



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LUCAS FELIPE SILVA COELHO

**DIAGNÓSTICO DE FOCOS DE INCÊNDIO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
(2000-2024)**

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LUCAS FELIPE SILVA COELHO

**DIAGNÓSTICO DE FOCOS DE INCÊNDIO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
(2000-2024)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2024



HOMOLOGAÇÃO Nº 36 / 2024 - DeptSil (12.28.01.00.00.00.31)

Nº do Protocolo: 23083.070029/2024-67

Seropédica-RJ, 14 de dezembro de 2024.

DIAGNÓSTICO DE FOCOS DE INCÊNDIO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (2000-2024)

LUCAS FELIPE SILVA COELHO

APROVADA EM: 12/12/2024

BANCA EXAMINADORA:

PROF. DR. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA – UFRRJ
Orientador

PROF. DR. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO - UFRRJ
Membro

PROF. DR. MARCEL CARVALHO ABREU – UFRRJ
Membro

(Assinado digitalmente em 14/12/2024 08:43)
BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptSil (12.28.01.00.00.00.00.31)
Matrícula: 2145654

(Assinado digitalmente em 18/12/2024 15:39)
EMANUEL JOSE GOMES DE ARAUJO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptSil (12.28.01.00.00.00.00.31)
Matrícula: 1978275

(Assinado digitalmente em 15/12/2024 11:04)
MARCEL CARVALHO ABREU
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCmb (12.28.01.00.00.00.00.29)
Matrícula: 3040039

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **36**, ano: **2024**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO**, data de emissão: **14/12/2024** e
o código de verificação: **69ab6ec6cc**

Dedico esta monografia à minha mãe, meu pai, minha avó e aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a todos os docentes que compartilharam de suas experiências e sabedoria comigo, fazendo parte desta jornada.

Ao professor orientador, Bruno Araujo, pela orientação e pelos conhecimentos compartilhados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Laboratório de Pesquisas em Anatomia Vegetal e seu corpo docente, em especial à professora Helena Regina, pela parceria em minha Iniciação Científica e no meu desenvolvimento na arte da ciência.

Às Ratas Anatomistas, Ana Luiza, Anna Julia, Arthur, Brenda, Davi e Juliana, por todas as vezes em que reclamar foi a melhor solução para os momentos difíceis de nossas pesquisas.

Às lamflor girls, Brent, Mateus, Naila, Nádia, Marie e Sara, pela troca de ideias e companhia durante os surtos coletivos pelo excesso de tarefas, que não foram poucos.

À quinta série, Caio, Carlos, Gabriel e Pedro, por compartilharmos juntos o vazio existencial que precede o fim do curso e pelas conversas cujos tópicos não podem ser descritos aqui sob risco de perdermos nossos diplomas.

A Raul et al, Gabriel, Gabriela e Raul, por me ensinaram o que jamais poderei confundir e pela chama que acenderam em meu coração.

Ao setor de Finanças, Ana Helise e Camila, pela excelente gastronomia que tive o prazer de saborear e as conversas dignas de um consultório psicológico.

A todos os motoristas do ônibus 544P (Nilópolis X Seropédica), que me levaram e trouxeram em segurança por todo esse tempo.

Ao bandeirão por todas as iguarias proporcionadas ao longo destes anos, que, se contar almoço e janta, já foram por volta de 2.268.

A todas as capivaras que residem no lago do IA, que me mostraram o melhor jeito de levar a vida.

A Seropédica, por me mostrar que, assim como uma muda em um viveiro, eu também posso passar pelo processo de rustificação.

RESUMO

Embora o uso do fogo seja uma prática tradicional na agricultura ou no descarte de dejetos, sua propagação descontrolada, muitas vezes associada a ações criminosas, é um agente significativo de degradação ambiental, causando sérios danos à biodiversidade, aos ecossistemas e à sociedade. O uso de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são fundamentais para a análise espacial e temporal desses eventos, permitindo o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de monitoramento e combate. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo realizar um diagnóstico dos focos de calor registrados no Rio de Janeiro, abrangendo o período de 2000 a 2024, com base nos dados de satélites do INPE, o comparando com dados demográficos (IBGE) e de uso e cobertura do solo (MapBiomas). A análise incluiu a exclusão de focos redundantes captados e seu processamento por meio dos *softwares* QGIS e Excel. Foram feitas análises estatísticas como os testes de Shapiro-Wilk para conferir a normalidade dos dados e a correlação Spearman para analisar a correlação entre focos de incêndio, a variável referência, e área total, população, densidade populacional e áreas vegetadas, não vegetadas e de agropecuária para cada município. Foram avaliados os padrões temporais dos focos de calor, identificando os meses de maior ocorrência ao longo dos 25 anos, que foram julho, agosto, setembro e outubro, estes que coincidem com o período seco em grande parte do Estado. Também foi identificada a concentração de ocorrências nas mesorregiões Metropolitana e Norte do Estado, estas que apresentam combinação de média pluviosidade anual com baixa altitude. As variáveis que demonstraram correlação significativa com os focos de incêndio foram: área do município, população, área vegetada, área de agropecuária e área não vegetada. Por fim, foram identificados os municípios com maior variação em sua cobertura de área vegetada, não vegetada e de agropecuária, onde as duas últimas apresentaram forte relação com focos de calor. Estes resultados demonstram a necessidade de políticas públicas voltadas ao monitoramento e à mitigação dos focos de calor, especialmente nos períodos e regiões identificados, contribuindo para a preservação dos ecossistemas e para a redução dos impactos negativos sobre a fauna, a flora e as populações locais.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Incêndios; Queimadas; Rio de Janeiro

ABSTRACT

Although the use of fire is a traditional practice in agriculture or waste disposal, its uncontrolled spread, often associated with criminal activities, represents a significant agent of environmental degradation, causing severe damage to biodiversity, ecosystems, and society. The use of geoprocessing and remote sensing tools is essential for the spatial and temporal analysis of these events, enabling the development of more effective monitoring and mitigation strategies. In this context, the present study aimed to diagnose heat spots recorded in Rio de Janeiro from 2000 to 2024, based on satellite data from INPE, and compare it with demographic data (IBGE) and land use and cover data (MapBiomas). The analysis included the removal of redundant hotspots and their processing using QGIS and Excel software. Statistical analyses were performed, such as the Shapiro-Wilk test to assess data normality and the Spearman correlation to examine the relationship between fire hotspots, the reference variable, and total area, population, population density, and vegetated, non-vegetated, and agricultural areas for each municipality. Temporal patterns of heat spots were evaluated, identifying the months with the highest occurrences over the 25 years: July, August, September, and October, which coincide with the dry season in most of the state. Concentrations of occurrences were also identified in the Metropolitan and Northern mesoregions, which combine moderate annual rainfall with low altitudes. Variables showing a significant correlation with fire hotspots included municipal area, population, vegetated area, agricultural area, and non-vegetated area. Lastly, municipalities with the greatest variation in vegetated, non-vegetated, and agricultural area cover were identified, with the latter two showing a strong relationship with heat spots. These results highlight the need for public policies focused on monitoring and mitigating heat spots, especially during the identified periods and in specific regions, contributing to ecosystem preservation and reducing negative impacts on fauna, flora, and local populations.

Keywords: Remote Sensing; Wildfires; Burnings; Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Incêndios Florestais e Queimadas Controladas.....	2
2.2. Monitoramento e detecção dos focos de calor por satélites ambientais.....	2
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
3.1 Área de estudo.....	3
3.2. Focos de calor.....	4
3.2. Remoção de redundâncias.....	5
3.3. Fatores de influência sobre focos de incêndios.....	5
3.4. Mapa de calor.....	7
3.5. Análise estatística.....	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	7
5. CONCLUSÃO.....	15
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

1.INTRODUÇÃO

Totalmente integrado à Mata Atlântica, bioma reconhecido como um dos principais hotspots de biodiversidade do planeta, o Estado do Rio de Janeiro abriga uma rica diversidade de ecossistemas, incluindo restingas, manguezais, florestas de baixada, maciços serranos e campos de altitude (Tabarelli, 2005; Martinelli et al., 2018). As florestas tropicais, caracterizadas por sua alta umidade e chuvas frequentes, têm sido tradicionalmente relacionadas a um estado de baixa suscetibilidade ao fogo (Barros et al., 2021). No entanto, o fogo tem sido empregado em atividades como a agropecuária, o manejo de pastagens e o cultivo agrícola, que estão diretamente relacionados à ocupação e exploração da terra (Martinelli et al., 2018). Essas práticas influenciam fortemente que este bioma, embora seja a segunda maior floresta pluvial tropical das Américas, seja o mais devastado do Brasil (SOS Mata Atlântica, 2024).

A Mata Atlântica, que já ocupou 1.110.182 km², representando 15% do território nacional, formava uma vasta cobertura florestal ao longo da costa brasileira e, hoje, apenas 24% desta floresta original permanece. Do total remanescente, somente 12,4% corresponde a áreas de florestas maduras e bem preservadas (IBF, 2024; SOS Mata Atlântica, 2024). O bioma abriga cerca de 53% da área urbana do país e 70% da população brasileira, estando presente em 17 Estados (Tabarelli, 2005; SOS Mata Atlântica, 2024). Apesar de sua degradação, ainda se mantém essencial para cerca de 120 milhões de pessoas, abrigando cerca de 20 mil espécies vegetais, 261 mamíferos, 200 répteis, 370 anfíbios, 350 peixes e 849 aves (ICMBio, 2024). Entretanto, o bioma enfrenta grandes desafios de conservação, com mais de 530 espécies atualmente ameaçadas de extinção, incluindo as endêmicas, que possuem risco global (Tabarelli, 2005).

Embora as queimadas controladas, que são executadas com fins de manejo agropecuário ou florestal, sejam regulamentadas e monitoradas, muitas práticas de queima continuam a ser realizadas de forma descontrolada (De Sena, 2024). Existe uma forte conexão entre áreas de pastagem e a probabilidade de incêndios florestais, pois queimadas iniciadas para a renovação de pasto frequentemente ultrapassam os limites pretendidos e atingem florestas (Guedes et al., 2020). Como apresentado por Aximoff e Rodrigues, 2011, se referindo à Unidades de Conservação, a percepção negativa que algumas comunidades locais possuem, pode, em certas situações, incentivar a ocorrência deliberada de incêndios. O fogo, quando utilizado dessa maneira, não só acelera a redução da cobertura florestal, mas também causa danos significativos à fauna e ao solo, contribuindo para a degradação ambiental (Martinelli et al., 2018; IBAMA, 2023; INPE, 2024). Dessa forma, há uma necessidade contínua de investigar os padrões de fogo e os fatores que os condicionam, buscando avaliar os impactos do fogo no ecossistema da Mata Atlântica com o passar do tempo (Barros et al., 2021).

A constante presença de incêndios florestais exige uma abordagem contínua de proteção das florestas, complementada pelo desenvolvimento de tecnologias para monitorar e controlar esses eventos nos ecossistemas naturais (Granemann & Carneiro, 2009; INPE, 2024; Pereira et al., 2012). Nesse contexto, o sensoriamento remoto, possibilitado por avanços tecnológicos e sensores instalados em satélites, desempenha um papel crucial ao detectar e localizar focos de incêndio (Granemann & Carneiro, 2009; INPE, 2024). Os sistemas de detecção de queimadas, criados e atualizados pelo INPE desde a década de 1980 com base em satélites polares e geoestacionários, têm seus dados disponibilizados gratuitamente em suas plataformas, atendendo tanto ao público geral quanto a agentes públicos (Gontijo, 2011; INPE, 2024).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar um diagnóstico dos focos de calor detectados no Estado do Rio de Janeiro entre os anos de 2000 e 2024 analisando sua

distribuição nos 92 municípios do estado. Adicionalmente, busca-se relacionar esses focos com fatores socioambientais e padrões de uso e cobertura do solo. Por fim, pretende-se investigar o potencial do sensoriamento remoto como ferramenta para o monitoramento e a gestão de incêndios, contribuindo para a formulação de estratégias mais eficientes de proteção e manejo sustentável do bioma.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Incêndios Florestais e Queimadas Controladas

A propagação descontrolada do fogo sobre qualquer tipo de vegetação, originada por atividades antrópicas ou fontes naturais, é classificada como incêndio florestal (IBAMA, 2023; INPE, 2024). Em contraste, a queimada envolve o uso previsto e controlado do fogo em atividades agropastoris, florestais ou de pesquisa científica, com autorização do órgão ambiental competente, respeitando limites físicos definidos e condições seguras para fins de manejo (IBAMA, 2022; INPE, 2024).

As condições propícias para o avanço de incêndios envolvem temperaturas superiores a 30°C, umidade relativa do ar abaixo de 30% e ventos fortes com velocidade superior a 15 km/h (CEMADEN, 2024). Quando a origem é identificada como antrópica, configura-se um crime, punido com pena de 2 a 4 anos de prisão, visto que o uso do fogo é proibido na maior parte do país (MMA, 2024).

Os incêndios florestais, especialmente durante a seca, causam grandes danos à biodiversidade e ao meio ambiente, prejudicando os ecossistemas e a sociedade (IBAMA, 2022; DNIT, 2024). Seus efeitos incluem a destruição da vegetação, morte de animais, perdas financeiras, degradação do solo e riscos à vida humana, além de impactos negativos no clima (IBAMA, 2022).

A prática de queimar campos e florestas, tradicionalmente usada na agricultura para limpar terrenos e controlar pragas, tem se expandido para áreas residenciais, onde também é utilizada para eliminar resíduos (De Sena, 2024). A continuidade das queimadas, apesar de seus impactos nocivos, demonstra uma resistência em abandonar práticas degradantes, mantidas por dinâmicas culturais, econômicas e políticas, em detrimento de soluções mais sustentáveis (De Sena, 2024; IBAMA, 2022).

2.2. Monitoramento e detecção dos focos de calor por satélites ambientais

O sensoriamento remoto, que utiliza dados de satélite para estudar a interação da radiação eletromagnética sobre a superfície terrestre, tem papel crucial no monitoramento de queimadas, oferecendo análises diárias e contínuas que superam limitações das fontes locais (Granemann & Carneiro, 2009; INPE, 2024). O monitoramento de focos de incêndio no Brasil é feito por satélites como NOAA, MODIS e GOES, com imagens processadas pelo INPE para cobrir grandes áreas e regiões remotas (IBAMA, 2022). A partir dessas imagens, diversos dados são gerados e disponibilizados, como coordenadas geográficas e risco meteorológico de incêndios, acessíveis por portais como o BDQueimadas (INPE, 2024).

Atualmente, diversos estudos são realizados tendo como base os dados de focos de calor detectados e disponibilizados pela plataforma. Barros et al (2021) analisaram a sensibilidade da detecção de focos de calor na Mata Atlântica ao longo de 20 anos e concluíram que há cerca de 46% de redundância na contabilização dos focos quando todos os satélites disponíveis são utilizados nas análises. Por outro lado, Fernandes et al (2011) avaliaram a susceptibilidade a incêndios das regiões do Rio de Janeiro e concluíram que a

região Norte Fluminense do Estado é a mais suscetível, enquanto que as regiões Serrana e Sul Fluminense são as que possuem menor risco.

O sensoriamento remoto e a análise em sistemas de informações geográficas possibilitam compreender a distribuição temporal e espacial das queimadas em diversas escalas, permitindo a detecção de padrões e auxiliando no estudo das relações culturais e socioambientais do fogo e no suporte a sistemas de fiscalização, prevenção, planejamento estratégico e ações administrativas (Pereira et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo foi o Estado do Rio de Janeiro (Figura 1), que possui área de aproximadamente 43.750,425 km², que corresponde a 0,5% do território nacional (Martinelli et al., 2018; IBGE, 2023). Está localizado na região Sudeste do Brasil entre as latitudes 20°45'54" e 23°21'57" S e as longitudes 40°57'59" e 44°53'18" W, sendo limitado ao norte pelo Rio Itabapoana, ao sul pela Serra da Bocaina, a oeste pelo Rio Paraíba do Sul e partes da Serra da Mantiqueira, e a leste pelo Oceano Atlântico (Clemente et al, 2017; Martinelli et al, 2018). Está dividido em 6 mesorregiões, sendo elas: Baixadas, Centro Fluminense, Metropolitana, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense e Sul Fluminense (IBGE, 2024). É composto por 92 municípios, com uma população estimada de 17.219.679 habitantes em 2024 (IBGE, 2024). Sua densidade demográfica é de 366,97 habitantes por km², com maior concentração em sua região Metropolitana (IBGE, 2023). Cerca de 32,12% de sua cobertura é composta por áreas de formação florestal, arbustiva ou herbácea, 59,52% de pastagem, agricultura, silvicultura e mosaico de usos e 5,94% de áreas não vegetadas (MapBiomas, 2023).

O Rio de Janeiro está completamente inserido no domínio do bioma Mata Atlântica (IBGE, 2019). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o tipo climático predominante no Estado é o Aw, cobrindo 44,1% da área, seguido por Cwa (17,9%), Cfa (14,3%), Cfb (9,4%), Cwb (6,9%), Am (5,3%) e Af (2,1%) (Alvares et al., 2013). O clima Aw é caracterizado como tropical com inverno seco, com chuvas de novembro a abril, seca de maio a outubro, temperaturas médias acima de 18°C e precipitação anual de 750 mm a 1800 mm (EMBRAPA, 2024). Seus domínios fitogeográficos, segundo Keidel et al (2009), incluem Campos de Altitude, Campos Rupestres, Formações Pioneiras, Savanas, além de Florestas Estacionais Semidecíduais (Montana, Submontana e de Terras Baixas) e Florestas Ombrófilas Densas (Montana, Submontana e de Terras Baixas).

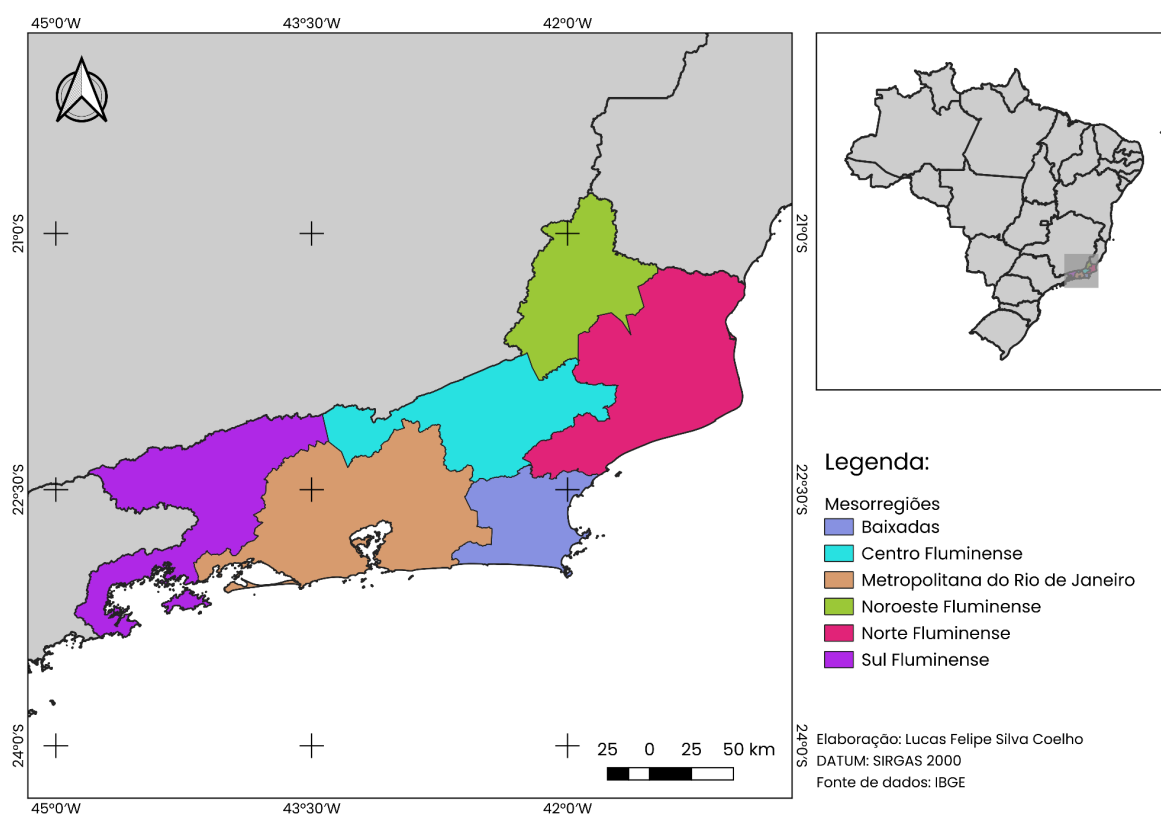


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, o Estado do Rio de Janeiro, e suas Mesorregiões.

3.2. Focos de calor

Para o estudo dos focos de calor, foram utilizados arquivos em formato shapefile disponíveis na plataforma BDQUEIMADAS (<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os parâmetros para executar o *download* foram:

- Área: Estado do Rio de Janeiro;
- Satélites: Todos disponíveis;
- Data de início: Primeiro de Janeiro (01/01) do ano em questão;
- Data final: 31 de Dezembro (31/12) do ano em questão, com exceção de 2024 onde a data final foi 06 de Novembro (06/11).

A listagem de todos os satélites disponíveis pode ser vista na Tabela 1. Todas as análises foram realizadas através do *software* QGIS versão 3.34.8.

Tabela 1. Satélites utilizados nas análises, com seus respectivos sensores e resoluções espaciais. Adaptado de Barros et al, 2011.

Satélite	Sensor	Resolução Espacial (Km)	Resolução Temporal
NOAA-12	AVHRR/2	1.1	Diária
NOAA-15	AVHRR/3	1.1	Diária
NOAA-15D	AVHRR/3	1.1	Diária
NOAA-16	AVHRR/3	1.1	Diária
NOAA-16N	AVHRR/3	1.1	Diária
NOAA-17	AVHRR/3	1.1	Diária
NOAA-18	AVHRR/3	1.1	Diária
NOAA-18D	AVHRR/3	1.1	Diária
NOAA-19	AVHRR/3	1.1	Diária
NOAA-19D	AVHRR/3	1.1	Diária
NOAA-20	AVHRR	0.375	Diária
NOAA-21	AVHRR/3	0.375	Diária
GOES-10	I-M	4.0	15 minutos
GOES-12	I-M	5.0	30 minutos
GOES-13	I-M	6.0	30 minutos
GOES-16	I-M	2.0	30 minutos
TRMM	VIRS	2.1	3 horas
TERRA_M-M	MODIS	1.0	1 a 2 dias
TERRA_M-T	MODIS	1.0	1 a 2 dias
AQUA_M-M	MODIS	1.0	1 a 2 dias
AQUA_M-T	MODIS	1.0	1 a 2 dias
METOP-B	AVHRR/3	1.1	Diária
METOP-C	AVHRR/3	1.1	Diária
NPP-375	VIIRS	0.375	Diária
NPP-375D	VIIRS	0.375	Diária

3.2. Remoção de redundâncias

Foi aplicada a metodologia de Ribeiro et al. (2020) e Barros et al. (2021), usando o *software* QGIS para eliminar redundâncias causadas pela detecção de um mesmo foco por diferentes satélites ou pelo mesmo satélite em momentos distintos.

No arquivo shapefile dos focos de calor, foi criada uma coluna denominada "buffer", com formato de número inteiro, para representar a resolução espacial, em metros, de cada satélite. Em seguida, foi adicionada uma nova coluna chamada "data", com formato de data, e, no campo de expressão, foi utilizada a coluna "DataHora" do arquivo original para extrair apenas a data, sem a inclusão da hora.

A camada resultante foi convertida para o sistema de projeção Conforme Cônica de Lambert (ESRI: 102015), a fim de evitar possíveis distorções. A ferramenta *Buffer* foi então aplicada para gerar o buffer, com o seu tamanho configurado conforme os pixels de cada sensor/satélite, utilizando a coluna "buffer" criada anteriormente.

Com os buffers gerados para cada foco de calor, foi empregada a ferramenta *Dissolver*, com base na coluna "data", para consolidar os focos de calor detectados na mesma data. Finalmente, a ferramenta de criação de centróides foi utilizada para gerar um ponto central para cada região resultante do processo de dissolução.

3.3. Fatores de influência sobre focos de incêndios

Foram utilizados dados de uso e cobertura do solo obtidos de arquivos raster que cobrem a extensão completa do país, no intervalo de 2000 a 2023, acessados via a plataforma MapBiomias(https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_9/lchu/coverage/brasil_coverage_2023.tif).

Tabela 2. Tipos de uso e cobertura do solo no Estado do Rio de Janeiro

ID	CLASSE	CLASSE#	VARIÁVEL
3	Formação Florestal	1	ÁREA VEGETADA
5	Mangue	1	ÁREA VEGETADA
9	Silvicultura	3	AGROPECUÁRIA
11	Campo Alagado e Área Pantanosa	2	ÁREA VEGETADA
15	Pastagem	3	AGROPECUÁRIA
20	Cana	3	AGROPECUÁRIA
21	Mosaico de Usos	3	AGROPECUÁRIA
23	Praia, Duna e Areal	4	ÁREA NÃO VEGETADA
24	Área Urbanizada	4	ÁREA NÃO VEGETADA
25	Outras Áreas não Vegetadas	4	ÁREA NÃO VEGETADA
29	Afloramento Rochoso	2	ÁREA VEGETADA
30	Mineração	4	ÁREA NÃO VEGETADA
31	Aquicultura	5	NÃO ASSOCIADO
32	Apicum	2	ÁREA VEGETADA
33	Rio, Lago e Oceano	5	NÃO ASSOCIADO
39	Soja	3	AGROPECUÁRIA
41	Outras Lavouras Temporárias	3	AGROPECUÁRIA
46	Café	3	AGROPECUÁRIA
49	Restinga Arbórea	1	ÁREA VEGETADA
50	Restinga Herbácea	2	ÁREA VEGETADA

A área de estudo foi delimitada utilizando como máscara um arquivo shapefile correspondente ao Estado do Rio de Janeiro. As classes de uso e cobertura foram analisadas com base na categorização padrão fornecida pelo MapBiomias, como pode ser visto na Tabela 2, utilizando o software QGIS para manipulação e extração de informações geoespaciais e a legenda da Coleção 9 do MapBiomias Brasil para identificação de suas “ID” em Classes.

Na análise das classes de uso e cobertura do solo, optou-se por utilizar o ano de 2023 como referência, organizadas em três variáveis principais para caracterizar o território estudado. A variável área vegetada é composta pelas classes 1 e 2, que incluem formação florestal, mangue, campo alagado e área pantanosa, afloramento rochoso, apicum, restinga arbórea e restinga herbácea. A variável agropecuária corresponde à classe 3, englobando silvicultura, pastagem, cana, soja, outras lavouras temporárias, café e mosaico de usos. Já a variável área não vegetada é representada pela classe 4, composta por praia, duna e areal, área urbanizada, mineração e outras áreas não vegetadas.

Também foram utilizados dados demográficos coletados junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, por meio do Portal Cidades (<https://cidades.ibge.gov.br/>) através da ferramenta “gerar resumo”. Estes dados englobam a área total do município e a população estimada para o ano de 2024, por meio destas informações, foi calculada a densidade demográfica estimada para o mesmo ano.

3.4. Mapa de calor

Para criação de mapas de calor a partir dos focos de incêndio, foi utilizada a ferramenta “Mapa de Densidade”. Na camada de pontos de entrada, foram utilizados os shapefiles dos focos de incêndio após a remoção das redundâncias e o formato de saída foi o GeoTIFF. Para a criação do mapa de calor, o raio foi ajustado para 10.000 metros e o tamanho do pixel foi configurado para 10 metros.

3.5. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R, com auxílio dos pacotes “readxl” e “ggplot2” para leitura de planilhas Excel e criação de gráficos, respectivamente. Os dados dos números de foco e fatores de influência foram analisados quanto à sua normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk, com 5% de significância. Com sua não-normalidade comprovada, o coeficiente de correlação de Spearman foi utilizado para determinar a correlação, com 5% de significância. Focos de incêndio foi a variável referência para o estabelecimento da correlação com: área total do município, população, densidade populacional, área vegetada, área de agropecuária e área não vegetada. O tamanho das áreas teve como base o ano de 2023.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a eliminação de redundâncias, 62.150 focos de calor foram contabilizados por satélites no estado do Rio de Janeiro entre 2000 e 2024. Em média, ocorreu redução de 44% das redundâncias de focos de incêndio, semelhante à porcentagem encontrada por Barros et al. (2021), com tamanho de *buffer* igual à resolução espacial de cada sensor. A Figura 2 apresenta a variação da distribuição geográfica dos focos ao longo dos anos. O menor registro ocorreu no ano 2000 (103), e o maior em 2024, contabilizado até o mês de Novembro (7.225). A Tabela 3 detalha a quantidade de focos antes e após a remoção das redundâncias, a redução percentual correspondente para cada ano e a quantidade de satélites utilizados em cada ano pelo BDQueimadas (INPE, 2024). Em relação ao número de satélites, foi notável o crescimento da quantidade destes utilizada na detecção de focos de calor, iniciando com apenas 4, tendo seu ápice de 14 no período de 2012 a 2015 e finalizando com 11 em 2024.

Ao longo de todo o período estudado, os 3 meses com maiores quantidades de focos de incêndio em cada ano frequentemente estavam entre julho, agosto, setembro e outubro (Figura 3) como observado anteriormente por Clemente et al. (2017). Este período coincide com a época de baixa pluviosidade do clima Aw, predominante no Estado.

Tabela 3. Focos de calor antes (bruto) e depois da filtragem no intervalo temporal analisado, com as respectivas porcentagens de redução evidenciadas

Ano	Bruto	Filtrado	Redução (%)	Satélites
2000	141	103	27	4
2001	860	583	32	4
2002	1.787	1.074	40	5
2003	2.031	1.304	36	6
2004	1.373	923	33	5
2005	1.313	854	35	7
2006	2.306	1.437	38	9
2007	2.701	1.496	45	6
2008	984	634	36	9
2009	775	537	31	9
2010	2.421	1.329	45	10
2011	2.437	1.300	47	9
2012	5.234	2.914	44	14
2013	3.680	2.214	40	14
2014	13.270	5.120	61	14
2015	6.429	2.945	54	14
2016	5.983	3.085	48	13
2017	9.528	4.064	57	12
2018	2.712	1.682	38	14
2019	12.089	4.691	61	11
2020	9.693	4.120	57	13
2021	8.943	4.358	51	11
2022	10.845	4.390	60	13
2023	7.538	3.768	50	14
2024	24.631	7.225	71	11

A análise também revelou os dez municípios com maior e menor número absoluto de focos de incêndio ao longo do período estudado, apresentados na Tabela 4. O município de Campos dos Goytacazes apresentou o maior número de focos em todo o Estado. De acordo com Fernandes et al. (2011) e Barros et al. (2021), isso ocorre devido a manchas de pastagem que ocorrem na região junto com alta concentração de radiação solar e áreas com significativo déficit hídrico. Além disso, o município é produtor de cana-de-açúcar, cujo manejo é baseado em queimadas (Rio de Janeiro, 2011)

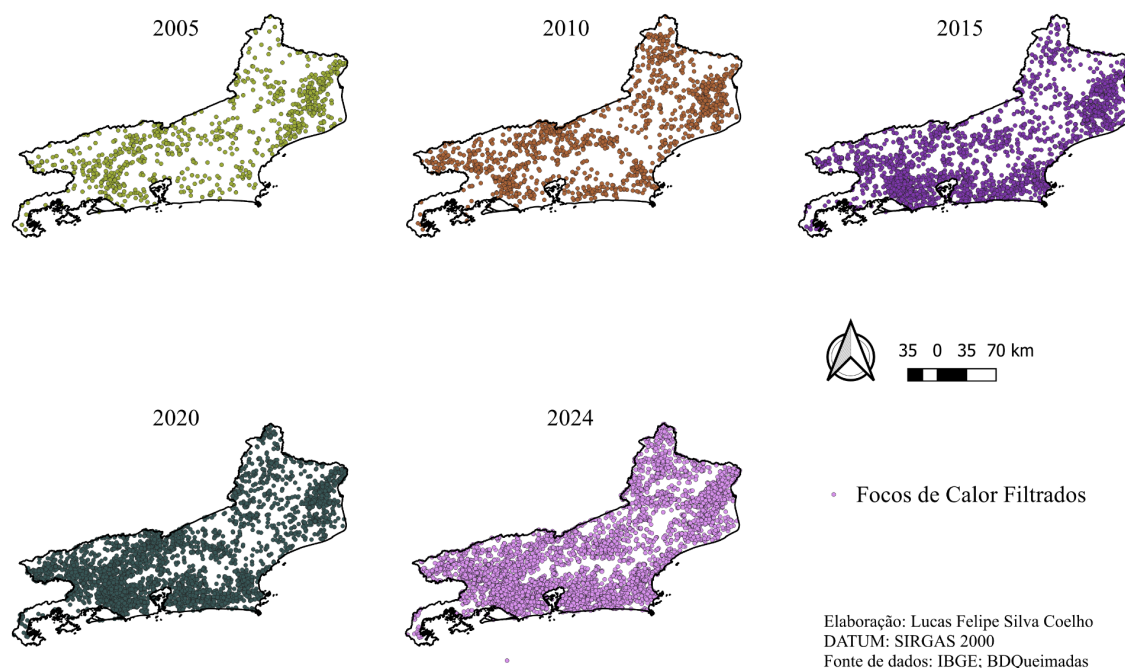


Figura 2. Mapas de distribuição espacial dos focos de calor filtrados para o estado do Rio de Janeiro, nos anos de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2024.

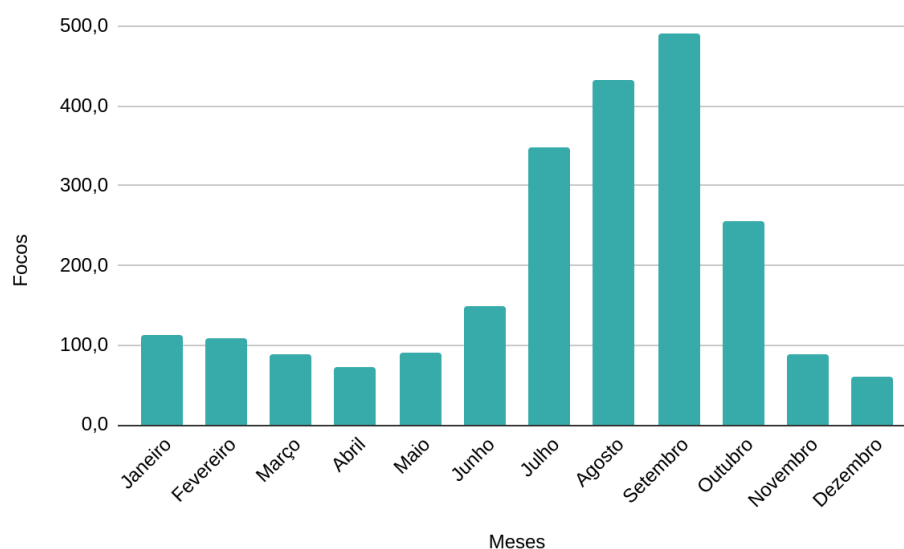


Figura 3. Média de focos por mês durante o período de 2000 a 2023.

Tabela 4. Municípios do Rio de Janeiro com maiores e menores quantidades de focos totais de calor (ao longo dos 25 anos), além de dados referentes à frequência de ocorrência de focos (quantos anos houveram registros) e área total do município.

Município	Frequência	Área	Total de focos	Total de focos (%)
MUNICÍPIOS COM MAIS FOCOS				
CAMPOS DOS GOYTACAZES	25	4032,49	6284	10,11
RIO DE JANEIRO	25	1200,33	4510	7,26
SEROPÉDICA	25	265,19	2770	4,46
SÃO FRANCISCO DE ITABAPOANA	25	1118,04	2180	3,51
VASSOURAS	24	536,07	1647	2,65
PETRÓPOLIS	22	791,14	1627	2,62
SÃO GONÇALO	13	248,16	1626	2,62
ITAPERUNA	23	1106,69	1560	2,51
ARARUAMA	24	638,28	1552	2,50
PARAÍBA DO SUL	22	571,12	1450	2,33
MUNICÍPIOS COM MENOS FOCOS				
AREAL	7	110,72	69	0,11
MESQUITA	4	41,17	55	0,09
LAJE DO MURIAÉ	10	253,53	45	0,07
PORTO REAL	1	50,89	28	0,05
SÃO JOÃO DE MERITI	2	35,22	21	0,03
MACUCO	1	78,36	21	0,03
BELFORD ROXO	3	78,99	20	0,03
APERIBÉ	7	94,54	20	0,03
IGUABA GRANDE	2	50,98	10	0,02
CORDEIRO	1	113,05	1	0,00

Quando analisada a densidade de focos de incêndio por área, foram identificados os dez municípios com maior e menor concentração relativa de ocorrências, apresentados na Tabela 5. A densidade de focos ao longo de toda a extensão do Estado pode ser visualizada na Figura 4. As regiões Metropolitana e Norte do Estado apresentam a maior quantidade de focos desde o início das análises. A região do Médio Paraíba e dos Lagos passaram a se intensificar ao longo dos anos, principalmente a partir do ano de 2015. A localização das regiões de maior concentração de focos de calor se sobrepõem às regiões propostas como áreas de risco de fogo, de acordo com Barros et al. (2021).

Tabela 5. Municípios do Rio de Janeiro com maiores e menores densidades de focos de calor por quilômetro quadrado (focos/km²), além de dados referentes à sua área total, focos totais (ao longo dos 25 anos).

Município	Área (Km ²)	Focos	Densidade (Focos/km ²)
MUNICÍPIOS COM MAIS FOCOS POR ÁREA			
NILÓPOLIS	19,39	257	13,25
SEROPÉDICA	265,19	2770	10,45
SÃO GONÇALO	248,16	1626	6,55
QUEIMADOS	75,93	407	5,36
TRÊS RIOS	322,84	1225	3,79
RIO DE JANEIRO	1200,33	4510	3,76
MENDES	95,32	347	3,64
ITAGUAÍ	282,61	1015	3,59
SÃO JOSÉ DO VALE DO RIO PRETO	220,18	757	3,44
PARACAMBI	190,95	649	3,40
MUNICÍPIOS COM MENOS FOCOS POR ÁREA			
MACUCO	78,36	21	0,27
PARATY	924,30	236	0,26
BELFORD ROXO	78,99	20	0,25
CONCEIÇÃO DE MACABU	338,26	82	0,24
SANTA MARIA MADALENA	810,96	185	0,23
APERIBÉ	94,54	20	0,21
IGUABA GRANDE	50,98	10	0,20
LAJE DO MURIAÉ	253,53	45	0,18
ANGRA DOS REIS	813,42	123	0,15
CORDEIRO	113,05	1	0,01

Por fim, a frequência de ocorrências ao longo dos 25 anos foi avaliada para identificar os municípios em que os focos de incêndio apareceram com maior regularidade. Entre os municípios analisados, Cordeiro, Macuco e Porto Real destacaram-se por registrar focos de incêndio em apenas um ano do período estudado, enquanto Iguaba Grande e São João de Meriti registraram em dois anos, e Belford Roxo em três. Os municípios com maior frequência de incêndios foram São Fidélis, Resende, Macaé, São Francisco de Itabapoana, Seropédica, Rio de Janeiro e Campos dos Goytacazes, que registraram incêndios em todos os anos do período avaliado. Valença, Araruama e Vassouras também se destacaram, com focos registrados em 24 anos.

A Tabela 6 apresenta as interpretações dos resultados obtidos para cada par de variáveis analisadas. Foi identificada uma correlação positiva de moderada a forte entre os focos de incêndio e área total, população, área vegetada, área de agropecuária e área não vegetada, com p-valores baixos e coeficientes de correlação moderados a fortes. Em contraste, a correlação entre focos de incêndio e densidade populacional foi extremamente baixa e sem significância estatística, com p-valor elevado e coeficiente de correlação próximo de 0.

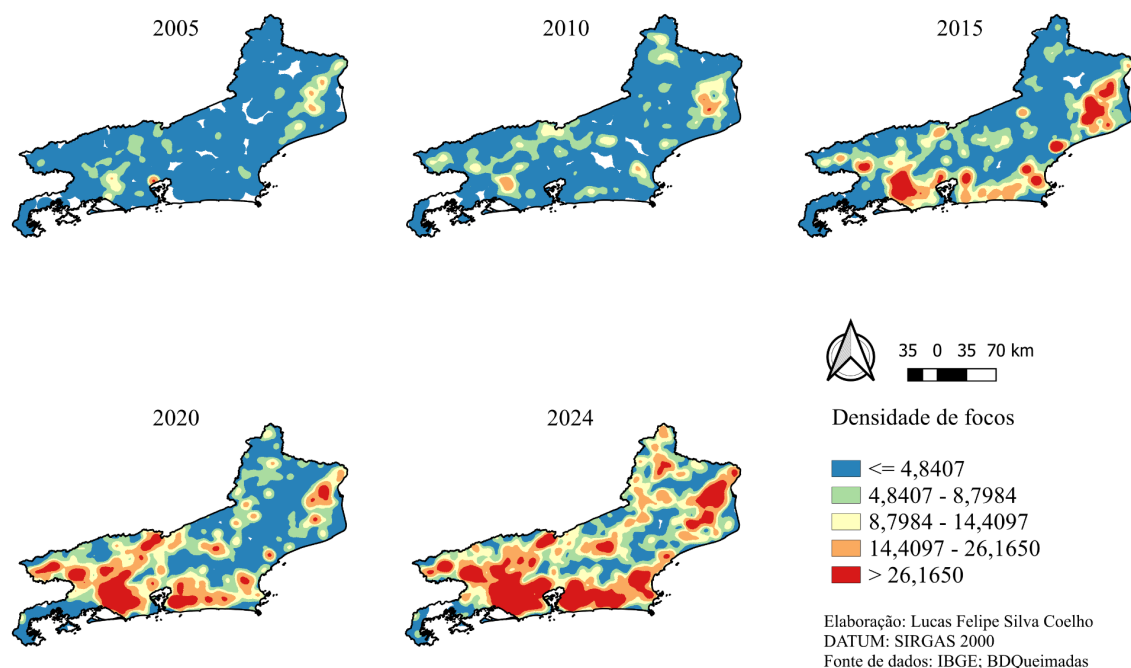


Figura 4. Mapas de densidade, em um raio de 10km, dos focos de calor filtrados para o estado do Rio de Janeiro, nos anos de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2024.

Tabela 6. Resultado dos testes de correlação de Spearman. A letra grega “ ρ ” (rho) indica a intensidade da correlação, enquanto o valor p indica a significância da mesma.

	ρ	valor p
ÁREA TOTAL	0,6057	1,588e-10
POPULAÇÃO	0,3989	8,178e-05
DENSIDADE POPULACIONAL	0,0152	0,8858
ÁREA VEGETADA	0,4304	1,849e-05
AGROPECUÁRIA	0,5035	3,133e-07
ÁREA NÃO VEGETADA	0,3900	0,0001214

Analisando uso e cobertura do solo, os 10 municípios com maior área de vegetação em 2023 foram identificados. Paraty possui 89,01% de sua área coberta por vegetação, seguido por Angra dos Reis (86,56%) e Mangaratiba (78,71%), compondo os três primeiros colocados. Nova Friburgo (67,30%) e Cachoeiras de Macacu (60,56%) também figuram como exemplos significativos de preservação. Os demais municípios, como Engenheiro Paulo de Frontin, Petrópolis, Itatiaia, Teresópolis e Magé, possuem porcentagens que variam entre 60,35% e 54,01%. A Tabela 7 apresenta os municípios que mais aumentaram sua área vegetada desde o ano 2000.

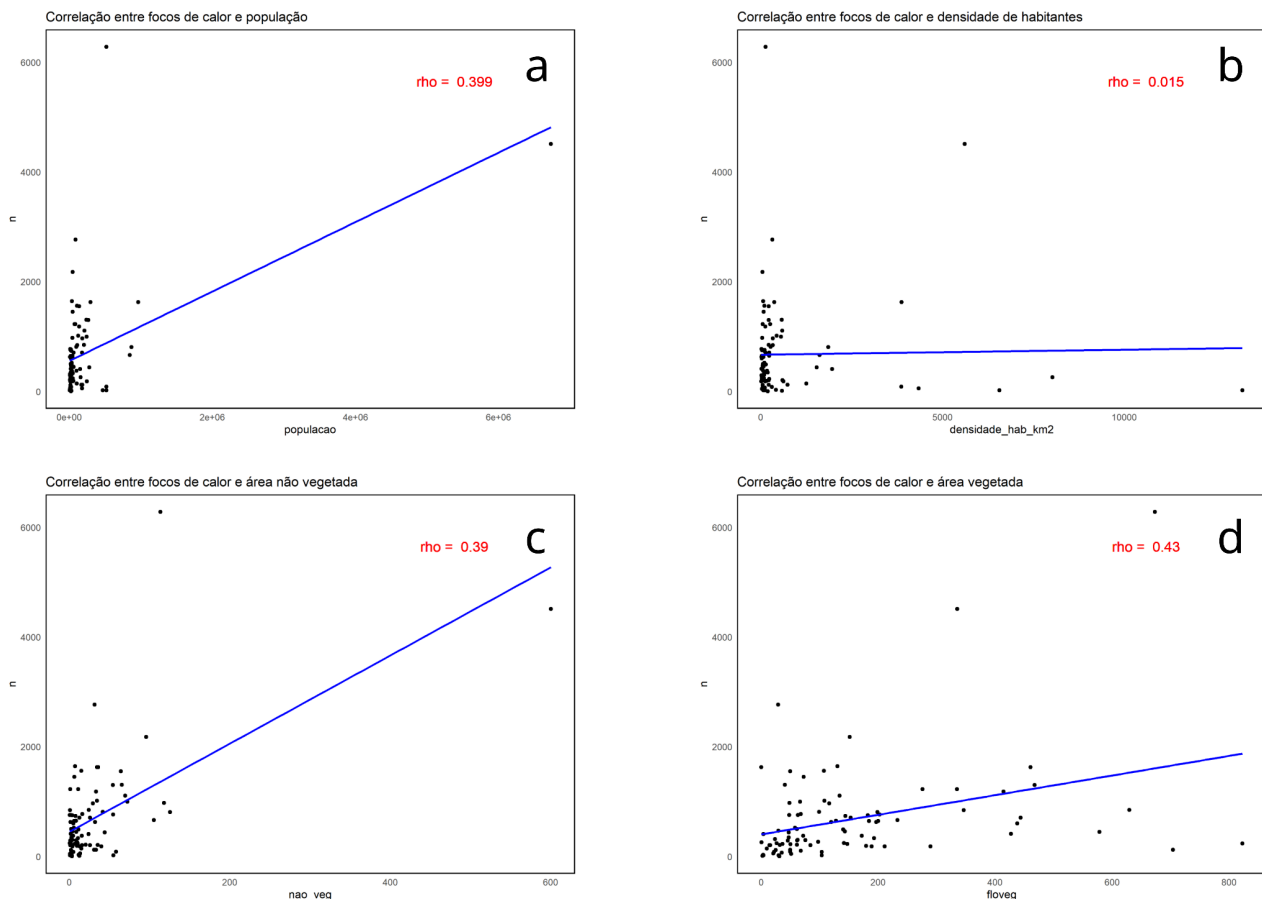


Figura 5. Gráficos de dispersão e correlação de Spearman comparando focos de calor com população (a), densidade de habitantes (b), área não vegetada (c) e área vegetada (d).

Tabela 7. Municípios do Rio de Janeiro com maior crescimento de área vegetada, comparado entre os anos de 2000 e 2023.

Município	Área (Km ²)	Área Vegetada (%)	Crescimento (%)
MACUCO	78,36	37,92	8,60
CORDEIRO	113,05	27,21	7,10
MIRACEMA	303,27	20,58	5,11
CAMBUCI	558,28	17,46	5,01
RIO DAS FLORES	478,78	24,96	4,91
PARACAMBI	571,12	22,34	4,88
LAJE DO MURIAÉ	253,53	20,16	4,33
CANTAGALO	747,21	24,66	4,27
CARAPEBUS	304,89	19,96	4,23
JAPERI	81,70	11,76	4,17

Em relação à área não vegetada, São Gonçalo apresenta 98,13% de sua área não coberta por vegetação, seguido por Belford Roxo (69,52%) e Nilópolis (51,43%). O município do Rio de Janeiro possui 50% de cobertura não vegetada. São Fidélis (47,63%), Niterói (43,69%) e Mesquita (33,15%). Queimados, Duque de Caxias e Iguaba Grande concluem os 10 primeiros com porcentagens que variam de 31,74% a 25,09%. A Tabela 8 apresenta os municípios que mais aumentaram sua área não vegetada desde o ano 2000.

Tabela 8. Municípios do Rio de Janeiro com maior crescimento de área não vegetada, comparado entre os anos de 2000 e 2023.

Município	Área (Km²)	Área não Vegetada (%)	Crescimento (%)
ARMAÇÃO DOS BÚZIOS	70,98	22,30	8,12
MARICÁ	361,57	19,32	7,73
BELFORD ROXO	78,99	69,52	7,05
ITABORAÍ	429,96	16,82	6,96
QUEIMADOS	75,93	31,74	6,95
IGUABA GRANDE	50,98	25,09	6,71
PORTO REAL	50,89	23,02	6,35
DUQUE DE CAXIAS	467,32	26,87	6,02
SÃO FIDÉLIS	248,16	47,63	5,48
JAPERI	81,70	18,36	5,42

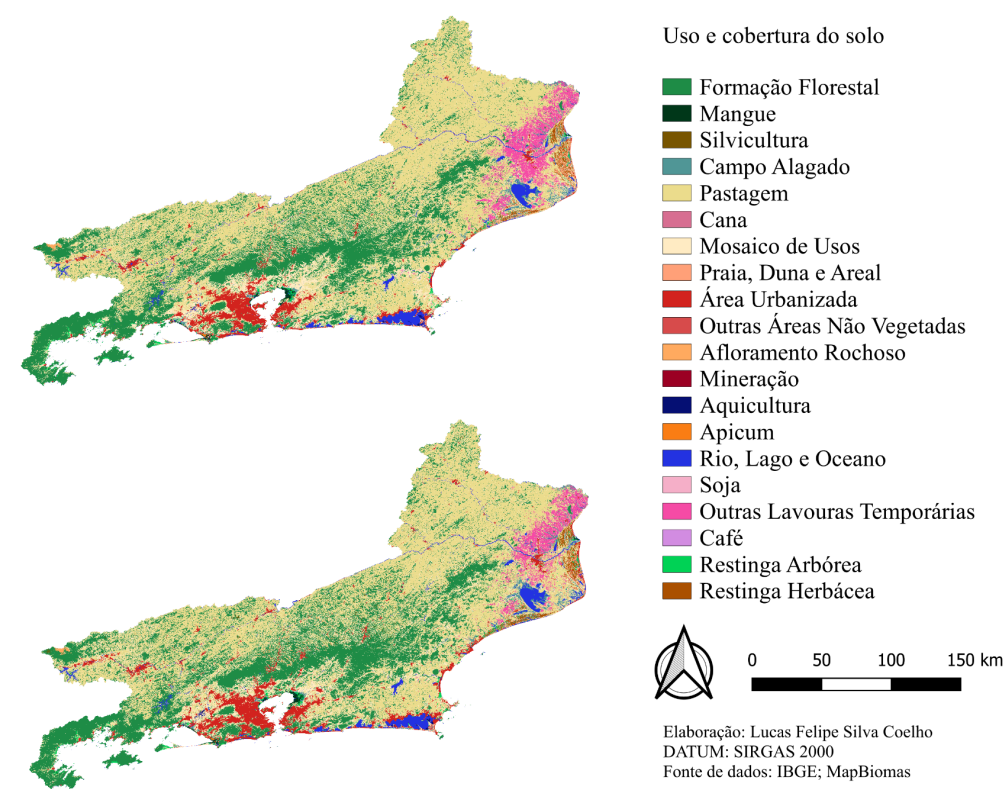


Figura 6. Mapas de uso e cobertura do solo para o estado do Rio de Janeiro, nos anos de 2000 (acima) e 2023 (abaixo).

Na Figura 6, é possível observar a redução da área ocupada pela classe “Outras Lavouras Temporárias” (rosa) ao longo do tempo e aumento de área urbana (vermelho) no Estado. Como observado por Guedes et al (2020), há relação positiva significativa entre a extensão de áreas de pastagens e a probabilidade de ocorrência de queimadas, o que pode ser exemplificado neste trabalho pelo município de Campo dos Goytacazes, que, influenciado pelo seu cultivo de cana, apresenta elevados registros de focos de calor.

A análise da dinâmica do uso e cobertura do solo para a agricultura ao longo dos anos revelou alteração na composição das culturas. De acordo com a classificação feita pelo MapBiomas, a classe “Outras Culturas Temporárias” manteve sua presença constante ao

longo dos anos. Em 2003, a cultura da cana-de-açúcar foi incorporada às já existentes soja e “Outras Culturas Temporárias”. No ano seguinte, culturas perenes foram introduzidas, seguidas, em 2005, pelo início do cultivo de café, ampliando a diversidade agrícola. Contudo, em 2010, tanto o café quanto as culturas perenes deixaram de ser cultivados. Em 2018, a cana-de-açúcar também foi retirada, restando a soja. Posteriormente, em 2020, a cana-de-açúcar retornou, e, em 2021, o café foi reintroduzido, resultando em um cenário agrícola que inclui soja e “Outras Culturas Temporárias”.

5. CONCLUSÃO

Os resultados permitiram identificar as mesorregiões do Estado com maior incidência de focos de calor e consequentemente maior vulnerabilidade, sendo elas: Metropolitana e Norte. Os 3 municípios com maior contagem de focos ao longo do período de estudo foram Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro e Seropédica, todos localizados nas mesorregiões citadas. O período do ano com maior incidência de focos foi de julho a outubro.

O método de mapeamento dos focos demonstrou ser não apenas viável, mas também promissor para integração em sistemas de prevenção de incêndios, consolidando mais uma vez a importância de plataformas como o BDQueimadas. Sua aplicação pode contribuir significativamente no suporte à tomada de decisões para a gestão de riscos futuros e no planejamento de ações preventivas.

Apesar dos avanços tecnológicos, é imprescindível considerar a dimensão sociocultural do uso do fogo, especialmente em práticas agrícolas controladas. Investir em estudos que abordem a percepção da população sobre o uso do fogo, aliada a programas de educação ambiental, é crucial para promover uma conscientização mais ampla. Assim, espera-se incentivar práticas mais sustentáveis e alinhadas à preservação ambiental, reduzindo os impactos das queimadas e fortalecendo a gestão integrada do território.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AXIMOFF, I.; RODRIGUES, R. C. Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 1, p. 83-92, 2011.

BARROS, A. L. et al. Incêndio na Mata Atlântica: uma análise de 20 anos de distribuição de focos de incêndio e seus condutores socioecológicos. *Geocarto International*, 2021.

CEMADEN. Monitoramento de Risco de Fogo. Disponível em: <https://produtos.cemaden.gov.br/fogo/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

DE SENA, P. S. Incêndios culturais: queimadas, biodiversidade e saúde ambiental na região metropolitana do Vale do Paraíba e litoral Norte de São Paulo. *Revista Ângulo*, v. 1, n. 168, 2024.

EMBRAPA. Clima. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acesso em: 29 nov. 2024.

FERNANDES, M. C. et al. Avaliação geoecológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Floresta e Ambiente*, v. 18, n. 3, p. 299-309, 2011.

GUEDES, B. J. et al. Vulnerability of small forest patches to fire in the Paraíba do Sul River Valley, southeast Brazil: Implications for restoration of the Atlantic Forest biome. *Forest Ecology and Management*, v. 465, p. 118095, 2020.

IBAMA. Educação Ambiental – PREVFOGO. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/incendios-floresta-is/servicos/educacao-ambiental-prevfogo>. Acesso em: 29 nov. 2024.

IBAMA. PREVFOGO – Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/incendios-floresta-is/prevfogo>. Acesso em: 29 nov. 2024.

IBGE. Biomas e Sistema Costeiro-Marinheiro do Brasil: compatível com a escala 1:250 000. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019.

INPE. Banco de Dados de Queimadas. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 29 nov. 2024.

INPE. Perguntas Frequentes – Portal Queimadas. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/faq/index.html>. Acesso em: 29 nov. 2024.

KEIDEL, G. A. et al. Caracterização dos domínios vegetacionais do estado do Rio de Janeiro através de fatores climáticos e de relevo. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 14, p. 2761-2767, 2009.

MARTINELLI, G. et al. Livro Vermelho da Flora Endêmica do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro: CNCFlora, 2018. 456 p

RIBEIRO, T. M. et al. Avaliação de focos de incêndio na Amazônia Ocidental (2000-2015). *Environment, Development and Sustainability*, v. 23, p. 1485-1498, 2020.

RIO DE JANEIRO (Estado). Resolução INEA nº 38, de 11 de agosto de 2011. Estabelece diretrizes para [...]. Diário Oficial [do] Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 11 ago. 2011.

SANTOS CLEMENTE, S.; OLIVEIRA, J. F. de; PASSOS LOUZADA, M. A. Focos de calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 4, p. 669-677, 2017.

TABARELLI, M. et al. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 132-138, 2005.