

**UFRRJ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA/PPGGEO**

**DISSERTAÇÃO**

**Dinâmica De Suscetibilidade A Ocorrência De Fogo Em Vegetação No Oeste  
Metropolitano Fluminense**

**Mateus Ribeiro Rodriguez**

**2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**DINÂMICA DE SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE FOGO EM  
VEGETAÇÃO NO OESTE METROPOLITANO FLUMINENSE**

**MATEUS RIBEIRO RODRIGUEZ**

Sob Orientação do Professor Doutor

**Gustavo Mota de Sousa**

Dissertação submetida como requisito para a obtenção do grau de **Mestre em Geografia**, no Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Linha de pesquisa Espaço, Política e Planejamento.

Seropédica, RJ

Novembro de 2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

R685d Rodriguez, Mateus Ribeiro  
Dinâmica de suscetibilidade a ocorrência de fogo em vegetação no Oeste  
Metropolitano Fluminense / Mateus Ribeiro Rodriguez. - Rio de Janeiro, 2023.  
83 f.: il.

Orientador: Gustavo Mota de Sousa.  
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de  
Pós-graduação em Geografia, 2023.

1. Dinâmica de suscetibilidade. 2. Fogo em vegetação. 3. OMRJ. I. Mota de Sousa,  
Gustavo, 1977-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de  
Pós-graduação em Geografia III. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**



**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 92/2023 - IGEO (11.39.00.34)**

**Nº do Protocolo: 23083.075245/2023-18**

**Seropédica-RJ, 14 de novembro de 2023.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**MATEUS RIBEIRO RODRIGUEZ**

Dissertação submetida como requisito para obtenção de grau de **Mestre em Geografia**, no Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRRJ, área de Concentração Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia.

**DISSERTAÇÃO APROVADA EM 13/11/2023**

Gustavo Mota de Sousa, Dr., UFRRJ  
(Orientador, presidente da banca)

Renata Libonati dos Santos, Dra. UFRJ  
(membro da banca)

Manoel do Couto Fernandes, Dr., UFRJ  
(membro da banca)

*(Assinado digitalmente em 14/11/2023 09:53)*  
GUSTAVO MOTA DE SOUSA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeGEOIA (11.39.39)  
Matrícula: ###661#0

*(Assinado digitalmente em 14/11/2023 10:19)*  
MANOEL DO COUTO FERNANDES  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: ###.###.707-##

*(Assinado digitalmente em 14/11/2023 10:11)*  
RENATA LIBONATI DOS SANTOS  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: ###.###.427-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **92**, ano: **2023**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **14/11/2023** e o código de verificação: **555d5027f0**.

“Para onde me ausentarei do teu Espírito?  
Para onde fugirei da tua face?  
Se subo aos céus, lá estás;  
se faço a minha cama no mais profundo abismo,  
lá estás também;  
se tomo as asas da alvorada  
e me detenho nos confins dos mares,  
ainda lá me haverá de guiar a tua mão,  
e a tua destra me susterá.”

Salmos 139:7-10 ARA

**À minha mãe e meu irmão.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela graça de me formar quem sou e me posicionar onde estou, e por todas as pessoas que conheci. Agradeço por me ensinar que escuridão também é luz, que fraqueza também é força e que morte também é vida. Agradeço porque tenho tudo.

À minha família, agradeço pela caminhada. Espero contribuir com mais alguns passos. À minha mãe, Cleide, agradeço por ter me ensinado tudo o que pôde, por estar do meu lado, me aconselhando e tantas vezes me lembrando de que a luta com propósito é menos dolorida.

Agradeço ao meu irmão, Tiago, pela coragem que me tem me ensinado e por não me deixar desviar do foco. À minha avó, Cleuzinha, por todo carinho e apoio em cada momento nessa vida.

À Maria, minha noiva, agradeço pelo companheirismo, pelo apoio emocional e pelos momentos tão bons. Com você aprendi que cada sentimento é valioso, deve ser ouvido e respeitado, que não há lugar no mundo longe demais de casa e que elegância é ver a preciosidade nas coisas simples. Agradeço por ter você do meu lado em cada etapa de amadurecimento.

Aos meus amigos Jonata, Rodrigo e Iago, que nunca me deixaram desanimar e sempre estiveram do meu lado. Minha amiga Mariana Nesimi, por todos esses anos de amizade, e por compartilhar comigo as impressões de começo de vida adulta. Minha amiga Luiara Castro, pelas oportunidades e por compartilhar comigo as impressões de início de carreira.

Aos meus colegas do Projeto Queimadas da fundação CEPERJ, pela experiência que me proporcionaram no estudo dessa temática. Aos meus colegas da Águas de Niterói, pelas oportunidades, pelo apoio e pelas novas experiências em geoprocessamento que me apresentaram.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Geografia da UFRRJ pela oportunidade de fazer parte do corpo discente na mesma universidade onde ingressei em 2016. Agradeço aos professores pelos ensinamentos, conselhos, indicações.

Ao meu orientador Prof. Dr. Gustavo Mota de Sousa, quem vem me orientando desde a graduação, agradeço por ter me mostrado o quão encantador é o mundo das geotecnologias, por toda paciência e por sua grande generosidade em compartilhar conhecimento.

Aos amigos do LiGA pelo suporte, diálogos e pelas pesquisas importantíssimas que vêm sendo desenvolvidas nesse laboratório, em especial à Camila, quem me deu grande apoio neste estudo.

À banca examinadora, Prof. Dr. Manoel do Couto Fernandes, Profa. Dra. Renata Libonati dos Santos, pelas sugestões e observações que ajudaram a direcionar melhor e dar densidade aos embasamentos teóricos e metodológicos da pesquisa.

E a todos os outros amigos que participam direta ou indiretamente para o meu crescimento pessoal ou profissional, o meu mais sincero agradecimento.

## RESUMO

O fenômeno do fogo em vegetação está muitas vezes atrelado a causas antrópicas, sobretudo em biomas com vegetação florestal de características mais úmidas como é o caso da Mata Atlântica. Para o estudo dessa temática, o mapeamento de suscetibilidade pode auxiliar na identificação de diferentes comportamentos relacionados à ocorrência de fogo em vegetação. O objetivo deste trabalho é mapear o comportamento da suscetibilidade ao fogo em vegetação, considerando como cortes temporais os anos 2000, 2010 e 2020, na região do Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro (OMRJ). Neste sentido, são utilizadas variáveis como radiação solar global, curvatura da encosta e combustibilidade da vegetação, para análise do fenômeno do fogo em vegetação no OMRJ. Essas variáveis foram obtidas a partir de informações de uso e cobertura da terra e modelos digitais de elevação que auxiliam na caracterização da região de interesse. Dados complementares como focos de calor e cicatrizes de áreas afetadas pelo fogo auxiliam na quantificação de pontos com anomalias termais que podem indicar queimadas, na análise da extensão territorial de áreas afetadas, e na validação do mapeamento de áreas mais suscetíveis à ocorrência do fogo, complementando assim a análise de dinâmica da suscetibilidade. Os resultados obtidos a partir deste estudo apontam majoritariamente para áreas localizadas em regiões de floresta, gramínea e urbano. Uma estagnação em áreas estimadas como alta suscetibilidade e um aumento gradual de áreas não suscetíveis, indicam também que ao longo dessas décadas podem apontar o crescimento urbano um dos fatores cruciais para as mudanças observadas na região.

**Palavras-chave:** Dinâmica de suscetibilidade; Fogo em vegetação; OMRJ;

## **ABSTRACT**

The phenomenon of wild fire is often linked to anthropogenic causes, especially in biomes with more humid forest vegetation, such as the Atlantic Forest. For the study of this theme, susceptibility mapping can assist in identifying different behaviors related to vegetation fire occurrence. The aim of this work is to identify the susceptibility to vegetation fire behavior, considering the temporal cuts in the years 2000, 2010, and 2020, in the Metropolitan West Region of Rio de Janeiro (OMRJ). In this context, variables such as global solar radiation, slope curvature, and vegetation combustibility are used for the analysis of the wild fire phenomenon in OMRJ. These variables were obtained from land use and cover information and digital elevation models that assist in characterizing the region of interest. Supplementary data such as hot spots and scars from areas affected by fire can assist in quantifying spots with thermal anomalies that may indicate wild fire, analyzing the territorial extent of affected areas, and validating the mapping of areas more susceptible to fire occurrence, thus complementing the susceptibility dynamics analysis. The results obtained from this study predominantly point to areas located in forest, grassland, and urban regions. A stagnation in areas estimated as highly susceptible and a gradual increase in non-susceptible areas also indicate that over these decades, urban growth may be one of the main factors for the observed changes in the region.

**Keywords:** Susceptibility dynamics; Wild fires; OMRJ;

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Concentração de focos de calor no estado do Rio de Janeiro .....	2
<b>Figura 2:</b> Triângulo do fogo .....	122
<b>Figura 3:</b> Mapa de localização do OMRJ .....	155
<b>Figura 4:</b> Mapa de localização e divisão da região metropolitana fluminense. ....	166
<b>Figura 6:</b> Fluxograma metodológico geral. ....	211
<b>Figura 7:</b> Fluxograma metodológico da análise de suscetibilidade. ....	266
<b>Figura 8:</b> Parâmetros utilizados para gerar o MDE .....	268
<b>Figura 9:</b> Exemplos de áreas côncavas e convexas na região .....	30
<b>Figura 10:</b> Comparação de áreas côncavas e convexas na região com trechos de drenagem.....	30
<b>Figura 11:</b> Classes de uso e cobertura (Ano 2000) .....	342
<b>Figura 12:</b> Classes de uso e cobertura (Ano 2010) .....	33
<b>Figura 13:</b> Classes de uso e cobertura (Ano 2020) .....	34
<b>Figura 14:</b> Exemplos de cicatrizes de áreas queimadas, evidenciadas pela composição RGB 12-8-4. Satélite SENTINEL-2 (Data: 26/08/2021).....	39
<b>Figura 15:</b> Exemplos de cicatrizes de áreas queimadas, evidenciadas pela composição RGB 12-8-4. Satélite SENTINEL-2 (Data: 01/08/ 2022).....	40
<b>Figura 16:</b> Modelo digital de elevação .....	442
<b>Figura 17:</b> Mapa de curvatura da encosta.....	433
<b>Figura 18:</b> Mapa de incidência de radiação solar.....	454
<b>Figura 19:</b> Mapa de combustibilidade .....	425
<b>Figura 20:</b> Estimativa de densidade de kernel, com dados de focos de calor entre 2002 e 2021 ... .....	466
<b>Figura 21:</b> Ocorrências anuais de focos de calor. ....	477
<b>Figura 22:</b> Comparativo de densidade de focos com estradas e rodovias pavimentadas. ....	48
<b>Figura 23:</b> Concentração de focos nas proximidades de unidades de conservação.....	49
<b>Figura 24:</b> Mapa de suscetibilidade à ocorrência de queimadas em vegetação (2000).....	50
<b>Figura 25:</b> Percentual de áreas suscetíveis (Ano 2000).....	51
<b>Figura 26:</b> Mapa de suscetibilidade à ocorrência de queimadas em vegetação (2010).....	52
<b>Figura 27:</b> Percentual de áreas suscetíveis (Ano 2010).....	53

<b>Figura 28:</b> Mapa de suscetibilidade à ocorrência de queimadas em vegetação (2020).....	544
<b>Figura 29:</b> Percentual de áreas suscetíveis (Ano 2020).....	55
<b>Figura 30:</b> Exemplos de cicatrizes de áreas queimadas nos anos de 2021 e 2022.....	56
<b>Figura 31:</b> Gráfico de percentual de áreas suscetíveis queimadas (2021).....	57
<b>Figura 32:</b> Gráfico de percentual de áreas suscetíveis queimadas (2022).....	58

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Informações técnicas do satélite Landsat-5.....	222
<b>Quadro 2:</b> Informações técnicas do satélite Landsat-7.....	23
<b>Quadro 3:</b> Informações técnicas do sensor MUX/CBERS-04A.....	24
<b>Quadro 4:</b> Informações técnicas do satélite SENTINEL-2.....	25
<b>Quadro 5:</b> Dados e processos metodológicos .....	27
<b>Quadro 6:</b> Valores reclassificados de curvatura da encosta.....	29
<b>Quadro 7:</b> Valores reclassificados de radiação solar global .....	31
<b>Quadro 8:</b> reclassificação de valores de uso e cobertura da terra para valores de combustibilidade. ....	35
<b>Quadro 9:</b> Tabela de combinação de valores de classe .....	36
<b>Quadro 10:</b> Extensão de áreas suscetíveis a queimadas (2021).....	57
<b>Quadro 11:</b> Extensão de áreas suscetíveis a queimadas (2022).....	58
<b>Quadro 12:</b> Síntese de mudanças nos valores observados ao longo dos anos .....	59
<b>Quadro 13:</b> Síntese de mudanças nos valores (anos 2000-2010) .....	60
<b>Quadro 14:</b> Síntese de mudanças nos valores (anos 2010-2020) .....	61

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. Justificativa.....	1
1.2. Objetivo Geral.....	3
1.3. Objetivos Específicos .....	3
1.4. Estrutura da Dissertação .....	3
<b>2. REVISÃO TEÓRICA</b> .....	4
2. 1. Cartografia Geoecológica da Paisagem.....	4
2.2. Conceitos de Suscetibilidade e Risco .....	6
2.2.1 Considerações sobre o risco .....	7
2.2.2 A cartografia e os mapas de risco .....	9
2.3 Considerações sobre o fogo em vegetação.....	11
2.3.1 Tipos de detecção de fogo.....	13
<b>3. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	14
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	20
4.1. Satélites utilizados .....	21
4.1.1. LANDSAT-5:.....	21
4.1.2. LANDSAT-7.....	22
4.1.3. CBERS-04A .....	23
4.1.4 SENTINEL-2 .....	24
4.2. Análise de suscetibilidade .....	25
4.2.1 Modelo digital de elevação .....	27
4.2.2 Curvatura da Encosta.....	28
4.2.3 Radiação solar .....	31
4.2.4 Uso e cobertura da terra.....	31
4.2.5 Combustibilidade .....	31
4.3. Dados de Focos de Calor.....	35
4.3.1 Estimativa de densidade (Kernel).....	38
4.4. Cicatrizes de áreas queimadas.....	38
<b>5. RESULTADOS</b> .....	41

5.1. Modelo Digital de Elevação .....	41
5.2. Radiação .....	41
5.3. Curvatura .....	43
5.4 Combustibilidade .....	44
5.5. Série Histórica de Focos de Calor no OMRJ .....	46
5.6. Suscetibilidade .....	49
5.6.1. Suscetibilidade (ano 2000) .....	50
5.6.2. Suscetibilidade (ano 2010) .....	51
5.6.3. Suscetibilidade (ano 2020) .....	53
5.7 Cicatrizes de áreas queimadas.....	55
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>59</b>
6.1. Mudanças ocorridas entre os anos 2000 – 2010 .....	59
6.2. Mudanças ocorridas entre os anos 2010 – 2020 .....	60
6.3. Considerações finais .....	61
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A região do Oeste Metropolitano do Estado do Rio de Janeiro (OMRJ), ou Oeste Metropolitano Fluminense, corresponde a áreas da zona oeste da cidade do Rio de Janeiro somadas a municípios da baixada fluminense. Sua extensão territorial abrange um complexo econômico de grande valia para o estado fluminense, possuindo suas próprias centralidades, uma dinâmica econômica industrial muito particular que dialoga com suas características urbanas. Rodovias como a Presidente Dutra, garantem ligação entre três grandes capitais: Rio de Janeiro – São Paulo – Belo Horizonte, o que permite diariamente um grande fluxo de pessoas e circulação de mercadorias.

A região, localizada no bioma de Mata Atlântica, é marcada também por alguns conflitos socioambientais, pois além de ser uma área rica em variedade de espécies vegetais e animais, incluindo ocorrências endêmicas, concentra também importantes bacias hidrográficas da região metropolitana fluminense. Uma das questões atreladas aos conflitos na região é o adensamento populacional, sobretudo pelo rápido crescimento urbano ocorrido entre as décadas de 1990 e 2010 ao longo de municípios como os localizados na Baixada de Sepetiba (Gusmão, 2010).

A convergência entre os fatores de crescimento populacional e mudanças socioambientais e climáticas observadas nos últimos anos, aumentam a urgência de estudos sobre a vulnerabilidade da área, fornecendo subsídios, inclusive para políticas públicas mitigadoras de consequências danosas para a população ali presente. Alguns desses fatores, podem ser citados como aumento da temperatura de superfície, riscos à inundação, grandes períodos secos, ocorrência de fogo, entre outros (Farias *et al.* 2020).

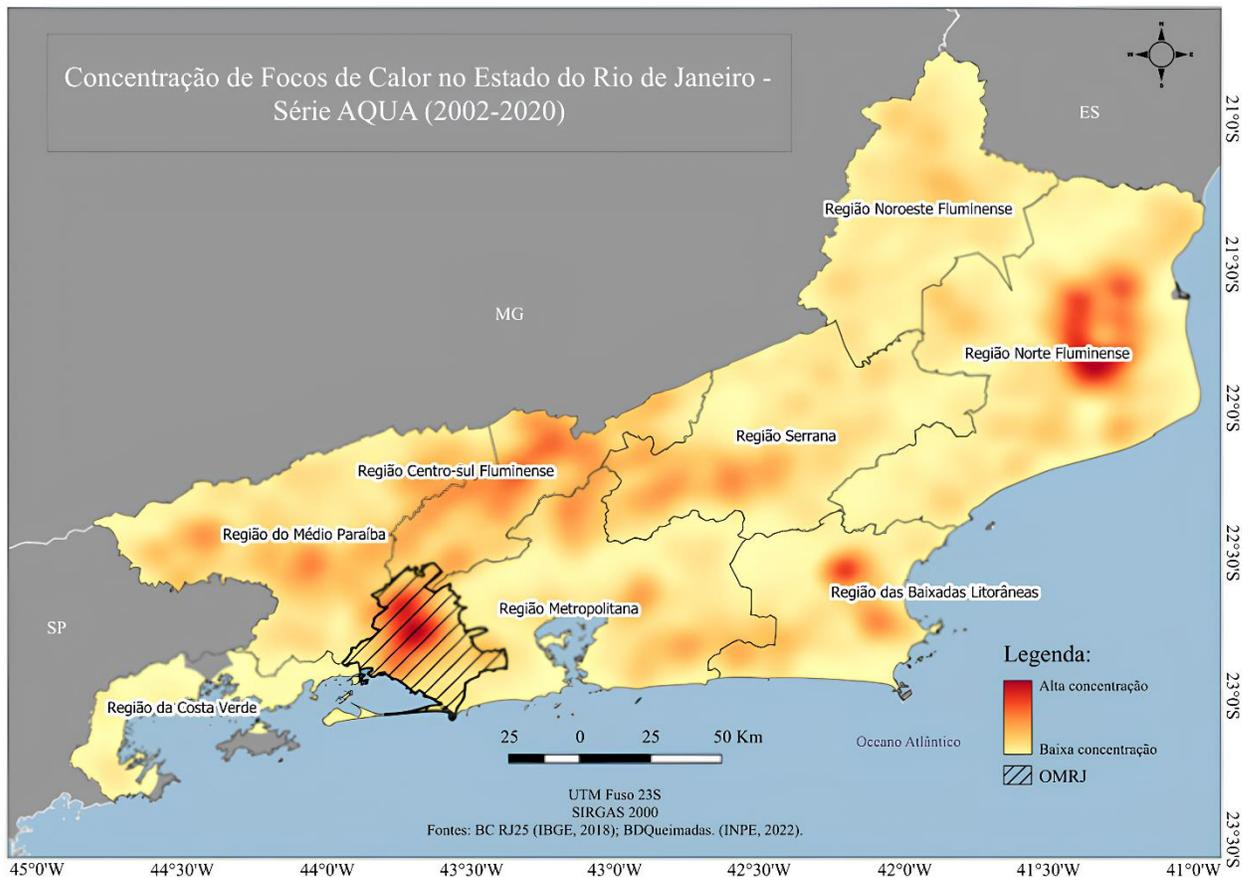
Para cooperar com os estudos relacionados às características ambientais da área, esta pesquisa tem como objetivo atuar na investigação da ocorrência de fogo na região, provendo como finalidade a identificação de áreas suscetíveis ao fogo em vegetação e sua dinâmica ao longo dos anos. Busca também contribuir com o conhecimento socioambiental da região, permitindo que se compreendam suas potencialidades e vulnerabilidades, ampliando a possibilidade de atuação estratégica de mitigação.

### 1.1. Justificativa

Algumas variáveis ambientais como tipos de vegetação, umidade, dentre outros fatores, se combinados, podem potencializar a ocorrência de fogo, principalmente se atrelados a ações antrópicas de ignição, ou seja, o início de uma queima.

A problemática dos incêndios florestais também ganha força dentro do Oeste Metropolitano e municípios do entorno. Essa prática é observada através dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo ali presentes conjugados ao manejo do fogo produzido em boa parte dos grupos locais que se encontram próximos de Unidades de Conservação. (Farias *et al.*, 2020).

A região apresenta forte concentração de ocorrências desse tipo de evento, o que pode ser observado a partir da Figura 1 que apresenta em um panorama estadual do território fluminense as áreas de maior concentração de focos de calor (INPE, 2022), considerados em um período de aproximadamente 18 anos.



**Figura 1:** Concentração de focos de calor no estado do Rio de Janeiro

Juntamente com o Norte Fluminense, especialmente no município de Campos dos Goytacazes, a região do Oeste Metropolitano apresenta uma grande concentração de focos de calor, considerando o histórico de 2002 a 2020, evidenciando importância da análise do comportamento do fogo em vegetação na região.

Neste trabalho serão analisados três recortes temporais, nos anos de 2000, 2010 e 2020. Esses recortes possibilitam pontuar as características relacionadas à ocorrência de fogo em vegetação ao longo do período de detecção de focos de calor pelo satélite AQUA que reúne os

dados desde seu lançamento em 2002. Assim, é possível caracterizar três períodos pontuais, com intervalos de uma década, iniciando antes do levantamento de focos de calor do satélite AQUA até a década atual.

## **1.2. Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a dinâmica da suscetibilidade à ocorrência de fogo em vegetação na região do OMRJ, considerando os anos de 2000, 2010 e 2020. Dessa forma, o trabalho visa estimar as áreas de maior e menor suscetibilidade, comparando fatores ambientais, suas causas e efeitos na região.

## **1.3. Objetivos Específicos**

- Classificar de dados de uso e cobertura da terra no Oeste Metropolitano, considerando diferentes níveis de combustibilidade da vegetação.
- Entender o comportamento da suscetibilidade à ocorrência de fogo em vegetação frente à variação de combustibilidade na região;
- Identificar o comportamento do fogo no período utilizando como insumo os focos de calor do BDQueimadas - INPE.

## **1.4. Estrutura da Dissertação**

A estrutura da dissertação será dividida em 7 capítulos ordenados categoricamente, partindo da introdução até os resultados finais. O primeiro capítulo, corresponde à “Introdução”, com a descrição breve dos objetivos a serem atingidos. O segundo capítulo, “Revisão Teórica” apresenta os conceitos que darão subsídio para as metodologias empregadas no estudo, concentrando os principais aportes teóricos utilizados ao longo da pesquisa. No terceiro capítulo, “Área de Estudo” será encontrada uma análise da regionalização do oeste metropolitano, bem como suas características e discussões levantadas para se chegar a esse recorte.

No capítulo 4, “Materiais e Métodos”, são apresentados os dados utilizados no estudo, bem como as metodologias de análise empregadas ao da pesquisa para se obter os resultados parciais e finais. Já no capítulo 5, são apresentados os resultados obtidos após as análises dos dados. Nesse capítulo, são encontrados dados estatísticos do histórico do fogo na região, que complementarão o estudo do fogo em vegetação no OMRJ. É no capítulo 5 que se encontram os resultados finais de suscetibilidade, nos anos de 2000, 2010 e 2020, trazendo a análise das mudanças ocorridas nesse período. No capítulo 6 são apresentadas as considerações finais, discussões e propostas de outros olhares para a dinâmica de suscetibilidade. A estrutura é encerrada com as referências bibliográficas utilizadas ao longo do estudo.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

O estudo relacionado ao fogo em vegetação permeia alguns conceitos centrais posicionados entre a geografia física, humana e as geotecnologias. São levantadas aqui algumas ponderações acerca da geoecologia como método de análise, associada principalmente à cartografia, por meio da qual serão feitos os levantamentos dos fatores ambientais influenciadores da propagação do fogo em vegetação. Por tratar de suscetibilidade, é necessário também aprofundar-se nos debates sobre o conceito de risco e suas ramificações, enfatizando ainda mais o caráter integrativo entre as geografias física e humana.

### 2.1. Cartografia Geoecológica da Paisagem

A cartografia geoecológica (Menezes, 2000) utiliza-se de um levantamento de características geoambientais para o cálculo de potencialidades, comparando variáveis primárias para a extração de determinadas informações, que podem ser mapeadas.

Dentro desse contexto, a caracterização da área torna-se imprescindível para a modelagem de dados ambientais. Entre as possibilidades de produtos cartográficos, alguns que podem ser levantados são os índices como suscetibilidades, vulnerabilidades, potencialidades e riscos, a depender das metodologias empregadas e da seleção de dados apropriados. Neste trabalho, tendo como base a interface entre variáveis geoecológicas são gerados três mapas de suscetibilidade à ocorrência de fogo em vegetação, conforme metodologia apresentada em Tomzhinski (2012), Sousa (2013), Fernandes *et al.* (2010). Os mapas representam os anos de 2000, 2010 e 2020, e têm como finalidade analisar a dinâmica desse índice na região do OMRJ com o passar dos anos.

Conforme Mateo Rodriguez (2017), a caracterização geoecológica propõe um levantamento do conhecimento sobre o meio natural para obtenção de um diagnóstico:

“A concepção científica sobre a Geoecologia da Paisagem, como base para o planejamento ecológico do território, será analisada como um sistema de métodos, procedimentos e técnicas de investigação, cujo propósito consiste na obtenção de um conhecimento sobre o meio natural, com os quais pode-se estabelecer um diagnóstico operacional.” (Mateo Rodriguez et al., 2017).

Esse mapeamento consiste na análise de diferentes fatores da paisagem, para isso tratando também de sua pluralidade conceitual para embasar os resultados. A avaliação ambiental conseguinte corresponde a uma análise entre diversas categorias da paisagem presentes no recorte

espacial escolhido e que auxiliam na obtenção do diagnóstico e possíveis tomadas de decisão futuras, sendo de suma importância para “formulação de estratégias e de táticas de otimização do uso e manejo mais adequados da função e operação, no tempo e no espaço, de cada uma das unidades paisagísticas” (Mateo Rodriguez *et al.*, 2017). Menezes (2000) aponta para a cartografia geoecológica como sendo a:

representação de dados ou informações oriundas de processos analíticos, mostrando através dos inter-relacionamentos entre os elementos da paisagem, as consequências imediatas ou futuras sobre o meio ambiente definido pelo recorte espacial da paisagem estudada (Menezes, 2000).

A partir da análise geoecológica, a cartografia pode englobar também outras ferramentas de análise, como os chamados mapas de avaliação, divididos em cinco possibilidades diferentes: vulnerabilidade, suscetibilidade, fragilidade, risco e potencialidade (Menezes, 2000). O objetivo final deste trabalho é identificar e mapear áreas suscetíveis à ocorrência de fogo em vegetação no OMRJ, sendo necessário resgatar o conceito de suscetibilidade na análise ambiental.

Para Meirelles (1997) é possível relacionar suscetibilidade e sensibilidade da paisagem, definindo a partir de Mateo Rodriguez & Mauro (1994) que sensibilidade é a “suscetibilidade da paisagem à degradação e a perda de capacidade produtiva”. (Mateo Rodriguez *et al.*, 1994. *Apud.* Meirelles 1997). A partir do estudo dessa relação, Menezes (2000) sintetiza que a suscetibilidade “pressupõe o que pode ocorrer”.

Ainda na década de 1970, o programa Landsat (a princípio, chamado de Earth Resources Technology Satellite, ERTS) iniciou seu imageamento permanente da Terra, com revisitas a toda parte do planeta, a cada nove dias (Thrower, 1999, p. 186). Essas imagens satelitais, a despeito de não contemplarem geometria rigorosa, como a fotogrametria, tornaram-se importantes por seu papel no monitoramento de fenômenos ambientais. A recorrência temporal das imagens, nesse contexto de monitoramento, também é muito importante, porque disponibiliza dados que permitem acompanhar a dinâmica de certos fenômenos. De forma equivalente, o sensoriamento remoto, aplicado ao monitoramento climático e atmosférico, tem permitido uma compreensão mais holística dos fenômenos, que, sem esse monitoramento, seriam de mais difícil apreensão, em face da velocidade e da complexidade de seu dinamismo. (Menezes *et al.* 2021.)

As novas ferramentas trazidas pelas tecnologias de sensoriamento remoto implementadas a partir do século XX permitiram um novo fôlego ao uso das geotecnologias nas análises ambientais. Os sensores orbitais permitem agora uma nova visão sobre a paisagem, permitindo um monitoramento mais aprofundado, como o exemplo dos satélites Landsat. Dessa forma, as geotecnologias têm ganhado mais espaço no estudo dos fenômenos ambientais, o que auxilia nas ciências geográficas uma resposta cada vez mais rápida a eventos extremos e inclusive estratégias mais eficientes de enfrentamento a esses fenômenos.

Além disso, as novas tecnologias trouxeram novos métodos de investigação, como índices por diferença normalizada, estudos de impactos, e mesmo vulnerabilidades, potencialidades e

riscos, utilizando-se da enorme produção de dados de imagem e alfanuméricos para gerar resultados cada vez mais eficientes.

Com as novas tecnologias, as formas de representação ganharam espaço dentro das áreas da geoinformação, sobretudo para a cartografia temática, que adota padrões como cores, símbolos e texturas, que atribuem aos mapas “variáveis gráficas”, valores estéticos que vão além do visual, e contribuem principalmente para a interpretação da informação representada.

## **2.2. Conceitos de Suscetibilidade e Risco**

A análise de risco, em muitos de seus aspectos, tem sido realizada em diferentes temáticas de pesquisas. Tanto suas características conceituais acerca da noção de fatores associados ao risco, quanto possibilidades de mensuração desses eventos que são debates fundamentais para a construção de um conhecimento científico de um tema tão relevante. Uma das formas de apresentação dessa mensuração, representando análises de vulnerabilidade são os mapas de risco, comumente construídos a partir de uma modelagem de dados, que são comparados e expostos cartograficamente, apresentando uma proposta espacial do que podem ser áreas de maior ou menor grau de exposição a riscos. As modelagens requerem diferentes aspectos, nem sempre tão previsíveis, como aponta o autor John Adams (2009). Esses mesmos riscos podem estar associados à frequência de ocorrência de determinado evento, a probabilidade de reincidência e métodos de prevenção.

Diferentes metodologias de análise de potencialidades, riscos, vulnerabilidades e perigo relacionadas à ocorrência do fogo vêm sendo elaboradas ao longo dos anos. Fernandes et al. (2011) elaboraram um mapa de suscetibilidade à ocorrência de incêndios para todo o estado do Rio de Janeiro, considerando variáveis geomorfológicas, de uso e cobertura da terra, radiação solar e cálculo do balanço hídrico para a elaboração de seu estudo. Com exceção do balanço hídrico, as demais variáveis foram similarmente utilizadas em Sousa et al. (2013), tendo como área de estudo, dessa vez, o Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB) que teve o acréscimo da proximidade de ocupação urbana para a elaboração de um mapa de risco.

Em resumo, essas variáveis dependem de fatores relacionados a área de estudo, que por si só também requer uma metodologia para escolha, conforme será abordado mais adiante. Uma vez que os riscos e a cartografia, periodicamente convergem em discussões acerca de suas definições, tratando do nível de técnica, variáveis previsíveis e não previsíveis, presentes em ambos os casos, esse trabalho visa associar fatores ambientais para a construção de uma análise de suscetibilidade à ocorrência de fogo em vegetação no OMRJ.

## 2.2.1 Considerações sobre o risco

A análise de risco é bastante rica em definições. Por conta da variedade de aplicações, diferentes áreas da ciência acompanham as análises de risco, seguindo cada uma o seu caminho teórico metodológico. De maneira geral, é possível conceber o risco como uma forma de prevenção do futuro, de modo para que esse objetivo seja atingido, seja necessário um cálculo para a previsão de fatos futuros. Para introduzir as questões relativas às noções de risco, podemos citar o autor John Adams, em seu livro “Riscos” (2009). O autor aponta a história das noções de risco, especialmente para a Royal Society, sobretudo nas aplicações na Europa.

As discussões de risco no primeiro relatório de riscos da Royal Society, em 1983, trouxeram à tona uma divisão interna entre as perspectivas de cientistas sociais e físicos. Essas diferenças foram acentuadas no momento da definição de risco, uma vez que foram separados entre risco objetivo e risco percebido. Em 1992, um novo relatório buscava apontar essa mesma divergência, após as discussões científicas ocorridas após o primeiro relatório.

Na perspectiva do risco objetivo, o risco apresenta-se como um fator real, quantificável e calculável, podendo ser mensurado matematicamente e posto como uma realidade, frente à qual decisões precisam ser tomadas, e a sociedade em geral precisa aprender a lidar. Já na perspectiva do risco percebido, a ideia do risco apresenta-se como uma noção social, conceitual do que é o risco, em que as pessoas sentem ou não esse limite da periculosidade. Algo mais subjetivo que não poderia, portanto, ser mensurado.

Essas duas concepções foram debatidas e postas à prova quando, nos anos 1990, um novo relatório da Royal Society destinou ao menos dois capítulos na busca por contrapor essa dualidade, caracterizando um risco que seria culturalmente construído, a partir de lógicas de exposição ou não a determinado evento que por si só represente certo nível de perigo. Enquanto os cientistas físicos planejam modelos matemáticos de mensuração de riscos, como levantamentos estatísticos, eventos probabilísticos, gráficos, entre outros elementos, a realidade apresenta variáveis que nem sempre são tão mensuráveis (Adams, 2009).

É possível visualizar que modelos matemáticos representam algumas variáveis. No entanto, nem todas as variáveis necessárias para o cálculo de risco têm sido precisamente definidas para esses modelos. Assim, pode-se inferir que os métodos de mensuração por si só não consideram fatores culturais, como a vivência das pessoas em contato com determinado evento, ou ainda o próprio sentimento de medo, que também evita a exposição inadequada a eventos perigosos, precisando ser associados a estudos que entendam essa não previsibilidade da dinâmica humana.

Em suma, a ideia principal do autor é retratar a ineficiência no tratamento ambíguo entre um risco percebido e um risco objetivo, uma vez que as exposições ao evento são o principal fator de ocorrências, e a cultura é um fator de extrema importância que não deve ser banalizado, ao tempo que também não é um aspecto mensurável por valores matemáticos. Essa imprevisibilidade representa também um diferencial na análise de riscos. Ou seja, o risco socialmente e culturalmente construído representa uma importante condicionante capaz de impedir a ocorrência de acidentes, o que aliás também é difícil de dissociar da ideia de risco.

Riscos, acidentes e catástrofes parecem ser discutidos tendo uma mesma base. Sobre isso, discorre Castro (2012) que as catástrofes não são nada além de “manifestações do risco”, apontando ainda:

O principal desafio para os analistas de risco é justamente captar a complexidade das inúmeras variáveis envolvidas para a construção de cenários futuros e a definição de uma hierarquia de risco, ou seja, da definição de condições sociais e naturais que podem potencialmente gerar acidentes graves. (CASTRO, 2012)

Essa complexidade abordada induz ao pensamento de imprevisibilidade, aparentando dificultar a prevenção de riscos. A imprevisibilidade também é inerente à vida humana, assim como abordam-se os riscos sempre que envolvem uma situação de perigo para as pessoas. Apesar da dificuldade na mensuração desse perigo na análise de risco, inúmeros estudos vêm sendo levantados como forma de articular diferentes variáveis para calcular o mais fielmente possível uma forma de prevenir ou prever a ocorrência de acidentes. Ocorre que as variáveis são inúmeras, e em alguns casos podem ser, inclusive, não mensuráveis, de forma que os modelos desenvolvidos não passem de probabilidades, que estimem uma possibilidade, buscando ao máximo uma aproximação do real.

Variáveis sociais e culturais, por exemplo, possuem suas parcelas de imprevisibilidade, o que não se desassocia com a noção de ciência, no entanto, aproxima-se mais das ciências humanas. Dessa forma, no cerne das definições de risco, repousa a mesma discussão da ciência moderna, de divisão entre os ideais das ciências físicas e humanas, algo que inclusive permeia pela própria geografia.

A principal reflexão, portanto, é delinear o risco dentro da concepção da ciência geográfica. Dessa forma, Castro (2012) ao abordar também a noção de territórios, traz para a discussão as nuances do debate acerca de poder, organização, gestão, o que, associado ao risco, trata então de uma abordagem de gestão de probabilidades, tomadas de decisão e estratégias de prevenção que revelam um aspecto mais político do que são os riscos. Assim, territórios de risco constroem-se a partir da capacidade de gestão de um determinado evento. São territórios que se organizam ou são construídos, inclusive politicamente, tendo como aspecto a prevenção de eventos perigosos ou catastróficos.

Essa concepção faz jus também a outra percepção da noção de riscos, proposta por Ulrich Beck (2011), que traz a ideia de que os riscos são associados à sociedade, que por sua vez lida com eles de uma forma tática, não impedindo a sua existência, mas sim manejando-o. Todo esse manejo possui um fundo político, e o risco não pode ser impedido, uma vez que, segundo essa concepção, viria intrínseco à noção de desenvolvimento, um dos pilares da sociedade moderna. Portanto, segundo Beck, não é interessante para a sociedade moderna impedir o risco, se, para tanto, a noção de desenvolvimento tivesse que ser superada. Castro aponta ainda a construção social do risco, similar ao que ocorre com o território, que pode ser socialmente produzido. Conforme aborda em:

A relação entre risco e território resume-se nas desigualdades sociais fundadas em relações de poder entre diferentes atores sociais e diferentes segmentos da sociedade. O território é a expressão material ou simbólica destas relações e os riscos são identificados a partir

de dois componentes básicos: a vulnerabilidade da sociedade (em função de fatores econômicos, ambientais, cognitivos, de acesso à informação, etc.) e as âleas (processos de natureza variada com uma dimensão espaço-temporal que podem gerar perdas/prejuízos). (Castro, 2012)

Em suma, os riscos são produzidos, da mesma forma como ocorre com os territórios, sendo também bastante ligados. A relação dialética entre a produção e as estratégias de prevenção de riscos está pautada no fato de que ambos provêm da mesma fonte, o avanço da tecnologia e o ideal de desenvolvimento. Essas noções permeiam o território à medida que distribuem a vulnerabilidade da mesma forma como planejam as cidades: de forma desigual. Esse manejo de vulnerabilidade ocorre com a utilização da própria tecnologia, na busca, idealmente, por uma sociedade livre de riscos, construindo assim um manejo territorial que articula elementos de risco e segurança, onde as pessoas são constantemente expostas, seguindo a organização social das cidades.

Ao se tratar o manejo, ou gerenciamento dos riscos, pode-se falar sobre a modelagem de riscos, que nada mais são do que estimativas de previsão de determinados eventos. Dentre essas modelagens, destacam-se modelos estatísticos, probabilísticos, gráficos ou cartográficos. Podemos tratar aqui dos modelos cartográficos, que visam localizar áreas com maior ou menor grau de riscos. Essa graduação é realizada ao se comparar diferentes variáveis estudadas em determinado evento.

No mapeamento dos fatores de risco, os riscos estão associados a variáveis com mecanismos controláveis. No caso do fogo, a análise de risco levaria em conta a probabilidade de um terreno entrar em combustão associada à probabilidade de ocorrência de uma ignição, o quanto uma determinada área é de fato queimada. Em alguns outros casos, as análises de risco preocupam-se com a exposição humana a determinado evento, de modo que o risco faz parte dessa interação antrópica com os ambientes mais suscetíveis a uma determinada ocorrência.

### **2.2.2 A cartografia e os mapas de risco**

As modelagens cartográficas são utilizadas no estudo de diferentes eventos, e em grande parte dentro de análises geográficas, para análise da distribuição espacial desses eventos e a probabilidade de ocorrência que varia conforme os fatores levantados para o estudo. Os mapas de risco, potencialidades e vulnerabilidades carregam em si toda uma base de dados estudada pelo pesquisador, e representam espacialmente, por meio de símbolos visuais, localidades de risco em determinada área. Ao mesmo tempo, essas análises se diferenciam de acordo com cada fator utilizado.

Reitera-se aqui as dificuldades de compilação de variáveis, uma vez que em muitos casos, as variáveis associadas ao risco são dinâmicas, e de baixa previsibilidade. Dessa maneira, uma modelagem cartográfica, ainda que extremamente relevante para uma representação visual de um evento, funciona ainda como um modelo probabilístico, e precisa estar associada a um estudo mais integrado para um resultado mais próximo do real.

Na geografia, é muito comum que mapas sejam utilizados como ferramentas representativas para um determinado estudo, que normalmente é desenvolvido a partir de outras frentes, não

necessariamente cartográficas, mas não é raro encontrar outros instrumentos estatísticos, como gráficos e quadros associados aos mapas.

Tratando de mapas em geral, não é difícil imaginar que cada estudo requeira uma certa qualidade de dados. Mas ao se realizar um mapa de risco, ainda que dentro de uma mesma temática, diferentes características espaciais também influenciam na escolha dessas variáveis, e ainda assim, algumas podem não ser tão previsíveis e um pouco mais dinâmicas.

Em seu artigo sobre categorias de análise da cartografia na síntese da paisagem, Zacharias (2008), levanta algumas considerações. Entende-se que, para que essa representação seja finalizada, é necessário realizar alguns levantamentos, além de uma participação subjetiva do próprio elaborador do mapa, que estabelece critérios específicos para definição, extrapolação ou generalização de alguns aspectos em um mapa. Conforme aponta:

Os mapeamentos são representações, em superfície plana, das porções heterogêneas de um terreno, identificadas e delimitadas. Um mapa permite observar as localizações, as extensões, os padrões de distribuição e as relações entre os componentes distribuídos no espaço, além de representar generalizações e extrapolações. Principalmente, devem favorecer a síntese, a objetividade, a clareza da informação e a sistematização dos elementos a serem representados. (Zacharias, 2008)

Cada elemento do mapa é construído pensando a partir da finalidade daquele mapa, o que dá ao processo de elaboração um aspecto mais subjetivo, sendo associado aos conhecimentos do elaborador do mapa. Por esse motivo, as abordagens da cartografia têm entrado em pauta em algumas discussões acadêmicas, principalmente as relacionadas ao dualismo entre ciências físicas e humanas.

Podemos destacar aqui, dentre as principais etapas do processo de elaboração de um mapa, a delimitação da área de estudo. Segundo ela, a representação cartográfica permite a análise em diferentes níveis de uma determinada paisagem, auxiliando no acompanhamento do resultado. Para chegar a essa finalidade, é necessário realizar um estudo para o desenvolvimento do mapa, mas não só isso. Para a própria delimitação da área de estudo também precisa-se realizar um estudo prévio, que resultaria em um mapeamento mais específico para a temática estudada.

Alguns métodos se destacam como mais eficientes, como é o caso da utilização de bacias hidrográficas como padrão para a delimitação de áreas de estudo. No entanto, as diferentes especificações de temáticas requerem diferentes variáveis, o que, em suma, significa que essa etapa de produção cartográfica necessita de um olhar mais delicado, por consistir na base de um estudo cartográfico. Segundo a autora, quando se consideram variáveis sociais, econômicas, políticas e culturais, as bacias hidrográficas podem tornar-se inadequadas, já que seus limites não necessariamente correspondem ao desenvolvimento dessas variáveis.

Para um modelo de suscetibilidade à ocorrência de fogo em vegetação, a dinâmica dos fatores não é muito diferente. São consideradas variáveis para modelos probabilísticos que no final geram um resultado apresentando as áreas com diferentes níveis de probabilidade à ocorrência do fogo. Contudo, a suscetibilidade possui como foco o estudo da probabilidade de ocorrência do evento, sem necessariamente uma associação com ações antrópicas. Da mesma maneira, o perigo de determinada ocorrência faz uma análise de fatores que podem trazer alguma influência.

Um dos exemplos, é o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que possui um método de cálculo de perigo de fogo, similar ao estudo de suscetibilidade. Nessa metodologia, o cálculo do perigo de fogo é realizado principalmente a partir dos fatores meteorológicos, como dias sem chuva, temperatura máxima do dia, umidade relativa do ar, frequência de ocorrências de focos de calor e elevação topográfica. Desses dados, os resultados geram “cinco categorias na escala de 0 a 1: Mínimo, abaixo de 0,15; Baixo, de 0,15 a 0,4; Médio, de 0,4 a 0,7; Alto, de 0,7 a 0,95 e; Crítico, acima de 0,95.” (Setzer *et al.* 2019).

Diariamente, essas informações são levantadas para toda a América Latina, e disponibilizados no site do INPE, alimentando diferentes relatórios como o PREVFogo do IBAMA, o InfoQueima do INPE, entre outros estudos que se baseiam nesses dados para sua construção. Os produtos permitem também elaborar uma previsão de até 3 dias, apontando a mudança de áreas mais suscetíveis.

Outro exemplo foi o apresentado no artigo “Cartografia geocológica da potencialidade à ocorrência de incêndios: Uma proposta metodológica”, por Sousa *et al.* (2013). Dessa vez, com uma área de estudo menor: o Parque Estadual da Pedra Branca. Para esse estudo foram considerados dois mapeamentos até o resultado, tendo sido realizado em etapas: um mapa de suscetibilidade e um mapa de risco.

No mapa de suscetibilidade, foram utilizadas as variáveis de combustibilidade, obtida a partir da análise do uso e cobertura da terra, radiação solar, e forma da encosta. Já para o mapa de risco, foram adicionados a essas variáveis alguns aspectos antrópicos como ocupação urbana, proximidade de vias e potencial de queima de lixo.

A partir desses exemplos, retoma-se a ideia de que o estudo das variáveis na análise de incêndios é algo que busca uma previsibilidade, o que de fato gera um resultado. No entanto, as variáveis são escolhidas pelos próprios elaboradores dos mapas, sendo inevitavelmente dotadas de subjetividade. No entanto, isso não reduz a importância dos mapas de risco, que abrem uma gama de possibilidades de análise, a partir das representações que propõem.

### **2.3 Considerações sobre o fogo em vegetação**

O fenômeno fogo ocorrido em vegetação pode estar atrelado a diversos fatores. Para entender o comportamento desse fenômeno na natureza, é importante visualizar o que dizem alguns autores sobre suas características. Alguns trabalhos relatam a ocorrência do fogo associada a três fatores: combustível, oxigênio e calor (ICMBio, 2010; Tomzhinski, 2012; Lourenço, 2016). Dessa forma, combustível seria todo o material a ser queimado, fator que auxilia na propagação do fogo; calor, toda forma de ignição, fator iniciador do fogo; oxigênio, o comburente, o qual permite a ocorrência do fogo. O triângulo do fogo pode ser visto na figura 2.



**Figura 2:** Triângulo do fogo

Lourenço (2016) aponta ainda alguns fatores importantes como possíveis causadores da queima, que podem ser diversos, tais como queima de detritos vegetais para limpeza de terreno, fogueiras, fósforos mal apagados, pontas de cigarro ainda acesas, transportes sobre trilhos, caçadores, descargas elétricas, fogos, explosivos, dentre outros (Lourenço, 2016). Muitos desses fatores facilmente relacionados à ação antrópica.

O fogo em vegetação também pode ocorrer por diversas motivações. A já mencionada limpeza de terreno é uma prática comum de manejo, seja para estimular a rebrota de vegetações como pastagem ou abrir novas áreas agrícolas. Essas práticas, no entanto, podem ser prejudiciais, causando erosão, compactação, perda de vegetação nativa e liberação de gases nocivos à atmosfera (Klink & Moreira, 2002). Condições climáticas adversas como baixa umidade e temperaturas elevadas, também podem potencializar os danos causados pelo fogo, transformando a queima, mesmo controlada, em grandes incêndios.

Klink & Machado (2005) apontam que mesmo em um bioma com uma vegetação adaptada ao fogo causado por eventos naturais, como raios, a má utilização de técnicas de manejo pode ser prejudicial.

Na Mata Atlântica, um bioma tropical úmido, as condições climáticas não são favoráveis à propagação do fogo. Ainda assim, diversas ocorrências ao longo do ano, sobretudo em períodos secos (Tomzhinski, 2012; Sousa, 2013), ganham proporção, impactando grande variedade de espécies de fauna e flora (Farias et al., 2020), trazendo a perda de floresta nativa e dificuldade de rebrota (Liesenfeld et al., 2016), impactos sobre o solo (Neary et al., 1999), entre outros fatores.

### 2.3.1 Tipos de detecção de fogo

O sensoriamento remoto pode ser uma ótima ferramenta para a análise de fogo em vegetação. Isso ocorre principalmente porque o fogo pode deixar registros espectrais na imagem. Podemos destacar o estudo de focos de calor (INPE, 2011), detectados principalmente por sensores termais, e as cicatrizes de queimadas, que podem ser realizadas por meio do agrupamento de pixels com valores similares em uma imagem raster formando polígonos, ou através de uma delimitação em campo por GPS (Tomzhinski, 2012).

Os focos de calor são produtos de sensoriamento remoto que apontam anomalias térmicas captadas pelos sensores. Setzer (2021) aponta que a detecção desses focos é contraintuitiva para as pessoas, pois essas informações não se encontram dentro do espectro de luz visível para o olho humano (0,38 a 0,74 micrometros, “ $\mu\text{m}$ ”), mas sim dentro da faixa de luz infravermelha (0,75 a 1000  $\mu\text{m}$ ) (Setzer, 2021).

Já as cicatrizes de áreas afetadas pelo fogo, são identificadas a partir da interpretação de imagens com composições RGB que evidenciem as diferenças espectrais entre áreas de vegetação ou não pelo fogo. Rodrigues (2018), combina bandas do sensor OLI (Landsat-8) para detecção de cicatrizes em imagens desse satélite, em uma composição RGB com as bandas de Infravermelho médio 2 (Banda 7), infravermelho próximo (Banda 5) e vermelho (Banda 4).

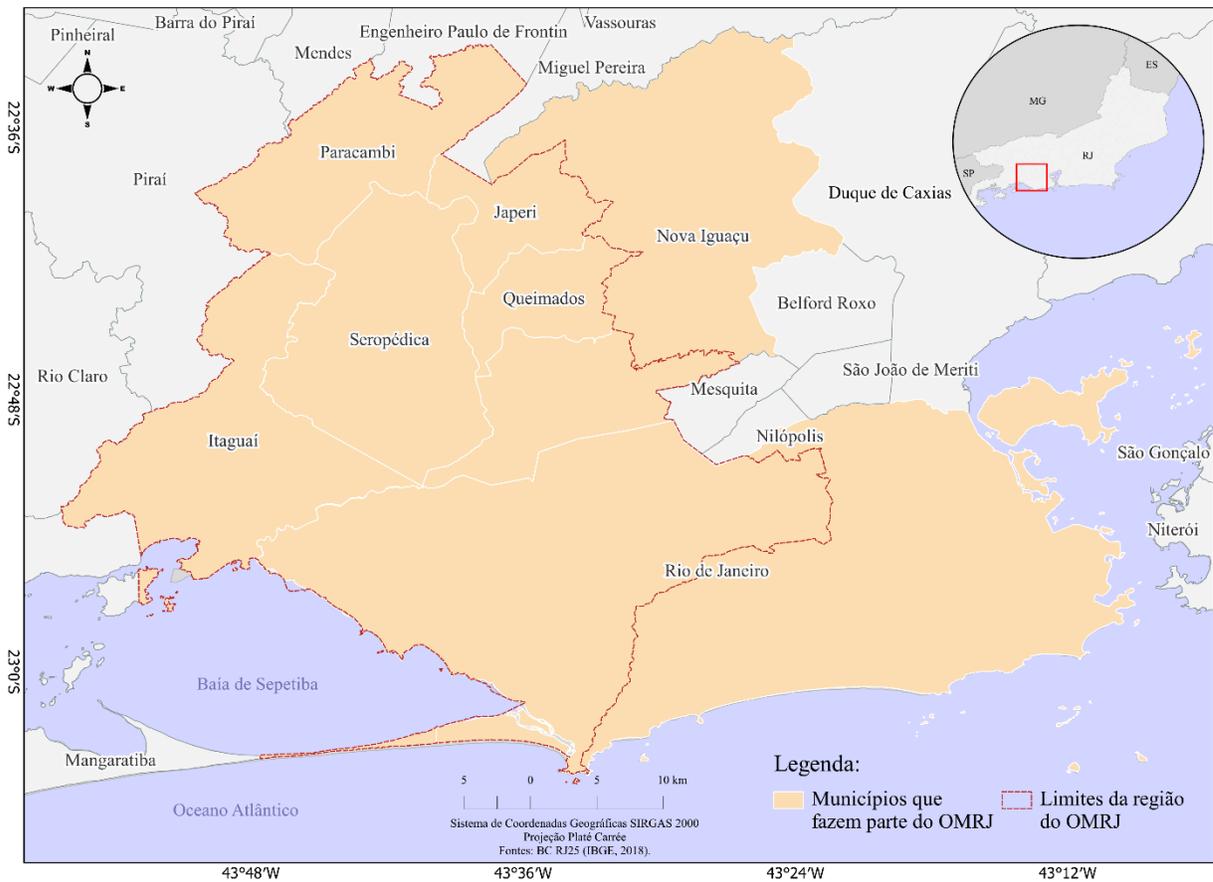
A detecção, por sensoriamento remoto, de áreas afetadas pelo fogo, denominadas cicatrizes, combinadas a focos de calor, podem ser importantes ferramentas para análises a curto prazo de impactos causados pelo fogo em vegetação. Elas permitem localizar a área afetada pelo fogo, estimar a extensão total do terreno atingido, avaliar espécies vegetais impactadas e monitorar os níveis de rebrota com o passar do tempo, por exemplo.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A Região do Oeste Metropolitano Fluminense (OMRJ) é uma proposta de regionalização que contempla 7 municípios fluminenses, cujo posicionamento geográfico encontra-se na porção oeste da região metropolitana. Dos 7 municípios, dois possuem apenas algumas áreas de seu território dentro do recorte espacial do OMRJ, sendo eles Rio de Janeiro e Nova Iguaçu.

Região, borda, extremo, porção, parte, segmento, fronteira, margem, limite, área: não faltam maneiras de se tratar este conjunto formado, integralmente ou parcialmente, pelas cidades situadas na parte oeste da Baixada Fluminense – Seropédica, Paracambi, Japeri, Queimados e Itaguaí; pela Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro, neste caso a Área de Planejamento 5, que corresponde a quase metade do território municipal; e pelas partes periféricas do município de Nova Iguaçu. (Silva *et al.*, 2020).

Para representar a área, a figura 3 apresenta os recortes apontados acima, considerando como AP-5 do Rio de Janeiro, os subdistritos de Santa Cruz, Guaratiba, Campo Grande e Bangu (IBGE, 2010).



**Figura 3:** Mapa de localização do OMRJ

Alguns autores como Oliveira (2015), Silva et al. (2020) já se debruçaram sobre a área, sobretudo relacionando seus estudos às dinâmicas da baixada fluminense e urgência de uma outra escala de análise voltada às periferias da região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ).

Dentro da área, algumas regionalizações já foram propostas, tendo em vista a proximidade cultural, ambiental, social e geográfica dos limites político-administrativos envolvidos. Se olharmos para a região metropolitana como um todo, temos um território centrado na capital Rio de Janeiro, a qual é caracterizada como núcleo metropolitano. Ao redor da cidade, diversos municípios que fazem fronteira desenvolvem dinâmicas próprias de relações comerciais, similaridades culturais, além de promoverem novas centralidades. O mapa da figura 4 apresenta graficamente a distribuição dessas novas dinâmicas por meio de um recorte espacial que evidencia uma divisão entre as porções leste e oeste de toda a região metropolitana.



**Figura 4:** Mapa de localização e divisão da região metropolitana fluminense. Adaptado de Fortes *et al.* (2020).

Segundo Silva (2020) a partir das diferentes propostas de regionalização ao longo dos anos pelo território fluminense, é notável que subregiões com proximidades qualitativas fossem naturalmente se desenvolver a partir de lógicas similares e relações de fluxo urbano, concentração comercial, distribuição populacional e relações trabalhistas por exemplo.

No mapa, adaptado de Fortes *et al.* (2020), podem ser vistos esses diferentes recortes espaciais. A partir da contiguidade entre as regiões, é possível tratar das relações de fluxos e até mesmo das já referidas novas centralidades e rearranjos espaciais, de modo que a porção oeste da RMRJ se apresente como proposta, denominada nesse momento como Extremo Oeste Metropolitano, conforme analisado em Dossiê do Oeste Metropolitano (SILVA *et al.*, 2020).

É válido ressaltar ainda que os bairros de Nova Iguaçu mencionados, funcionam ligados às zonas de integração entre o Rio de Janeiro e Seropédica, podem ser inseridos na área, como o caso do Km 32, que funciona como partícula integradora entre o bairro de Campo Grande no Rio de Janeiro, Nova Iguaçu e Seropédica. A AP-5 do município do Rio de Janeiro corresponde aos bairros de Deodoro, Vila Militar, Campo dos Afonsos, Jardim Sulacap, Magalhães Bastos, Realengo, Padre Miguel, Bangu, Gericinó, Senador Camará, Santíssimo, Campo Grande, Senador

Vasconcelos, Inhoaíba, Cosmos, Paciência, Santa Cruz, Sepetiba, Guaratiba, Barra de Guaratiba, Vila Kennedy e Pedra de Guaratiba.

Outro autor que buscou estudar a área foi Oliveira (2015) em seu artigo sobre o processo de emergência do complexo logístico-industrial no OMRJ, onde levantou informações sobre a reestruturação territorial produtiva emergente nesse recorte espacial, como representa a figura 5. Sobre a reestruturação territorial produtiva, o autor aponta que este processo implica a:

Reinvenção e implementação do regime de acumulação flexível nos espaços da periferia mundial, por meio da combinação de novas formas de gestão, produção e trabalho deste modelo produtivo com a emergência de novos territórios industriais hodiernos, baseados em ágeis intercâmbios de conhecimento, proletarianização extemporânea e seletiva, segregação e isolamento do cotidiano urbano em “fábricas-territórios”, adequação econômico-ambiental sob os auspícios do desenvolvimento sustentável e reabilitação da fábrica como ideologia espacial. (Oliveira, 2015).



**Figura 5:** Vetores de expansão e convecção econômica do Extremo Oeste Metropolitano (Oliveira, 2015)

A própria RMRJ, diga-se, surgiu a partir da lógica de expansão territorial industrial, além do comércio. No entorno do núcleo metropolitano, o Rio de Janeiro, adensou-se à medida em que expandiam-se os domínios fabris. Esse processo de modernização e urbanização seguiu os moldes da industrialização tardia que chegava aos poucos ao Brasil. O processo consolidou as periferias nos entornos do núcleo urbano, sendo aos poucos ocupadas por trabalhadores de fábricas, como a CSN, em Volta Redonda, ou a descentralização comercial no Rio de Janeiro. Dessa forma, adensaram-se fábricas não necessariamente no centro da cidade do Rio de Janeiro, até esse

momento Distrito Federal, mas sim nas regiões de entorno, modulando tanto nas formas quanto no conteúdo o projeto do que hoje se apresenta como a periferia da região metropolitana do estado do Rio de Janeiro.

Hoje é possível nomear boa parte dessa área de borda da região metropolitana de Baixada Fluminense, comportando municípios que ligam toda a borda metropolitana, ao redor da cidade do Rio de Janeiro. Desde o início de seu processo de construção, diversas rodovias foram construídas, como forma de aumentar a integração entre o Rio e outros estados. Assim foram criadas as BRs, as rodovias federais e estaduais. Recentemente diversos empreendimentos e construções continuam proporcionando uma integração ainda maior entre esses municípios e essa cidade, mas não apenas isso.

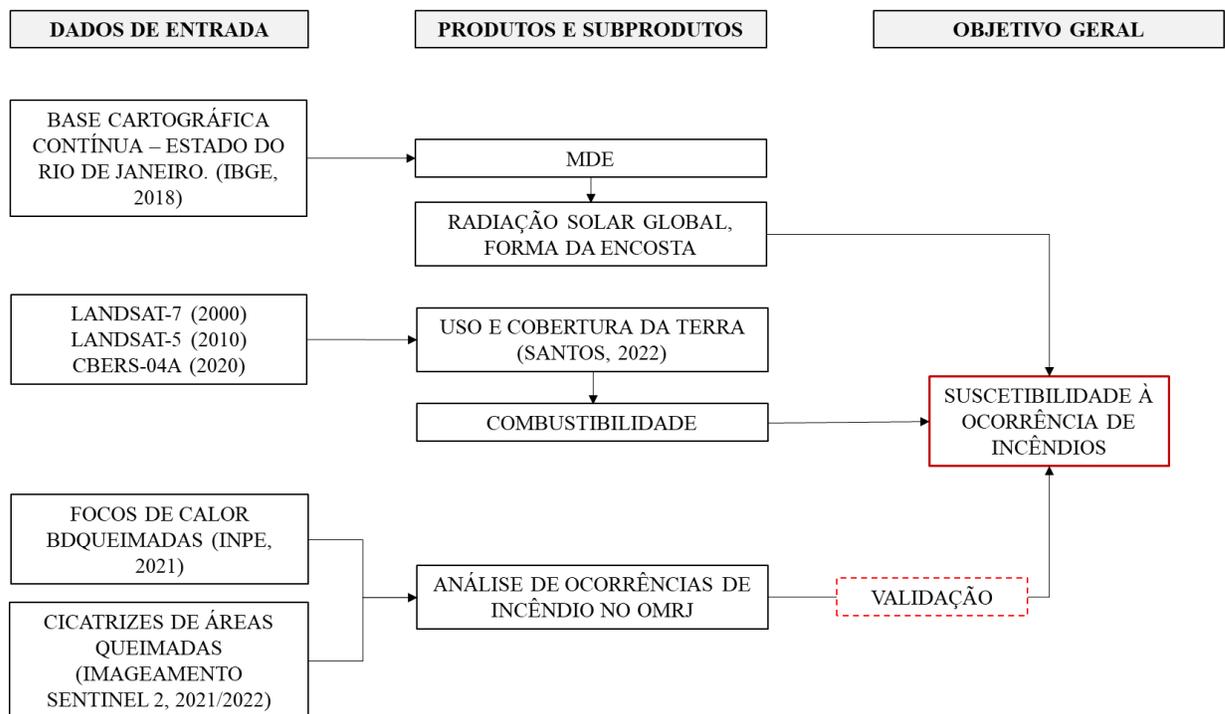
Pela localização, principais rodovias de acesso a esses municípios também funcionam como vias que se interligam com outros importantes estados como Minas Gerais e São Paulo, especialmente após a ocorrência dos grandes eventos, como o Pan 2007, a Copa 2014 e as Olimpíadas 2016, a cidade do Rio ganhou alta visibilidade mundial. Com esse processo, uma reformulação urbana foi implementada, na tentativa de contemplar as grandes movimentações que ocorreriam durante os eventos. Assim, surgiram novas rodovias como o arco metropolitano que liga toda a borda metropolitana, além de fazer eixo de ligação com as principais rodovias municipais e estaduais e federais. Incluem-se aí a rodovia Pres. Dutra, a Av. Brasil e as demais BRs presentes no entorno.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A suscetibilidade à ocorrência de fogo em vegetação é calculada, neste trabalho, a partir de três variáveis ambientais: curvatura da encosta, radiação solar global e combustibilidade da vegetação. Para estimar essas variáveis, foram utilizados dados de entrada como a base cartográfica do Rio de Janeiro do IBGE, em uma escala de 1:25.000 (IBGE, 2018) que deu origem ao Modelo Digital de Elevação (MDE) do qual foram extraídos produtos de radiação solar global e curvatura das encostas. Já como indicador de combustibilidade da vegetação foi utilizado o mapa de uso e cobertura realizado a partir de imageamento dos satélites Landsat-5, Landsat-7 e CBERS-04A (Santos, 2022). Para trazer informações sobre a ocorrência das queimadas e auxiliar no processo de validação das áreas mais suscetíveis, foram acrescentadas amostras de áreas atingidas pelo fogo, denominadas de “cicatrices de queimadas” e um histórico de focos de calor dos satélites AQUA (2002 a 2021).

As cicatrizes foram obtidas a partir do processamento de imagens do satélite Sentinel-2 nos anos de 2020 e 2021 e permitem obter extensão territorial e localização geográfica das ocorrências. Essas informações auxiliam na validação da constância das áreas mais suscetíveis ao fogo, uma vez que o período de análise de cicatrizes representa exemplos de ocorrências após os recortes temporais do período estudado, ou seja, os anos de 2000, 2010 e 2020. Já os focos de calor foram obtidos a partir do Banco de Dados de Queimadas do INPE, levando em consideração todos os focos registrados pelo satélite AQUA na região, desde seu lançamento em 2002 até o ano de 2021, posterior ao recorte temporal desta pesquisa.

Espera-se associar essas informações para desenvolver os estudos de suscetibilidade nos anos mencionados, permitindo assim uma avaliação da dinâmica do fogo na região. O fluxograma da figura 6 permite identificar as principais etapas do processo metodológico utilizado na pesquisa.



**Figura 6:** Fluxograma metodológico geral.

#### 4.1. Satélites utilizados

Os principais produtos gerados através do estudo foram obtidos a partir de imagens de satélite, dos quais destacam-se quatro: Landsat-5, Landsat-8, CBERS-04A e SENTINEL-2. Em todas os casos de satélites, foram escolhidos os produtos com níveis de correção dos números digitais para reflectância do topo da superfície. As características, informações técnicas e aplicações de cada um desses satélites e seus sensores serão descritas a seguir.

##### 4.1.1. LANDSAT-5:

A missão Landsat (Land Remote Sensing Satellite), gerenciada pela NASA e USGS iniciou-se como projeto na década de 1960 e teve seu primeiro satélite lançado em 1972 (Landsat-

1). Possui em sua trajetória um total de 9 satélites, dos quais os cinco primeiros, incluindo o próprio Landsat-5, já foram desativados. Este satélite foi lançado em 1984 e desativado em 2011, sendo um dos satélites mais utilizados no sensoriamento remoto até hoje, por conta de suas características, por ser disponibilizado gratuitamente pela USGS e por ter imageado um longo período, considerando que seus produtos continuam disponíveis até hoje. No quadro 1 é destacado o sensor utilizado para os processamentos, bem como suas características:

**Quadro 1:** Informações técnicas do satélite Landsat-5.

Satélite	Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
LANDSAT-5	TM (Thematic Mapper)	(B1) Azul	0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	185 km	8 bits
		(B2) Verde	0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$				
		(B3) Vermelho	0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$				
		(B4) Infravermelho próximo	0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$				
		(B5) Infravermelho médio	1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$	120 m			
		(B6) Infravermelho termal	10.4 - 12.5 $\mu\text{m}$				
		(B7) Infravermelho médio	2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$	30 m			

Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2023.

O produto gerado pela imagem do satélite Landsat-5 foi o mapeamento de uso e cobertura da terra de 26 de Agosto de 2010 (SANTOS, 2022), que servirá como base para as análises de combustibilidade e suscetibilidade desse ano. Para os mapas de combustibilidade e suscetibilidade foi utilizado o método de reamostragem do QGIS através do algoritmo “vizinho mais próximo”, onde os pixels de 30m de resolução das imagens geradas pelo sensor TM foram reamostrados para 16,5 m, resolução do satélite CBERS-04A que foi utilizada como padrão também para os outros mapeamentos.

#### 4.1.2. LANDSAT-7

Também faz parte da missão Landsat. Este satélite foi lançado no ano de 1999, com 8 bandas espectrais, sendo muito utilizado para a análise de dinâmicas terrestres. Em maio de 2003, o Landsat-7 apresentou problemas técnicos, e todas as imagens registradas a partir dessa data

necessitam de correção. As imagens de seu acervo de antes dos problemas começarem a ocorrer, permanecem com sua qualidade original. Por esse motivo, o satélite foi utilizado para o mapeamento de uso e cobertura do ano 2000, enquanto em 2010, foi necessário utilizar imagens do Landsat-5 (SANTOS, 2022). O quadro 2 apresenta as especificações do Landsat-7.

**Quadro 2:** Informações técnicas do satélite Landsat-7

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	(B1) AZUL	0.45-0.515 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	183 km	8 bits
	(B2) VERDE	0.525-0.605 $\mu\text{m}$				
	(B3) VERMELHO	0.63 - 069 $\mu\text{m}$				
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$				
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$	60 m			
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 - 12.5 $\mu\text{m}$	30 m			
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.09 - 2.35 $\mu\text{m}$	15 m			
	(B8) PANCROMÁTICO	0.52 - 0.90 $\mu\text{m}$				

Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2023.

#### 4.1.3. CBERS-04A

O programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) iniciado por uma parceria Brasil-China, em 1988, geridas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial), lançou ao todo 6 satélites. O mais recente CBERS-04A foi utilizado como base para a análise de uso e cobertura do ano de 2020, aproveitando a resolução espacial do sensor MUX, que proporciona um bom nível de detalhamento ao mapeamento. Sua resolução foi utilizada como padrão para o restante dos processamentos, com todos os produtos gerados ou reamostrados para 16,5m, conforme apresentado no quadro 3.

**Quadro 3:** Informações técnicas do sensor MUX/CBERS-04<sup>a</sup>.

Satélite	Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
CBERS-04A	MUX	(B) Azul	0,45 - 0,52 $\mu$ m	16,5 m	26 dias	120 km	8 bits
		(G) Verde	0,52 - 0,59 $\mu$ m				
		(R) Vermelho	0,63 - 0,69 $\mu$ m				
		(NIR) Infravermelho próximo	0,77 - 0,89 $\mu$ m				

Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2023; INPE, 2023

#### 4.1.4 SENTINEL-2

A missão Sentinel, da ESA (European Spatial Agency), é mais recente se comparada ao CBERS e ao Landsat. O primeiro satélite da série foi lançado em 2014 e atualmente, 7 satélites da missão estão em órbita. O Sentinel-2 foi lançado em 2015, com o objetivo de monitorar vegetação, solos e áreas costeiras. De todos os satélites abordados aqui, é o que apresenta a maior resolução temporal, com menor tempo de revisita (5 dias), o que caracteriza sua importância como satélite de monitoramento. Possui em sua estrutura, o sensor MSI, composto por 13 bandas, o que o torna muito útil para análises de comportamento espectral, como índices, classificação de imagens, álgebra de mapas, entre outros recursos. No quadro 4 abaixo, pode-se ver algumas de suas características:

**Quadro 4:** Informações técnicas do satélite SENTINEL-2

Satélite	Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
SENTINEL-2	MSI	(B2) Azul	0,45 - 0,52	10m	5 dias	290 Km	12 bits
		(B3) Verde	0,54 - 0,57				
		(B4) Vermelho	0,65 - 0,68				
		(B8) Infravermelho próximo	0,78 - 0,90				
		(B05) Red edge 1	0,69 - 0,71	20m			
		(B06) Red edge 2	0,73 - 0,74				
		(B07) Red edge 3	0,77 - 0,79				
		(B08A) Red edge 4	0,85 - 0,87				
		(B11) SWIR 1	1,56 - 1,65				
		(B12) SWIR 2	2,10 - 2,28	60m			
		(B01) Aerosol	0,42 - 0,45				
		(B09) Vapor d'água	0,93 - 0,95				
		(B10) Cirrus	1,36 - 1,39				

Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2023; ESA, 2023

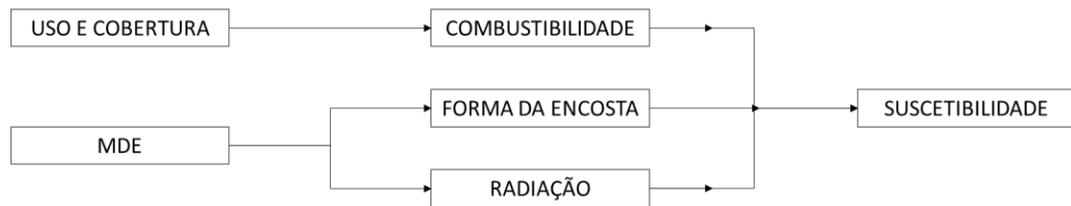
Os produtos deste satélite também são disponibilizados gratuitamente, o que o torna também tão utilizado em estudos de sensoriamento remoto. Neste trabalho, as imagens do Sentinel-2 foram utilizadas para a localização e delimitação de cicatrizes de áreas queimadas, a partir da composição R12-B8-G4, que destaca melhor os rastros deixados pelo fogo em solo vegetado.

#### 4.2. Análise de suscetibilidade

As ferramentas de geoprocessamento permitem comparar diferentes variáveis espaciais. Uma das formas é a partir do método analítico-integrativo (Coelho Netto et al., 1993) que permite ao pesquisador levantar um determinado número de características relevantes para o estudo em um mapeamento comparativo de variáveis por meio de combinação booleana (Tomzhinski, 2012).

A utilização de variáveis ambientais que possam influenciar em eventuais potencialidades, permitem localizar a maior probabilidade de ocorrência de determinados fenômenos. No caso da

ocorrência de fogo em vegetação, identificar áreas mais suscetíveis a esses eventos torna-se fundamental para o estudo. No entanto, é necessário um levantamento de fatores importantes que influenciem este tipo de condição. Sousa et al. (2010), apontam alguns fatores fundamentais: radiação solar global, forma da encosta e combustibilidade. Os dois primeiros fatores estão relacionados a um modelo digital de elevação (MDE), enquanto a combustibilidade é um dos produtos do mapeamento de uso e cobertura da terra, conforme será visto mais adiante. A metodologia está representada no fluxograma (Figura 7):



**Figura 7:** Fluxograma metodológico da análise de suscetibilidade.

Os dados têm como finalidade ajudar a compor uma caracterização ambiental que será de fundamental importância para o desenvolvimento da análise da dinâmica de suscetibilidade no OMRJ. O quadro 5 pode representar melhor as relações entre os dados e as informações esperadas na pesquisa.

**Quadro 5: Dados e processos metodológicos**

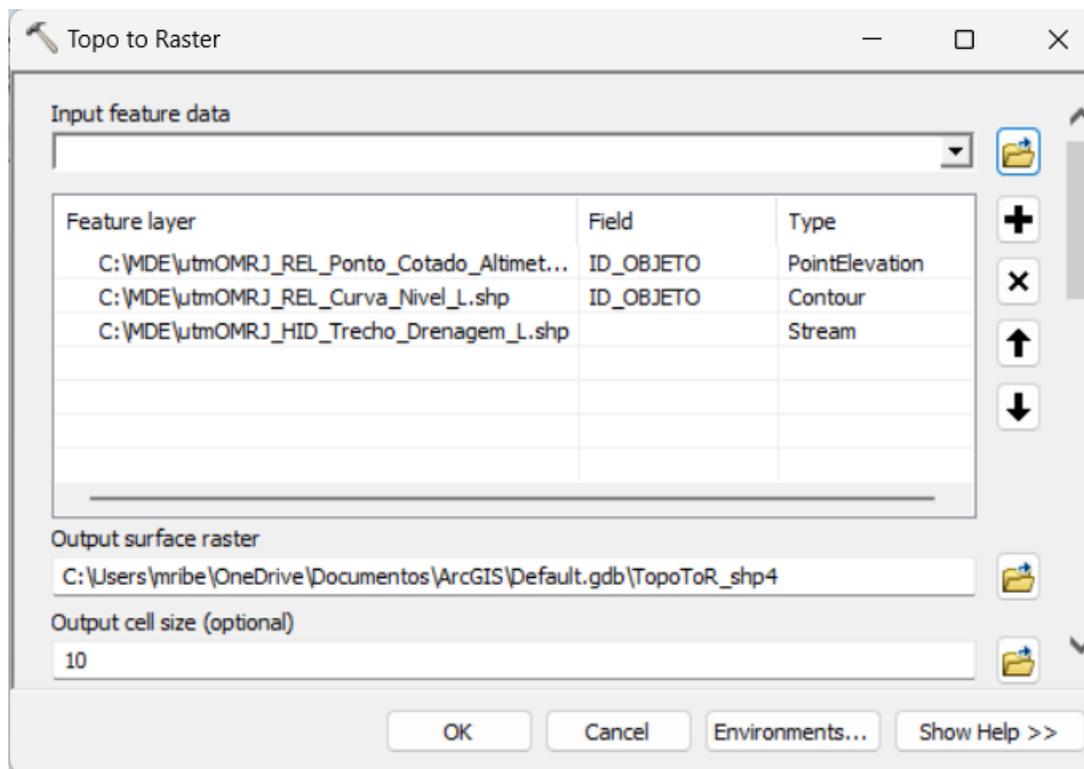
Dados de Entrada	Descrição	Produtos	Subprodutos
Base Contínua Cartográfica RJ 25 (IBGE, 2018)	Base cartográfica de dados para o estado do Rio de Janeiro em uma escala 1:25.000 com diversas variáveis, dentre as quais foram utilizadas pontos cotados, curvas de nível e hidrografia para geração de modelo digital de elevação (MDE).	Modelo Digital de Elevação (MDE).	Forma da encosta, radiação solar global.
Imagens de Satélite (Imagens LANDSAT-7, 2000)	Imagens referentes ao inverno, sem interferência de nuvens. LANDSAT-7, sensor TM. Res. Espacial: 30m. Data do imageamento: 22/08/2000.	Mapeamento de uso e cobertura da terra. (SANTOS, 2022)	Combustibilidade da vegetação.
Imagens de Satélite (Imagens LANDSAT-5, 2000)	Imagens referentes ao inverno, sem interferência de nuvens. LANDSAT-5, sensor ETM+. Res. Espacial: 30m. Data do imageamento: 26/08/2010.		
Imagens de Satélite (Imagens CBERS-04A, 2020)	Imagens referentes ao inverno, sem interferência de nuvens. CBERS-04A, sensor MUX. Res. Espacial: 16,5m. Data do imageamento: 18/09/2020.		
Focos de calor - BDQueimadas (INPE, 2021)	Registros de assinaturas espectrais por imageamento de satélite, disponibilizado pelo INPE através do banco de dados de queimadas. São considerados pontos registrados pelo satélite AQUA.	Densidade de ocorrência de fogo no OMRJ - Série AQUA (2002-2021)	Comparação com outras variáveis urbanas e ambientais.
Imagens Sentinel 2, sensor MSI (2021-2022)	Imagens do satélite SENTINEL 2, sensor MSI. Res. Espacial: 20m. RGB: 12-8-4.	Vetorização de polígonos de áreas queimadas.	Extensão de áreas queimadas por classe de suscetibilidade no OMRJ, para estimar a assertividade dos produtos.

Fonte: Elaboração própria.

Para gerar o mapa de suscetibilidade, esses três mapas foram associados, adaptando a metodologia de Sousa et al. (2010), onde foram atribuídos graus de suscetibilidade de acordo com o comportamento comparativo entre esses fatores. Nos próximos itens, cada um dos fatores será explicado com sua importância para a construção do modelo de suscetibilidade.

#### 4.2.1 Modelo digital de elevação

O modelo digital de elevação foi obtido a partir da interpolação das curvas de nível, pontos cotados e hidrografia disponibilizadas na base de dados contínuos do Rio de Janeiro, em uma escala 1:25.000 (IBGE, 2018). A interpolação foi realizada pela ferramenta *topo to raster* disponível no *software* ArcGIS, apresentando a seguinte configuração (Figura 8):



**Figura 8:** Parâmetros utilizados para gerar o MDE.

Para a ferramenta, foram utilizadas então as três camadas, com diferentes configurações de tipo. Os pontos cotados foram configurados como *point elevation* para obter a altitude dos pontos, as curvas de nível foram configuradas como *contour* para interpolar as linhas topográficas, e por fim os trechos de drenagem foram configurados como *stream* que servirão como linhas de quebra para a construção do modelo. O resultado é uma representação topográfica do relevo do OMRJ, variando de altitudes próximas ao nível do mar até 1268 metros, que poderão ser vistos na seção de resultados.

A importância do MDE em sua aplicação vai além da visualização das características do relevo, servindo também como base para a geração de informações valiosas, como a forma da encosta e a radiação solar global, que serão abordados nos próximos tópicos. Ambos são obtidos tendo como base o MDE, reiterando a importância de se utilizar um modelo preciso.

#### 4.2.2 Curvatura da Encosta

A curvatura da encosta é o que indica os tipos de angulação de um determinado terreno que podem interferir na movimentação de massas. Valeriano (2018) em seu estudo sobre o SRTM, para

o projeto Topodata (INPE, 2008) aborda três tipos de formas: côncava, convexa e plana. Para essa classificação, o autor aponta os *pixels* de valores negativos como correspondentes a áreas côncavas. Já para a forma convexa, os *pixels* correspondem a valores positivos, trazendo ainda o intervalo entre essas duas ocorrências, variando de -0,01 a 0,01, classificando assim as áreas plana, conforme Quadro 6.

**Quadro 6:** Valores reclassificados de curvatura da encosta.

CURVATURA	RECLASSIFICAÇÃO	FORMA
-56,2 — -0,01	1	CÔNCAVA
-0,01— 0,01	2	PLANA
0,01 — 33	3	CONVEXA

Fonte: Adaptado de Valeriano (2018).

**Côncava:** Uma encosta côncava é aquela que se curva para dentro, formando uma espécie de depressão ou concavidade no terreno. Essa forma de encosta tende a acumular sedimentos, água e matéria orgânica nas áreas mais baixas, devido à inclinação para dentro. Isso pode resultar em maior estabilidade do solo, reduzindo a movimentação de massas, como deslizamentos de terra. O acúmulo de matéria orgânica devido à forma côncava pode manter a umidade no solo, tornando-o menos suscetível à propagação do fogo. Isso ocorre porque a umidade é um fator crítico na capacidade de combustão da vegetação.

**Plana:** Uma encosta plana é caracterizada por uma superfície praticamente nivelada, sem inclinações acentuadas. Nas encostas planas, os sedimentos tendem a ser depositados ao longo da superfície, sem muita movimentação. Isso pode levar à formação de áreas de deposição, como planícies aluviais. Em encostas planas, a dispersão de sedimentos pode resultar em menor umidade concentrada, tornando o solo mais suscetível à propagação do fogo, pois a matéria orgânica pode secar mais rapidamente.

**Convexa:** Uma encosta convexa se curva para fora, criando uma superfície inclinada para longe do centro da concavidade. A forma convexa tende a promover a dispersão de sedimentos e da matéria orgânica, o que pode aumentar o risco de erosão e movimentação de massas. A dispersão dos sedimentos em encostas convexas pode resultar em uma menor concentração de umidade no solo, tornando-o mais seco e inflamável. Isso torna essas áreas mais propensas à propagação do fogo.

Em outras palavras, o maior acúmulo de matéria orgânica proporciona a umidade, sendo um valor inversamente proporcional à propagação do fogo. Já áreas com maior dispersão, possuem menor umidade concentrada, e maior ressecamento da matéria orgânica, atuando de forma diretamente proporcional, sendo um dos fatores determinantes para a propagação do fogo.

Neste trabalho, foram utilizados os cursos de drenagem disponibilizados pelo Base Contínua Cartográfica do IBGE para o estado do Rio de Janeiro, em escala 1:25.000 (IBGE, 2018) para validar a aplicação desse intervalo de classes na análise de curvatura no OMRJ. Dessa forma constatou-se que a classificação é assertiva para aplicação na região. Pode-se observar a dinâmica

de acúmulo de matéria orgânica e umidade a partir da comparação dos valores de concavidade e convexidade (Valeriano, 2008) com os dados de drenagem (IBGE, 2018). As figuras 9 e 10 permitem a visualização dessa dinâmica:

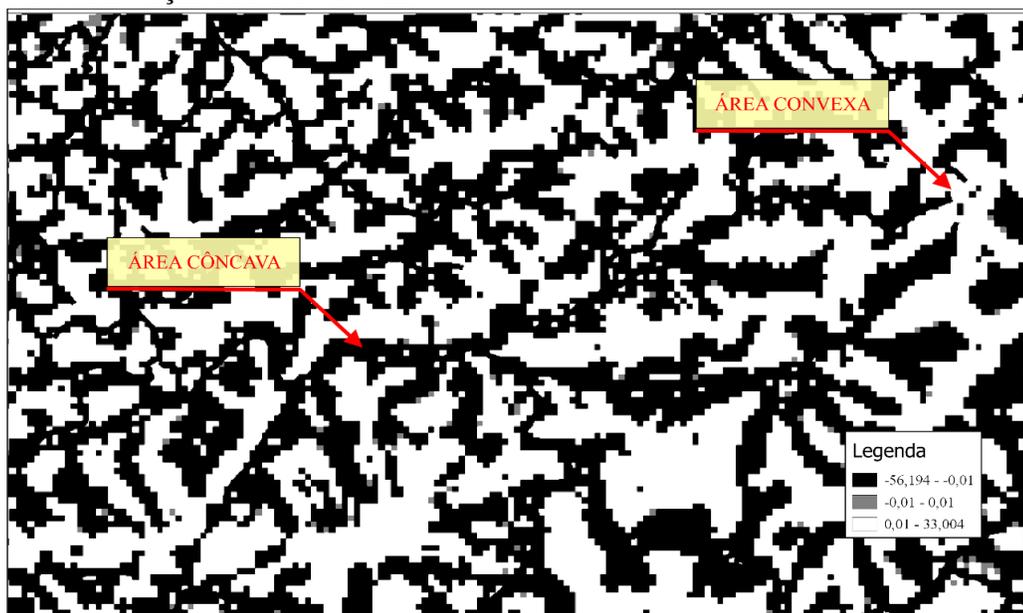


Figura 9: Exemplos de áreas côncavas e convexas na região.

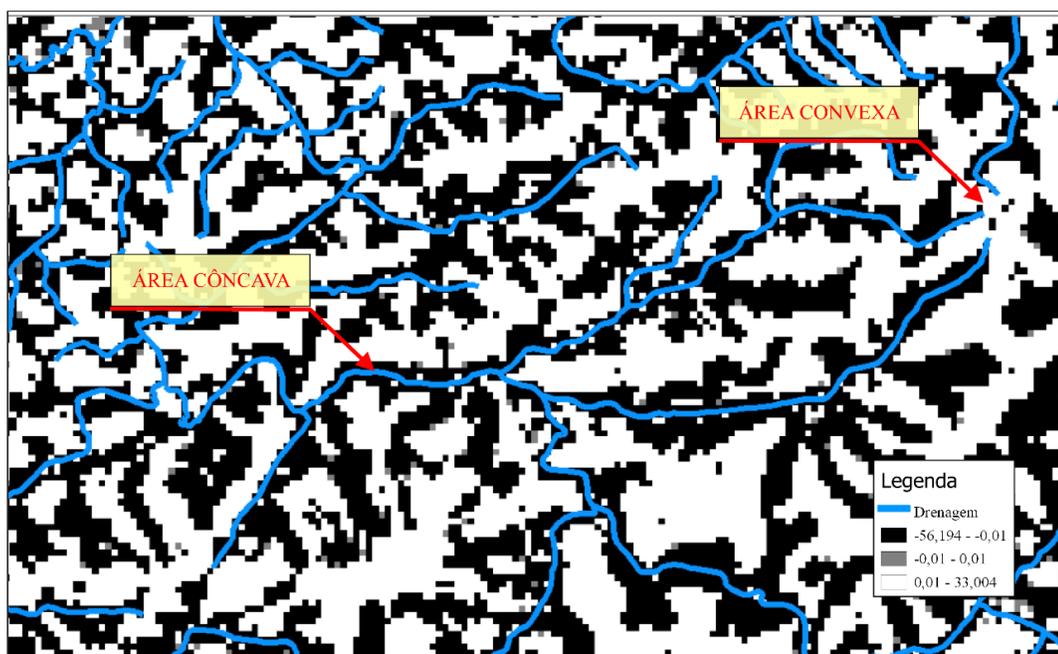


Figura 10: Comparação de áreas côncavas e convexas na região com trechos de drenagem.

Os trechos de drenagem seguem a forma do relevo. Como dito anteriormente, formas mais côncavas permitem o maior acúmulo de matéria orgânica e umidade. Em resumo, a relação entre as formas do relevo, os trechos de drenagem e a dinâmica da água desempenham papéis fundamentais na compreensão da dinâmica de movimento de massa no terreno, contribuindo ou impedindo a propagação do fogo em vegetação.

### 4.2.3 Radiação solar

A radiação solar global é um índice de cálculo da incidência de raios solares sobre uma determinada superfície. Ela foi calculada a partir do *software Arcgis 10.8*, ferramenta *Area Solar Radiation*. A unidade de medida utilizada para quantificar a radiação solar global é o Watt-hora por metro quadrado ( $W\ h/m^2$ ). Esta unidade expressa a quantidade de energia solar incidente por unidade de área ao longo de um determinado período de tempo. Portanto, calcular a radiação solar global envolve considerar a intensidade da luz solar que atinge uma superfície, considerando a angulação solar em relação ao relevo, em determinada hora do dia.

Para se obter como resultado um intervalo de valores para a radiação solar global incidida sobre determinado espaço, deve-se adotar alguns parâmetros, utilizando o MDE como base da angulação desejada para o cálculo da radiação. Em seguida, deve-se escolher o dia de incidência do estudo, tendo sido escolhido como base o dia 18 de setembro, data de obtenção da imagem CBERS-4A que gerou o mapa de uso e cobertura da terra para 2020. Além disso, está dentro do período do inverno, que representa uma estação mais seca que pode favorecer a ocorrência do fogo em vegetação.

O quadro 7 apresenta os valores de radiação reclassificados para baixa, média e alta intensidades a partir da quebra natural do histograma de valores.

**Quadro 7:** Valores reclassificados de radiação solar global.

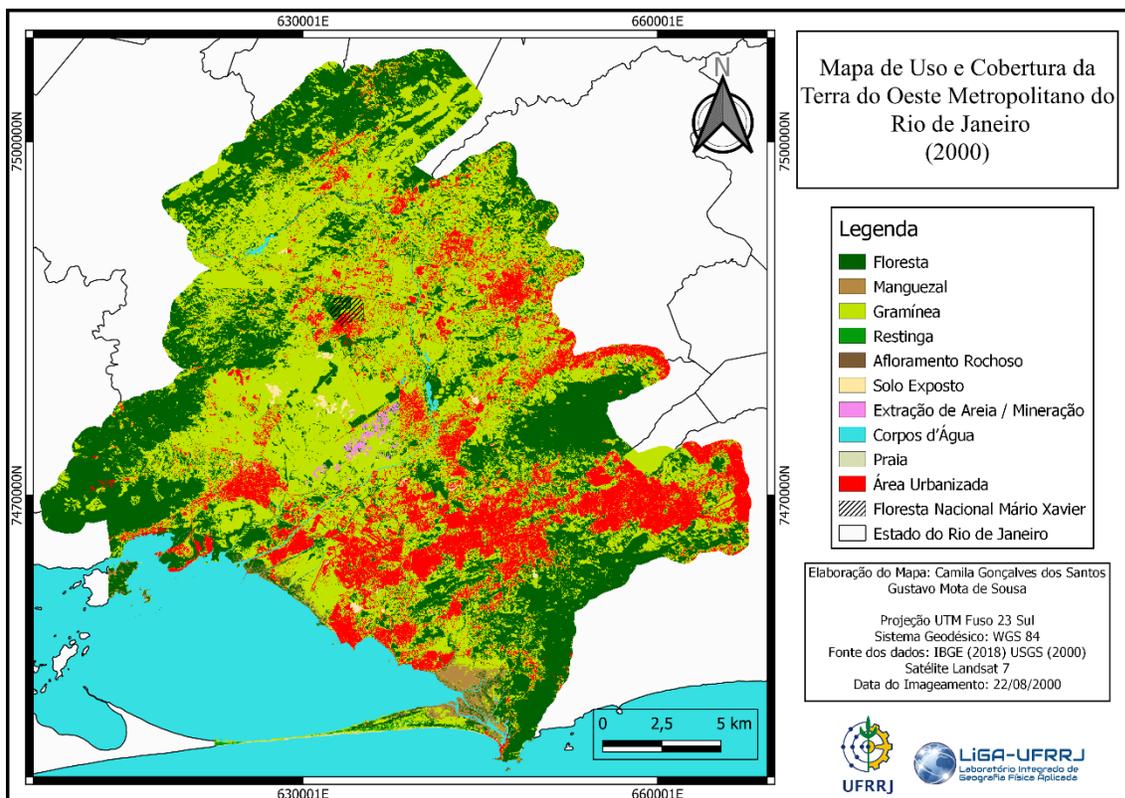
RADIAÇÃO ( $W\ h/m^2$ )	RECLASSIFICAÇÃO	INTENSIDADE
12436,36 — 270242,01	1	BAIXA
270242,01 — 347583,70	2	MÉDIA
347583,70 — 518132,06	3	ALTA

### 4.2.4 Uso e cobertura da terra

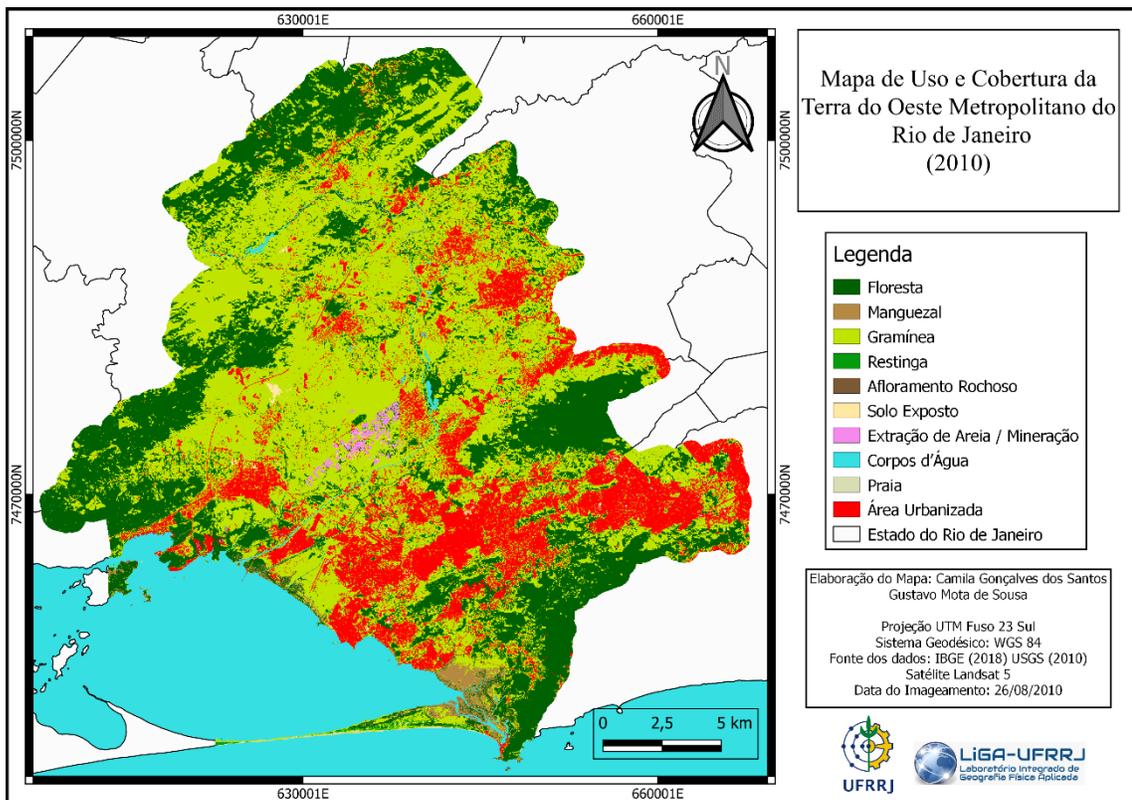
Os mapeamentos de uso e cobertura da terra trazem as características de ocupação de uma determinada área. No OMRJ, este mapeamento foi realizado por Santos (2022), a partir de imagens Landsat 7 e 5, utilizadas para os anos de 2000 e 2010, e o sensor MUX do satélite CBERS-04A para o ano de 2020. Os produtos foram processados pelo software QGIS, a partir do plugin *dzetsaka* para classificação supervisionada. Os índices de acurácia foram calculados a partir do plugin

acatama, também pelo QGIS. O ano de 2000 foi gerado com acurácia de 0,90, enquanto 2010 e 2020 obtiveram 0,88 e 0,89, respectivamente.

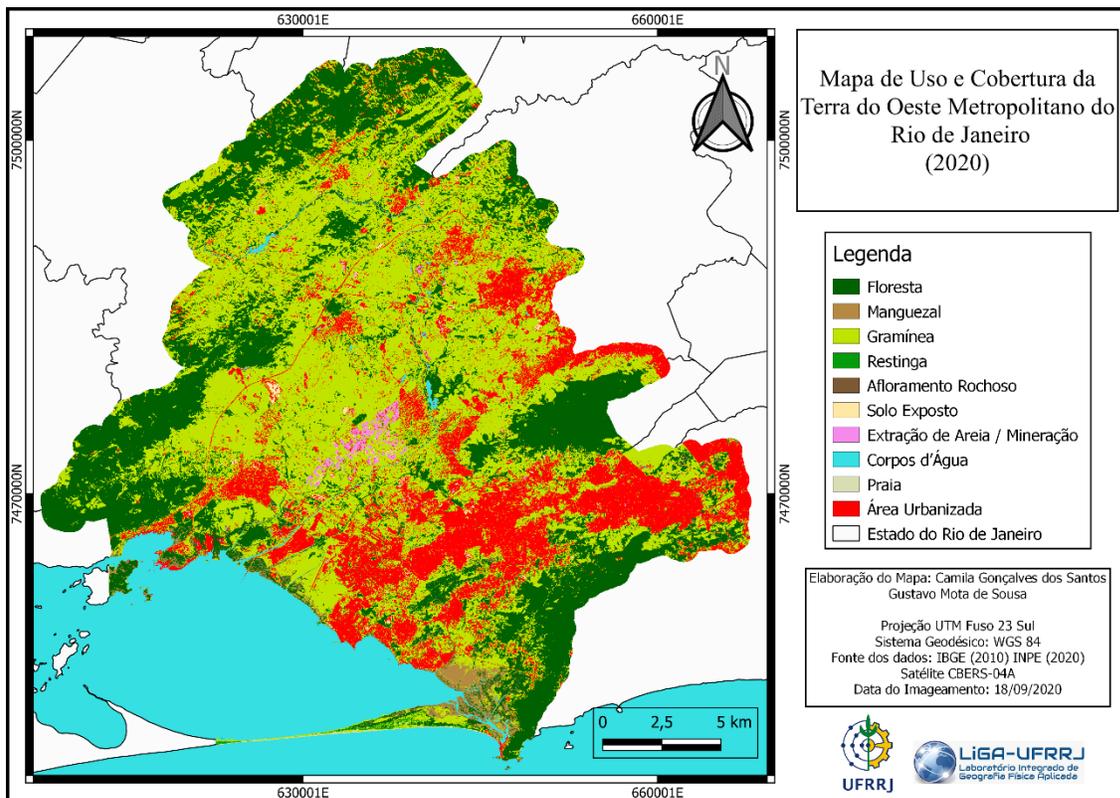
Verifica-se que o OMRJ possui características muito particulares, por se tratar de uma região de baixada em bioma de Mata Atlântica e ainda abarcar uma porção litorânea com áreas que abrangem a Baía de Sepetiba. A dispersão, sobretudo da vegetação, caracteriza-se principalmente pela grande ocorrência de gramíneas e floresta densa, aqui classificada apenas como “floresta”. Além disso, há forte concentração de área urbanizada, devido à ocupação da região, uma das mais populosas do estado. Foram observadas 10 classes de uso e cobertura da terra, floresta, manguezal, gramínea, restinga, afloramento rochoso, solo exposto, extração de areia/mineração, corpos d’água, praia e área urbanizada. A distribuição das classes pode ser melhor observada nas Figuras 11, 12 e 13 a seguir:



**Figura 11:** Classes de uso e cobertura (Ano 2000).



**Figura 12:** Classes de uso e cobertura (Ano 2010).



**Figura 13:** Classes de uso e cobertura (Ano 2020).

É válido ressaltar que, nesta pesquisa, o objetivo de trazer os mapas de uso e cobertura da terra é o de utilizá-los principalmente como base para a combustibilidade. Portanto, não se tem por objetivo realizar análises descritivas de suas classes de uso e cobertura, trazendo-as como resultados, mas sim fazer uso de seus atributos como insumo para o mapeamento da dinâmica de suscetibilidade.

#### 4.2.5 Combustibilidade

A combustibilidade é um dos fatores associados à ocorrência de fogo em vegetação, e sem dúvida um dos mais importantes. É essa variável que estima o quanto uma vegetação pode impactar na propagação do fogo, servindo como combustível. O termo “combustibilidade”, bem como suas classes de vegetação, é apresentado em trabalhos como Tomzhinski (2012), Sousa *et al.* (2010). Neste trabalho buscou-se adaptar essa metodologia para a realidade da área de estudo, que contempla uma região de baixada. Dessa forma, as vegetações e seus níveis de combustibilidade foram reclassificadas comparando as classes nesses estudos com as classes levantadas em Santos (2022).

Para gerar a combustibilidade, foi utilizado o mapeamento de uso e cobertura da terra (Santos, 2022), e para cada classe foi atribuído um valor de combustibilidade, variando de 1 a 3, sendo 1 baixa combustibilidade e 3, alta combustibilidade. Além disso, uma quarta classe, classificada como “0” representa as áreas não vegetadas, que foram excluídas das análises. A distribuição dos valores de combustibilidade pode ser melhor observada no Quadro 8.

**Quadro 8:** reclassificação de valores de uso e cobertura da terra para valores de combustibilidade.

USO E COBERTURA	RECLASSIFICAÇÃO	COMBUSTIBILIDADE
FLORESTA	1	BAIXA
MANGUEZAL	0	NÃO COMBUSTÍVEL
GRAMÍNEA	3	ALTA
RESTINGA	1	BAIXA
AFLORAMENTO ROCHOSO	0	NÃO COMBUSTÍVEL
SOLO EXPOSTO	0	NÃO COMBUSTÍVEL
EXTRAÇÃO DE AREIA/MINERAÇÃO	0	NÃO COMBUSTÍVEL
CORPOS D'ÁGUA	0	NÃO COMBUSTÍVEL
PRAIA	0	NÃO COMBUSTÍVEL
ÁREA URBANIZADA	0	NÃO COMBUSTÍVEL

Fonte: adaptado de Sousa et al. (2011)

#### 4.2.6. Análise de sobreposição de dados

Na análise booleana pelo método analítico-integrativo (Coelho Netto et al., 1993), é possível comparar os resultados de curvatura da encosta, radiação solar global e combustibilidade a partir de sua sobreposição. Uma vez que os valores originais foram reclassificados, essas classes podem agora ser associadas, de modo que o resultado final apresente as possíveis combinações de fatores. A análise final parte da distribuição de um intervalo de classes que varia da classe “não suscetível” à classe de “alta suscetibilidade”. Para apresentar melhor, temos o Quadro 9 abaixo:

**Quadro 9:** Tabela de combinação de valores de classe.

<b>Curvatura</b>	<b>Radiação solar global</b>	<b>Combustibilidade</b>	<b>Suscetibilidade</b>
Côncava	Baixa Radiação	Área não vegetada	Não Suscetível
Plana	Baixa Radiação	Área não vegetada	Não Suscetível
Convexa	Baixa Radiação	Área não vegetada	Não Suscetível
Côncava	Média radiação	Área não vegetada	Não Suscetível
Plana	Média radiação	Área não vegetada	Não Suscetível
Convexa	Média radiação	Área não vegetada	Não Suscetível
Côncava	Alta radiação	Área não vegetada	Não Suscetível
Plana	Alta radiação	Área não vegetada	Não Suscetível
Convexa	Alta radiação	Área não vegetada	Não Suscetível
Côncava	Baixa Radiação	Baixa combustibilidade	Baixa suscetibilidade
Plana	Baixa Radiação	Baixa combustibilidade	Baixa suscetibilidade
Convexa	Baixa Radiação	Baixa combustibilidade	Baixa suscetibilidade
Côncava	Média radiação	Baixa combustibilidade	Baixa suscetibilidade
Plana	Média radiação	Baixa combustibilidade	Média Suscetibilidade
Convexa	Média radiação	Baixa combustibilidade	Média Suscetibilidade
Côncava	Alta radiação	Baixa combustibilidade	Baixa Suscetibilidade
Plana	Alta radiação	Baixa combustibilidade	Média Suscetibilidade
Convexa	Alta radiação	Baixa combustibilidade	Média Suscetibilidade
Côncava	Baixa Radiação	Alta combustibilidade	Média Suscetibilidade
Plana	Baixa Radiação	Alta combustibilidade	Média Suscetibilidade
Convexa	Baixa Radiação	Alta combustibilidade	Média Suscetibilidade
Côncava	Média radiação	Alta combustibilidade	Média Suscetibilidade
Plana	Média radiação	Alta combustibilidade	Alta suscetibilidade
Convexa	Média radiação	Alta combustibilidade	Alta suscetibilidade
Côncava	Alta radiação	Alta combustibilidade	Alta suscetibilidade
Plana	Alta radiação	Alta combustibilidade	Alta suscetibilidade
Convexa	Alta radiação	Alta combustibilidade	Alta suscetibilidade

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2010).

Para dar alguns exemplos, podemos mostrar que formas côncavas implicam maior umidade, baixa radiação solar incidente, implica menor calor e vegetação de baixa combustibilidade não apresenta uma cobertura vegetal tão inflamável. Dessa forma, como todas as classificações anteriores apontam para pouca relação com uma possível ocorrência ao fogo, esse resultado foi classificado como baixo índice de suscetibilidade. Já áreas com alta radiação, cujo calor tende a aumentar, formas convexas que tendem a não acumular matéria orgânica úmida e vegetação com alta combustibilidade, cuja cobertura vegetal costuma ser mais inflamável, foram classificadas como áreas de alta suscetibilidade. Além disso, áreas sem cobertura vegetal foram classificadas como não combustíveis.

#### **4.6. Dados de Focos de Calor**

Para a análise da ocorrência de fogo no OMRJ, foram utilizadas duas fontes principais. A primeira delas, os focos de calor obtidos a partir do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esses dados de focos, utilizam-se de imagens de satélites com diferentes especificidades para a extração de pontos que possam indicar altas assinaturas de calor. Dentre os sensores desses satélites, destacam-se dois amplamente utilizados: os sensores VIIRS e MODIS (INPE, 2023).

O INPE utiliza o sensor MODIS como referência para análises, especificamente o sensor presente no satélite Aqua, com registros obtidos pela parte da tarde, desde o ano de 2002, contabilizando um histórico de 20 anos de registros. O sensor MODIS (NASA, 2023) possui resolução espacial de 1km para as bandas de detecção de focos de calor, e uma resolução temporal diária (NASA, 2022), o que o impulsiona como fonte de registro de focos de calor, sendo utilizado como satélite de referência para análise de queimadas no BDQueimadas (INPE, 2022)

O satélite Aqua ultrapassou sua expectativa de vida útil, de modo que necessite de substituição quanto à sua participação como satélite de referência. Por esse motivo, o INPE visa estabelecer outra opção como referência, considerando assim o sensor VIIRS, presente no satélite S-NPP. Este possui uma resolução de 375 metros, o que aumenta a precisão na localização de focos e registra uma quantidade superior à do primeiro satélite. Lançado em 2011, esse satélite é, para o INPE, o sucessor do Aqua e aos poucos vem ganhando espaço como satélite referência de análises pelo instituto (INPE, 2022). Esses dois tipos de dados de focos de calor são amplamente utilizados em pesquisas relacionadas ao fogo em vegetação, no entanto, neste momento da pesquisa será dada maior atenção à escala temporal dos registros. Considerando, portanto, a longevidade da vida útil do satélite Aqua e o longo período mapeado, além de sua utilização como satélite de referência do INPE, este será utilizado para analisar os focos de calor na região.

A escala temporal de 2002 a 2020, contempla o início dos registros históricos do satélite Aqua desde seu lançamento até o ano fim do recorte temporal escolhido para a pesquisa. Esse

período visa aproximar os recortes temporais da suscetibilidade e dos registros de focos de calor, no intuito de complementar o estudo das queimadas na região do OMRJ.

#### **4.6.1 Estimativa de densidade (Kernel)**

A estimativa de densidade de Kernel auxilia na identificação de padrões de distribuição espaciais, trazendo áreas com maior concentração de pontos de ocorrência de um determinado evento. Localizar as áreas de concentração é importante para identificar fatores que podem estar relacionados ao aumento desses focos, além de auxiliar na comparação com as áreas mais suscetíveis. A estimativa foi realizada a partir da ferramenta de interpolação estatística do QGIS, utilizando os pontos de focos de calor do satélite Aqua.

O estimador de densidade kernel desenha uma vizinhança circular ao redor de cada ponto da amostra, correspondendo ao raio de influência, e então é aplicada uma função matemática de 1, na posição do ponto, a 0, na fronteira da vizinhança. O valor para a célula é a soma dos valores kernel sobrepostos, e divididos pela área de cada raio de pesquisa (Silverman, 1986 *apud*. Souza, N. P. *et. al*, 2013).

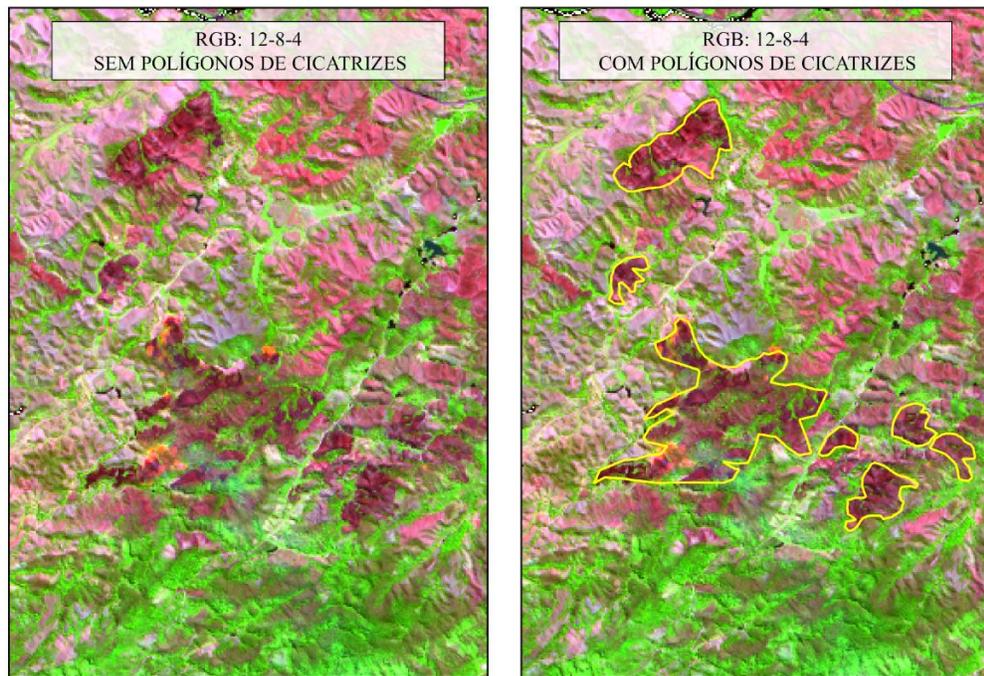
Os valores associados a essa estimativa de densidade foram um raio de 5 km por pixel de resolução 30 m. Posteriormente, os valores resultantes foram classificados em níveis de concentração “muito baixa” a “muito alta” por meio da quebra de valores contínuos, tendendo a 0 (muito baixa) ao número máximo de pontos interseccionados dentro do raio de 5 km (muito alta).

Nos resultados, é possível identificar as maiores densidades em sobreposição a outras variáveis. Para atingir esse objetivo, os arquivos *raster* resultantes do cálculo de kernel foram vetorizados por meio da ferramenta “poligonizar” no software QGIS, e desse produto foram extraídos apenas as classes acima da média de densidade.

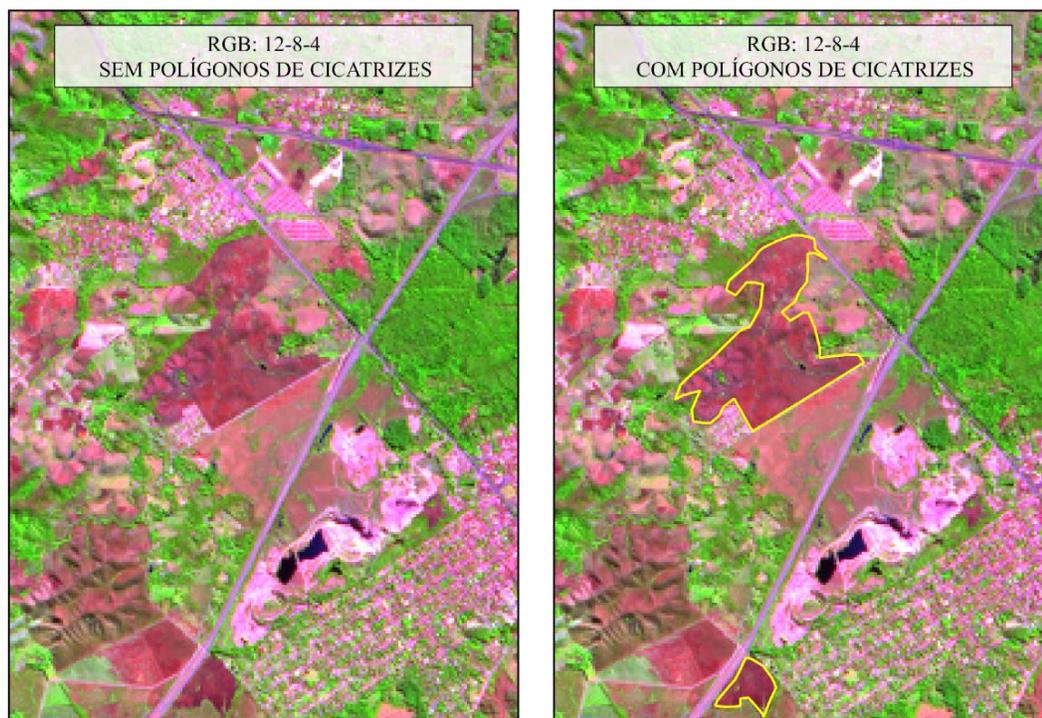
#### **4.7. Cicatrizes de áreas queimadas**

As cicatrizes de áreas queimadas são recortes espaciais obtidos de imagens de satélite que representam localidades atingidas pelo fogo, cuja vegetação tenha sofrido algum nível de impacto. Uma forma de acentuar a visibilidade das áreas queimadas é utilizando uma composição de cores RGB combinando frequências de diferentes bandas de um sensor óptico. Neste trabalho, foram utilizados dois anos recentes como referência: 2021 e 2022, com imagens do satélite Sentinel 2. A composição utilizada corresponde ao RGB 12-8-4, respectivamente infravermelho de ondas curtas (SWIR 2), infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED).

Após a composição de cores, as áreas são identificadas visualmente e, em seguida, vetorizadas, convertendo as áreas obtidas em polígonos. Ao todo, foram identificadas 38 cicatrizes para o ano de 2021 e 33 para o ano de 2022. A partir disso, é possível incorporar variáveis espaciais, como a extensão das áreas afetadas ou temporais, que permitem identificar áreas com recorrência de queima. Desta forma, tornam-se importantes para auxiliar na interpretação do modelo de suscetibilidade à ocorrência de fogo. Alguns exemplos de delimitação das cicatrizes podem ser vistos nas Figuras 14 e 15.



**Figura 14:** Exemplos de cicatrizes de áreas queimadas, evidenciadas pela composição RGB 12-8-4. Satélite SENTINEL-2 (Data: 26/08/2021)



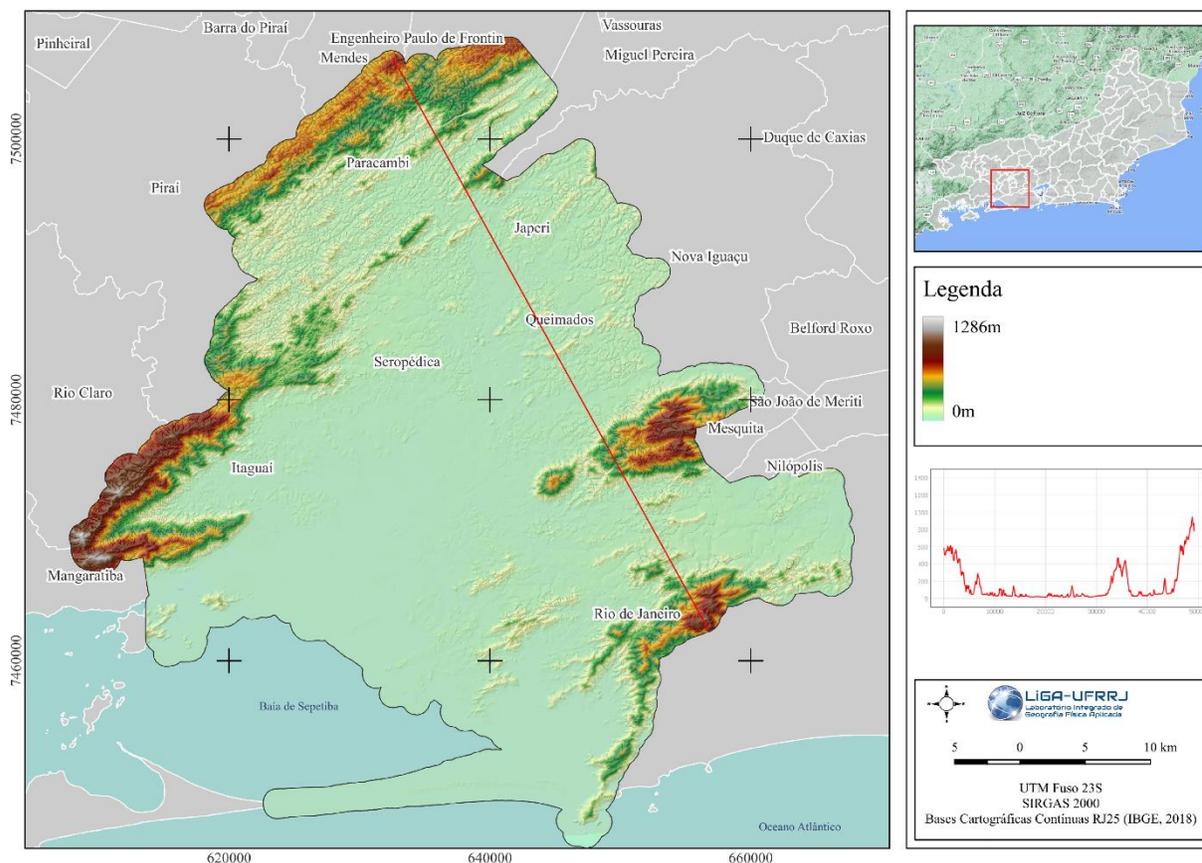
**Figura 15:** Exemplos de cicatrizes de áreas queimadas, evidenciadas pela composição RGB 12-8-4. Satélite SENTINEL-2 (Data: 01/08/ 2022)

## **5. RESULTADOS**

A partir da análise de dados, foi possível gerar os primeiros resultados para futura comparação, como o modelo digital de elevação, radiação solar global, forma da encosta, uso e cobertura da terra e combustibilidade que serão utilizados como dados de entrada para a construção do modelo de suscetibilidade.

### **5.1. Modelo Digital de Elevação**

Um dos principais produtos para a análise de suscetibilidade é o MDE, do qual serão geradas informações como a declividade, orientação, curvatura das encostas e radiação solar. Para caracterizar o relevo da região foi utilizada a base cartográfica disponibilizada pelo IBGE, em sua base contínua cartográfica RJ25, que contém dados em uma escala de 1:25.000. Neste caso foram utilizados os dados de curva de nível, pontos cotados e drenagem. O resultado pode ser observado na figura 16.



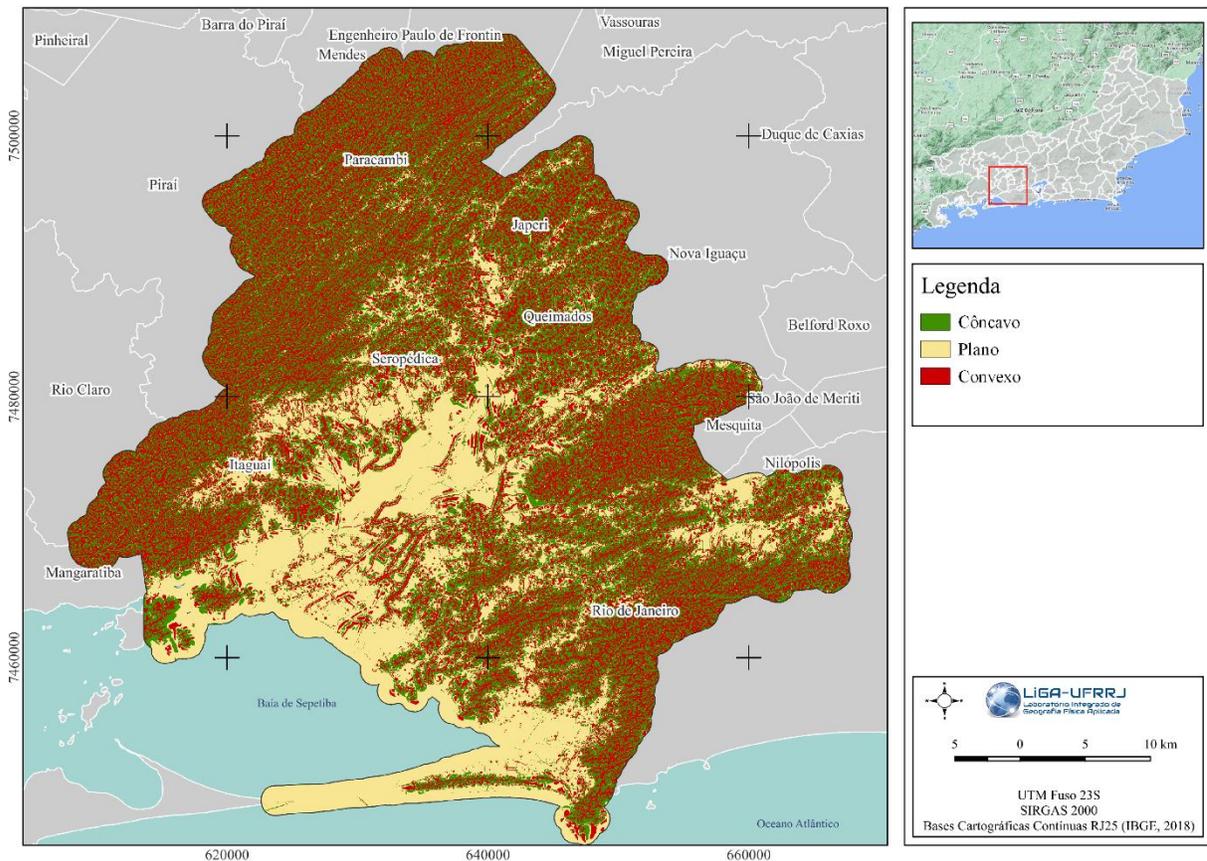
**Figura 16:** Modelo digital de elevação.

Pelo mapa é possível observar que a região está majoritariamente concentrada em uma área entre relevos de grande altitude, como as serras de Itaguaí, a serra do Mar, a norte de Paracambi, a Serra do Mendanha, na porção leste do recorte de Nova Iguaçu e o maciço da Pedra Branca na porção leste da AP-5 da cidade do Rio de Janeiro. Essa região de baixada favorece a concentração de uma parte considerável do fluxo hidrológico da região metropolitana do Rio de Janeiro, que contempla boa parte da Região Hidrográfica do Guandu, além do adensamento populacional e da ocorrência de grandes áreas de agricultura e pastagem.

A pouca variação do relevo na maior parte do território indica uma possível uniformidade na ocorrência de fogo, visto que em Sousa et al. (2010) a forma do relevo, caracterizada por côncavo, convexo ou plana, influencia na umidade da vegetação, o que consequentemente impacta na ocorrência do fogo, que tende a ser menor em áreas mais úmidas, como as côncavas. Dessa forma, uma região de relevo mais plana pode propiciar a maior ocorrência de fogo, visto que a distribuição da vegetação úmida pode ser menor, e a radiação solar incidente sobre a superfície pode afetar em maior grau essa mesma área vegetada. A distribuição da vegetação pode ser melhor analisada a partir dos mapas de uso e cobertura da terra.

## 5.2. Curvatura da encosta

Outro fator considerado para estimar a suscetibilidade é a curvatura da encosta que está associada ao fluxo de matéria orgânica, uma vez que a matéria está sujeita às ações da força gravitacional em conjunto com os ângulos de inclinação da encosta. Em outras palavras, algumas formas de relevo podem favorecer a convergência e conseqüentemente o acúmulo de matéria orgânica, como o caso de áreas côncavas, enquanto outros favorecem a divergência e a dispersão dessas matérias ao longo da encosta, como é o caso das áreas convexas. As áreas planas, nesse estudo concentram principalmente áreas não vegetadas, não sendo consideradas áreas sem movimentação de fluxo de matéria orgânica, portanto, média concentração. No OMRJ, grande parte da variação de formas de relevo se concentra nas áreas de maior elevação, nas proximidades dos maciços, ou, no caso das variações na área de baixada, podem ser verificadas ao longo de corpos hídricos, conforme figura 17.



**Figura 17:** Mapa de curvatura da encosta.

### 5.3. Radiação

Um dos fatores utilizados para estimar as áreas mais suscetíveis à ocorrência de fogo na vegetação é a de radiação. Na figura 18, é possível identificar a incidência de radiação solar, e como ela se distribui principalmente ao longo de superfícies planas e convexas do OMRJ. A alta incidência de radiação distribui-se pelas vastas áreas planares da baixada circundada pelos maciços que se encontram na região (Gericinó-Mendanha, Pedra Branca e a porção oeste da Serra do Mar). A radiação solar incidente pode estar associada à grande concentração urbana na área, visto que sua distribuição espacial abrange boa parte do território, aumentando também a concentração de calor e temperatura superficial.

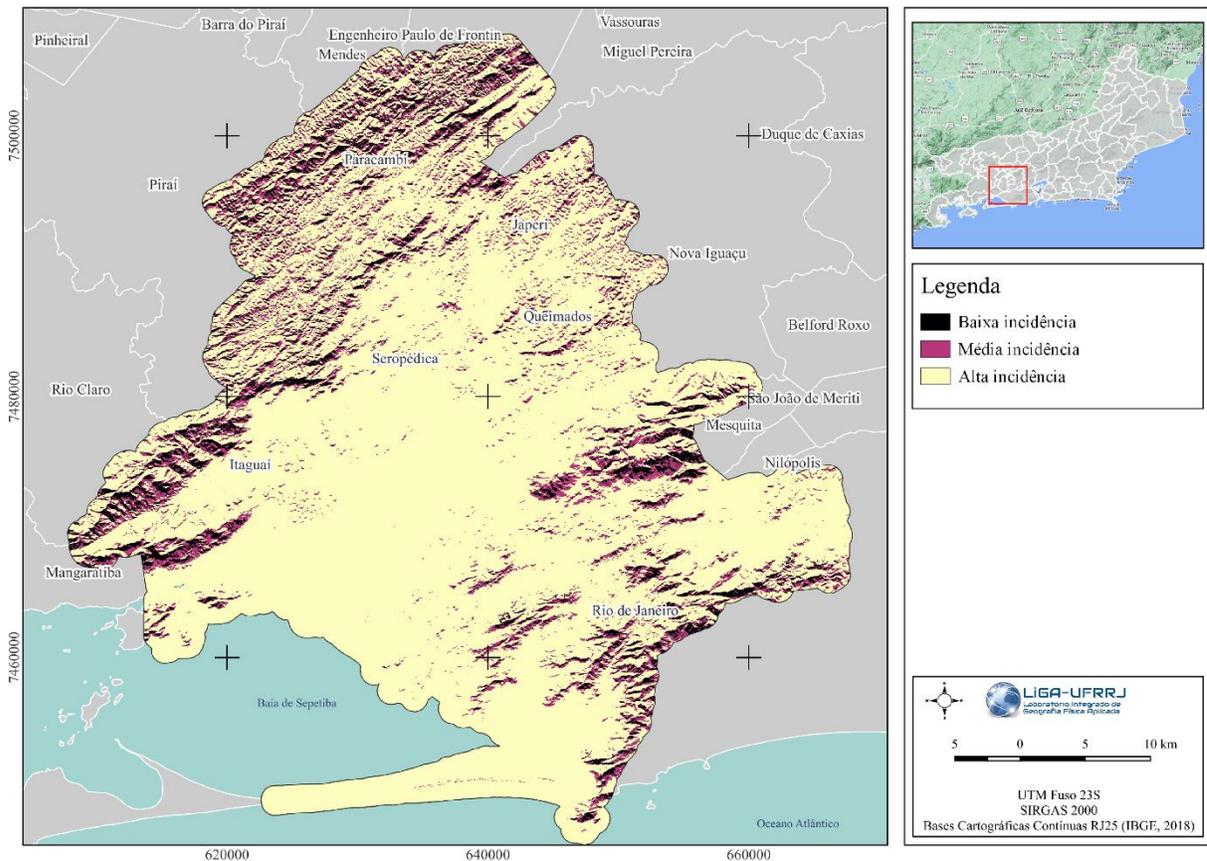


Figura 18: Mapa de incidência de radiação solar.

## 5. 4. Combustibilidade

O terceiro fator para avaliação da suscetibilidade no OMRJ é o da combustibilidade, que indica a probabilidade de ocorrência e propagação do fogo em diferentes qualidades de vegetação e outros elementos de uso e cobertura da terra, atribuindo valores graduais para cada uma das classes. Nesse caso, a combustibilidade foi gerada a partir de análises bibliográficas de trabalhos referências no estudo da temática do fogo em Mata Atlântica e que utilizavam classes semelhantes de uso e cobertura da terra, conforme apresentado na seção de materiais e métodos.

As classes foram compiladas entre três intensidades, alta, média e baixa combustibilidade, sendo altas as classes com maior probabilidade de propagação do fogo, e baixa as classes com menor probabilidade. Além disso, classes com áreas não vegetadas foram desconsideradas para a análise de combustibilidade e conseqüentemente para a suscetibilidade. Na figura 19, o exemplo da combustibilidade para o ano de 2020.

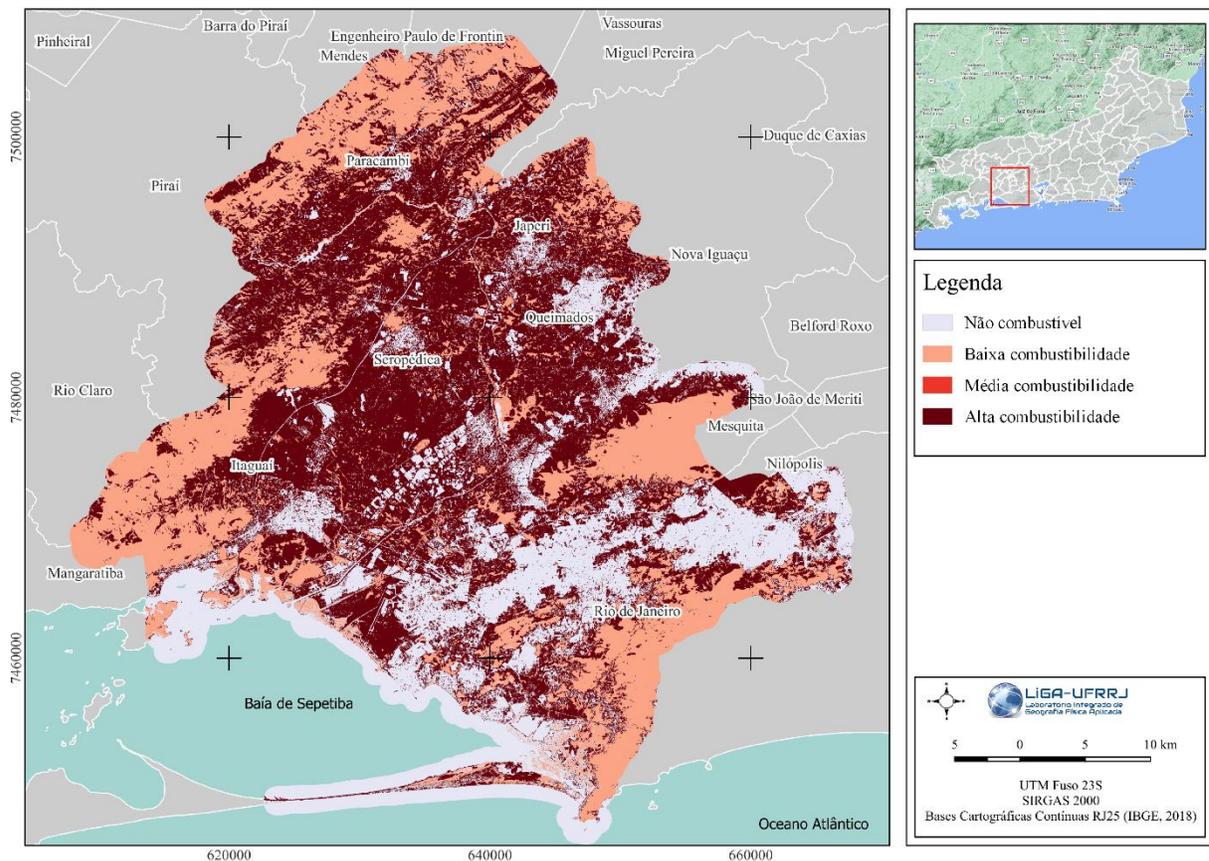
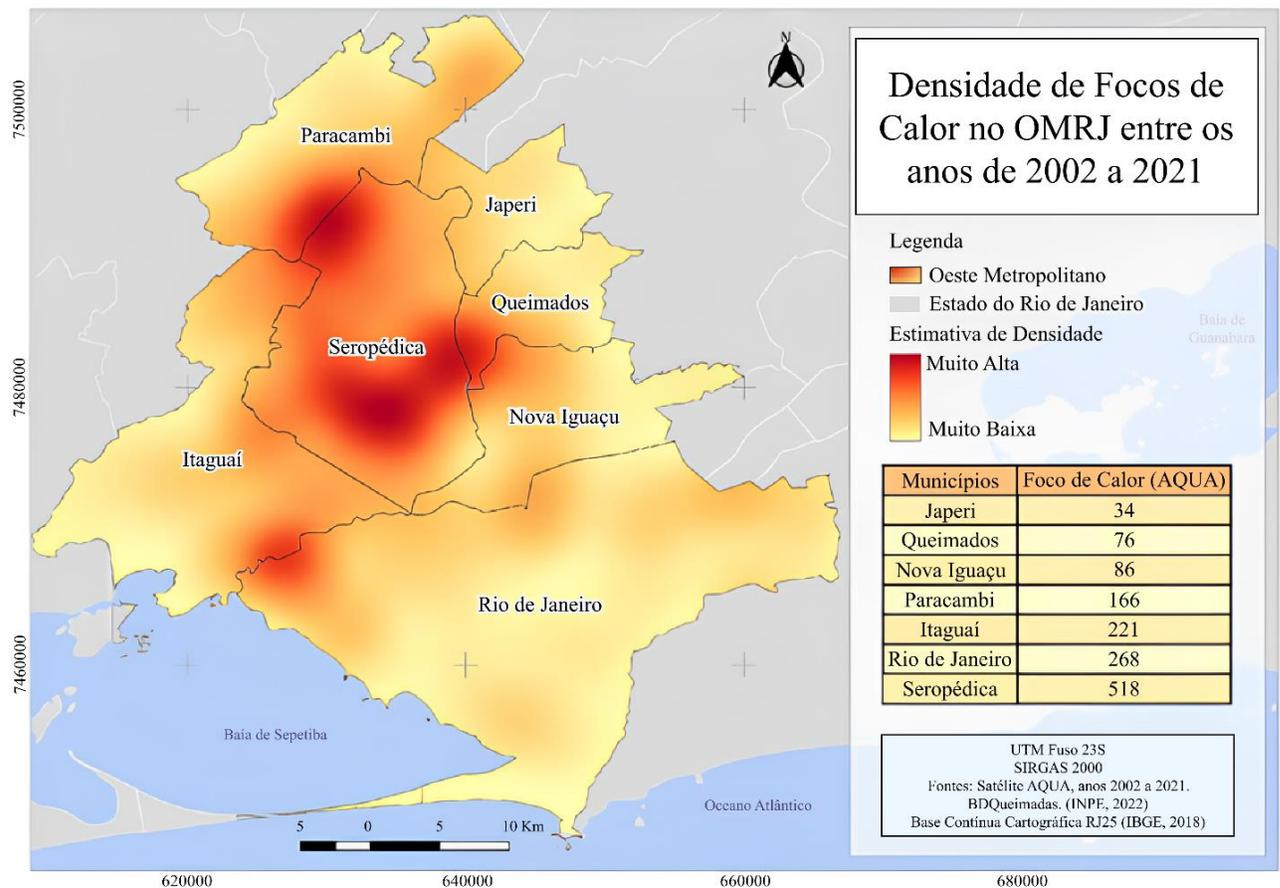


Figura 19: Mapa de combustibilidade.

### 5.5. Série Histórica de Focos de Calor no OMRJ

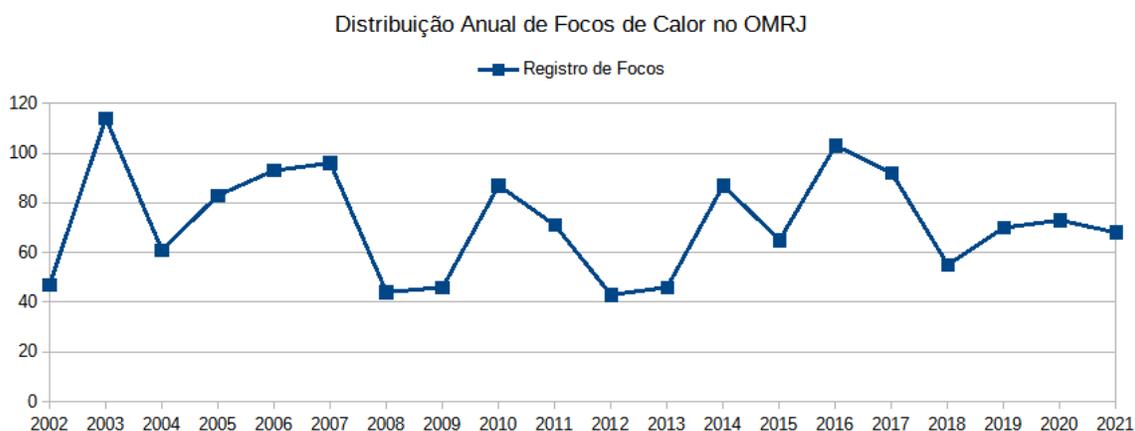
Foram realizados dois métodos complementares para a análise das queimadas no OMRJ considerando os dados de focos de calor do satélite Aqua. O primeiro deles consistiu na estimativa de densidade de focos que apresenta a concentração dos pontos ao longo da região. As manchas vermelhas representam as áreas de maior concentração, enquanto manchas de tonalidade amarelada representam as menores concentrações. Essa divisão varia dos graus “Muito baixa” concentração, com número de focos tendendo a 0 e “Muito alta”, com o número de 82 focos em uma zona de influência de 5km de raio ao redor dos pontos.

A segunda análise é a própria contabilização de registros de focos em cada feição da região metropolitana. Nela é possível ver a quantidade de focos por município. Nos casos de Nova Iguaçu e Rio de Janeiro, foram considerados apenas os focos concentrados dentro dos limites da OMRJ, uma vez que esses dois municípios são perpassados pelos limites da região. As duas análises foram compiladas em uma única representação cartográfica (figura 20), onde é possível observar no mapa a distribuição espacial da concentração de focos e no quadro do mapa a quantidade exata de focos registrados nas feições ao longo de toda a série histórica.



**Figura 20:** Estimativa de densidade de kernel, com dados de focos de calor entre 2002 e 2021.

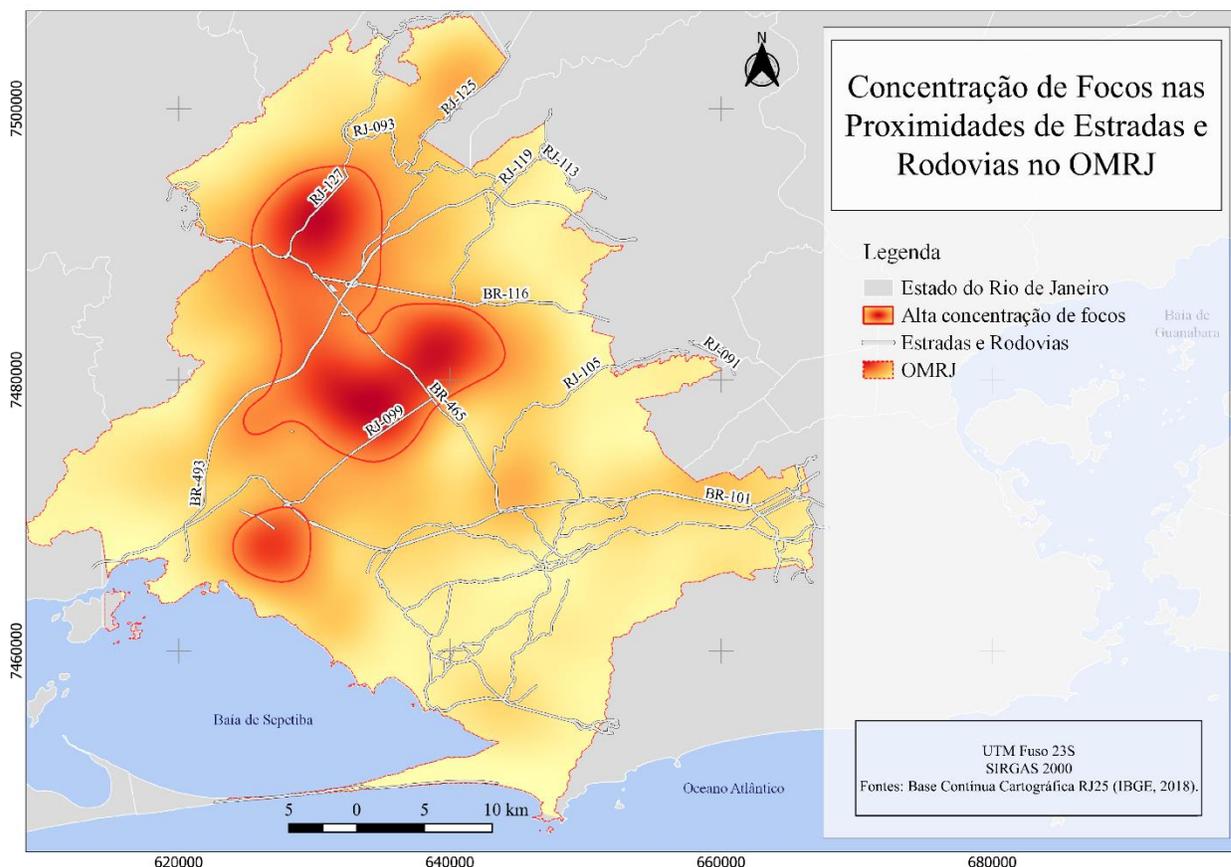
É válido ressaltar também, que parte da concentração dos focos está posicionada entre os municípios de Itaguaí e Rio de Janeiro, nas proximidades do bairro de Santa Cruz localizado na divisa entre esses dois municípios. Apesar da concentração de focos, parte deles não significam ocorrência de fogo em vegetação e sim aumentos termais oriundos de processos industriais, uma vez que a antiga Companhia Siderúrgica do Atlântico – CSA, e atual empresa Ternium, está localizada na região. Para facilitar a visualização da distribuição anual do registro de focos de calor pelo satélite Aqua, foi feito o gráfico de dispersão abaixo (figura 21), nele é possível observar os anos de maiores registros, o que ajuda a levantar hipóteses sobre possíveis indicadores ambientais que possam ter influenciado nesse aumento.



**Figura 21:** Ocorrências anuais de focos de calor.

Os anos de maiores registros em comparação aos demais são os anos de 2003, 2007, 2010, 2014 e 2016. Com isso, será possível analisar possíveis variações espaciais que possam ter provocado aumento na ocorrência de fogo, sejam elas fenômenos climáticos como anos muito secos, ou expansão urbana como construção de estradas ou outras obras, que adicionam a ação antrópica nas proximidades de áreas vegetadas.

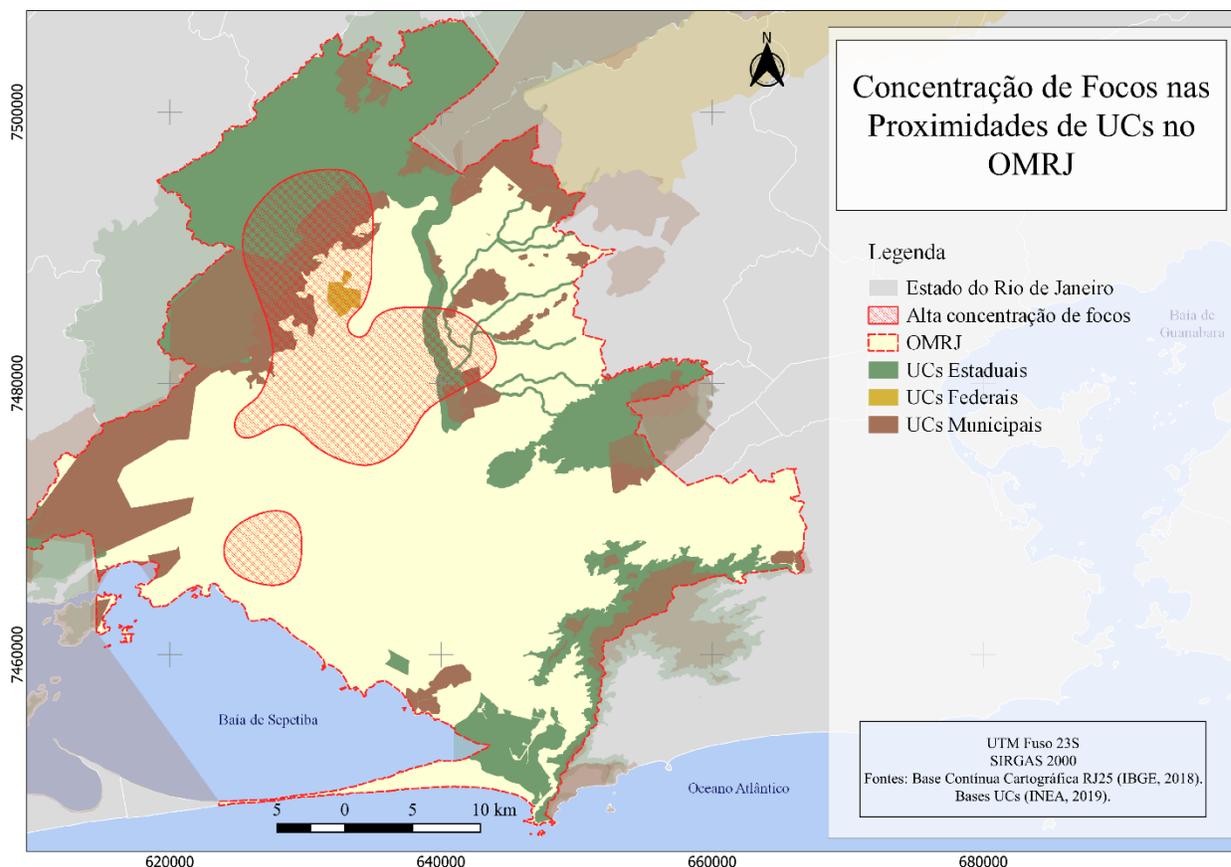
Outra forma de avaliar esses fatores espaciais é considerar a alta concentração de focos comparada com outras variáveis. Na Figura 22 as áreas acima da média de concentração foram destacadas, ressaltando a região de maior ocorrência de focos e a estimativa de densidade de Kernel é comparada com dados de estradas e rodovias da base RJ25 do IBGE.



**Figura 22:** Comparativo de densidade de focos com estradas e rodovias pavimentadas.

Foram consideradas aqui as autoestradas pavimentadas e de tráfego permanente. Merecem destaque as rodovias BR-465, RJ-099 e RJ-127, sobretudo no entroncamento rodoviário na altura da porção norte de Seropédica, nas proximidades com Paracambi. A mancha de maior concentração parece ser dividida em duas manchas menores com concentração muito altas, uma distribuída pelo município de Seropédica, perpassada pela RJ-099 e BR-465, e outra no próprio município de Paracambi, cortada pela BR-127. Além disso, as rodovias BR-101, BR-116 e BR-493 também cruzam as manchas de calor, em direção ao entroncamento rodoviário, área onde localiza-se também a única unidade de conservação federal da região, a Floresta Nacional Mário Xavier. Já a mancha mais próxima da Baía de Sepetiba, distribuída entre o Rio de Janeiro e Itaguaí está relacionada aos processos industriais da CSA na região.

Podemos aprofundar a análise também para a comparação com as demais UCs encontradas no OMRJ, representadas no mapa da figura 22.



**Figura 23:** Concentração de focos nas proximidades de unidades de conservação.

No caso das UCs, a área de alta concentração de focos em cinco unidades, sendo elas APA Guandu Açu, APA da Serra da Cambraia, APA da Serra do Catumbi, dentre as municipais, Área de Proteção Ambiental do Rio Guandu, estadual, e ainda a Floresta Nacional Mário Xavier, de administração federal. Esta última tem sua totalidade inserida nos limites da área de alta concentração, algo que deve ser levado em consideração, principalmente se considerada a proximidade com rodovias apresentadas na figura anterior (figura 22).

Todas essas variáveis merecem consideração ao se realizar a análise de ocorrência de fogo na região, uma vez que, se combinadas, podem apontar para possíveis causas, ou ainda auxiliar a definir caminhos metodológicos para se chegar ao resultado da dinâmica do fogo no OMRJ.

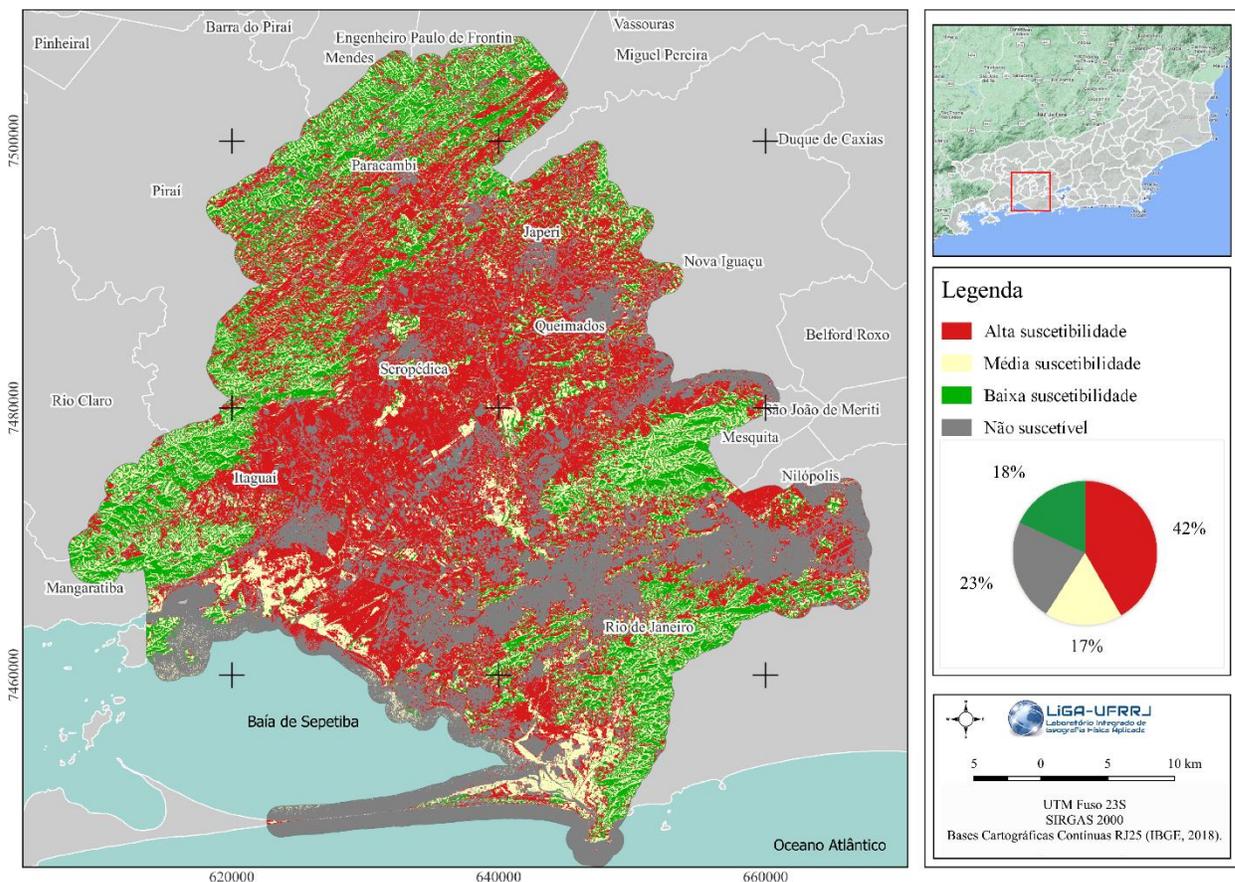
## 5.6. Suscetibilidade

Os produtos finais para as análises de ocorrência de fogo no OMRJ são os mapas de suscetibilidade dos anos 2000, 2010 e 2020, que combinam valores de radiação, curvatura da

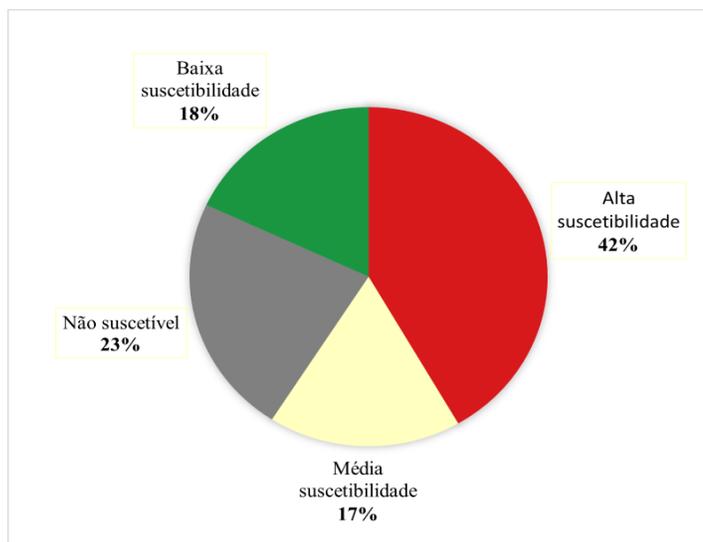
encosta e combustibilidade. Os resultados estimam quatro classes que se subdividem entre áreas não suscetíveis, por não apresentarem vegetação, e áreas com alta, média e baixa suscetibilidade, onde as mais suscetíveis estão distribuídas principalmente ao longo do terreno plano de baixada e com forte ocorrência de gramínea. Esse tipo de vegetação rasteira apresentou predominância na região, sendo classificada como alta combustibilidade.

### 5.6.1. Suscetibilidade (ano 2000)

Os resultados gerados para o ano 2000 apresentaram 42% do total da região classificados como área de alta suscetibilidade à ocorrência de fogo em vegetação, seguidos de 17% de média suscetibilidade, 18% de baixa suscetibilidade e 23% de não suscetível. A Figura 24 apresenta essa distribuição das diferentes classes de suscetibilidade, enquanto a Figura 25 representa os percentuais de classes na região.



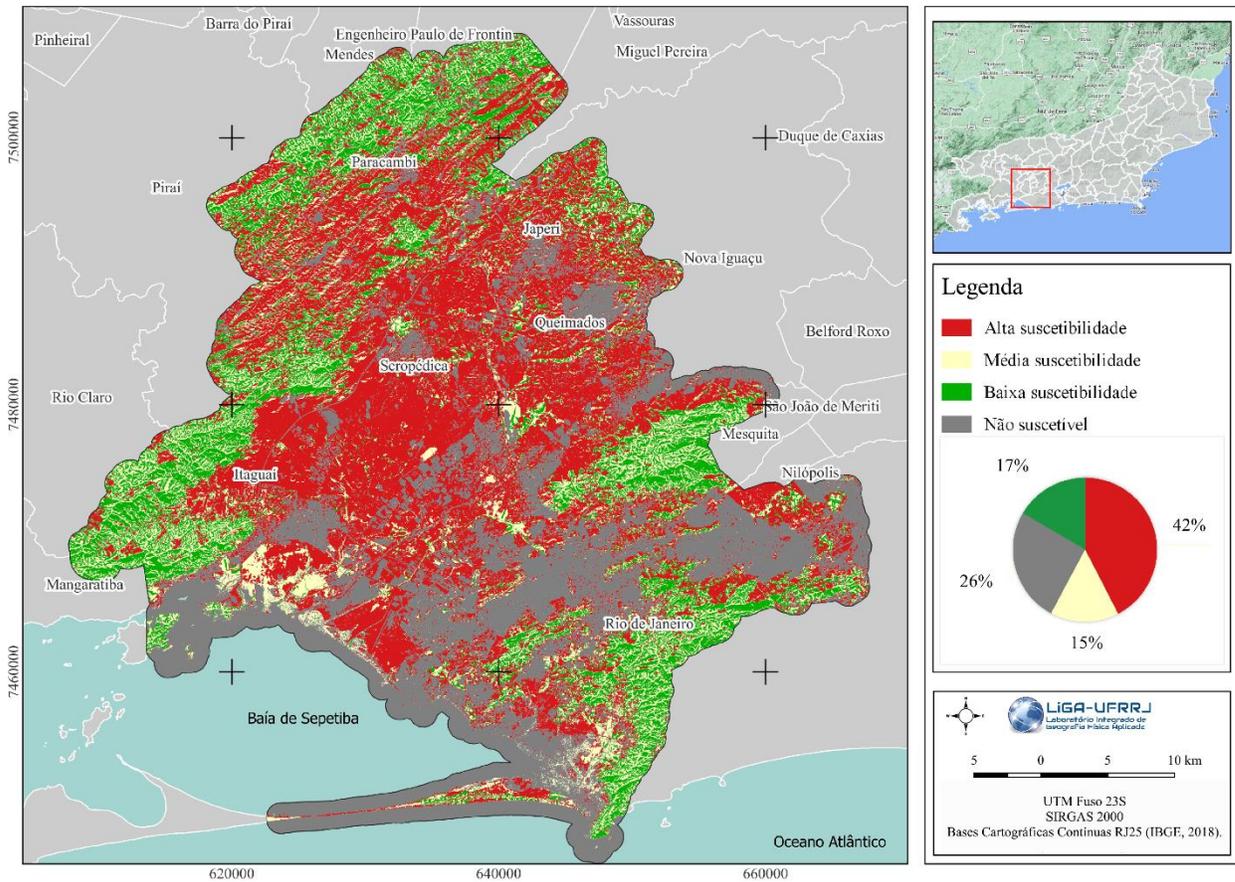
**Figura 24:** Mapa de suscetibilidade à ocorrência de queimadas em vegetação (2000).



**Figura 25:** Percentual de áreas suscetíveis (Ano 2000).

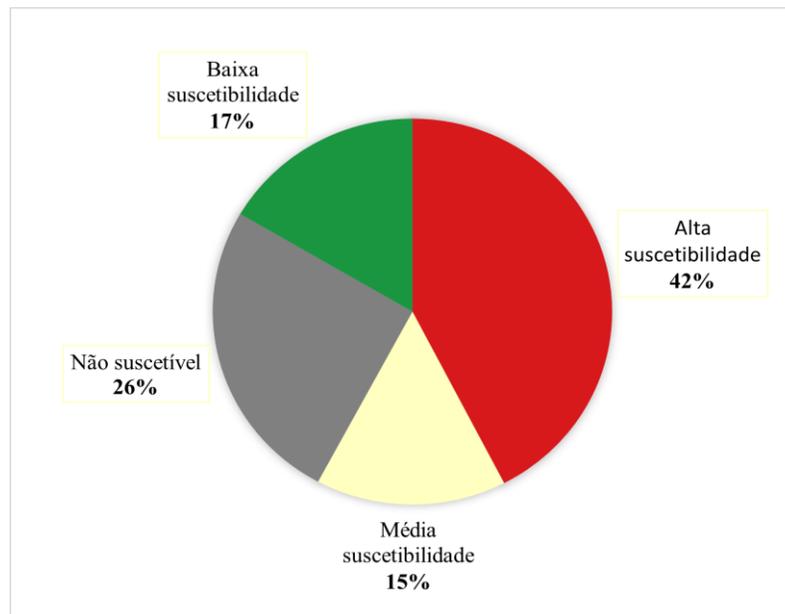
### 5.6.2. Suscetibilidade (ano 2010)

O ano de 2010 apresentou comportamento similar para a classe de alta suscetibilidade, mantendo os 42%. No entanto, houve um decréscimo de 1% na área de baixa suscetibilidade durante a década, caindo de 18% para 17%, conforme figura 26.



**Figura 26:** Mapa de suscetibilidade à ocorrência de queimadas em vegetação (2010).

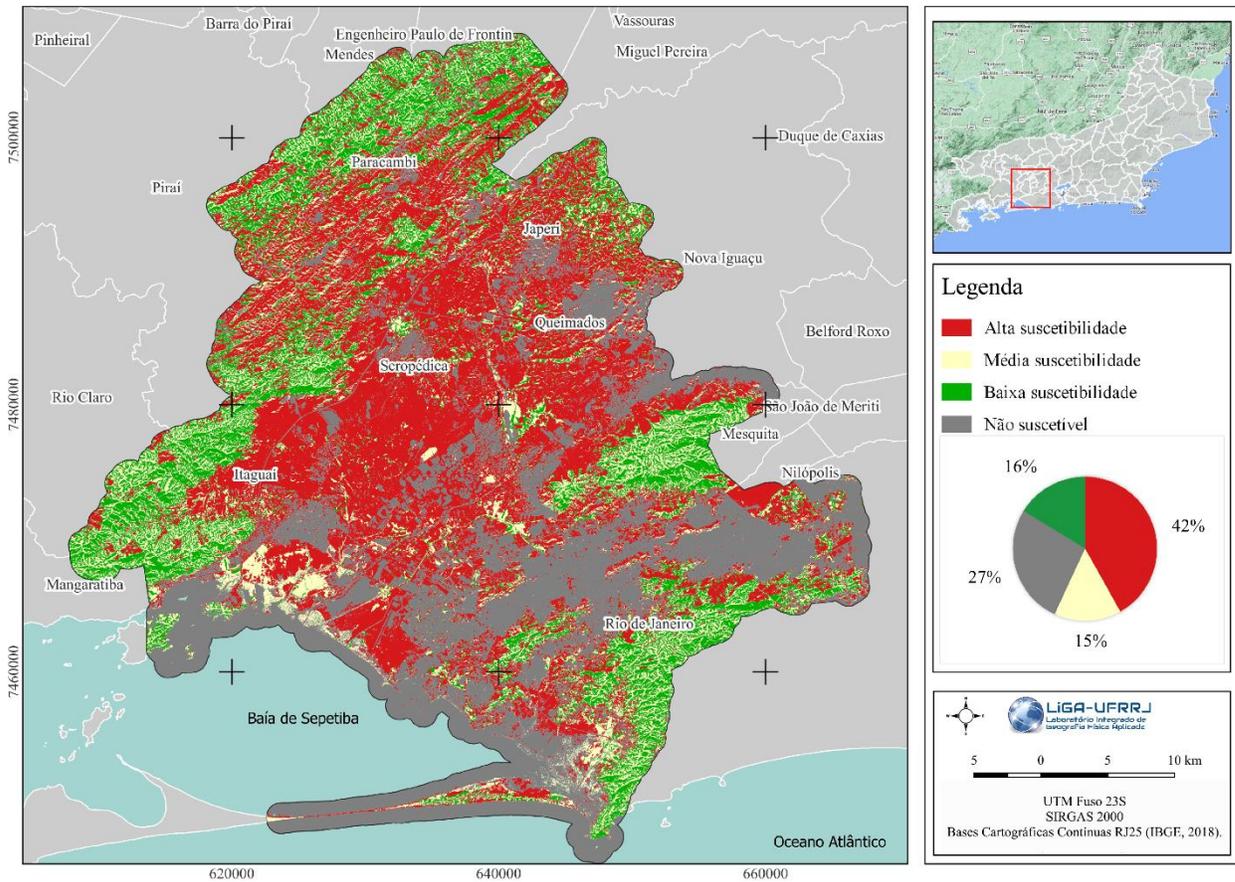
Outra classe que apresentou menor percentual foi a de média suscetibilidade que caiu de 17% para 15%. Já as áreas não suscetíveis subiram de 23% para 26%. É interessante observar que essa classe é formada majoritariamente por áreas urbanizadas, o que pode explicar esse acréscimo, enquanto áreas de alta suscetibilidade mantiveram seus valores. Esse percentual pode ser melhor observado na Figura 27.



**Figura 27:** Percentual de áreas suscetíveis (Ano 2010).

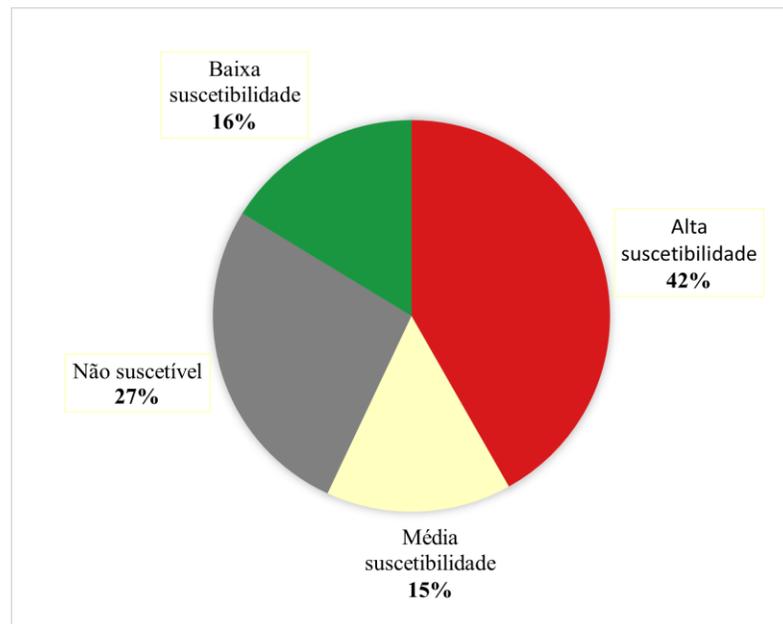
### 5.6.3. Suscetibilidade (ano 2020)

Para o ano de 2020, o comportamento é similar, áreas não suscetíveis continuam a aumentar, enquanto áreas de alta suscetibilidade se mantêm, conforme Figura 28.



**Figura 28:** Mapa de suscetibilidade à ocorrência de queimadas em vegetação (2020).

Nesse ano, foram registrados novamente 42% de áreas de alta suscetibilidade e 15% de média suscetibilidade. Já os valores de baixa suscetibilidade voltaram a cair, representando agora 16% da área total, enquanto novo acréscimo de áreas não suscetíveis representa 27%. Esse percentual pode ser visto no gráfico da Figura 29.

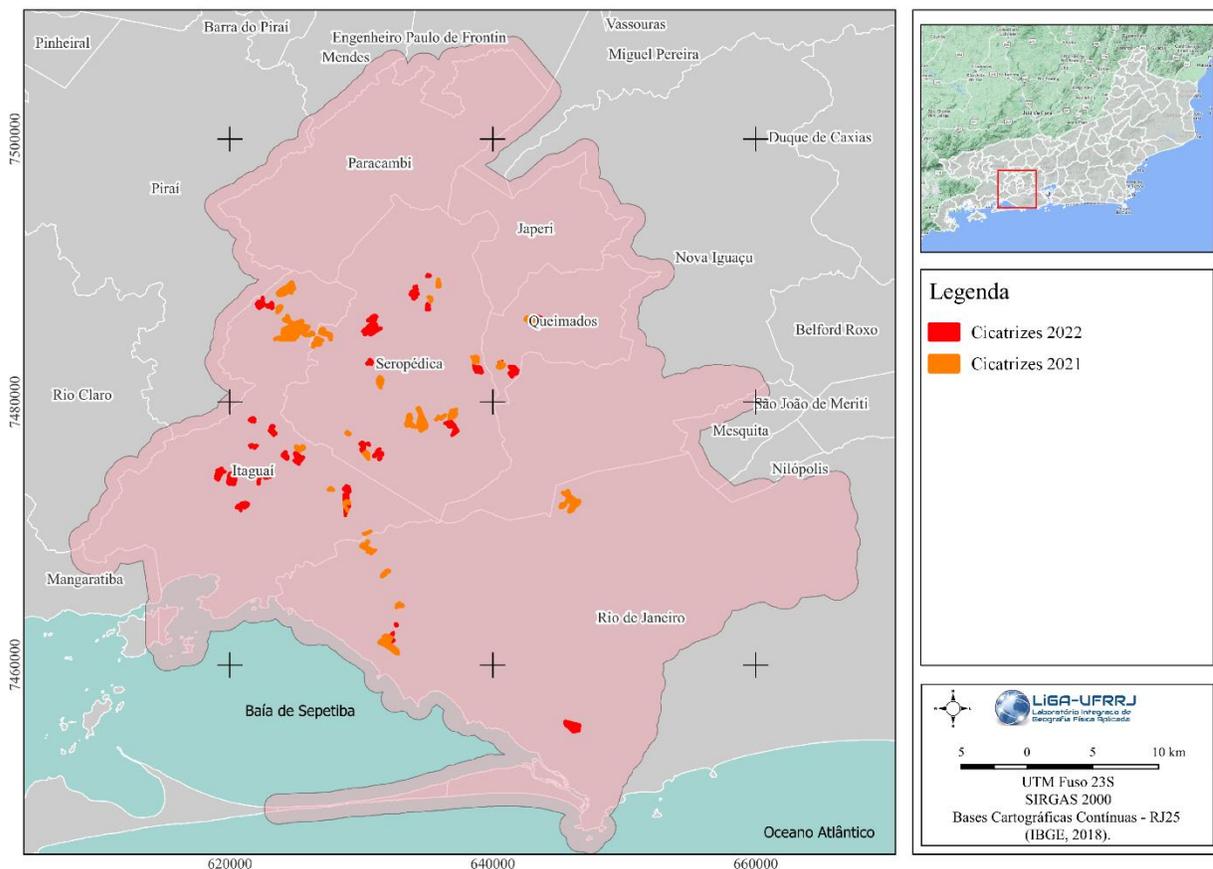


**Figura 29:** Percentual de áreas suscetíveis (Ano 2020).

Os valores percentuais apresentam inicialmente um padrão de comportamento, mas podem generalizar os valores reais de áreas alteradas ao longo dos anos. Para isso, o quadro 12, que será apresentada no capítulo 6, mostrará os valores brutos comparados entre os três anos estudados. Nela, é possível ver mudanças ocorridas também nas classes e alta suscetibilidade, que apresentam aumento de 2000 para 2010 e redução de 2010 para 2020. Esse comportamento pode indicar também substituição, por exemplo, de áreas de gramíneas por áreas construídas.

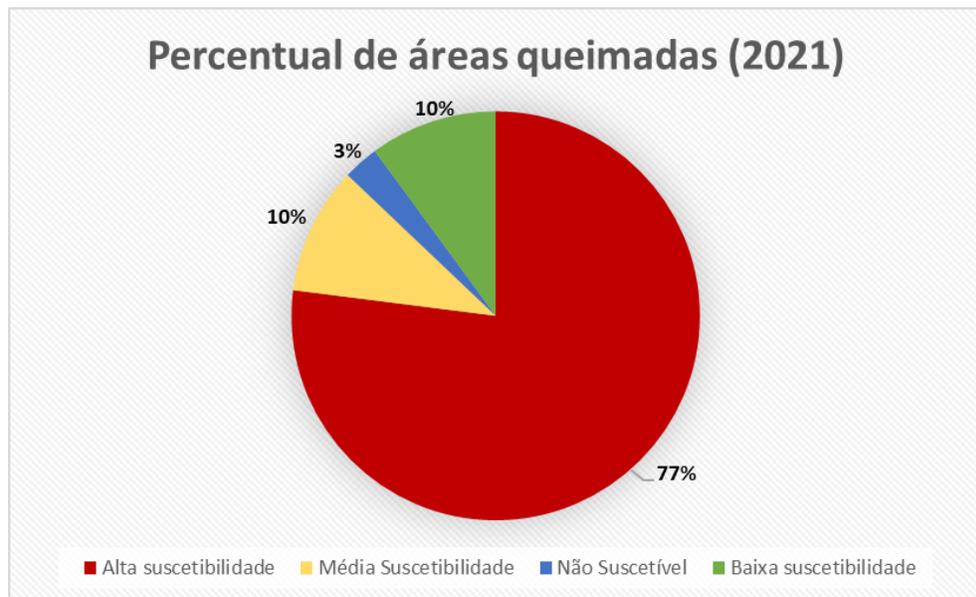
### 5.7. Cicatrizes de áreas queimadas

Polígonos de áreas queimadas servem como fator validador de ocorrências de queimadas. Essas amostras representam a extensão do terreno atingido e foram coletadas para os anos de 2021 e 2022 (figura 30), auxiliando na análise das áreas mais suscetíveis, uma vez que foram obtidas amostras a partir de anos posteriores aos recortes realizados na análise de suscetibilidade.



**Figura 30:** Cicatrizes de áreas queimadas identificadas nos anos de 2021 e 2022.

O gráfico a seguir (Figura 31) apresenta os percentuais de áreas queimadas já classificadas nos diferentes níveis de suscetibilidade encontrados dentro de cada cicatriz para o ano de 2021.



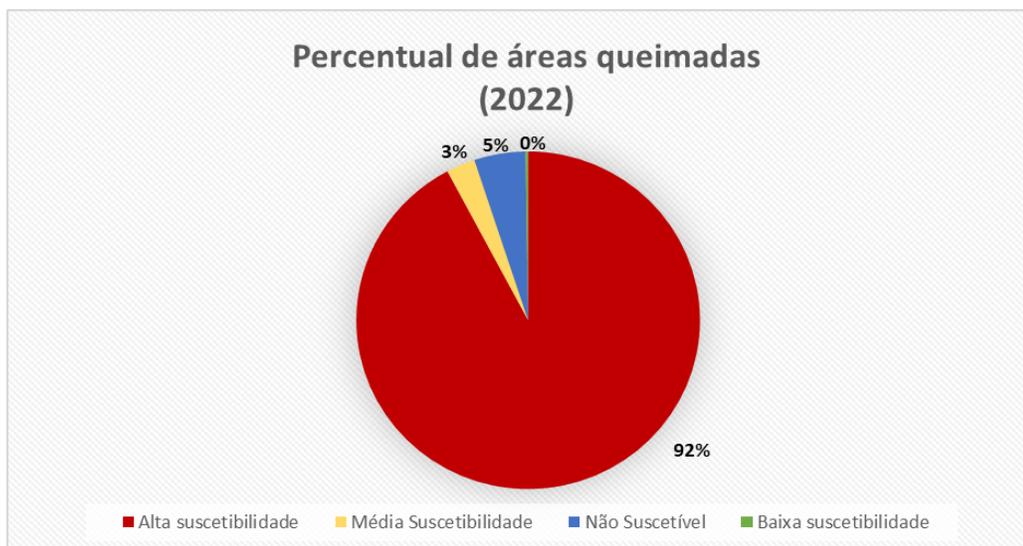
**Figura 31:** Gráfico percentual de suscetibilidade nas áreas de cicatrizes (2021).

Nas cicatrizes identificadas no ano de 2021, a maior parte de classes encontradas foi de “alta suscetibilidade”, correspondendo a 77% do somatório total de áreas queimadas coletadas nesse ano. Já os valores absolutos de extensão atingida, estão descritos no quadro 10.

**Quadro 10:** Extensão de áreas suscetíveis queimadas (2021).

Suscetibilidade	Área (km <sup>2</sup> )
Alta suscetibilidade	7,187
Média Suscetibilidade	0,941
Não Suscetível	0,264
Baixa suscetibilidade	0,941

Para o cenário de 2022, os resultados são similares. A classe majoritária de ocorrências foi também a de “alta suscetibilidade”, totalizando 92% da extensão total de áreas coletadas, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 32.



**Figura 32:** Gráfico de percentual de áreas suscetíveis queimadas nas cicatrizes (2022).

Por outro lado, ao observar os valores absolutos, pode-se observar que a extensão total de área de alta suscetibilidade é menor em relação ao ano anterior. De todo modo, os resultados indicam a assertividade do mapeamento de suscetibilidade, onde boa parte da extensão de área queimada está presente em áreas muito suscetíveis. O quadro 11 apresenta o percentual de áreas suscetíveis localizadas dentro dos polígonos de áreas queimadas no ano de 2022.

**Quadro 11:** Extensão de áreas suscetíveis queimadas (2022).

Suscetibilidade	Área (km <sup>2</sup> )
Alta suscetibilidade	6,767
Média Suscetibilidade	0,199
Não Suscetível	0,354
Baixa suscetibilidade	0,018

## 6. CONCLUSÕES

Estimar as mudanças ocorridas entre recortes temporais em diferentes anos corrobora com o entendimento da dinâmica de ocorrências de fogo em vegetação na região. Essas mudanças foram estimadas a partir de um modelo de análise booleana, que sobrepõe três variáveis obtidas de diferentes fontes. No intuito de aproximar as características técnicas dos produtos, alguns pré-processamentos como reamostragem e reclassificação foram realizados, trazendo para as análises uma maior assertividade, buscando diminuir os diferenciais técnicos. No entanto, é válido ressaltar que, por se tratarem de produtos de fontes diferentes, os modelos admitem erros e podem ser aprimorados à medida em que esses erros são identificados e corrigidos. Ainda assim, os resultados chamam a atenção para as mudanças ocorridas nas áreas de urbanização.

Para comparar os resultados ano a ano e sintetizar os valores percentuais dos mapas com os valores brutos de área de cada uma das classes foi criado o quadro 12:

**Quadro 12:** Síntese de mudanças nos valores observados ao longo dos anos

Suscetibilidade	2000		2010		2020	
	(Km <sup>2</sup> )	(%)	(Km <sup>2</sup> )	(%)	(Km <sup>2</sup> )	(%)
Alta suscetibilidade	806,3	42%	821,3	42%	809,97	42%
Média suscetibilidade	337,29	17%	298,9	15%	292,65	15%
Baixa suscetibilidade	349,34	18%	320,57	17%	314,06	16%
Não suscetível	442,81	23%	496,02	26%	519,42	27%
<b>Combustibilidade</b>						
Não combustível	445,59	23%	497,59	26%	529,22	27%
Baixa combustibilidade	649,41	34%	571,61	29%	544,44	28%
Alta combustibilidade	841,24	43%	869,19	45%	862,63	45%

As mudanças foram mais acentuadas para áreas não suscetíveis, em ambas as décadas, indicando possível relação com mudanças de uso e cobertura na expansão urbana na região durante esse período. As mudanças serão debatidas nos próximos itens.

### 6.1. Mudanças ocorridas entre os anos 2000 – 2010

Entre os anos 2000 e 2010, é possível verificar um aumento gradual na área total de alta suscetibilidade. Chama atenção o fato de que, mesmo com o aumento, a proporcionalidade dos

percentuais vistos nos gráficos anteriores se mantém nos 42% (figuras 29, 31 e 33). As classes de maiores mudanças, no entanto, são as de média suscetibilidade e área não suscetível, valores que puderam ser expressos nos gráficos. Enquanto áreas de baixa suscetibilidade perderam quase 30km<sup>2</sup>, entre 2000 e 2010, representando uma queda de 1%, áreas não suscetíveis, majoritariamente aglomerados urbanos, cresceram mais de 50Km<sup>2</sup> em extensão, representando um aumento de 3%, como pode ser visto no quadro 13.

**Quadro 13:** Síntese de mudanças nos valores (anos 2000-2010)

Suscetibilidade	2000		2010	
	(Km <sup>2</sup> )	(%)	(Km <sup>2</sup> )	(%)
Alta suscetibilidade	806,3	42%	821,3	42%
Média suscetibilidade	337,29	17%	298,9	15%
Baixa suscetibilidade	349,34	18%	320,57	17%
Não suscetível	442,81	23%	496,02	26%
<b>Combustibilidade</b>				
Não combustível	445,59	23%	497,59	26%
Baixa combustibilidade	649,41	34%	571,61	29%
Alta combustibilidade	841,24	43%	869,19	45%

É válido ressaltar também a combustibilidade das classes de uso e cobertura da predominantes nessas áreas. Nesses casos, a baixa combustibilidade, formada majoritariamente por floresta, caiu de 649,41 Km<sup>2</sup> (34%) para 571,61 Km<sup>2</sup> (29%), enquanto áreas não combustíveis aumentaram de 445,59 (23%) Km<sup>2</sup> para 497,59 Km<sup>2</sup> (26%).

Em resumo, áreas com baixa combustibilidade e baixa suscetibilidade, cuja Floresta é a classe de maior ocorrência, decresceram. Enquanto isso, classes não combustíveis e não suscetíveis, ou seja, sem vegetação, formadas em sua maioria por áreas urbanizadas, tiveram um acréscimo considerável, indicando possível perda de floresta, em detrimento do crescimento urbano.

## 6.2. Mudanças ocorridas entre os anos 2010 – 2020

Durante a década de 2010, um comportamento semelhante pode apresentar uma tendência. No entanto, áreas com alta suscetibilidade tornam a cair, o que pode significar uma substituição da vegetação de alta combustibilidade por áreas não combustíveis, que voltaram a subir, dessa vez de 497,59 Km<sup>2</sup> (26%) para 529,22 Km<sup>2</sup> (27%), como pode ser visto no quadro 14.

**Quadro 14:** Síntese de mudanças nos valores (anos 2010-2020)

Suscetibilidade	2010		2020	
	(Km <sup>2</sup> )	(%)	(Km <sup>2</sup> )	(%)
Alta suscetibilidade	821,3	42%	809,97	42%
Média suscetibilidade	298,9	15%	292,65	15%
Baixa suscetibilidade	320,57	17%	314,06	16%
Não suscetível	496,02	26%	519,42	27%
<b>Combustibilidade</b>				
Não combustível	497,59	26%	529,22	27%
Baixa combustibilidade	571,61	29%	544,44	28%
Alta combustibilidade	869,19	45%	862,63	45%

Já áreas de média suscetibilidade praticamente se mantiveram, diminuindo de 298,90 Km<sup>2</sup> para 292,65 Km<sup>2</sup>, uma expressividade consideravelmente menor se comparada à década anterior, mantendo-se 15% de área total. Áreas de baixa suscetibilidade decresceram menos ainda, de 320,57 Km<sup>2</sup> para 314,058 Km<sup>2</sup>, representando queda de 1%. De todo modo, destaca-se novamente o protagonismo das áreas não vegetadas nas mudanças observadas ao longo do período.

### 6.3. Considerações finais

Esses resultados demonstram a força da urbanização na região. Essas mudanças posicionam a ocupação urbana como fator fundamental para entender as dinâmicas espaciais em todo o OMRJ, evidenciando também as particularidades do estudo da ocorrência de fogo em vegetação em uma região formada por municípios periféricos ao núcleo urbano, diferente de áreas predominantemente vegetadas.

O modelo de suscetibilidade apresentado aqui admite outras potencialidades, conforme a adição de novas variáveis, outras fontes de dados e ainda comparações com outros produtos já estabelecidos. Dados como os disponibilizados pelo Mapbiomas (2021), por exemplo, podem substituir os mapas de uso e cobertura da terra gerados por classificação supervisionada (Santos, 2022) e ainda contornar as diferenças técnicas entre os produtos dos satélites utilizados neste estudo.

Foi observado também que o peso atribuído à combustibilidade tornou esse fator predominante na definição de áreas mais suscetíveis, o que culminou em mapas muito similares. Outras variáveis como precipitação, umidade relativa do ar ou a própria utilização de mapas de calor com os focos registrados poderiam possibilitar o aumento da complexidade da análise,

ajudando na redistribuição dos pesos em cada fator. Ainda assim, apesar da semelhança, os números apresentados demonstram as mudanças ocorridas ao longo dos recortes temporais que apontam para o impacto da urbanização no local.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J. **Risco**. São Paulo: Senac, 2009.

BECK, U. **Sociedade de Risco**: rumo a uma outra modernidade. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 2011. 384 p.

CARDOZO, F. S.; MARTINS, F. S. R.; PEREIRA, L. O.; SATO, L. Y.; MOURA, Y. M.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y. E. Avaliação de áreas queimadas a partir dos índices espectrais NDVI e NDBR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 15, 2011, Curitiba. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7950-7957.

MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. C.; CRUZ, C. B. M. (org.). **Cartografias do ontem, hoje e amanhã**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2021. 529 p.

CASTRO, C. M. Entre Vulnerabilidades e Áreas: a Produção dos Territórios de Riscos. In: BRAGA, F.; TERRA, C. (org.). **Avesso da Paisagem 2**. Rio de Janeiro: Rio Books, 2012, p. 17-35.

CAÚLA, R. H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LYRA, G. B.; DELGADO, R. C.; HEILBRON FILHO P. F. L. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. **Environmental Earth Sciences**, Melbourne, v. 74, n. 2, p. 1497-1508, 2015.

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

COELHO NETTO, A. L., DANTAS, M. E.; ROSAS, R. O. Grandes domínios geocológicos da Amazônia Legal (1:2.500.000): bases para o estudo dos efeitos de borda das linhas de transmissão de energia a serem implantadas na Amazônia florestal. Relatório solicitado pela ELETROBRÁS, 1993. 26 p.

DAMIANI, A. L. Introdução a elementos da obra de Henri Lefebvre e a Geografia. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, Volume Especial 30 Anos. p. 254-283, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/cbers>. Acesso em 29 de setembro de 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em 25 de setembro de 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Missão Sentinel. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel> Acesso em 25 de setembro de 2023.

ESCUIN, S.; NAVARRO, R.; FERNÁNDEZ, P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 29 n.4, p.1053-1073, 2008.

ESA - European Space Agency. Sentinel online. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>. Acesso em: 25 de Setembro de 2023.

FARIAS, H.S.; VARGAS, K.B., MARINO, T.B., SOUSA, G.M. e LUCENA, A.J. Vulnerabilidade socioambiental no Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro: estratégias de prevenção a risco. **Espaço e Economia**, Rio de Janeiro, n. 19, 2020.

FERNANDES M. C.; COURA P. H. F.; SOUSA G. M.; AVELAR A. S.; Avaliação Geoecológica de Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3. pp. 299-309. 2011.

FORTES, Alexandre; OLIVEIRA, Leandro Dias de; e SOUSA, Gustavo Mota de. A COVID 19 na Baixada Fluminense: Colapso e apreensão a partir da periferia metropolitana do Rio de Janeiro. **Espaço e Economia**, Rio de Janeiro, n. 18, 2020.

GUSMÃO, P. P. Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. In: NOBRE, C.; HOGAN, D.J. (org.). **Projeto Megacidades, Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas**. INPE/UNICAMP/UFRJ, 2010.

HARVEY, D. **Os Limites do Capital**. São Paulo: Boitempo, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Bases Cartográficas Contínuas – RJ 1:25000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em: 19 de Agosto de 2020. Base de Dados.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Apostila para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. Diretoria de Unidades de Conservação de Proteção Integral, Coordenação Geral de Proteção Ambiental. Brasília, 2010. 87p.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **BDQUEIMADAS**. São José dos Campos: INPE, 2021. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#exportar-dados>. Acesso em: 22 de Abril de 2021. Base de Dados.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Perguntas Frequentes. Texto elaborado por SETZER, A. W. São José dos Campos: Programa de Queimadas INPE, 2021. Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/faq/index.html>. Acesso em: 05 de Outubro de 2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA**: Banco de Dados geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> >. Acesso em 08 de outubro de 2023. Base de Dados.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Risco de Fogo. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/risco-de-fogo-meteorologia>. Acesso em 26 de janeiro de 2022.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Programa Queimadas. Perguntas Frequentes. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>. Acesso em: 01 de junho de 2022.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Perguntas frequentes, satélites utilizados. Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/faq/index.html> > Acesso em: 08 de outubro de 2023.

INPE – Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. Câmeras Imageadoras CBERS-04A. Disponível em: <http://www.cbears.inpe.br/sobre/cameras/cbers04a.php>>. Acesso em 29 de setembro de 2023.

KEY, C. H.; BENSON, N. Measuring and Remote Sensing of burn severity: the CBI and NBR. 1999.

KLINK, C.A. & A.G. Moreira. 2002. Past and current human occupation and land-use. In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis (eds.). The Cerrado of Brazil. Ecology and natural history of a neotropical savanna. pp. 69-88. Columbia University Press, New York.

KLINK, Carlos & Machado, Ricardo. (2005). A conservação do Cerrado brasileiro. Megadiversidade. 1.

KOUTSIAS, N.; KARTERIS, M. Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 19, p. 3499–3514, 1998.

KOUTSIAS, N.; KARTERIS, M. Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 19, p. 3499–3514, 1998.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. 3. ed. São Paulo: Editora Centauro, 2001.

LIBONATI, R. ; DACAMARA, C. ; SETZER, A. ; MORELLI, F. ; MELCHIORI, A. An algorithm for burned area detection in the brazilian Cerrado using 4 µm MODIS imagery. **Remote sensing**, Basel, v. 7, p. 15782-15803, 2015.

LIESENFELD, M.V.A.; VIEIRA, G.; MIRANDA, I.P.A. Ecologia do Fogo e o Impacto na Vegetação da Amazônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.36, n.88, p.505-517, out./dez., 2016.

LOURENÇO, L. "O fogo, flagelo das matas". **Territorium**, Coimbra, n. 23, p. 242-246, 2016.

MATEO RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. Geocologia das Paisagens: uma visão sistêmica da análise ambiental. 2. ed. **Edições UFC**, Fortaleza, 2017.

MENEZES, P.M.L. **A interface Cartografia-Geocologia nos estudos diagnósticos e prognósticos da paisagem**: um modelo de avaliação de procedimentos analítico-integrativos. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 208 f., 2000.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. MODIS data. Disponível em: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>. Acesso em: 08 de outubro de 2023.

NASA - National Aeronautics And Space Administration. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 03 de maio de 2022.

NEARY, D. G.; KLOPATEK, C. C.; DeBANO, L. F.; FFOLLIOTT, P. F. – Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management**, v. 122, p. 51 – 71, 1999.

OLIVEIRA, L.D. A emersão da região logístico-industrial do Extremo Oeste Metropolitano fluminense: reflexões sobre o processo contemporâneo de reestruturação territorial-productiva. **Espaço e Economia**, Rio de Janeiro, Ano IV, n. 7, 2015.

QGIS Development Team, 2021. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em :22 de junho de 2021.

RODRIGUEZ, M.R.; SOUSA, G.M. Análise temporal da dinâmica dos incêndios no Parque Nacional de Itatiaia entre os anos de 2008 e 2018. *In.*: V Jornada de Geotecnologia do Estado do Rio de Janeiro (JGEOTEC). **Anais [...]**. Niterói: Geopartners, pp. 679-688, 2020.

ROUGERIE, G. ; BEROUTCHATCHVILI, N. **Geosystemes et paysages**. Paris: Colin Editores Paris, 1991. 302p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwaveeffect) of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD. 371 p. 1974.

SANTOS, C.G. **Mapeamento e análise multitemporal da dinâmica de cobertura e uso da terra da região do oeste metropolitano do rio de janeiro**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SANTOS, M. **Por uma Geografia Nova: Da Crítica da Geografia a uma Geografia Crítica**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002

SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A.; SANTOS, J. G. M. **Método do Cálculo do risco de fogo do programa do INPE** - versão 11, Junho/2019. São José dos Campos, 2019.

SILVA, M.R.; ALCANTARA, D.; OLIVEIRA, L.D.; ROCHA, A.S. «Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro: proposições, debates, desafios. **Espaço e Economia**, Rio de Janeiro, n. 19, 2020.

SILVA, Márcio Rufino. Oeste Metropolitano do Rio de Janeiro: debates sobre limites, fronteiras e territórios de uma região. **Espaço e Economia**, Rio de Janeiro, n. 19, 2020.

SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. New York: Chapman and Hall, 1986.

SOUSA, G. M. **Modelagem do conhecimento aplicada ao estudo da susceptibilidade à ocorrência de incêndios no Parque Nacional do Itatiaia**. 2013. 145 f. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUSA, G.M.; COURA, P.H.F.; FERNANDES, M.C. **Cartografia geocológica da potencialidade à ocorrência de incêndios: Uma proposta metodológica**. Revista Brasileira de Cartografia, Uberlândia, n. 62 Edição Especial 1 – Geotecnologias, pp. 277-289. Julho, 2010.

SOUZA, N. P. de; SILVA, E. M. G. C.; TEIXEIRA, M. D.; LEITE, L. R.; REIS, A. A. dos; SOUZA, L. N. de; ACERBI, F. W.; RESENDE, T. A. Aplicação do Estimador de Densidade kernel em Unidades de Conservação na Bacia do Rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 16., 2013. **Anais [...]** Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

THROWER, N. J. W. **Maps & civilization: cartography in culture and society**. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

TOMZHINSKI, G.W. **Análise Geoecológica dos Incêndios Florestais no Parque Nacional do Itatiaia**. 2012. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey). Disponível em: <https://www.usgs.gov/>. Acesso em: 24 de Novembro de 2021.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: Guia para a Utilização de Dados Geomorfológicos Locais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2008. 73p.

VARGAS, K.B.; FARIAS, H.; SAMPAIO, A.C.; BARROS, R.C; SOUZA, R.L.N. de. A Floresta Nacional Mário Xavier como espaço livre de uso público no município de Seropédica – RJ. *In*: NASCIMENTO, A. P. B do. BENINI, S. M. GULINELLI, E. L. (orgs.) **Gestão, percepção e uso de espaços públicos**. 1. ed. Tupã: Editora ANAP p. 115-116, 2019.

ZACHARIAS, A.A. Categorias de Análise da Cartografia no Mapeamento e Síntese da Paisagem. **Revista Geografia e Pesquisa**, Ourinhos, v. 2, n. 1, p. 49-56, 2008.