada de decisão para órgãos de primeira resposta, possibilitando ainda aos Comandantes, Diretores e Comando Geral o acompanhamento do evento em tempo real, sendo alimentado pelas unidades operacionais, espalhadas pelo Estado.

O *Dashboard* do SisGeO possibilita uma série de pesquisas ao banco de dados, conforme refinamento através das abas, possibilitando depurar em consultas por: Evento/Ocorrência, Período, Operação, Comando de Bombeiro de Área (CBA), Grupamento, Usuário, Viatura, Município, Tipo, Subtipo, Filtro de Pesquisa (alguma palavra-chave), Logradouro, Com Atendimento Pré-Hospitalar (APH) e Com Serviço de Remoção de Cadáver (SRC).

Dados Utilizados

Fogo em Vegetação

A análise espaço-temporal de registros de ocorrências de “fogo em vegetação” realizadas pelo CBMERJ, entre os anos de 2015 e 2022, foi obtida do SiSGeO. O conjunto de dados sobre as operações de combate a incêndios realizada pelo CBMERJ, registradas no SisGeO, foi extraído através do menu “Consulta”. Na tela principal (Figura 2), especificamente no submenu “Pesquisar”, não teve adição de nenhuma informação, nem no campo de preenchimento “Evento/Ocorrência”. Foram selecionados os registros entre 01/01/2015 e 31/12/2022. No campo de preenchimento de “Operação” foi selecionado “COCB” por se tratar de operações específicas de combate a incêndio, bem como “Todos os CBAs” e “Todos os Grupamentos” com a intenção de ter como espaço amostral toda a cobertura do ERJ.

Os campos de preenchimento (fig. 2) relativos a “Usuário”, “Viatura” e “Município” não foram completados por não apresentarem informações necessárias na coleta de dados. O “Tipo” foi selecionado como “Fogo em Vegetação”, sendo restrito ao “Subtipo” selecionado “Em Áreas Protegidas (Parques, Reservas, APA, etc)”. Foram eliminados registros duplicados, ausentes de coordenadas geográficas, falsos avisos e ocorrências inconsistentes (De Castro e Ferrari, 2017). Os dados foram separados por mês e ano, para representar as ocorrências em diferentes épocas anuais e mensais, conforme operações desempenhadas na região de estudo.

Focos de Calor

Os dados de focos de calor estão acessíveis no banco de dados BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estes registros foram obtidos por meio

The screenshot displays the SisGeO web application interface. At the top, there is a navigation bar with tabs: Mapa, Dashboard, Consultas, Monitores, APH, Marítimo, Ocorrências, Controle, and Administração. Below this, there are buttons for 'Pesquisar', 'Exportar', and 'Abertas'. The main search area contains several filters: 'Evento/Ocorrência' (text input), 'Período' (date range from 01/01/2015 00:00 to 31/12/2022 00:00), 'Operação' (dropdown menu with 'COCB' selected), 'CBA' (dropdown menu with 'Todos os CBAs' selected), 'Grupo' (dropdown menu with 'Todos os grupos' selected), 'Usuário' (text input with placeholder 'Usuário de criação ou fechamento'), 'Viatura' (text input with placeholder 'Prefixo da viatura despachada'), 'Município' (dropdown menu with 'Município da ocorrência' selected), 'Tipo' (dropdown menu with 'Fogo em Vegetação' selected), and 'Subtipo' (dropdown menu with 'Em Áreas Protegidas (Parques, Reservas, AI)' selected). There is also a 'Filtro de pesquisa' section with a 'Pesquisa' button and a 'Logradouro' section with a 'Local do evento' button. On the right, there is a 'Com SRC' section with a 'Todas' button. Below these filters, a list of events is shown, including 'Fogo em Vegetação', 'Em Áreas Protegidas (Parques, Reservas, APA, etc.) A2301', and 'Em Áreas Não Protegidas (Terreno baldios, vegetação em geral, etc.) A2302'. A 'Consultar' button is located at the bottom right.

Fig. 2 - Visualização da tela do SisGeO.

Fig. 2 - View of the SisGeO screen.

do satélite de órbita polar AQUA M-T, que possui uma resolução espacial de 1 km² e proporciona dados diários, normalmente disponíveis no começo da tarde com uso do sensor MODIS, adequado a análise de tendências nos números de focos de calor, uma vez que o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) enfatiza que o satélite mencionado deve ser considerado como referência na série temporal adotada. Esta coleta está restrita ao mesmo período temporal dos registros de ocorrência obtidos no SisGeO. Os dados foram organizados por mês e ano, permitindo representar as ocorrências ao longo das diferentes épocas anuais e mensais, de acordo com a passagem do satélite sobre a região de estudo. Registros duplicados foram eliminados com base em uma análise comparativa das coordenadas geográficas e informações temporais, assegurando a integridade e confiabilidade dos dados para análises e tomada de decisões.

Mapas de Susceptibilidade

As variáveis utilizadas na construção dos mapas foram: a declividade do terreno; a forma da ocupação antrópica no local; a temperatura; a precipitação; a orientação das encostas; a altimetria e o déficit hídrico da localidade. Esses fatores condicionantes, no período de baixo regime de chuvas, potencializam o aparecimento de focos de calor, que por consequência, podem evoluir e tornar-se incêndios florestais, sendo estes limitados mediante a utilização dos dados coletados.

Análises Estatísticas

As análises descritivas foram conduzidas utilizando o software RStudio e incluíram medidas de tendência central e dispersão, apresentadas em gráficos de caixa

e “medidas resumo” para facilitar a avaliação dos resultados e identificação de diferenças significativas entre os grupos temáticos. Os resultados das “medidas resumo” foram representados com uso de tabelas, cujos valores foram aproximados para números inteiros.

A análise do conjunto de dados sobre focos de calor, referentes as APAs localizadas no bioma Mata Atlântica, foram obtidos do satélite AQUA M-T, e está restrita à mesma série temporal dos registros de ocorrência obtidos no SisGeO, com distinção do tipo de sensor (MODIS) e do tipo de satélite (geoestacionário). Os dados foram separados por mês e ano, para representar as ocorrências em diferentes épocas anuais e mensais, conforme passagem do satélite na região de estudo. Foram eliminados os registros repetidos com base em uma análise comparativa das coordenadas geográficas e informações temporais, garantindo assim a integridade e confiabilidade dos dados para análise e tomada de decisões.

Foram utilizados três mapas de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor, fornecidos pela SEDEC, que representam o panorama anual, período úmido e seco, classificados em cinco níveis, de muito baixa a muito alta (De Souza Camargo *et al.*, 2022). Esses mapas foram limitados aos contornos das APAs no software Quantum GIS 3.18.1 e os registros de ocorrência do CBMERJ e, junção com os focos de calor disponibilizados pelo INPE foram representados com uso de mapas, agrupados em três categorias: Período Úmido, Período Seco e Anual, representando todos os meses do ano.

O teste de correlação de Spearman foi empregado para verificar a existência de correlação entre os dados, utilizando um nível de significância de 95%, equivalente a um p-valor de 0,05. A opção pelo teste de correlação de Spearman se deu em função da necessidade de comparar medidas quantitativas com variáveis qualitativas ordinais. Essa escolha foi fundamentada no fato de que

o teste de correlação de Pearson requer que as variáveis sejam medidas em escala de intervalo ou razão, bem como atendam aos pressupostos de normalidade e linearidade (Figueiredo e Silva Júnior, 2009), adotando como hipótese nula (H_0) a ausência de correlação significativa entre os focos de calor e os registros de ocorrência do CBMERJ, enquanto a hipótese (H_a) alternativa sugere que há uma correlação significativa entre essas variáveis.

O teste Qui-Quadrado de independência foi empregado para medir a discrepância entre os registros de ocorrências de fogo em vegetação e as classes de susceptibilidade dos focos de calor, possibilitando testar a hipótese de independência entre as variáveis (Fávero e Belfiore, 2017), gerando três tabelas de frequências observadas e frequências esperadas. Contudo, após a verificação dos pressupostos necessários para a aplicação do teste de Qui-Quadrado, verificou-se a presença de valores inferiores a 5 na tabela da frequência esperada e, neste sentido, optou-se por adotar o teste exato de Fisher (MacDonald e Gardner, 2000; Sharpe, 2015; Kim, 2015). Após a aplicação do teste exato de Fisher, os resultados da validação cruzada entre os mapas de susceptibilidade e os eventos do CBMERJ foram representados em função da frequência absoluta e percentual a fim de verificar qual das categorias concentrou o maior número de ocorrências.

Resultados

Os resultados deste estudo mostram a variação espaço temporal dos focos de calor captados pelo sensor MODIS, disponibilizado pelo INPE, e as ocorrências de fogo em vegetação disponibilizados no SisGeO com uso de medidas resumo e gráficos de BoxPlot nos períodos anuais e mensais, além de apresentar suas correlações estatísticas. Ainda como forma de apresentar os resultados, destaca-se a análise das significâncias estatísticas entre as áreas susceptíveis a ocorrência de focos de calor e as ocorrências do CBMERJ.

Análise Descritiva dos Registros de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE

A análise descritiva dos registros de ocorrência do CBMERJ e dos focos de calor capturados pelo sensor MODIS, a bordo do satélite AQUA e disponibilizado pelo INPE revelou distintas variações nos padrões temporais das ocorrências.

Os períodos de maior e menor atuação do CBMERJ se deram nos anos de 2020 e 2022, respectivamente. No ano de 2020, o Q2 (segundo quartil) apresentou 38 ocorrências, com uma assimetria de 2, um desvio padrão de 54 e um erro padrão de 16. Já em 2022, o Q2 apresentou 5 ocorrências, com uma assimetria de 2, um desvio padrão de 8 e um erro padrão de 2. Além disso, os anos de 2020 e

2022 também apresentaram os máximos de atendimento na faixa de 185 e 27 ocorrências, nesta ordem.

Os períodos de maior e menor registro de focos de calor capturados por sensoriamento remoto ocorreram nos anos de 2015 e 2018, respectivamente. Em 2015, o segundo quartil (Q2) registrou um total de 7 focos de calor, com uma assimetria de 1, um desvio padrão de 13 e um erro padrão de 4. Já em 2020, o Q2 apresentou 3 focos de calor, com uma assimetria de 2, um desvio padrão de 7 e um erro padrão de 2. Além disso, foram observados picos de registros em 2015 na ordem de 42 e 25 focos.

Os gráficos de caixa (Boxplot) ilustram a distribuição anual dos registros de ocorrência do CBMERJ e dos focos de calor capturados pelo INPE ao longo do período analisado (fig. 3).

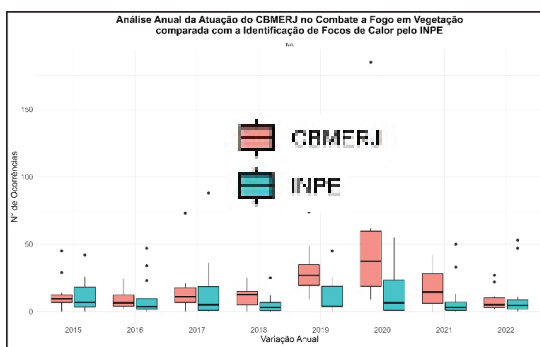


Fig. 3 - Variação Temporal Anual dos Registros de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE: Gráficos de Caixa.

Fig. 3 - Annual Temporal Variation of CBMERJ Occurrence Records and Hot Spots by INPE: Box Plots.

Os meses de maior e menor registro de ocorrências mensais de fogo em vegetação do CBMERJ foram Julho e Dezembro. Em Julho, o valor da Média das ocorrências foi de 44, com Erro padrão de 21. O segundo quartil (Q2) registrou 26 ocorrências, um desvio padrão em relação a Média de 59 e uma assimetria de 3. Em Dezembro, o valor da Média das ocorrências foi de 10, com Erro padrão de 4. O Q2 apresentou 7 ocorrências, um desvio padrão em relação a Média de 11 e uma assimetria de 1. Além disso, os máximos registros nos meses supracitados foram de 185 e 30 ocorrências.

Os períodos de maior e menor registro de focos de calor capturados por sensoriamento remoto ocorreram nos meses de Setembro e Dezembro, respectivamente. Em Setembro, o valor da Média das ocorrências foi de 40, com Erro padrão de 9. O segundo quartil (Q2) registrou 40 ocorrências, um desvio padrão em relação a Média de 25 e uma assimetria de 1. Em Dezembro, o valor da Média das ocorrências foi de 1, com Erro padrão de 0. O Q2 apresentou 1 ocorrência, um desvio padrão em relação a Média de 1 e uma assimetria de 2. Além disso, os máximos registros nos meses supracitados foram de 88 e 4 ocorrências.

QUADRO I - Análise Descritiva da Variação Temporal Anual dos Registos de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE.

TABLE I - Descriptive Analysis of the Annual Temporal Variation of CBMERJ Occurrence Records and Hot Spots by INPE.

| CBMERJ | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Média | 13 | 9 | 16 | 11 | 30 | 54 | 19 | 8 |
| Erro padrão | 4 | 2 | 6 | 2 | 5 | 16 | 4 | 2 |
| Mediana | 10 | 7 | 11 | 13 | 27 | 38 | 15 | 5 |
| Modo | 10 | 4 | 7 | 13 | 24 | - | 42 | 3 |
| Desvio padrão | 13 | 8 | 19 | 7 | 18 | 54 | 15 | 8 |
| Variância da amostra | 158 | 56 | 366 | 55 | 334 | 2949 | 240 | 67 |
| Curtose | 4 | 0 | 9 | 0 | 2 | 2 | -1 | 2 |
| Assimetria | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Intervalo | 45 | 22 | 73 | 25 | 65 | 176 | 42 | 25 |
| Mínimo | 0 | 2 | 0 | 0 | 9 | 9 | 0 | 2 |
| Máximo | 45 | 24 | 73 | 25 | 74 | 185 | 42 | 27 |
| Soma | 151 | 112 | 192 | 133 | 360 | 647 | 224 | 100 |
| Contagem | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| INPE | | | | | | | | |
| Média | 12 | 11 | 16 | 5 | 12 | 14 | 10 | 12 |
| Erro padrão | 4 | 4 | 7 | 2 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Mediana | 7 | 4 | 5 | 3 | 4 | 7 | 3 | 5 |
| Modo | 4 | 1 | 1 | 0 | 4 | 1 | 1 | 4 |
| Desvio padrão | 13 | 15 | 25 | 7 | 14 | 18 | 16 | 18 |
| Variância da amostra | 160 | 238 | 643 | 52 | 188 | 322 | 248 | 326 |
| Curtose | 2 | 2 | 7 | 5 | 2 | 1 | 4 | 2 |
| Assimetria | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Intervalo | 42 | 47 | 88 | 25 | 45 | 54 | 50 | 53 |
| Mínimo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Máximo | 42 | 47 | 88 | 25 | 45 | 55 | 50 | 53 |
| Soma | 145 | 128 | 188 | 64 | 148 | 172 | 115 | 145 |
| Contagem | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |

Os gráficos (de caixa Boxplot) ilustrando a distribuição mensal dos registos de ocorrência do CBMERJ e dos focos de calor capturados pelo INPE ao longo do período analisado, 2015 a 2022 fig. 4).

É apresentada a seguir uma análise de estatística descritiva dos registos de ocorrência do CBMERJ e dos focos de calor capturados pelo INPE ao longo do período analisado (QUADRO II).

QUADRO II - Análise Descritiva da Variação Temporal Mensal dos Registos de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE.

TABLE II - Descriptive Analysis of the Monthly Temporal Variation of CBMERJ Occurrence Records and Hot Spots by INPE.

| CBMERJ | | | | | | | Meses | | | | | |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| Média | 27 | 11 | 11 | 17 | 17 | 27 | 44 | 25 | 25 | 17 | 10 | 10 |
| Erro padrão | 9 | 3 | 3 | 7 | 7 | 16 | 21 | 5 | 9 | 5 | 4 | 4 |
| Mediana | 21 | 12 | 8 | 13 | 11 | 11 | 26 | 23 | 14 | 11 | 7 | 7 |
| Modo | 7 | 12 | 7 | - | 9 | - | - | - | 10 | 6 | 3 | - |
| Desvio padrão | 25 | 7 | 8 | 19 | 19 | 46 | 59 | 15 | 24 | 15 | 10 | 11 |
| Variância da amostra | 604 | 56 | 63 | 348 | 367 | 2097 | 3428 | 212 | 585 | 228 | 109 | 123 |
| Curtose | 0 | -1 | 0 | 4 | 6 | 7 | 7 | 0 | 1 | 3 | 2 | 0 |
| Assimetria | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| Intervalo | 70 | 20 | 23 | 59 | 59 | 136 | 176 | 46 | 66 | 45 | 32 | 30 |
| Mínimo | 4 | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 | 9 | 0 | 7 | 4 | 0 | 0 |
| Máximo | 74 | 22 | 24 | 59 | 62 | 137 | 185 | 46 | 73 | 49 | 32 | 30 |
| Soma | 219 | 89 | 85 | 136 | 133 | 212 | 349 | 199 | 201 | 133 | 80 | 83 |
| Contagem | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| INPE | | | | | | | | | | | | |
| Média | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 9 | 24 | 33 | 40 | 13 | 3 | 1 |
| Erro padrão | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 9 | 4 | 1 | 0 |
| Mediana | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 7 | 21 | 35 | 40 | 9 | 2 | 1 |
| Modo | 1 | 2 | 1 | 0 | 4 | 5 | 17 | - | - | - | 0 | 0 |
| Desvio padrão | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 6 | 12 | 15 | 25 | 12 | 3 | 1 |
| Variância da amostra | 27 | 5 | 3 | 8 | 6 | 36 | 150 | 223 | 621 | 148 | 10 | 2 |
| Curtose | 5 | -1 | -2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 5 | 5 |
| Assimetria | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Intervalo | 16 | 6 | 4 | 8 | 8 | 16 | 39 | 47 | 76 | 35 | 10 | 4 |
| Mínimo | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 4 | 11 | 6 | 12 | 1 | 0 | 0 |
| Máximo | 16 | 6 | 5 | 8 | 9 | 20 | 50 | 53 | 88 | 36 | 10 | 4 |
| Soma | 32 | 19 | 20 | 18 | 32 | 71 | 195 | 266 | 320 | 104 | 21 | 7 |
| Contagem | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |

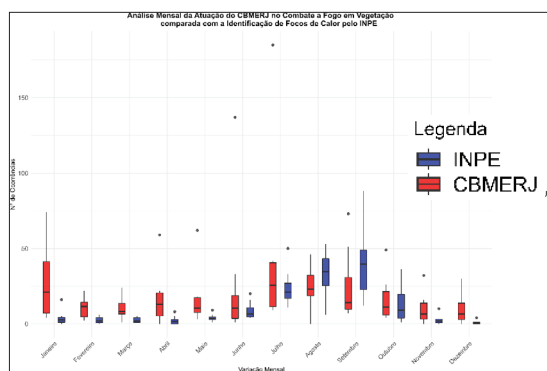


Fig. 4 - Variação Temporal Mensal dos Registos de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE: Gráficos de Caixa.

Fig. 4 - Monthly Temporal Variation of CBMERJ Occurrence Records and Hot Spots by INPE: Box Plots.

Análise Estatística dos Registos de Ocorrência do CBMERJ e Focos de Calor pelo INPE

Os resultados da aplicação da correlação de Spearman mostraram baixa associação entre os registos de ocorrências de fogo em vegetação e os focos de calor anualmente ($p = 0,46$); p -valor = (3×10^{-6}) , no período úmido ($p = 0,3$); p -valor = $(0,03)$ e forte associação no período seco ($p = 0,57$), p -valor = (2×10^{-5}) .

Análise Estatística dos Registos de Ocorrência do CBMERJ e o Mapa de Susceptibilidade a Ocorrências de Focos de Calor para ERJ

Os resultados da aplicação do teste exato Fisher mostraram a associação entre os registos de ocorrências de fogo em vegetação e as classes de susceptibilidade dos focos de calor anualmente (p -valor = $0,0005$), no período úmido (p -valor = $0,02$) e no período seco (p -valor = $0,02$).

A comparação entre as categorias de susceptibilidade no panorama anual e as Ocorrências atendidas pelo CBMERJ demonstra prevalência da categoria de susceptibilidade média (201), equivalente a 36% dos registos, seguida pelas categorias Baixo (130), Muito Baixo (87), Alto (85) e Muito Alto (54), conforme QUADRO III (fig. 5).

A comparação entre as categorias de susceptibilidade no período úmido e as Ocorrências atendidas pelo CBMERJ continua a prevalecer a categoria média (64), proporcional a 26% das ocorrências, seguida pelas categorias Alto (57), Baixo (53), Muito Alto (42) e Muito Baixo (30).

A comparação entre as categorias de susceptibilidade no período seco e as Ocorrências atendidas pelo CBMERJ destaca a prevalência da categoria Baixa (146), proporcional a 39% das ocorrências, seguida pelas categorias Média (106), Muito Baixo (68), Alto (42) e Muito Alto (10).

A fig. 5 ilustra a comparação entre a classificação de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor, representada graficamente, e os registos de ocorrência do CBMERJ, também representados de forma gráfica ou por pontos no mapa. A classificação de susceptibilidade baseada em métodos analíticos, variando em função da intensidade e cores, identifica áreas mais propensas ao surgimento focos de calor, enquanto os registos do CBMERJ indicam os locais e períodos em que ocorreram os incêndios de fato.

Vê-se (fig. 5) a comparação entre a classificação de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor, representada graficamente, e os registos de ocorrência do CBMERJ, também representados de forma gráfica ou por pontos no mapa (fig. 6). A classificação de susceptibilidade baseada em métodos analíticos identifica áreas mais propensas ao surgimento de focos de calor, enquanto os registos do CBMERJ indicam os locais e períodos em que ocorreram os incêndios de fato.

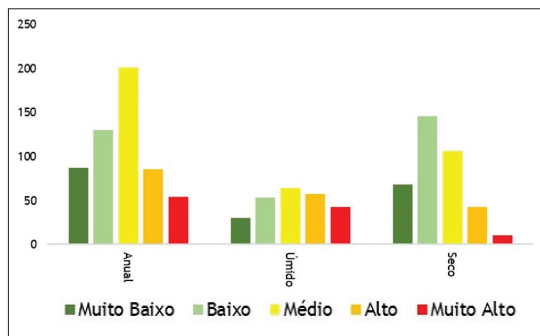


Fig. 5 - Comparação entre a Classificação de Susceptibilidade à Ocorrência de Focos de Calor e os Registos de Ocorrência do CBMERJ.

Fig. 5 - Comparison between the Classification of Susceptibility to the Occurrence of Hot Spots and the CBMERJ Occurrence Records.

As sobreposições foram apresentadas entre as ocorrências de fogo em vegetação, representadas por pontos, e as áreas de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor no interior das APAs, representadas em mapas que retratam a variação anual (fig. 6), o período úmido (fig. 7) e seco (fig. 8), permitindo a visualização da relação espacial entre os locais onde os incêndios ocorreram efetivamente e as áreas consideradas mais propensas a esses eventos com base na classificação de susceptibilidade.

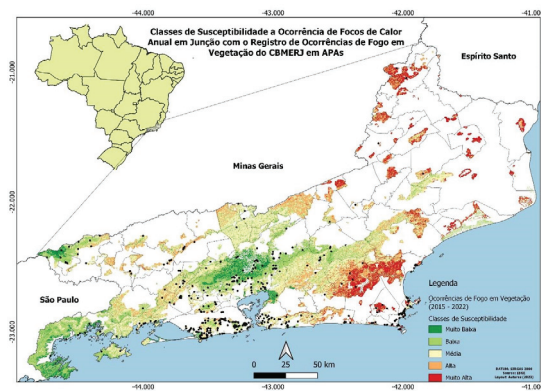


Fig. 6 - Variação Anual da Sobreposição entre Ocorrências de Fogo em Vegetação e Áreas de Suscetibilidade a Focos de Calor em APAs.

Fig. 6 - Annual Variation in Overlap between Fire Occurrences in Vegetation and Areas of Susceptibility to Hot Spots in APAs.

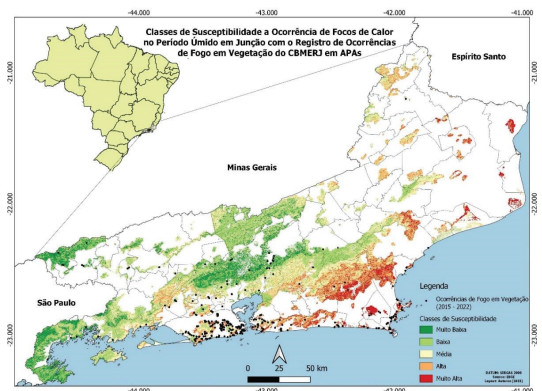


Fig. 7 - Variação no Período Úmido da Sobreposição entre Ocorrências de Fogo em Vegetação e Áreas de Suscetibilidade a Focos de Calor em APAs.

Fig. 7 - Variation in the Humid Period of Overlap between Fire Occurrences in Vegetation and Areas of Susceptibility to Hot Spots in APAs.

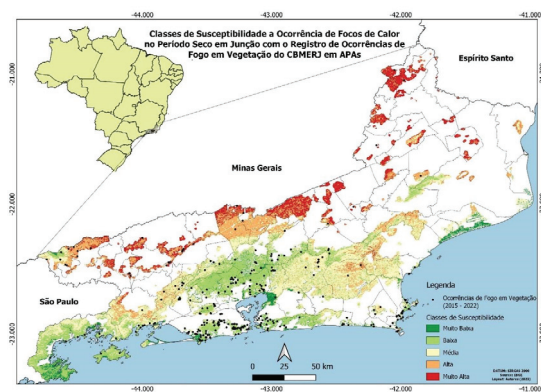


Fig. 8 - Variação no Período Seco da Sobreposição entre Ocorrências de Fogo em Vegetação e Áreas de Suscetibilidade a Focos de Calor em APAs.

Fig. 8 - Variation in the Dry Period of Overlap between Fire Occurrences in Vegetation and Areas of Susceptibility to Hot Spots in APAs.

Discussão

A análise descritiva dos registros de fogo em vegetação nas APAs demonstra que entre os anos de 2015 e 2018 não houve variações significativas no número de ocorrências registradas pelo CBMERJ, com exceção dos valores acima do esperado (outliers) nos anos de 2015 e 2017. Neste sentido, no ano de 2015 o pico de registro de ocorrências de fogo em vegetação em APAs foi convergente com o prolongado período de estiagem no verão que afetou o ERJ em 2014 e 2015, causado pelo deslocamento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) para oeste de sua posição climatológica, implicando em anomalias positivas de pressão atmosférica sobre o sudeste do Brasil e anomalias positivas de temperatura da superfície do mar próximas à costa sul-sudeste do país (Rebiota *et al.*, 2015), o que potencializou a ocorrência de incêndios florestais e queimadas em

várias regiões do ERJ (Otto *et al.*, 2015; Rodrigues *et al.*, 2018), convergente com o aumento no número de solicitações ao CBMERJ e com a máxima mediana da série temporal dos focos de calor, uma vez que nos meses de verão, os sistemas meteorológicos exercem influência significativa na precipitação. As Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), destacadas como um dos principais contribuintes para a chuva na área (Barcellos e Quadro, 2019), e os sistemas frontais (Dereczynski *et al.*, 2009) desempenham papéis fundamentais. Além disso, sistemas convectivos isolados (Silva e Dereczynski, 2014) podem interagir entre si (Moura *et al.*, 2013), levando a variações na distribuição espacial e intensidade das chuvas. Essas condições climáticas favorecem a umidade do material combustível na superfície Sausen e Lacruz, (2015), o que contrasta com regiões como o Mediterrâneo, caracterizadas por verões de alta temperatura, longos períodos de estiagem e ventos fortes (Ganteaume *et al.*, 2013). Essa combinação de altas temperaturas e baixa precipitação, como observado na estiagem prolongada em janeiro de 2015, pode contribuir para o aumento de focos de calor na Região Sudeste do Brasil, o que explica a presença do *outlier* dos focos de calor e o elevado registro de ocorrências de fogo em vegetação no mês de janeiro.

Os anos com maior dispersão dos registros de fogo em vegetação foram 2017 e 2020, sinalizados pelos maiores valores de desvio padrão e valores máximos na ordem de 73 e 185 registros, inferindo maior heterogeneidade nas ocorrências nesses anos. Em contraste, os anos de 2016 e 2018 apresentaram menor variabilidade e maior concentração de ocorrências em torno da média. Destaca-se que nos anos de 2015, 2017, 2019, 2021 e 2022 os valores dos registros estão mais concentrados à esquerda da distribuição, e há uma cauda longa à direita, onde se encontram valores mais extremos, ou seja, há menos ocorrências com valores abaixo da média

(Fávero e Belfiore, 2017), implicando que os registros de fogo em vegetação tendem a se aproximar dos maiores valores das respectivas séries temporais.

Os registros de ocorrências de fogo em vegetação do CBMERJ nas APAs apresentaram variações significativas ao longo dos meses, com destaque para Julho como o período de maior registro e Dezembro como o de menor. Em Julho, o segundo quartil (Q2) apresentou 26 ocorrências, com uma assimetria positiva de 3, desvio padrão de 59 e erro padrão de 21, indicando uma concentração elevada de ocorrências, com maior dispersão em direção a valores mais altos. Em contraste, Dezembro registrou apenas 7 ocorrências no segundo quartil (Q2), com uma assimetria de 1, desvio padrão de 11 e erro padrão de 4, revelando uma redução nas ocorrências e menor dispersão em relação a valores mais altos.

Conforme Ackland e Kilinc (2023) tal fenômeno de estiagem é um fator que levou às piores temporadas de incêndios florestais nos períodos de 2019-20, 2008-09, 2006-07 e 1938-39 em Victoria, Austrália. A variável climatológica é acompanhada com seus padrões de condições análogas com outras temporadas também influenciadas por diversos fenômenos, como por exemplo o El Nino.

A correlação de Spearman, constatou que a relação positiva entre os registros de ocorrências de combate ao fogo em vegetação e os focos de calor foi moderada ao longo do ano, mais fraca no período úmido e mais forte no período seco, confirmando em parte a hipótese levantada (Rumsey, 2019). Esses resultados sugerem que à medida que aumenta o número de focos de calor, também aumenta o número de ocorrências de incêndios em vegetação. Embora essa correlação seja estatisticamente significativa, destaca-se que a análise não estabelece causalidade direta, uma vez que a correlação mede a interdependência entre variáveis e quantifica a relação entre elas, porém não esclarece os motivos desse relacionamento (Patrício, 2016). A análise descritiva também mostrou um aumento das ocorrências de combate ao fogo em vegetação em APAs durante o mês de janeiro, apesar da diminuição do número de ocorrências de focos de calor. Esse aumento sazonal pode estar relacionado a condições meteorológicas locais, como elevadas temperaturas que favorecem a taxa de secagem do material combustível (de Souza Camargo *et al.*, 2020), a mudanças no uso e cobertura do solo, entre os quais: novos limites agrícolas e processos de expansão urbano-florestal, tornando as áreas expostas mais vulneráveis a queimadas e incêndios (Badia *et al.*, 2019) e/ou subestimativa das ocorrências devido ao tempo de revisita do satélite as áreas supracitadas (Souza da Silva *et al.*, 2023). Outro aspecto de destaque é a alta concentração de quartéis do Corpo de Bombeiros em áreas próximas às regiões com maior número de

registros, o que infere na melhor capacidade de resposta na extinção do fogo em vegetação.

Os resultados da análise estatística mostraram uma associação de moderada a baixa entre os registros de ocorrências de fogo em vegetação e as classes de susceptibilidade dos focos de calor em diferentes períodos (anualmente, período úmido e período seco). Os valores da frequência relativa e acumuladas demonstram prevalência da classificação de susceptibilidade média sobre as demais classes em relação às ocorrências do CBMERJ no mapeamento anual e no período úmido. Fatores como a escala de mapeamento, que generaliza classes de uso do solo, mesmo em áreas mais suscetíveis a incêndios florestais, e a interface florestal-urbana, caracterizada pelo adensamento populacional próximo a áreas de proteção ambiental, podem explicar a ocorrência frequente de eventos de fogo em vegetação, mesmo em locais classificados com susceptibilidade média (Chuvieco *et al.*, 2003; Hardy, 2005; Nunes *et al.*, 2023).

O mapa de susceptibilidade a ocorrência de focos de calor no Período Seco apresentou maior prevalência de ocorrências na classificação Baixo o que infere que apesar da redução nos acúmulos de precipitação e o aumento das taxas de evapotranspiração nas Mesorregiões NOF, CF e SF (Anjos, 2014; Silva e Dereczynski, 2014; Sobral *et al.*, 2018) os fatores antrópicos são preponderantes nas ocorrências de fogo em vegetação, até porque, segundo Shi *et al.* (2023) na China, as causas antropogênicas são as maiores causadoras de incêndios, havendo a proibição de qualquer tipo de ignição em localidades suscetíveis e sensíveis aos incêndios em períodos propícios para ocorrência, estabelecendo políticas públicas que inibem tal ação.

Conclusão

Pode-se constatar que a análise proporciona um entendimento abrangente das dinâmicas das ocorrências de fogo em vegetação em APAs. A estabilidade observada na frequência de focos de calor, alinhada aos padrões climatológicos, enfatiza a influência preponderante de fatores climáticos, notadamente aqueles associados às variações sazonais, na configuração das ocorrências de incêndios. A correlação de Spearman entre os focos de calor e registros de fogo em vegetação reflete a intrincada interação de variáveis climáticas, antropogênicas e geoespaciais, cabendo a sua utilização na gestão dos incêndios florestais, já que apresentou uma relação muito próxima e diretamente proporcional entre número de focos e atendimentos a esse tipo de ocorrência pelo CBMERJ.

Os mapas de susceptibilidade a ocorrências de focos de calor não apresentaram resultados que possam subsidiar com precisão o planejamento de operações e

a identificação de áreas prioritárias para a prevenção e resposta a fogo em vegetação para o CBMERJ. No período úmido, há menos registros de ocorrências e a maioria deles ocorre em áreas de susceptibilidade média, refletindo a interação de fatores climáticos, antropogênicos e geoespaciais. Já no período seco, o estudo demonstrou que as áreas de baixa susceptibilidade são as que possuem um maior registro de ocorrências, denotando a possibilidade de serem as fontes dos focos de origem antropogênica. Essa constatação ressalta a necessidade de construir um novo mapeamento que seja convergente com as ações de resposta da corporação e a premente demanda por políticas públicas que regulem a utilização do solo de maneira mais consciente, que visem a educação preventiva da população e os possíveis desdobramentos nos casos de negligenciamento.

Além disso, percebe-se também a constatação de que áreas classificadas com suscetibilidade moderada também experimentam incidentes frequentes, predominantemente impulsionados por fatores antropogênicos, reforçando a necessidade de incorporar ao mapeamento proposto maior detalhamento dos aspectos sociais e de uso do solo na avaliação de riscos.

É comum que, em operações de maior complexidade, o CBMERJ atue por vários dias consecutivos, com o aumento da percepção das comunidades das ações da corporação e, conseqüentemente, diminuindo o número de chamadas, visto que a resposta já se encontra acontecendo no cenário do desastre. Isto pode explicar, em muitos casos, o fato do número de focos registrados pelo INPE ser maior que o número de atendimentos do CBMERJ. Neste sentido, outros estudos devem ser desenvolvidos para verificar as variáveis de impactos sociais que desencadeiam o fenômeno supracitado.

A frequência de registros das ocorrências apresenta inicialmente um aumento nos anos iniciais do espaço amostral, corroborando uma tendência mundial de aumento nos registros desse tipo de desastre. Cabe então uma maior investigação dos anos seguintes, visto que apresentaram um pequeno decaimento, divergindo dos registros de outras pesquisas, que afirmam que as alterações climáticas têm se correlacionado com os eventos extremos para este fenômeno.

Assim, a convergência dos achados do estudo com as percepções detalhadas provenientes da análise enfatizam a natureza intrincada dos incêndios florestais e ressalta a demanda por estratégias multidisciplinares e contextualmente conscientes na gestão de incêndios. Através da integração das dimensões climáticas, antropogênicas e geoespaciais, é possível avançar na formulação de abordagens operacionais, políticas e sociais mais eficazes para enfrentar o desafio crescente representado para a redução de risco desse desastre.

Referência Bibliográfica

- Ackland A., Kilinc M. (2023). Accurately Predicting Fire Season Severity From Analysis of Historic Fire Climatology. *Wildfire*, Q2 2023, 30-34. Disponível em <https://www.iawfonline.org/wildfire-author-guidelines/>
- Almeida, M. (2021). *Análise de eficácia em grupos de baixo risco em ensaios clínicos randomizados (Monografia de graduação)*. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., & de Moraes Gonçalves, J. L. (2013). Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(3), 407-427. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0796-6>
- Anjos, A. W. dos, Delgado, R. C., Lyra, G. B., de Souza, L. P., & Suhett, E. R. (2016). Evapotranspiração a partir de produtos orbitais para o estado do Rio de Janeiro. *Irriga*, 1(01), 126-126. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p126-140>
- Badia, A., Pallares-Barbera, M., Valldeperas, N., & Gisbert, M. (2019). Wildfires in the wildland-urban interface in Catalonia: Vulnerability analysis based on land use and land cover change. *Science of the Total Environment*, 673, 184-196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.01>
- Barcellos, D. R., & de Quadro, M. F. L. (2019). Classificação de eventos extremos de precipitação quanto sua intensidade, persistência e abrangência na região das ZCAS. *Metodologias e Aprendizagem*, 2, 76-81. DOI: <https://doi.org/10.21166/metapre.v2i0.1320>
- Brito, F. (2012). *Corredores ecológicos: uma estratégia integradora na gestão de ecossistemas*. Editora da UFSC. Acesso em 19 de julho 2023, <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187610>
- Brito, T. T., Oliveira-Júnior, J. F., Lyra, G. B., Gois, G., & Zeri, M. (2017). Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 129(5), 469-478. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00703-016-0481>
- Caúla, R. H., Oliveira-Júnior, J. F., Lyra, G. B., Delgado, R. C., & Heilbron Filho, P. F. L. (2015). Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. *Environmental Earth Sciences*, 74(2), 1497-1508. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4142-z>
- Clemente, S. D. S., Oliveira, J. F. D., & Passos Louzada, M. A. (2017). Focos de calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 32, 669-677. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786324014>

- CPEDEC (2019). Centro de Estudos e Pesquisas em Defesa Civil - Rio de Janeiro, Brasil. *Mapa de Susceptibilidade à Ocorrência de Focos de Calor no Estado do Rio de Janeiro*, 1-61. Disponível em <http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/sedec-arquivos/Mapa-de-susceptibilidade--ocorrncia-de-focos-de-calor-no-Estado-do-Rio-de-Janeiro.pdf>
- Chuvieco, E., Allgöwer, B., & Salas, J. (2003). Integration of physical and human factors in fire danger assessment. In *Wildland fire danger estimation and mapping: The role of remote sensing data* (197-218).
- Davis, E. G., & Naghettini, M. C. (2000). *Estudo de chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro* (2nd ed.). Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM.
- De Castro, L. N., & Ferrari, D. G. (2017). *Introdução à mineração de dados*. Saraiva Educação SA.
- De Souza Camargo, L., Silva, C., Pimentel, L. C. G., et al. (2022). Geotechnologies as decision support strategies for the identification of fire-susceptible areas in Rio de Janeiro State. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 557.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10227-0>
- Dereczynski, C. P., Oliveira, J. S. D., & Machado, C. O. (2009). Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 24(1), 24-38.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000100003>
- Erolova, Y., & Tsyryapkina, Y. (2023, March). Local Reflections on the Chernobyl Disaster 35 Years Later: Peripheral Narratives from Ukraine, Belarus, Russia, and Bulgaria. *Comparative Southeast European Studies*(1), 12-31.
DOI: <https://doi.org/10.1515/soeu-2021-0069>
- Fávero, L. P., & Belfiore, P. (2017). *Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®*. Elsevier Brasil.
- FIDERJ - FUNDAÇÃO INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL DO RIO DE Janeiro (1978). *Indicadores Climatológicos do Estado do Rio de Janeiro. Fundação Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Rio de Janeiro*. Acesso em 18 de julho 2023, EM: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=217801&view=detalhes>
- Figueiredo Filho, D. B., & Silva Júnior, J. A. (2009). Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, 18(1), 115-146.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE. (2021). Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020. *Relatório Técnico da Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, 01-73. Disponível em https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/05/SOSMA_Atlas-da-Mata-Atlantica_2019-2020.pdf
- Gaudereto, G. L., Aguiar, A. O., & Gallardo, A. L. C. F. (2017). Plano Municipal da Mata Atlântica de São Paulo: Oficinas Participativas como Parte do Processo de Planejamento. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 6(2), 18-30.
- Hardy, C. C. (2005). Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest ecology and management*, 211(1-2), 73-82.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2022). Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>, acesso 5 de julho de 2023
- Kim, H. Y. (2017). Statistical notes for clinical researchers: Chi-squared test and Fisher's exact test. *Restorative dentistry & endodontics*, 42(2), 152-155.
- Kodama, Y. M. (1992). Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, 70(4), 813-836.
DOI: https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813
- Kodama, Y. M. (1993). Large-scale common features of subtropical convergence zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, 71(5), 581-610.
DOI: https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813
- Kousky, V. E. (1988). Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 3(1), 217-2
- Lacasta, N. S., & Barata, P. M. (1999, Julho). O Protocolo de Quioto sobre Alterações Climáticas: Análise e Perspectivas. *EUR NATUR Working Paper 1/98*. Disponível em https://www.ecoreporter.abae.pt/docs/apoio/Protocolo_de_Quito.pdf
- Lima, A. O., Lyra, G. B., Abreu, M. C., Oliveira-Júnior, J. F., Zeri, M., & Cunha-Zeri, G. (2021). Extreme rainfall events over Rio de Janeiro State, Brazil: Characterization using probability distribution functions and clustering analysis. *Atmospheric Research*, 247, 105221.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105221>
- Limaverde Filho, A. M., de Aguiar, L. A., de Sá Rego, V. V. B., & Mello, J. F. S. (2005). Preservação dos Mananciais do Rio São Pedro Projeto Interdisciplinar de Educação Ambiental. *Revista Rio de Janeiro*, (16-17), 167.

- MacCarthy J., Tyukavina S., Weisse M., Harris N., (2022). *New Data Confirms: Forest Fires Are Getting Worse*. World Resources Institute https://www.wri.org/insights/global-trends-forest-fires?utm_source=twitter&utm_medium=anidasguptawri&utm_campaign=socialmedia&utm_term=ceb16bba-7a5b-4664-9c51-ac2a91ca2fff.
- MacDonald, P. L., & Gardner, R. C. (2000). Type I error rate comparisons of post hoc procedures for 1 j Chi-Square tables. *Educational and psychological measurement*, 60(5), 735-754.
- Nimer, E. (1972). Climatologia da Região Sudeste do Brasil: Introdução à Climatologia Dinâmica - Subsídios à Geografia Regional do Brasil. *Revista Brasileira De Geografia*, 34(1), 3-48.
- Nunes, A. N., Figueiredo, A., Pinto, C., & Lourenço, L. (2023). Assessing Wildfire Hazard in the Wildland-Urban Interfaces (WUIs) of Central Portugal. *Forests*, 14(6), 1106.
- Otto, F. E. L., Coelho, C. A. S., King, A., Perez, E. C. de, Wada, Y., van Oldenborgh, G. J., Haarsma, R., Haustein, K., Uhe, P., van Aalst, M., Aravequia, J. A., Almeida, W., & Cullen, H. (2015). Factors other than climate change, main drivers of 2014/15 water shortage in Southeast Brazil. In S. C. Herring, M. P. Hoerling, J. P. Kossin, T. C. Peterson, & P. A. Stott (Eds.). *Explaining Extreme Events of 2014 from a Climate Perspective* (vol. 96, nº12, pp. S35-S40). American Meteorological Society. DOI <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00120.1>
- Patrício, M. (2016). Correlações e causalidade: Breves reflexões numa perspectiva económica. *Revista Jurídica Luso-Brasileira*, 2, 1347-1380.
- Ramalho, A. H. C., de Castro Neder, E., Fiedler, N. C., Moreira, T. R., & Silva, J. P. M. (2021, Janeiro). Geotechnology applied to predict the risk of occurrence of fire in the Atlantic Forest. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(1), 706-720. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0057>
- Reboita, M. S., Gan, M. A., Rocha, R. P. D., & Ambrizzi, T. (2010). Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 25, 185-204. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>
- Reboita, M. S., Oliveira, D. D., Freitas, C. D., Oliveira, G. D., & Pereira, R. D. A. (2015). Anomalias dos Padrões Sinóticos da Atmosfera na América do Sul nos Meses de Janeiro de 2014 e 2015. *Revista brasileira de energias renováveis*, 4(4). DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v4i4.44141>
- Rodrigues, C., & Schumacher, L. (2020). Turismo de base comunitária na Área de Proteção Ambiental Guapi-Mirim: uma proposta de guia de campo para a interpretação ambiental. *Caderno Virtual de Turismo*, 20(3). DOI: <https://doi.org/10.18472/cvt.20n3.2020.1791>
- Rodrigues, J. A., Libonati, R., de Faria Peres, L., & Setzer, A. (2018). Mapeamento de áreas queimadas em Unidades de Conservação da região serrana do Rio de Janeiro utilizando o satélite Landsat-8 durante a seca de 2014. *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(1), 318-327. DOI: https://doi.org/10.11137/2018_1_318_327
- Rodrigues R. R., Brancalion P. H. S., Isernhagen I. (2009). *Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal* - São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009. 256p.: il. col., 23cm. ISBN 978-85-60840-02-1 Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal da USP
- Rumsey, D. (2019). *How to Interpret Correlation Coefficient R-Dummies*. Dummies. Retrieved On, 13(07), 2019.
- Sausen, T. M., & Lacruz, M. S. P. (2015). *Sensoriamento remoto para desastres* (Cylon Gonçalves da Silva;; Doris C. C. K. Kowaltowski;; José Galizia Tundisi;; Luis Enrique Sánchez;; Paulo Helene;; Rozely Ferreira dos Santos;; & Teresa Gallotti Florenzano, Orgs.). Editora Oficina de Textos.
- Sharpe, D. (2015). Chi-Square Test is Statistically Significant: Now What?. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 20(1), 8.
- Shi M., Gao C., Huang X. (2023). Precipitation and Temperature - Climate Change Impacts the Fire Landscape. *Wildfire*, Q2 2023, p. 22-26. Disponível em <https://www.iawfonline.org/wildfire-author-guidelines/>
- Silva, W. L., & Dereczynski, C. P. (2014). Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37(2), 123-138. DOI: https://doi.org/10.11137/2014_2_123_138
- Soares Neto, G. B., Bayma, A. P., de Faria, K. M. S., de Oliveira, E. G., & Menezes, P. H. B. J. (2016). Riscos de Incêndios Florestais no Parque Nacional de Brasília - Brasil. *Territorium*, (23): Riscos, Saúde e Sociedade, ISSN: 0872-8941,, Editores: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança: IUC - Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 161 - 170. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_23_13

- Sobral, B. S., de Oliveira-Júnior, J. F., Alecrim, F., Gois, G., Muniz-Júnior, J. G., de Bodas Terassi, P. M., Pereira-Júnior, E. R., Lyra, G. B., & Zeri, M. (2020). PERSIANN-CDR based characterization and trend analysis of annual rainfall in Rio De Janeiro State, Brazil. *Atmospheric Research*, 238, 104873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104873>
- Sobral, B. S., Oliveira-Júnior, J. F., Gois, G., de Bodas Terassi, P. M., & Muniz-Júnior, J. G. R. (2018). Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira De Climatologia*, 22, 281-308. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104873>
- Souza da Silva, S., Fearnside, P. M., Anderson, L., Flores de Melo, A. W., Silva Junior, C. H. L., Brown, F., & Morelli, F. (2023). Análise de focos de calor e área queimada no estado do Acre. *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis: INPE, 2979 -2982.
- Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M. R., Delogu, G. M., Xanthopoulos, G. (2018). Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. *Fire*, 1(9), 1 - 28. Disponível em www.mdpi.com/journal/fire
- UNISDR. (2015). *Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres*. Disponível em https://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf.