



**SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA CIVIL
SUPERINTENDÊNCIA OPERACIONAL DE DEFESA CIVIL
INSTITUTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DE DEFESA CIVIL
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM DEFESA CIVIL.**



MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE FOCOS DE CALOR NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (ERJ)

Fevereiro 2019



EQUIPE TÉCNICA:

Rodrigo Werner da Silva. CREA 2011125893

Sidicley Gomes

Leandro de Souza Camargo. CREA 2016100176

Marcos Paulo Dias da Silva

COLABORADORES

Silvia Santana do Amaral

Aline Pimentel da Silva

Tiago Ferreli

Todos os direitos Reservados.

**É permitida a reprodução de dados e de informações contidos neste relatório,
desde que citada fonte.**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. ÁREA DE ESTUDO	9
2.1.ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS	10
3. MATERIAIS E MÉTODO	11
3.1.MÉTODO AHP	14
3.2.GERAÇÃO DE MAPAS	16
3.2.1. Geração do Mapa de Declividade	16
3.2.2. Geração do Mapa de Altimetria	17
3.2.3. Geração do Mapa de Orientação das Encostas	17
3.2.4. Geração do Mapa de Uso e Cobertura do Solo	18
3.2.5. Geração do Mapa de Déficit Hídrico	18
3.2.6. Geração do Mapa de Precipitação	19
3.2.7. Geração do Mapa de Temperatura	19
3.2.8. Geração de Mapas de Susceptibilidade à Ocorrências de Foco de Calor	20
3.3.AVALIAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR	21
4. RESULTADOS	22
4.1.Declividade	22
4.2.Altimetria	25
4.3.Orientação das Encostas	27
4.4.Uso e Cobertura do Solo	29
4.5.Déficit Hídrico	31
4.6.Precipitação	35
4.7.Temperatura	39
4.8.Mapa de Susceptibilidade à Ocorrência de Focos de Calor no ERJ	43
4.9.Análise Temporal e Espacial dos Focos de Calor	47

4.10. Relação entre os Focos de Calor e o Mapa de Susceptibilidade	50
5. DISCUSSÕES	53
6. CONCLUSÕES	57
7. BIBLIOGRAFIA	58

ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANSOI	Áreas não Susceptíveis à Ocorrência de Incêndios
AQUA – MT	<i>Aqua Earth-observing satellite mission</i>
CEPEDEC	Centro de Estudos e Pesquisas em Defesa Civil
CEMADEN-RJ	Centro Estadual de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
ERJ	Estado do Rio de Janeiro
IC	Índice de Consistência
ICA	Índice de Consistência Aleatória
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDT	Modelo Digital de Terreno
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
RC	Razão de Consistência
RH	Região Hidrográfica
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

RESUMO

Os incêndios florestais tem protagonizado destruição ambiental, cênica, social e econômica frequentemente noticiada no Brasil e no Mundo. O objetivo deste relatório é o desenvolvimento de mapas de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor para três cenários distintos no Estado do Rio de Janeiro (ERJ), separados em: período anual, trimestre úmido e seco, com o fim subsidiar e aperfeiçoar as ações destinadas à prevenção e combate das queimadas no ERJ. Para isso, foram utilizados dados topográficos, oriundos da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que subsidiaram a construção dos mapas de Declividade, Altitude e Orientação das Encostas, dados de uso e ocupação do solo e déficit hídrico, procedente da base cartográfica do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), utilizados na elaboração dos mapas de Uso e Ocupação do Solo e Déficit Hídrico, e dados climatológicos extraídos do *WorldClim*, temperatura e precipitação, para confecção dos mapas de Temperatura e Precipitação. A ponderação dos fatores foi estabelecida pela aplicação do método de decisão AHP (*Analytic Hierarchy Process*) o qual estabeleceu o nível de hierarquia de cada variável e integrou os condicionantes através de uma combinação linear, gerando assim, os mapas de susceptibilidade a ocorrência de focos de calor, sendo estes, confrontados com os focos de calor registrados pelo sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo do satélite AQUA – MT (*Aqua Earth-observing satellite mission*) para verificação da precisão do produto gerado. Os resultados apontam a mudança das áreas sinalizadas com alta criticidade em função da combinação das variáveis utilizadas, bem como, o deslocamento espacial dos focos de calor em função da época de aquisição e médias climatológicas. Os mapas elaborados como modelo previsor de áreas de maior vulnerabilidade apresentaram correlação satisfatória com os focos de calor obtidos por sensoriamento remoto.

1. INTRODUÇÃO

Incêndios florestais são definidos como chamas propagadas sem controle em terrenos florestais, áreas agrícolas ou rurais, distinguindo-se por sua extensão, velocidade e potencialidade de afetar a fauna, flora e a economia de uma localidade (Leuenberguer *et al.* 2018). A causa primária de incêndios florestais está relacionada a atividades antrópicas, podendo variar de região para região, sendo a causa mais comum associada à perda de controle de queimadas destinadas a limpeza de um terreno para atividades agrícolas (Castro, 2007). Desde 1987 o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) vem trabalhando no aperfeiçoamento de um sistema de detecção de queimadas, baseado na identificação de focos de calor, por sensores capazes de captar na faixa termal-média de 3,7 a 4,1 μm do espectro óptico, a bordo de diversos satélites, transformando – os em imagens e disponibilizando os produtos em sua *Website* de forma gratuita (INPE, 2019). Segundo Gontijo *et al.* (2011) focos de calor são pontos geográficos captados por sensores espaciais na superfície da Terra, quando detectados a uma temperatura acima de 47°C em uma área mínima de 900 m². Neste contexto, investigar os fatores que propiciam o surgimento de focos de calor e implementar modelos que representem geograficamente áreas passíveis a ocorrência de queimadas tornam-se uma ferramenta moderna e fundamental no planejamento e gerenciamento do uso do solo, objetivando a diminuição e mitigação das consequências danosas de tais eventos.

Neste cenário o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), que podem ser definidos como um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido que leva gestores de um projeto ou administradores de organizações a tomar decisões baseados em informações geoespacializadas (Fitz, 2008), integra diversas fontes e formatos, dentro de um ambiente computacional, capaz de gerar novos dados derivados dos originais. Diversas aplicações dessa tecnologia têm subsidiado soluções práticas e de baixo custo no Brasil e no Mundo, por meio de trabalhos cartográficos que indicam regiões com maior predisposição ao surgimento de focos de calor, Gai *et al.*(2011); Teodoro & Duarte (2013); Adab *et al.*(2013); Bacani (2016); Ajinb *et al.*(2016); Matin *et al.*(2017), White *et al.* (2017), sendo estes úteis na identificação de regiões de risco, além de favorecer

uma melhor expressão das fragilidades do território, baseado no entendimento do fenômeno e possibilitando ações de combate mais rápidas e eficientes.

Gai *et al.*(2011) utilizou os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para indicar as áreas de maior vulnerabilidade a ocorrências de incêndios florestais, utilizando como fatores de influencia o uso da terra, a topografia e a climatologia na região Beijin, província da China.

Adab *et al.*(2013) usaram diferentes índices de incêndios florestais, combinando a umidade da vegetação, declividade, aspecto, altimetria, distância das estradas, e uso do solo, para indicar áreas de maior risco ao surgimento de focos de calor ao norte do Irã, validando os resultados obtidos com focos de calor advindos do satélite MODIS.

Matin *et al.*(2017) destacam três fatores como principais precursores na ignição e propagação de incêndios florestais resumidos em disponibilidade de combustíveis, temperatura e fator de ignição analisando dados históricos de queimadas com o objetivo de explorar os padrões espaciais e temporais do acontecimento no Nepal.

No Estado do Rio de Janeiro não foram encontrados muitos trabalhos com o propósito identificar áreas mais favoráveis ao surgimento de focos de calor, dentre os disponíveis podemos destacar a publicação do Instituto Estadual do Ambiente, INEA (2010), que após a produção e reunião de uma base de dados ambientais e análises-sínteses das dez regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro sinalizou quais regiões foram mais favoráveis aos incêndios florestais. Fernandes *et al.* (2011) caracterizou a susceptibilidade à ocorrência de incêndios florestais em uma escala de 1:100.000 por meio da correlação entre os diferentes elementos estruturais e funcionais (uso e cobertura do solo 2007, modelo digital de elevação, combustibilidade, radiação solar, forma das encostas e balanço hídrico).

Considerando o estado do Rio de Janeiro, especialmente por suas características geobiofisiográficas, sobretudo em função das diferentes formas de relevo e distribuição pluviométrica, o objetivo deste trabalho é identificar sua vulnerabilidade às ocorrências de incêndio florestais, por meio da aplicação de tecnologias digitais de geoprocessamento (SIG e Sensoriamento Remoto), com a construção de um mapa de susceptibilidade, cujas classes, em diferentes níveis de hierarquia, apontam as principais áreas e suas potencialidades à ocorrência de incêndios florestais, constituindo-se num

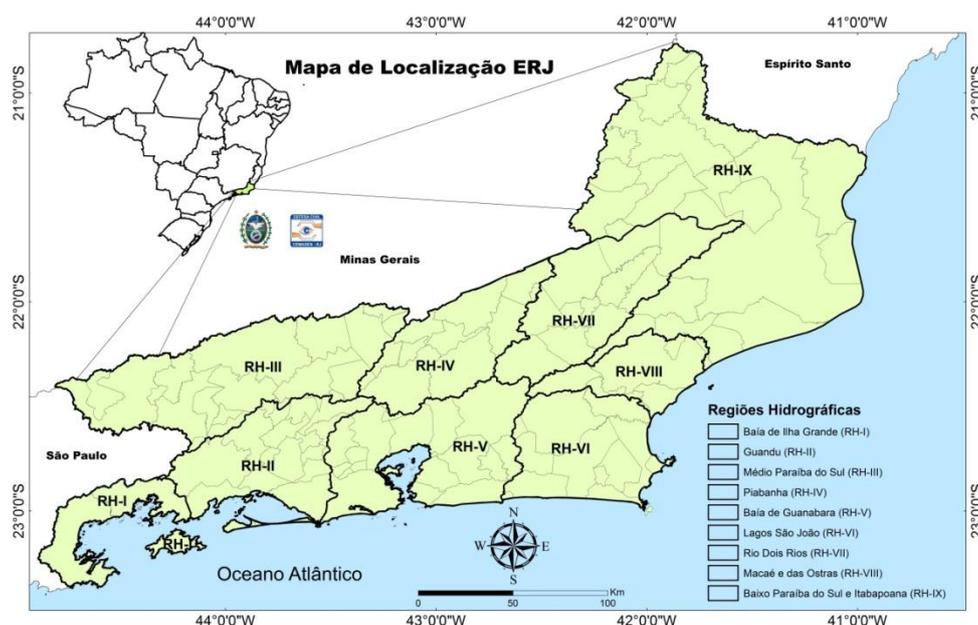
importante produto que poderá subsidiar, permitir e facilitar a avaliação, análise e gestão destes fenômenos em escala local.

2. ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Rio de Janeiro (ERJ), Figura 1, é uma das 27 unidades federativas do Brasil, localizado a sudeste da região Sudeste do país, tendo como limites os estados de Minas Gerais (norte e noroeste), Espírito Santo (nordeste) e São Paulo (sudoeste), além do Oceano Atlântico (leste e sul), ocupando uma área estimada em 43.780.173 Km², compreendido ente os fusos UTM 23S e 24S de coordenadas geográficas 22° 54' S e 43° 10' W, com população estimada 16.718.956 pessoas e densidade demográfica média de 365,23 hab/m² (IBGE, 2017).

Buscando viabilizar uma integração entre as defesas civis, estadual e municipal, conforme preconizado pela lei 12.608 de 10 de Abril de 2012, a qual autoriza a criação de sistemas de informações e monitoramento de desastres naturais orientadas a bacias e/ou regiões hidrográficas, o presente mapeamento foi ajustado à base de dados espaciais do INEA, em função das Regiões Hidrográficas estabelecidas pela Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos-CERHI N° 18/06, definidas pelo INEA como unidades de planejamento ambiental. A figura 1 ilustra os resultados obtidos.

Figura 1 – Mapa de Localização do ERJ ajustado as Regiões Hidrográficas



Fonte: Própria do Autor

2.1.ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

A climatologia do ERJ é extremamente influenciada pela topografia, a qual descreve o regime de precipitação (André *et al.* 2007). Há extensas áreas próximas ao nível do mar, como a baixada litorânea e a região norte do Estado, e áreas montanhosas com altitudes acima de 1500 metros. Estas configurações orográficas influenciam de forma marcante a distribuição espacial da precipitação nessas áreas geográficas

O ERJ possui clima quente com áreas úmidas, semi-úmidas e secas. Nas áreas onde há a predominância do clima úmido, quase todos os meses do ano são chuvosos, já nas áreas onde predomina o clima semi-úmido, de quatro a seis meses são secos, isto é, quase não chove neste período, por fim, nas áreas de clima tropical seco, são mais de sete meses de pouca chuva, variando principalmente em função do relevo e proximidade do mar (CEPERJ, 2010).

A predominância do clima tropical semi-úmido ocorre nas áreas de baixas altitudes, com destaque para as áreas da Baixada Fluminense e região metropolitana do Rio de Janeiro com temperatura média anual em torno de 24° C e chuvas abundantes no verão e invernos secos, a pluviosidade ultrapassa os 1.500 mm anuais (Bastos & Napoleão, 2010).

O clima tropical de altitude ocorre nas terras altas (Serra do Mar, parte do Vale do Paraíba do Sul e Planalto de Itatiaia) e se caracteriza por temperaturas mais amenas, com médias mensais de 22°C para o mês mais quente, devido à altitude do relevo com verões pouco quentes e chuvosos e invernos frios e secos (Bastos & Napoleão, 2010).

O clima tropical se destaca na porção nordeste do ERJ. Este tipo de clima possui como característica uma estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca nos períodos de inverno, de maio a outubro, com destaque para o mês de julho que é considerado o mais seco. A temperatura média no mês mais frio é superior ao 18°C e as precipitações anuais ultrapassam os 1.800 mm (Bastos & Napoleão, 2010).

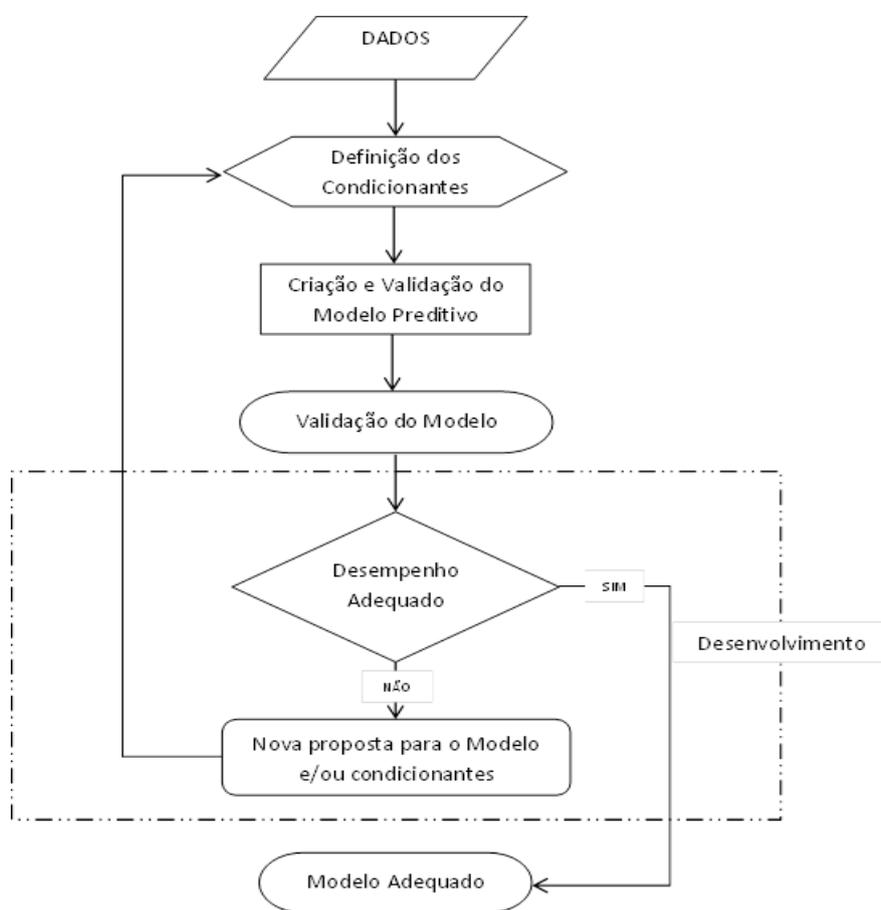
Convém destacar que algumas áreas do ERJ apresentam características de Clima Tropical Seco, como o município de Arraial do Cabo. As características gerais desse tipo de clima é a ocorrência de uma estação seca com uma precipitação anual média de 750 mm.

3. MATERIAIS E MÉTODO

O método adotado neste estudo foi baseado em seis abordagens integradas: (1) definição conceitual; (2) obtenção e preparação de dados; (3) tratamento de dados e geração de produtos; (4) estabelecimento de pesos e construção do mapa de Susceptibilidade à Ocorrência de Focos de calor no ERJ; (5) avaliação dos focos de calor; (6) validação dos resultados obtidos.

A figura 2 ilustra os processos adotados para a confecção e validação do mapa de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor no ERJ.

Figura 2. Ilustração do método utilizado na elaboração e validação do Mapa de Susceptibilidade à Ocorrência de Focos de Calor no ERJ



Fonte: Própria do Autor

A primeira abordagem é a definição conceitual, que incluiu a escolha da área de estudo e a determinação dos fatores condicionantes. A seleção da área foi motivada pelos eventos recorrentes de incêndios florestais ocorridos no ERJ, com elevado potencial para causar perdas de bens e vidas humanas.

A escolha dos fatores condicionantes, ou seja, variáveis – topográficas, climatológicas e antrópicas – que favorecem o surgimento de focos de calor, tiveram como embasamento estudos pretéritos de autores como: Chuvieco & Congalton (1989); Soares & Batista (2004); Dalcume & Santos (2005); Venture & Antunes (2007); Ferraz & Vettorazzi (2008); Souza *et. al.* (2009); Prudente (2010); e Kazmierczak (2015). Segundo os autores citados, os principais fatores que contribuem para deflagração de Incêndios Florestais são: a declividade do terreno; a forma da ocupação antrópica no local; a temperatura; a precipitação; a orientação das encostas; a altimetria e o déficit hídrico da localidade. Esses fatores condicionantes, no período de baixo regime de chuvas, potencializam o aparecimento de focos de calor, que por consequência, podem evoluir e tornar-se incêndios florestais.

A segunda abordagem incluiu a obtenção e preparação de dados espaciais referentes aos condicionantes, vide tabela 1. Vale frisar que os mesmos foram coletados de forma gratuita. Os dados de origem climatológica são disponibilizados no banco de dados do *WorldClim*, os topográficos são disponibilizados pela USGS (*United States Geological Survey*) e os dados geobiofisiográficos foram obtidos no banco de dados do INEA. Os dados do *WorldClim* são um conjunto gratuito de camadas climáticas globais (grids de clima), com uma resolução espacial de aproximadamente 1 quilômetro quadrado, criado e mantido por pesquisadores da Universidade de Berkeley na Califórnia. Os dados obtidos da USGS (*United States Geological Survey*) são oriundos da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) caracterizada como projeto de obtenção de modelos digitais de terreno, compreendido entre as latitudes 56 °S e 60 °N, de modo a gerar uma base de cartas topográficas com resolução espacial de 30 m. Os dados geobiofisiográficos disponibilizados pelo INEA tem por objetivo espacializar e diferenciar as tipologias de uso e cobertura do solo no ERJ.

Tabela 1 - Relação dos dados obtidos

Dado Espacial	Formato	Escala/Resolução	Órgão
Uso e Cobertura do Solo	Vetorial	1:250.000	INEA
Déficit Hídrico	Vetorial	1:250.000	INEA
Temperatura	Matricial	1Km	<i>WorldClim</i>
Precipitação	Matricial	1Km	<i>WorldClim</i>
Orientação das Encostas	Matricial	30m	<i>USGS</i>
Altimetria	Matricial	30m	<i>USGS</i>
Declividade	Matricial	30m	<i>USGS</i>

Fonte: Própria do Autor

A terceira abordagem incluiu o tratamento dos dados adquiridos. Para realização deste processo, os dados em formato vetorial foram convertidos em formato matricial, gerando o mapa de uso e cobertura do solo e déficit hídrico. Os dados obtidos em formato matricial foram utilizados para a construção dos mapas de Temperatura, Precipitação, Orientação das Encostas, Altimetria e Declividade.

O estabelecimento dos pesos, ou grau de contribuição para cada condicionante, deu-se por meio da aplicação do método de decisão AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

A confecção do mapa de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor no ERJ foi estabelecida em duas etapas:

- I. A classificação dos condicionantes em cinco níveis de contribuição – variando entre muito baixo e muito alto – no ERJ;
- II. O estabelecimento do grau de importância de cada variável, utilizando o método de decisão AHP, e respectivamente combinado os resultados em sobreposição de camadas.

As operações descritas geraram três modelos de previsibilidade – período anual, trimestre úmido e seco – em áreas hierarquizadas com cinco classes de susceptibilidade, descritos como estágios operacionais, vinculando essas classes a estimativas métricas (quilômetros quadrados) e percentuais.

A aquisição e avaliação dos registros de focos de calor detectados pelo satélite AQUA – MT (INPE, 2017), disponíveis em arquivo tabular ou *shapefile*, foram analisados na escala temporal, anual e mensal, cuja análise investigou os anos e meses com maior incidência de queimadas, assim como, a relação entre surgimento de focos de calor, sua concentração e distribuição espacial no ERJ no período compreendido entre 2003 – 2017. Vale destacar a identificação da biomassa de maior inflamabilidade no ERJ foi estimada com dados entre os anos de 2015 – 2017.

Após a conclusão do mapeamento, a validação do produto final foi realizada através da comparação dos focos de calor registrados com o mapeamento das áreas susceptíveis. Os focos de calor foram especializados e sobrepostos às respectivas classes de susceptibilidade. Posteriormente, os valores de células contidos no mapa foram extraídos e comparados com os registros de focos de calor, subtraídos das Áreas Não Susceptíveis a Focos de Calor, estabelecendo a precisão das classes de susceptibilidade.

A elaboração das bases cartográficas foi realizada no QGIS e os procedimentos de edição foram realizados no Software ArcGis da *Environmental System Research Institute* - ESRI, para construção dos mapeamentos realizados.

3.1.MÉTODO AHP

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) auxilia a tomada de decisão baseada em critérios qualitativos e quantitativos, tendo como objetivo analisar o julgamento de especialistas, dividindo problemas complexos em problemas mais simples, na forma de hierarquia de decisão (Saaty, 1977). O método tem por ideia central realizar o estudo de sistemas por meio de uma sequência de comparações, aos pares, dos condicionantes (elementos) que têm influência no sistema considerado. O AHP divide o problema geral em avaliações de menor importância, enquanto mantém, ao mesmo tempo, a participação desses problemas menores na decisão global. Ou seja, ao encarar um problema complexo, é mais fácil dividi-lo em outros menores porque, quando solucionados individualmente e depois integrados, estes representam a decisão do problema inicial buscada. A importância relativa entre dois condicionantes é medida de acordo com uma escala numérica de 1 a 9 (Saaty 1977) onde o ponto 1 denota que os dois condicionantes têm igual importância e o ponto 9 indica que um condicionante é muito mais significativo do que o correspondente condicionante de coluna com o qual é comparado. A escala de comparação pode ser exemplificada conforme tabela 2.

Tabela 2 - Escala de julgamento de importância do Método AHP

Valores Numéricos	Termos Verbais	Descrição
1	Igual Importância	Duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderadamente mais importante	Uma alternativa apresenta leve favorecimento em relação à outra
5	Fortemente mais importante	Uma alternativa apresenta forte favorecimento em relação a outra
7	Muito fortemente mais importante	Uma alternativa apresenta elevado favorecimento em relação à outra e sua dominância é demonstrada na prática
9	Extremamente mais importante	Uma alternativa é favorecida em relação à outra
2,4,6 e 8	Valores intermediários	Condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1977)

Seguindo a metodologia proposta por Saaty (1977), o grau de contribuição de cada condicionante foi determinado em três passos: (1) Construção de uma Matriz de Comparação de Julgamentos; (2) Determinação dos pesos de cada condicionante; (3) Determinação da Razão de Consistência (RC).

A construção da Matriz de Comparação de Julgamentos foi realizada por meio da correlação entre os fatores de maior importância, descrito na tabela 2. Os elementos na extremidade esquerda da matriz, dispostos em colunas, quando comparados com o fator correspondente na linha superior, denotam o grau de importância que um condicionante exerce sobre outro.

A partir da decisão proposta, os elementos da matriz de comparação foram normalizados, ou seja, cada elemento foi dividido pela somatória dos elementos da coluna a que ele pertence, realizando-se média aritmética simples dos elementos correspondentes a linha da matriz normalizada, gerando assim, o peso para cada condicionante.

Tabela 3 - Matriz de Comparação de Julgamentos

	Precipitação	Uso do Solo	Declividade	Temperatura	Orientação	Altitude	Déficit Hídrico	Pesos
Precipitação	1	2	3	3	5	7	2	0,2085
Uso do Solo	1/2	1	3	5	7	7	1	0,1724
Declividade	1/3	1/3	1	5	5	1	0,5	0,0897
Temperatura	1/3	1/5	1/5	1	1	1	1/3	0,0372
Orientação	1/5	1/7	1/5	1	1	3	1/3	0,0403
Altitude	1/7	1/7	1	1	1/3	1	1/3	0,0344
Déficit Hídrico	1/2	1	2	3	3	3	1	0,1170

Fonte: Própria do Autor

Para avaliação da medida de consistência da decisão, Saaty (1991) propôs o cálculo da Razão de Consistência (RC). A RC descreve a integridade ou qualidade dos julgamentos realizados, é obtida pela razão entre o Índice de Consistência(IC) e o Índice de Consistência Aleatório (CA).

A consistência de uma matriz requer que o autovalor máximo (λ_{max}) seja igual ao número de linhas (ou colunas) da matriz de comparação paritárias n (número que representa a ordem da matriz). Quanto mais próximo λ_{max} for de n , mais consistente será o resultado. O autovalor é calculado por meio da equação (1).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Aw_i}{w_i} \quad (1)$$

Onde: w_i corresponde aos pesos calculados e Aw_i é a matriz resultante do produto da Matriz de Comparação Pareada (Tabela 3) pela matriz dos pesos calculados (w_i). Observando-se os valores das somas das colunas, multiplicadas pelo peso (Tabela 2), o resultado do autovalor pode ser expresso como $\lambda_{max} = 7,6989$.

O Índice de Consistência de uma matriz de comparações paritárias indica o afastamento do autovalor de um valor teórico esperado n , e esse desvio é dado pela expressão $(\lambda_{max} - n)$. Essa diferença é medida em relação ao número de graus de liberdade da matriz $(n - 1)$. O índice de consistência é calculado conforme a equação (2).

$$IC = (\lambda_{m\acute{a}x} - n)/(n - 1) \quad (2)$$

Gerando como Índice de Consistência $IC = 0,1165$.

Para determinação da Razão de Consistência (RC), o índice de consistência (IC) é comparado com o Índice de Consistência Aleatório (CA) visando determinar a qualidade do julgamento realizado. A Razão de Consistência é calculada conforme equação (3).

$$RC = IC/CA \quad (3)$$

O Índice de Consistência aleatória (CA) representa o valor que seria obtido em uma matriz de comparação paritária de ordem n em que não fossem realizados julgamentos lógicos, preenchendo-se os elementos com valores aleatórios. A determinação do CA foi realizada para uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas, de ordem de até 11 por 11, geradas aleatoriamente, encontrando os valores apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Índice de Consistência Aleatória em função da Matriz 11 por 11.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Adaptado de Saaty (1977)

De acordo com Saaty (1977), quando a razão de consistência for inferior a 0,1 a razão de coeficientes de ponderação são aceitáveis, caso contrário uma reavaliação dos Julgamentos é exigida. A RC na aplicação do AHP neste estudo foi de 0,078.

3.2.GERAÇÃO DOS MAPAS

3.2.1. Geração do Mapa de Declividade

O mapa de declividade foi construído a partir dos Modelos Digitais de Terreno (MDT), em formato matricial, advindos da missão SRTM com variação altimétrica de 30 metros, conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (2006): 0% a 3% (Relevo Plano), 3% a 8% (Relevo Suavemente Ondulado), 8% a 20% (Relevo Ondulado), 20% a 45% (Relevo Fortemente Ondulado), 45% a 75% (Relevo Montanhoso) e acima de 75% (Relevo Fortemente Montanhoso). Cada classe foi ordenada à susceptibilidade a ocorrência de incêndios, conforme tabela 5.

Tabela 5 - Classificação atribuída à categoria de susceptibilidade para Declividade

Classe	Declividade em classes percentuais	Nota
Muito Baixa	0% a 3%	1
Baixa	3% a 8%	2
Média	8% a 20%	3
Alta	45% a 75%	4
Muito Alta	>75%	5

Fonte: Própria do Autor

3.2.2. Geração do Mapa de Altimetria

Para obter o mapa de altimetria, foram estabelecidas cinco classes altimétricas, a partir da otimização de Jenk. Este método consiste basicamente na minimização da soma da variância dentro de cada classe da área de estudo. Aplicando - se esse método foi estabelecido de vulnerabilidade associada à susceptibilidade ao surgimento de focos de calor, conforme tabela 6.

Tabela 6 - Classificação atribuída à categoria de susceptibilidade para Altimetria

Classe	Altimetria em metros	Nota
Muito Baixa	0 m – 218,5 m	1
Baixa	218,6 m – 524,5 m	2
Média	524,6 m – 841,5 m	3
Alta	841,6 m – 1.279 m	4
Muito Alta	1.280 m – 2765 m	5

Fonte: Própria do Autor

3.2.3. Geração do Mapa de Orientação das encostas

A partir da classificação adaptada de Ferraz & Vettorazzi (1998) para o hemisfério Sul, foi determinada a susceptibilidade de incêndio para todas as faces expostas à incidência solar e suas respectivas classes gerando o mapa de orientação das encostas conforme tabela 7.

Tabela 7 - Classificação atribuída à categoria de susceptibilidade para Exposição do Terreno

Classe	Orientação das Encostas	Nota
Muito Baixa	Sul – Sudeste – Plano	1
Baixa	Sudoeste	2
Média	Leste – Oeste	3
Alta	Norte	4
Muito Alta	Nordeste – Noroeste	5

Fonte: Própria do Autor

3.2.4. Geração do Mapa de Uso e Cobertura do Solo

Através do mapa de uso e cobertura do solo (INEA, 2015), foi identificada a biomassa existente na área de estudo, cujas categorias (descritas na tabela 8), segundo Chuvieco & Congalton (1989), Dalcume & Santos (2005), Ferraz & Vettorazzi (2008) e Kazmierczak (2015), são consideradas como os principais contribuintes para o surgimento de focos de calor.

Tabela 8- Classificação atribuída à categoria de susceptibilidade para biomassa

Classe	Combustibilidade da Biomassa	Nota
Nula	Água – Afloramento Rochoso – Salina – Cordões Arenosos e Dunas – Ocupação Urbana	0
Muito Baixa	Reflorestamento – Mangue – Solo Exposto	1
Baixa	Comunidade Relíquia – Restinga	2
Média	Vegetação Secundária em Estágio Inicial	3
Alta	Agricultura – Vegetação secundária em estágio Médio/Avançado	4
Muito Alta	Campo/Pastagem	5

Fonte: Própria do Autor

3.2.5. Geração do Mapa de Déficit Hídrico

O Déficit Hídrico é caracterizado quando o valor das precipitações são inferiores aos valores da evapotranspiração (Araújo, 2007). Fernandes *et al.* (2011)

correlacionou o surgimento de focos de calor a taxas desiguais de evaporação e precipitação, para o ERJ, associando este fato à secagem do material combustível, provocando perda de umidade da biomassa vegetal.

O mapa de Déficit Hídrico foi elaborado para três cenários distintos: anual, trimestre úmido (verão) e trimestre seco (inverno) segundo série histórica de 1970 a 2000, cujos dados geraram os mapas de Déficit Hídrico para o período anual, seco e úmido, a partir do método de Jenk, efetuando a classificação de susceptibilidade a ocorrência de focos de calor, conforme descrito na tabela 9.

Tabela 9- Classificação atribuída à categoria de susceptibilidade para déficit hídrico

Classe	Déficit Hídrico (Anual) em mm	Déficit Hídrico (Verão) em mm	Déficit Hídrico (Inverno) em mm	Nota
Muito Baixa	4 – 44,85	4 -9,16	5– 26,92	1
Baixa	44,86 – 86,94	9,17 – 22,3	26,93 – 49,35	2
Média	86,95 – 131,5	22,4 – 46,71	49,36 – 66,68	3
Alta	131,6 – 188,4	46,72 – 77,68	66,69 – 84,01	4
Muito Alta	188,5 – 319,7	77,69 – 123,7	84,02 - 135	5

Fonte: Própria do Autor

3.2.6. Geração do Mapa de Precipitação

Para avaliar a precipitação média acumulada, foram consideradas as precipitações mensais, segundo série histórica de 1970 a 2000, cujos dados geraram os mapas de precipitação para o quadro anual, úmido e seco, a partir do método de Jenk, efetuando a classificação de susceptibilidade a ocorrência de focos de calor, conforme a distribuição pluviométrica descrita na tabela 10.

Tabela 10- Classificação atribuída à categoria de susceptibilidade para precipitação

Classe	Precipitação (Anual) em mm	Precipitação (Verão) em mm	Precipitação (Inverno) em mm	Nota
Muito Baixa	1.773,9 – 2.371,2	725,20 – 1.114,0	202,0 – 308,0	1
Baixa	1524,0 – 1.773,8	638,0 – 725,0	141,0 – 202,0	2
Média	1.341,1 – 1523,9	540,0 – 638,0	112,0 – 141,0	3
Alta	1.152,1 – 1.341,0	442,0 – 540,0	87,0 – 112,0	4
Muito Alta	816,7 – 1.152,0	271,0 – 442,0	52,0 – 87,0	5

Fonte: Própria do Autor

3.2.7. Geração do Mapa de Temperatura

Para avaliar a temperatura média anual, foram consideradas as temperaturas mensais segundo série histórica de 1970 a 2000, gerando os mapas de temperatura

média anual, para o período seco e úmido, a partir do método de Jenk, efetuando a classificação de susceptibilidade a ocorrência de focos de calor, conforme a distribuição térmica descrita na tabela 11.

Tabela 11- Classificação atribuída à categoria de susceptibilidade para temperatura

Classe	Temperatura (Anual)°C	Temperatura (Verão)°C	Temperatura (Inverno)°C	Nota
Muito Baixa	9,5 – 16,6	11,3 -18,5	7,2 – 14,2	1
Baixa	16,6 – 18,9	18,5 – 20,8	14,2 – 16,5	2
Média	18,9 – 20,6	20,8 – 22,6	16,5 – 18,2	3
Alta	20,6 – 22,2	22,6 – 24,1	18,2 – 19,8	4
Muito Alta	22,2 – 23,8	24,1 – 26,5	19,8 – 21,4	5

Fonte: Própria do Autor

3.2.8. Geração dos Mapas de Susceptibilidade à Ocorrência de Focos de Calor

O mapa de susceptibilidade foi construído a partir da aplicação do método AHP o qual indicou os níveis de influência de cada condicionante na ocorrência de focos de calor, conforme equação (4). Através do software *Quantun Gis* foi realizada a combinação linear dos condicionantes, processado na calculadora de campo “*Raster Calculator*”, gerando três modelos de fragilidade para o ERJ representado em mapas.

$$\text{Susceptibilidade} = 0,2085 P + 0,1724U + 0,1170 H + 0,0897 D + 0,0403 O + 0,0344 T + 0,0344 A. \quad (4)$$

Em que:

- P = Matriz de Precipitação;
- U = Matriz de Uso e Ocupação do Solo;
- H = Matriz de Déficit Hídrico;
- D= Matriz de Declividade;
- O = Matriz de Orientação das Encostas;
- T = Matriz de Temperatura;
- A= Matriz de Altimetria.

Os mapas produzidos foram hierarquizados em cinco classes de vulnerabilidade associadas ao surgimento de focos de calor, a partir da amplitude de grupos, calculada pelas quebras naturais de classe contidas no SIG.

A determinação da parcela ocupada por cada classe de susceptibilidade deu-se por meio da transformação de coordenadas geográficas em métricas. Para realização deste procedimento, foi adotado como Datum o SAD 69 e como sistema projetivo a

cônica equivalente de Albers, devido às limitações de fusos impostas pela projeção UTM.

3.3.AVALIAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR

Neste trabalho foram investigados os padrões dos focos de calor no ERJ, buscando assim um melhor entendimento do fenômeno e a possibilidade de estabelecer tendências no tocante aos anos e meses de maior recorrência, assim como sua representação espacial mediante a construção de mapas de densidade de *Kernel*.

Os dados coletados estão compreendidos em uma série histórica de 14 anos, 2003 a 2017, de registros utilizando como fonte de dados o satélite AQUA – MT referência para detecção de focos de calor, recomendação proposta pelo INPE, tendo por objetivo o uso de uma mesma tecnologia na coleta de dados.

Os registros de focos de calor foram separados em função dos anos e meses de maior e menor ocorrência, sendo ainda tratados através da consistência de observações. Os anos e meses de ocorrência foram representados qualitativamente por meio de gráficos de barras tendo por finalidade descrever os períodos de maior/menor registros de focos de calor. Os dados inconsistentes, quando comparados com o *shape* de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 2015, foram denominados de ANSOI, terminologia adotada por Fernandes *et al.* (2011), devido aos registros de queimadas ocorrerem em tipologias como: Afloramentos Rochosos, Águas, Áreas Úmidas, Cordões Arenosos, Dunas, Ocupação Urbana, Salinas e Solo Exposto.

A partir da obtenção dos focos de calor foram estabelecidas as suas concentrações dentro da área de estudo aplicando o estimador de densidade *kernel*, presente na extensão *Spatial Analyst* do *software* ArcGis da ESRI. 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). A partir da densidade de *kernel*, foram criados mapas que refletem a concentração e distribuição geográfica dos focos de calor no ERJ, classificados em níveis de densidades que variam de acordo com a cor e tonalidade sendo representados em: Vermelho (densidade muito alta); Laranja (densidade alta); Amarela (densidade média); Azul com tonalidade mais clara (densidade baixa) e Azul com tonalidade mais escura (densidade muito baixa).

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos neste estudo foram representados em mapas e tabelas. Os mapas confeccionados descrevem, de forma quantitativa e qualitativa, a variação dos condicionantes no ERJ e as tabelas expressam, em quilômetros quadrados e variações percentuais, numericamente as porções do território caracterizadas como vulneráveis ao fenômeno de estudo.

Após a exposição dos resultados chega-se a discussão dos temas abordados através da comparação entre a literatura utilizada neste documento e os resultados obtidos, descrevendo o comportamento sazonal e geográfico das áreas mais susceptíveis ao surgimento dos focos de calor no ERJ.

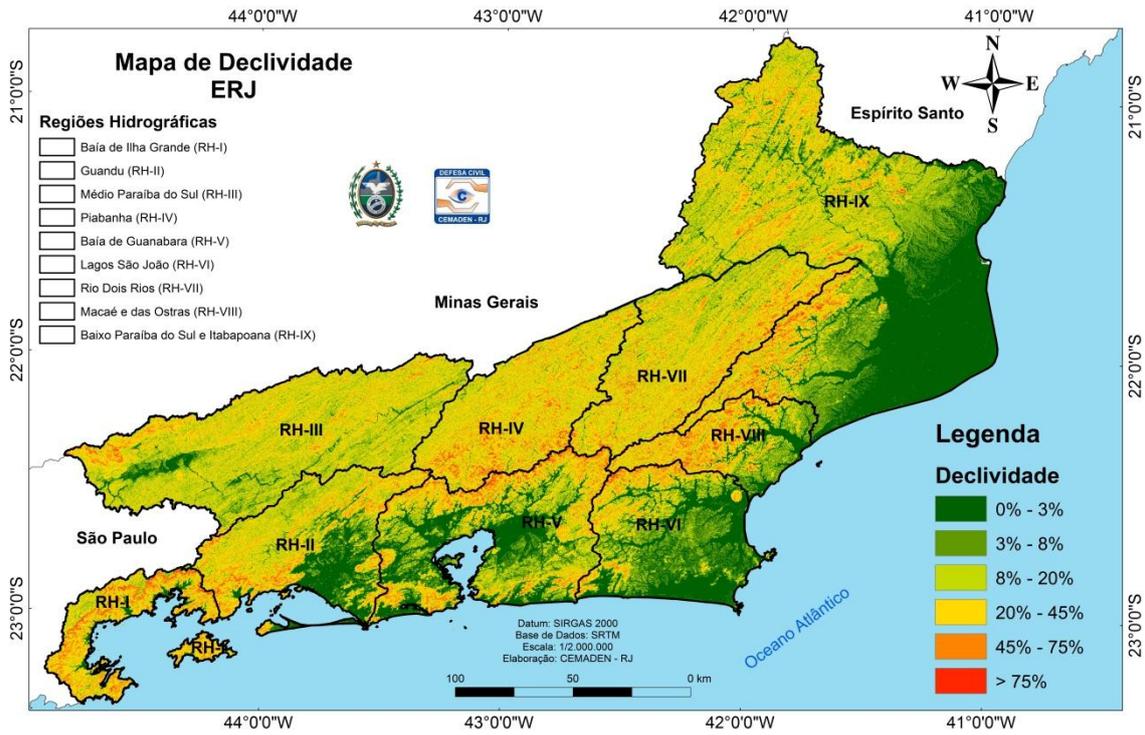
A conclusão dos resultados obtidos aponta para a mobilidade espacial das áreas mais susceptíveis ao surgimento dos focos de calor, assim como, o deslocamento espacial dos mesmos em função do aumento do número de queimadas.

4.1.Declividade

De acordo com dados extraídos do MDE, obtidos da missão *SRTM* e representados na tabela 12, estima-se que o ERJ possua 17.829,32 Km² de sua área classificada com declividades acima de fortemente ondulada, o que equivale a 40,86% de seu território.

Declividades classificadas acima de fortemente ondulado representam 69,17% da Região Hidrográfica IV (Piabanha) correspondendo a 2.452,31 Km² de área favorável a propagação de chamas, dificultando o acesso e extinção dos focos de calor. A figura 3 representa os resultados obtidos.

Figura 3 – Mapa de declividade em junção com RHs no ERJ



Fonte: Própria do Autor

Tabela 12 – Estimativa de Declividade no ERJ em Km² e percentual de área em conjunto com Regiões Hidrográficas

	ERJ		RHI		RHII		RHIII		RHIV		RHV		RHVI		RHVII		RHVIII		RHIX	
	Km ²	%																		
1	8960,58	20,54	90,82	5,37	738,24	20,05	340,52	5,30	46,75	1,32	1370,34	28,68	1484,55	41,22	122,51	2,80	315,72	15,92	4431,69	32,86
2	5882,15	13,48	81,18	4,80	462,80	12,57	834,45	12,99	195,32	5,51	761,35	15,94	833,69	23,15	333,14	7,63	273,91	13,81	2094,40	15,53
3	10958,18	25,12	304,90	18,02	878,79	23,87	2431,82	37,86	850,83	24,00	1035,18	21,67	605,47	16,81	1212,97	27,77	437,49	22,06	3177,92	23,56
4	14203,32	32,55	818,77	43,39	1273,39	34,58	2564,17	39,92	1939,27	54,70	1149,30	24,06	505,41	14,03	2172,77	49,74	633,50	31,94	3130,84	23,21
5	3242,41	7,43	346,97	20,50	305,63	8,30	240,14	3,74	451,98	12,75	399,12	8,35	155,27	4,31	474,60	10,86	281,98	14,22	585,98	4,34
6	383,59	0,88	49,54	2,93	23,36	0,63	11,6	0,18	61,06	1,72	62,34	1,30	16,78	0,47	52,42	1,20	40,77	2,06	65,66	0,49
Legenda																				
1. Relevo Plano																				
2. Relevo Suavemente Ondulado																				
3. Relevo Ondulado																				
4. Relevo Fortemente Ondulado																				
5. Relevo Montanhoso																				
6. Relevo Fortemente Montanhoso																				

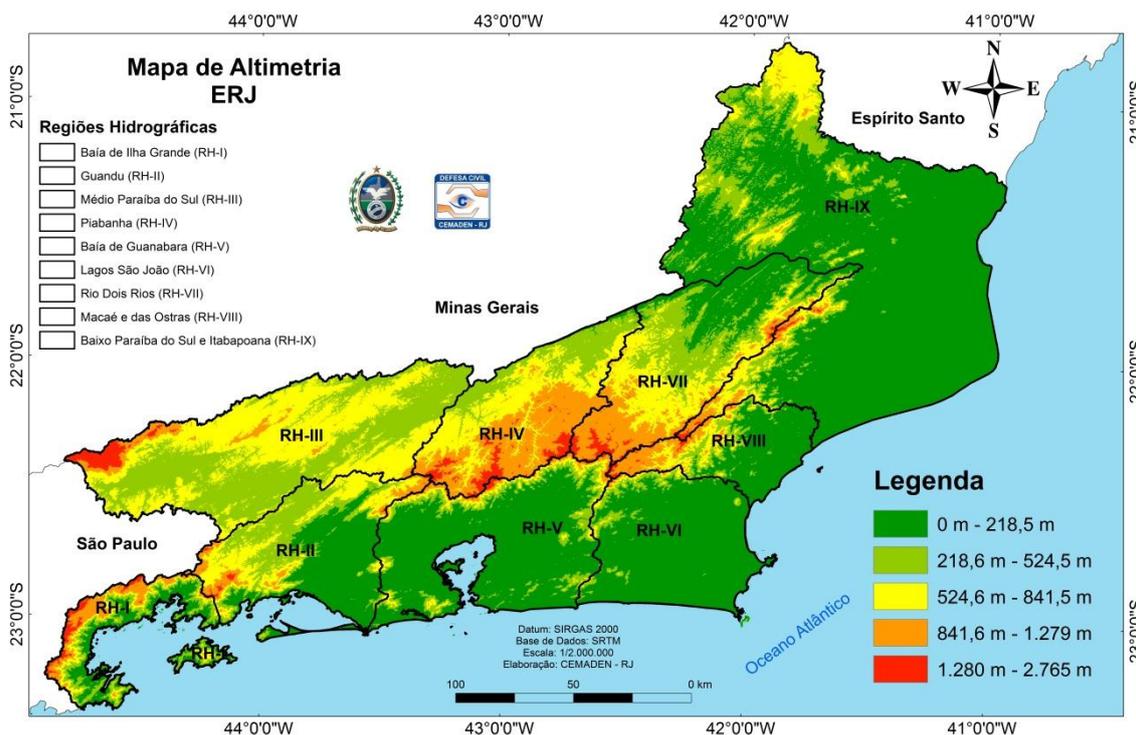
Fonte: Própria do Autor

4.2. Altimetria

Valores altimétricos entre 1.280,00 m e 2.765,00 m, tabela 13, respondem por 7,43% do ERJ, o que representa 3.242,41 Km² do território.

A figura 4 destaca as Regiões Hidrográficas I (Baía de ilha Grande), IV (Piabanha) e VII (Rio Dois Rios) como as áreas que apresentam as maiores altitudes no ERJ. A RH I apresenta 20,50% de sua área com valores altimétricos acima de 1.208,00 m, o que corresponde a 346,97 Km². A RH IV apresenta 12,75% de sua área com valores altimétricos acima de 1.208,00 m, o que corresponde a 451,98 Km². A RH VII apresenta 10,86% de sua área com valores altimétricos acima de 1.208,00 m, o que corresponde a 474,60 Km².

Figura 4 – Mapa de Altimetria em junção com RHs no ERJ



Fonte: Própria do Autor

Tabela 13 – Estimativa da Altimetria no ERJ em Km² e percentual de área em conjunto com Regiões Hidrográficas

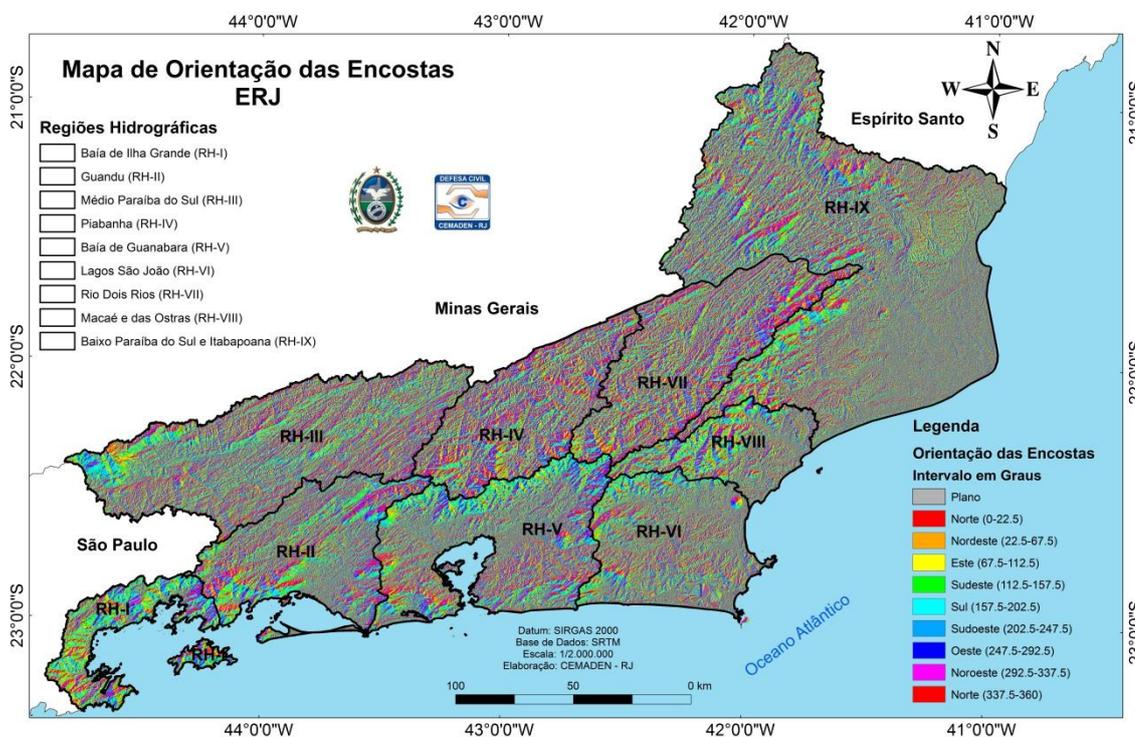
	ERJ		RHI		RHII		RHIII		RHIV		RHV		RHVI		RHVII		RHVIII		RHIX	
	Km ²	%																		
1	8960,58	20,54	90,82	5,37	738,24	20,05	340,52	5,30	46,75	1,32	1370,34	28,68	1484,55	41,22	122,51	2,80	315,72	15,92	4431,69	32,86
2	5882,15	13,48	81,18	4,80	462,80	12,57	834,45	12,99	195,32	5,51	761,35	15,94	833,69	23,15	333,14	7,63	273,91	13,81	2094,40	15,53
3	10958,18	25,12	304,90	18,02	878,79	23,87	2431,82	37,86	850,83	24,00	1035,18	21,67	605,47	16,81	1212,97	27,77	437,49	22,06	3177,92	23,56
4	14203,32	32,55	818,77	43,39	1273,39	34,58	2564,17	39,92	1939,27	54,70	1149,30	24,06	505,41	14,03	2172,77	49,74	633,50	31,94	3130,84	23,21
5	3242,41	7,43	346,97	20,50	305,63	8,30	240,14	3,74	451,98	12,75	399,12	8,35	155,27	4,31	474,60	10,86	281,98	14,22	585,98	4,34
Legenda																				
1. 0 m – 218,5 m																				
2. 218,6 m – 524,5 m																				
3. 524,6 m – 841,5 m																				
4. 841,6 m – 1.279,0 m																				
5. 1.280,0 m – 2.765,0 m																				

Fonte: Própria do Autor

4.3. Orientação das Encostas

As faces das encostas orientadas para Nordeste (N) e Noroeste (NW) ocupam 24,67% do território do ERJ, tabela 14, equivalente a uma área estimada em 10.784,72 Km². Recebem destaque as Regiões Hidrográficas: IV (Piabanha) com área estimada em 978,95 Km², equivalente a 27,61% do território, e VII (Rio Dois Rios) com área estimada em 1.210,08 Km², equivalente a 27,69% do território. A Região Hidrográfica IV apresenta área estimada de 1.329,27 Km², o que representa 54,70% de seu território classificado como fortemente ondulado. A figura 3 ilustra os resultados obtidos.

Figura 5 – Mapa de Orientação das Encostas no ERJ



Fonte: Própria do Autor.

Tabela 14 – Estimativa de Orientação das Encostas no ERJ em Km² e percentual de área em conjunto com Regiões Hidrográficas

	ERJ		RHI		RHII		RHIII		RHIV		RHV		RHVI		RHVII		RHVIII		RHIX	
	Km ²	%																		
1	12692,12	29,03	631,29	36,80	1133,94	30,83	1679,53	26,14	779,24	21,98	1538,01	32,01	1194,78	33,20	1037,10	23,73	654,82	33,01	3996,20	29,69
2	4800,04	10,98	159,72	9,31	383,81	10,43	749,01	11,66	398,29	11,24	553,08	11,51	381,11	10,59	447,24	10,23	204,49	10,31	1508,77	11,21
3	9530,81	21,80	349,35	20,36	759,12	20,64	1509,10	23,49	802,00	22,62	1017,98	21,19	765,49	21,27	932,58	21,34	417,61	21,05	2948,25	21,90
4	5916,76	13,53	210,25	12,25	500,90	13,62	861,45	13,41	586,53	16,55	590,69	12,29	432,34	12,01	742,97	17	252,87	12,75	1720,22	12,78
5	10784,72	24,67	365,06	21,28	900,72	24,49	1625,42	25,30	978,95	27,61	1104,96	23,00	825,03	22,93	1210,08	27,69	453,80	22,88	3287,95	24,43
Legenda																				
1. Sul – Sudeste – Plano																				
2. Sudoeste																				
3. Leste – Oeste																				
4. Norte																				
5. Nordeste – Noroeste																				

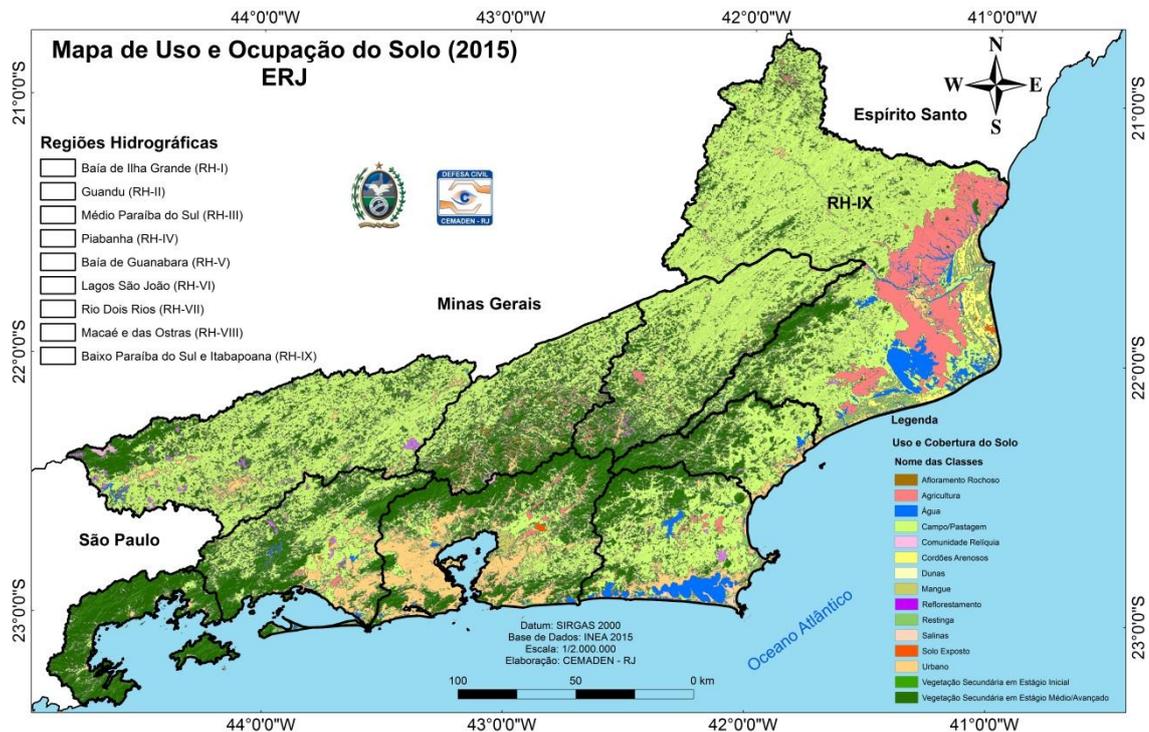
Fonte: Própria do Autor

4.4. Uso e Cobertura do Solo

A construção do mapa de uso e cobertura do solo, figura 6, e a estimativa da representatividade de área por diferentes feições na região estimada em quilômetros quadrados, tabela 15, indicam que 52% do território do ERJ é composto por Campos/Pastagens sugerindo elevado potencial de inflamabilidade.

A Regiões Hidrográficas III (Médio Paraíba do Sul), VII (Rio Dois Rios) e IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana) possuem mais de 50% de suas áreas compostos por biomassa de alta inflamabilidade, Campos/Pastagem, o que denota condições favoráveis ao surgimento de queimadas em períodos secos.

Figura 6 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo no ERJ



Fonte: Própria do Autor

Tabela 15 – Estimativa do Uso e Cobertura do Solo no ERJ em Km² e percentual de área em conjunto com Regiões Hidrográficas

	ERJ		RHI		RHII		RHIII		RHIV		RHV		RHVI		RHVII		RHVIII		RHIX	
	Km ²	%																		
0	4959,32	11	55,02	3	461,10	13	281,66	4	256,94	7	1359,74	28	700,97	19	153,37	4	132,84	7	1483,71	11
1	444,47	1	14,14	1	72,89	2	114,72	2	10,25	0	105,78	2	27,19	1	41,20	1	6,60	0	41,20	0
2	458,72	1	1,38	0	35,32	1	29,47	0	13,71	0	19,80	0	54,70	2	-	-	3,61	0	297,32	2
3	2367,20	5	61,93	4	207,79	6	295,54	5	248,68	7	252,08	5	174,11	5	437,82	10	134,44	7	536,32	4
4	12857,85	29	1462,49	85	1388,52	38	1258,01	20	1325,32	37	1847,12	38	900,51	25	932,83	21	755,84	38	2893,95	21
5	23016,56	52	120,99	7	1501,28	41	4451,58	69	1691,07	48	1221,92	25	1744,02	48	2805,00	64	949,86	48	8260,32	61
Legenda																				
0. Água – Afloramento Rochoso – Salina – Solo Exposto – Cordões Arenosos e Dunas – Ocupação Urbana																				
1. Reflorestamento – Mangue																				
2. Comunidade Relíquia – Restinga																				
3. Vegetação Secundária em Estágio Inicial																				
4. Agricultura – Vegetação secundária em estágio Médio/Avançado																				
5. Campo/Pastagem																				

Fonte: Própria do Autor

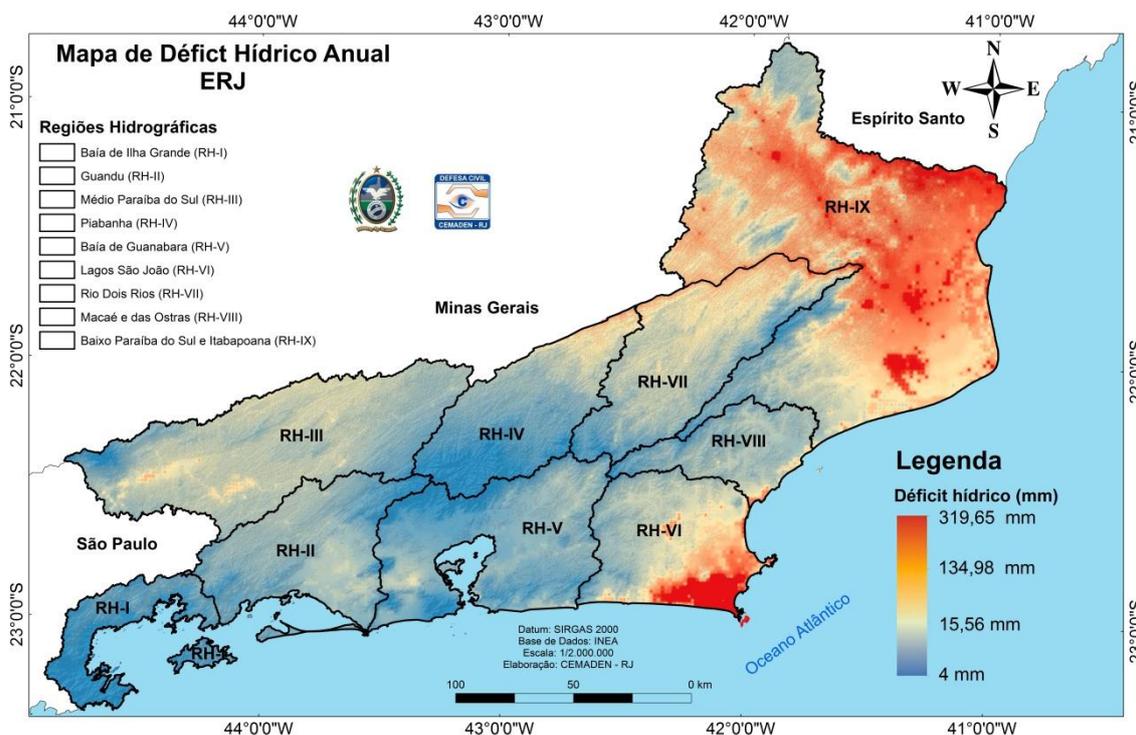
4.5. Déficit Hídrico

O Mapa de Déficit Hídrico foi separado em três cenários distintos, período anual, trimestre seco e úmido, visando descrever o comportamento sazonal climatológico das diferentes Regiões Hidrográficas no ERJ.

O Déficit Hídrico Anual, figura 07, destaca que 0,38 % do território do ERJ, tabela 14, apresenta alta perda líquida na forma de evapotranspiração correspondendo a uma área estimada em 165,54 Km².

As Regiões Hidrográficas VI (Lagos São João) e IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana), são as mais representativas no ERJ devido a extensas áreas ocupadas por áreas úmidas e campos/pastagens, figura 6, e os menores acumulados pluviométricos.

Figura 07 – Déficit Hídrico Anual no ERJ

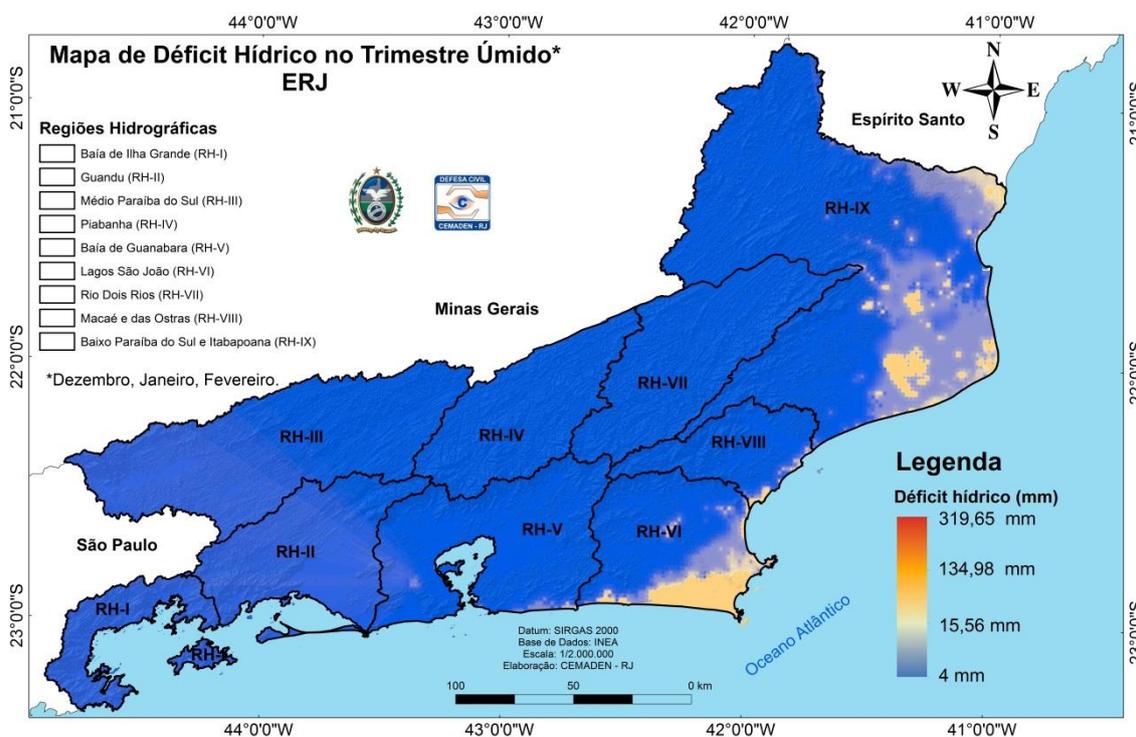


Fonte: Própria do Autor

O Déficit Hídrico no Trimestre Úmido, figura 08, destaca que 0,38 % do território do ERJ, tabela 14, apresenta alta perda líquida na forma de evapotranspiração correspondendo a uma área estimada em 185,15 Km².

As Regiões Hidrográficas VI (Lagos São João) e IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana), são as mais representativas no ERJ devido a extensas áreas ocupadas por áreas úmidas e campos/pastagens, figura 6, e os menores acumulados pluviométricos.

Figura 08 – Déficit Hídrico no Trimestre Úmido no ERJ

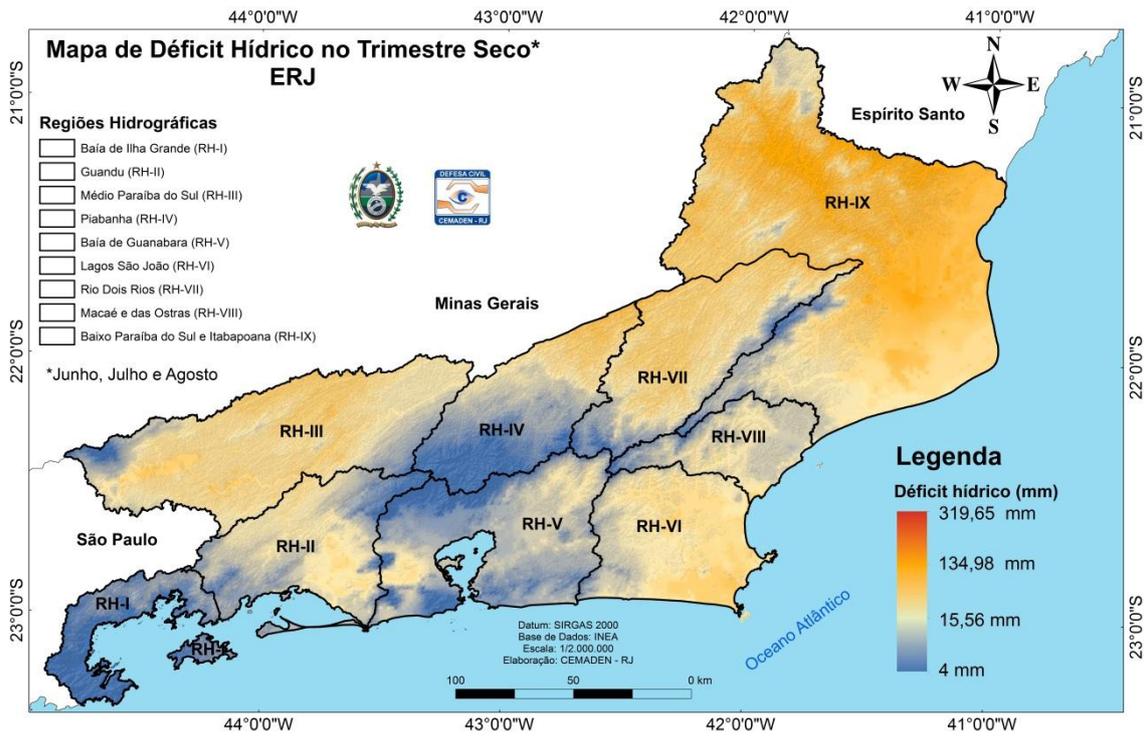


Fonte: Própria do Autor

O Déficit Hídrico no Trimestre Seco, figura 09, destaca que 14,69 % do território do ERJ, tabela 14, apresenta alta perda líquida na forma de evapotranspiração correspondendo a uma área estimada em 6.430,51 Km².

A Região Hidrográfica IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana), para o trimestre seco, obteve maior perda líquida devido a extensas áreas ocupadas por áreas úmidas e campos/pastagens, figura 6, e os menores acumulados pluviométricos no trimestre de estudo.

Figura 09 – Déficit Hídrico no Trimestre Úmido no ERJ



Fonte: Própria do Autor

Tabela 16 – Estimativa do Déficit Hídrico no ERJ em Km² e percentual de área em conjunto com Regiões Hidrográficas

ERJ	RHI		RHII		RHIII		RHIV		RHV		RHVI		RHVII		RHVIII		RHIX			
Anual																				
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
1	21794,65	49,78	1677,63	100	3538,40	96	2916,66	45	2799,58	79	4734,50	99	1119,26	31	1663,50	38	1749,01	88	1446,46	11
2	15225,22	34,77	-	-	142,25	4	3496,55	55	737,49	21	63,75	1	1749,60	49	2590,71	59	211,56	11	6179,09	46
3	6093,42	13,92	-	-	-	-	0,86	0	7,46	0	-	-	398,67	11	113,34	3	21,90	1	5516,37	41
4	504,16	1,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	168,65	5	2,40	0	-	-	313,81	2
5	165,54	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	163,55	5	-	-	-	-	0,53	0
Verão																				
1	38996,02	89,12	1677,63	100	3680,65	100	6414,07	100	3544,53	100	4737,11	99	2398,34	67	4364,48	100	1894,37	96	10121,47	75
2	3497,58	7,99	-	-	-	-	-	-	-	-	59,03	1	569,26	16	5,31	0	61,68	3	2767,25	21
3	868,36	1,98	-	-	-	-	-	-	-	-	1,48	0	260,95	7	0,14	0	27,39	1	550,86	4
4	208,64	0,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	186,14	5	-	-	-	-	10,70	0
5	185,15	0,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	182,90	5	-	-	-	-	0,21	0
Inverno																				
1	5941,50	13,57	1462,54	87	508,77	14	237,04	4	1386,45	39	1586,27	33	44,93	1	316,06	7	139,10	7	171,88	1
2	9580,13	21,88	215,09	13	1531,02	42	844,60	13	1010,89	29	2725,61	57	647,55	18	670,05	15	1058,21	53	829,13	6
3	13792,66	31,50	-	-	1615,61	44	3745,00	58	608,86	17	486,38	10	2336,03	65	1382,59	32	771,61	39	2797,29	21
4	8038,19	18,36	-	-	25,26	1	1579,89	25	455,75	13	-	-	569,91	16	1898,08	43	13,54	1	3460,52	26
5	6430,51	14,69	-	-	-	-	7,53	0	83,59	2	-	-	1,31	0	103,16	2	-	-	6197,45	46
Legenda																				
Déficit Hídrico Anual (mm)					Déficit Hídrico Verão (mm)					Déficit Hídrico Inverno (mm)										
1.	Muito Baixo (4 – 44,85)				1.	Muito Baixo (4 -9,16)				1.	Muito Baixo (5– 26,92)									
2.	Baixo (44,86 – 86,94)				2.	Baixo (9,17 – 22,3)				2.	Baixo (26,93 – 49,35)									
3.	Médio (86,95 – 131,5)				3.	Médio (22,4 – 46,71)				3.	Médio (49,36 – 66,68)									
4.	Alto (131,6 – 188,4)				4.	Alto (46,72 – 77,68)				4.	Alto (66,69 – 84,01)									
5.	Muito Alto (188,5 – 319,7)				5.	Muito Alto (77,69 – 123,7)				5.	Muito Alto (84,02 – 135)									

Fonte: Própria do Autor

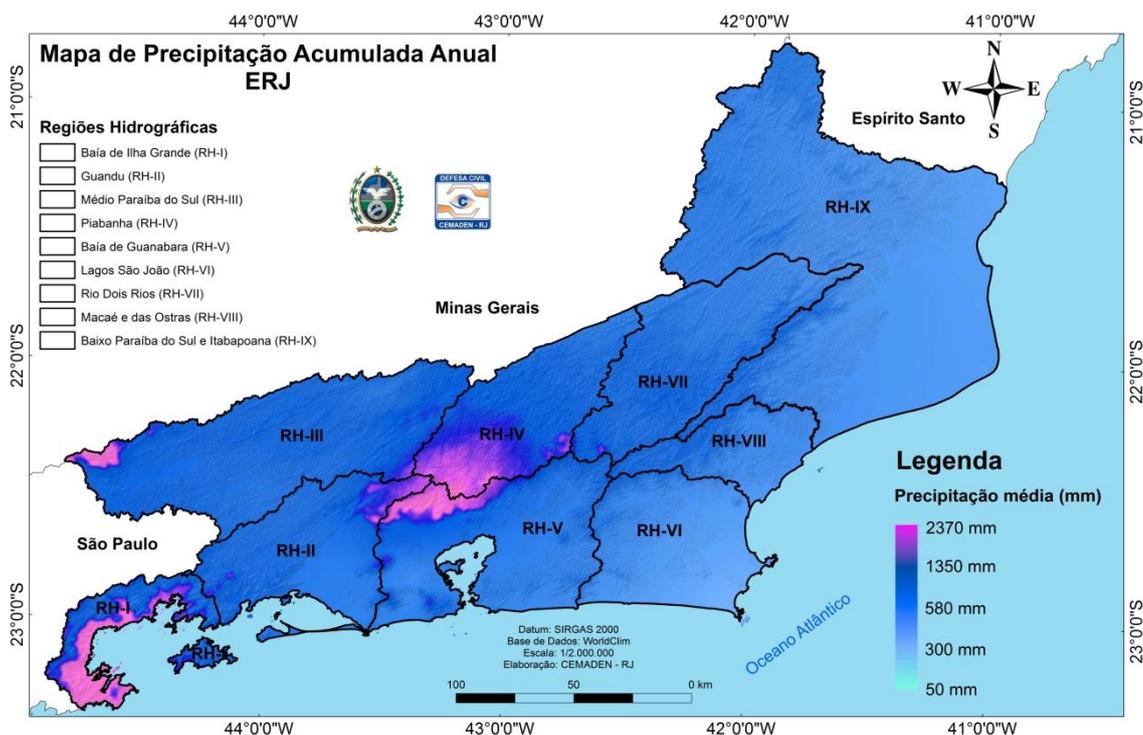
4.6. Precipitação

O Mapa de Precipitação Acumulada foi separado em três cenários distintos, período anual, trimestre seco e úmido, visando descrever o comportamento sazonal climatológico das diferentes Regiões Hidrográficas no ERJ.

A precipitação acumulada anual, figura 10, destaca que 27,65 % do território do ERJ, tabela 17, apresentam os menores regimes pluviométricos, considerando a média climatológica de trinta anos, equivalentes a uma área estimada em 12.103,53 Km².

As Regiões Hidrográficas VI (Lagos São João) e IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana), são as mais representativas no ERJ devido a extensas áreas com baixos regimes pluviométricos na comparação com as demais RHs.

Figura 10 – Mapa de Precipitação Acumulada Anual no ERJ

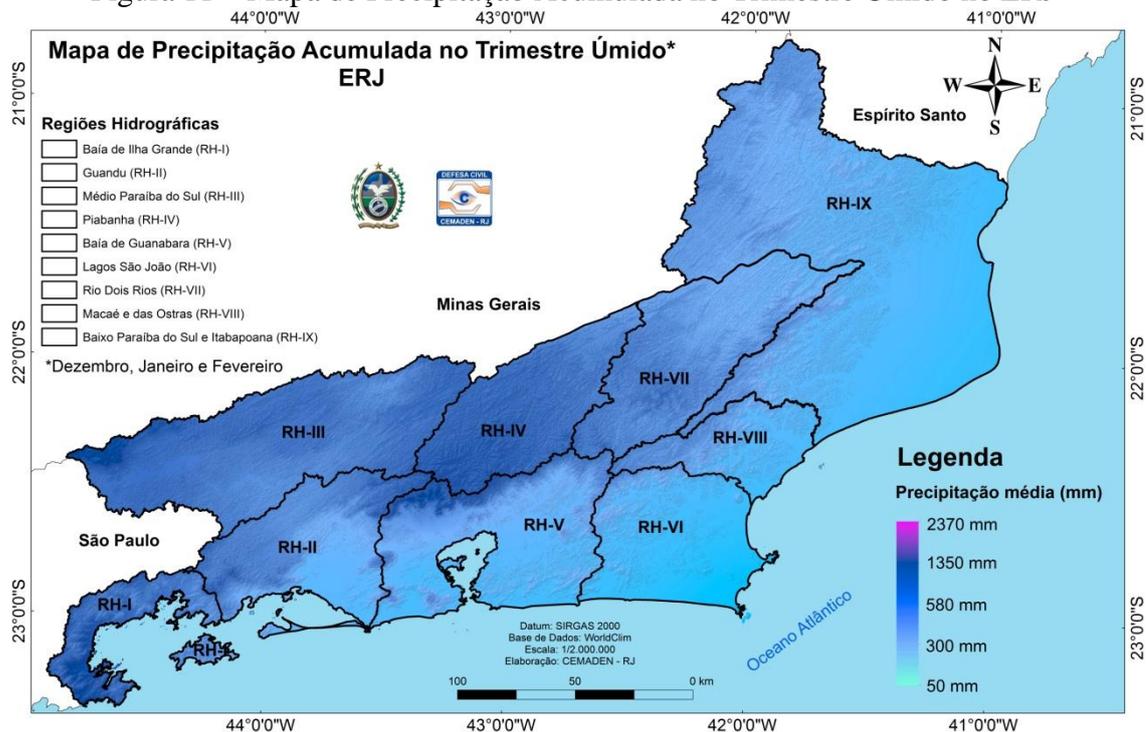


Fonte: Própria do Autor

A precipitação acumulada no período úmido, figura 11, destaca que 13,96 % do território do ERJ, tabela 17, apresentam os menores regimes pluviométricos, considerando a média climatológica de trinta anos, equivalentes a uma área estimada em 6.112,02 Km².

As Regiões Hidrográficas VI (Lagos São João) e IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana), são as mais representativas no ERJ devido a extensas áreas com baixos regimes pluviométricos na comparação com as demais RHs.

Figura 11 – Mapa de Precipitação Acumulada no Trimestre Úmido no ERJ

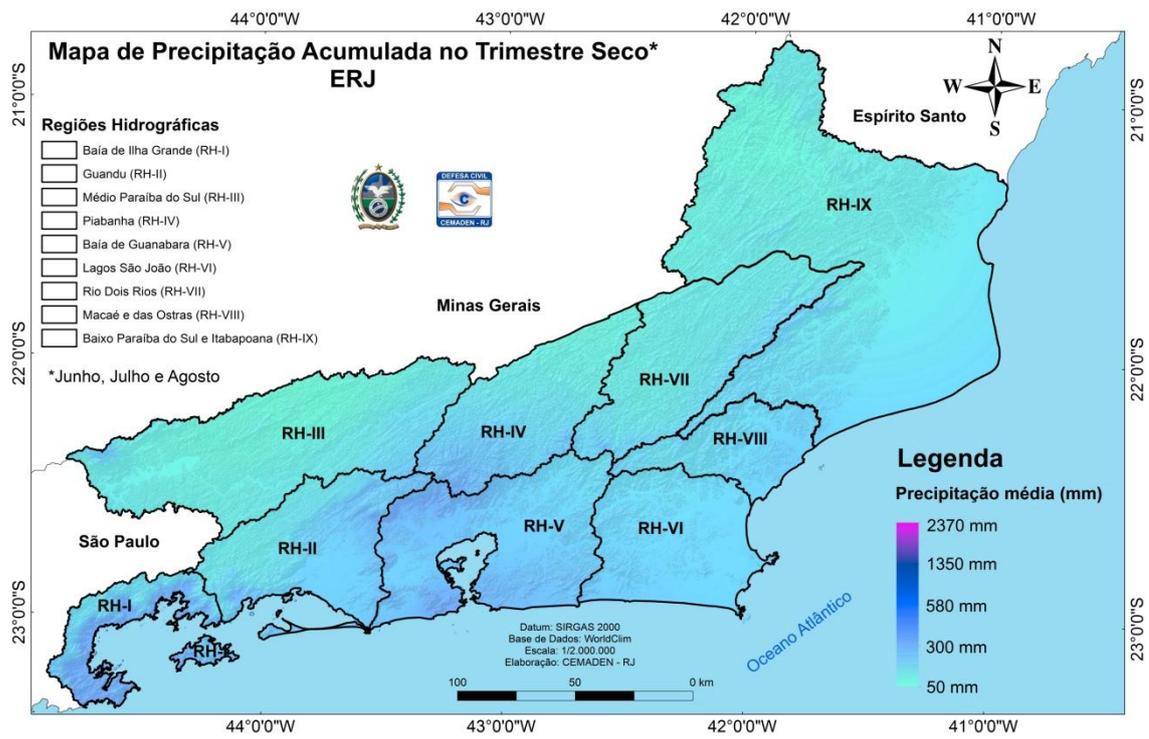


Fonte: Própria do Autor

A precipitação acumulada no período seco, figura 12, destaca que 33,78 % do território do ERJ, tabela 17, apresentam os menores regimes pluviométricos, considerando a média climatológica de trinta anos, equivalentes a uma área estimada em 14.789,54Km².

As Regiões Hidrográficas VII (Rio Dois Rios) e IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana), são as mais representativas no ERJ devido a extensas áreas com baixos regimes pluviométricos na comparação com as demais RHs.

Figura 12 – Mapa de Precipitação Acumulada no Trimestre Seco no ERJ



Fonte: Própria do Autor

Tabela 17 – Estimativa da Precipitação Média Acumulada no ERJ em Km² e percentual de área em conjunto com Regiões Hidrográficas

	ERJ		RHI		RHII		RHIII		RHIV		RHV		RHVI		RHVII		RHVIII		RHIX	
Anual																				
	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%
<i>1</i>	1520,59	3,47	555,94	33	63,67	2	110,80	2	404,30	11	336,23	7	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>2</i>	5610,36	12,81	761,90	45	655,18	18	1262,29	20	1947,67	55	679,65	14	0,93	0	236,00	5	20,91	1	10,01	0
<i>3</i>	13726,62	31,35	359,53	21	2222,78	60	4963,70	77	981,40	28	1416,51	30	168,97	5	2365,01	54	650,14	33	557,19	4
<i>4</i>	10820,19	24,71	-	-	739,50	20	77,49	1	211,11	6	2338,65	49	634,83	18	1590,72	36	610,43	31	4569,76	34
<i>5</i>	12103,53	27,65	-	-	-	-	-	-	-	-	28,11	1	2795,00	78	178,22	4	701,04	35	8356,61	62
Verão																				
<i>1</i>	8484,22	19,38	992,25	59	503,81	14			2762,42	78	444,54	9	-	-	-	-	0,25	0	-	-
<i>2</i>	9972,47	22,78	638,85	38	1545,17	42			734,73	21	552,07	12	37,26	1	236,00	5	414,78	21	833,95	6,18
<i>3</i>	8936,81	20,41	45,89	3	809,56	22			47,30	1	1373,44	29	234,47	7	2365,01	54	401,25	20	4301,04	31,87
<i>4</i>	10277,48	23,47	-	-	821,89	22			-	-	2089,23	44	783,45	22	1590,72	36	996,02	50	5338,29	39,56
<i>5</i>	6112,02	13,96	-	-	-	-			-	-	338,81	7	2544,55	71	178,22	4	170,17	9	3020,29	22,38
Inverno																				
<i>1</i>	408,58	0,93	382,88	22,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>2</i>	4991,10	11,40	612,09	36,49	825,71	22,43	23,57	0,37	582,61	16,44	582,61	16,44	71,27	1,98	9,97	0,23	-	-	-	-
<i>3</i>	12011,73	27,43	371,83	22,16	1427,02	38,77	299,33	4,67	857,72	24,20	857,72	24,20	3257,62	90,50	493,32	11,29	1439,01	72,59	1933,58	14,37
<i>4</i>	11582,04	26,45	310,83	18,53	1298,53	35,28	1088,64	16,97	1012,35	28,56	1012,35	28,56	270,83	7,52	1834,13	41,97	543,46	27,41	5033,04	37,40
<i>5</i>	14789,54	33,78	-	-	129,39	3,52	5002,52	77,99	1091,85	30,80	1091,85	30,80	-	-	2032,53	46,51	-	-	6489,64	48,23
Legenda																				
Precipitação Anual (mm)							Precipitação no Verão (mm)							Precipitação no Inverno (mm)						
Muito Baixo (1.773,90 – 2.371,20)							Muito Baixo (725,20 – 1.114,00)							Muito Baixo (202,00 – 308,00)						
Baixo (1524,00 – 1.773,80)							Baixo (638,00 – 725,00)							Baixo (141,00 – 202,00)						
Médio (1.341,10 – 1.523,90)							Médio (540,00 – 638,00)							Médio (112,00 – 141,00)						
Alto (1.152,10 – 1.341,00)							Alto (442,00 – 540,00)							Alto (87,00 – 112,00)						
Muito Alto (816,7 – 1.152,00)							Muito Alto (271,00 – 442,00)							Muito Alto (52,00 – 87,00)						

Fonte: Própria do Autor

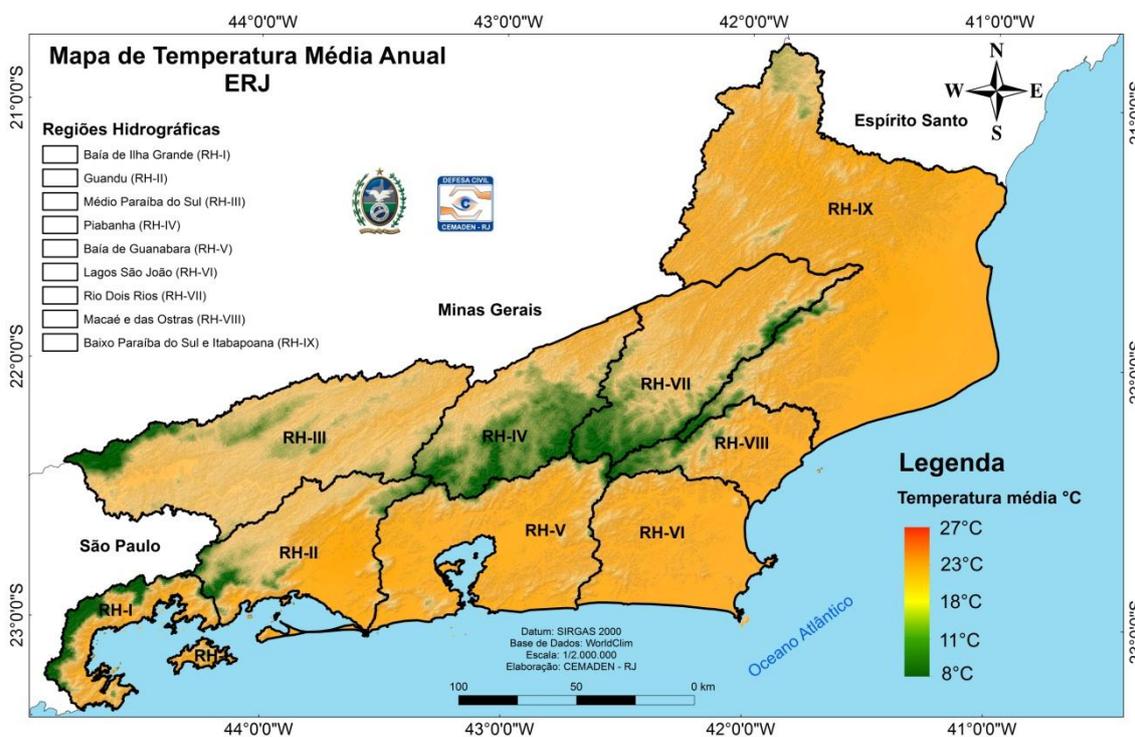
4.7. Temperatura

O Mapa de Temperatura Média foi separado em três cenários distintos, período anual, trimestre seco e úmido, visando descrever o comportamento climatológico sazonal das diferentes Regiões Hidrográficas no ERJ.

A temperatura média anual, figura 13, destaca que 51,51 % do território do ERJ, tabela 18, apresentam temperaturas avaliadas entre 22,2°C – 23,8°C equivalente a uma área estimada em 22.216,27Km².

As Regiões Hidrográficas V (Baía de Guanabara) e IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana) são as mais representativas no ERJ devido a extensas áreas apresentando maiores temperaturas médias acumuladas no período anual em comparação com as demais RHs.

Figura 13 – Mapa de Temperatura Média Anual no ERJ

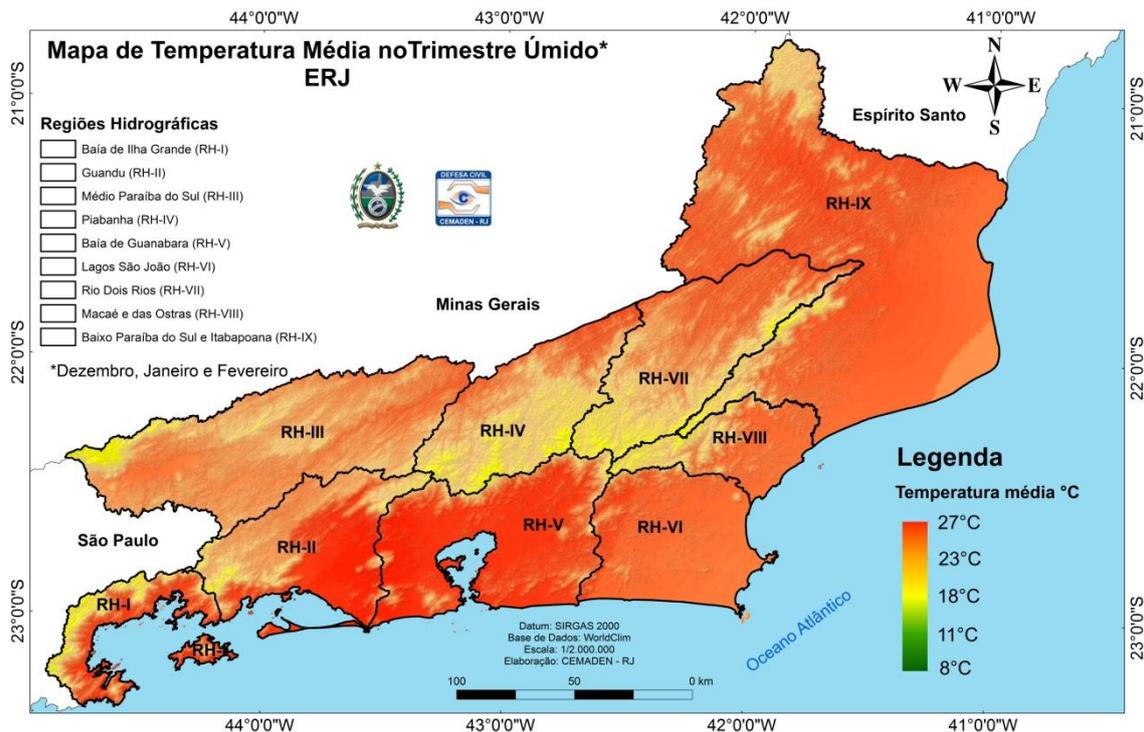


Fonte: Própria do Autor

A temperatura média no trimestre úmido, figura 14, destaca que 52,85% do território do ERJ, tabela 18, apresentam temperaturas avaliadas entre 24,1°C – 26,5°C equivalente a uma área estimada em 22.792,10Km².

As Regiões Hidrográficas V (Baía de Guanabara) e IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana) são as mais representativas no ERJ devido a extensas áreas apresentando maiores temperaturas médias acumuladas no trimestre úmido em comparação com as demais RHs.

Figura 14 – Mapa de Temperatura Média no Trimestre Úmido no ERJ

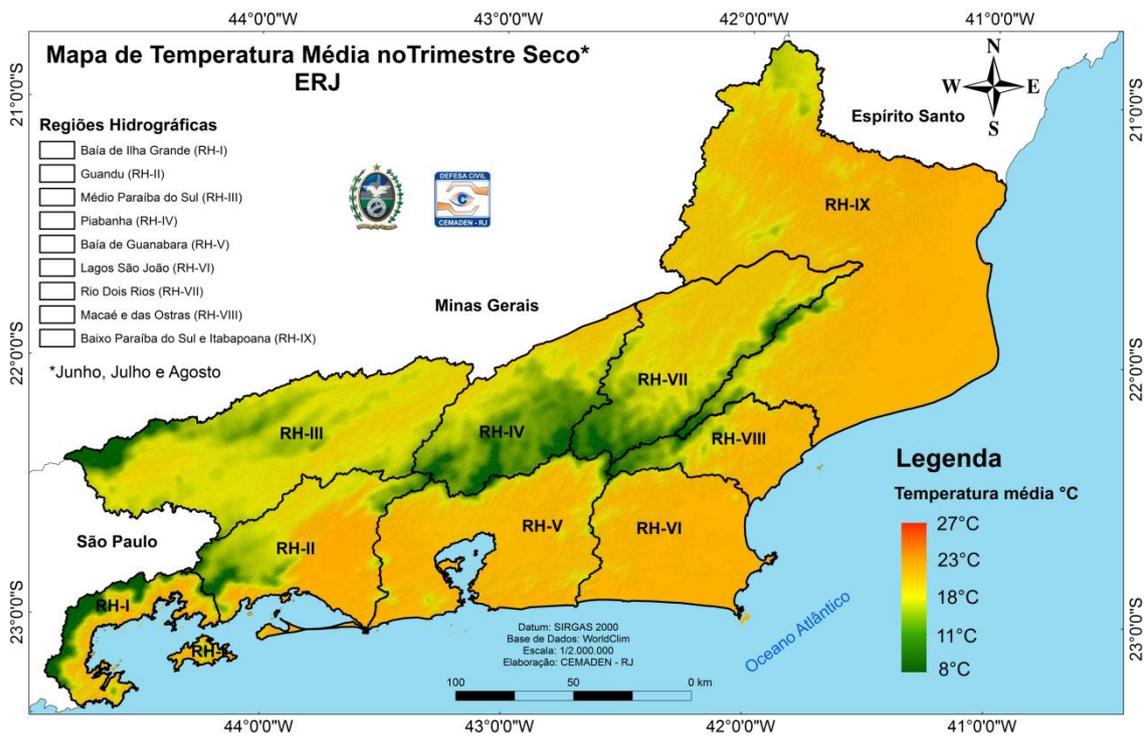


Fonte: Própria do Autor

A temperatura no trimestre seco, figura 15, destaca que 49,59% do território do ERJ, tabela 18, apresentam temperaturas avaliadas entre 22,2°C – 23,8°C equivalente a uma área estimada em 18.800,34Km².

As Regiões Hidrográficas V (Baía de Guanabara) e IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana) são as mais representativas no ERJ devido a extensas áreas apresentando maiores temperaturas médias acumuladas no trimestre seco em comparação com as demais RHs.

Figura 15 – Mapa de Temperatura Média no Trimestre Seco no ERJ



Fonte: Própria do Autor

Tabela 18 – Estimativa da Temperatura Média no ERJ em Km² e percentual de área em conjunto com Regiões Hidrográficas

ERJ	RHI		RHII		RHIII		RHIV		RHV		RHVI		RHVII		RHVIII		RHIX			
Annual																				
	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%		
1	1146,78	2,66	249,85	15,91	66,37	1,87	167,87	2,64	286,94	8,09	44,90	0,96	2,93	0,08	198,12	4,55	39,04	2,03	67,34	0,51
2	3651,15	8,47	164,94	10,50	295,72	8,31	314,27	4,94	1381,01	38,96	124,93	2,67	18,54	0,53	825,68	18,95	299,63	15,61	213,74	1,61
3	7911,31	18,34	193,24	12,31	1079,44	30,34	3007,00	47,24	1060,89	29,93	304,51	6,50	67,34	1,91	953,53	21,89	241,07	12,56	907,66	6,84
4	8201,17	19,02	383,56	24,43	609,99	17,15	2876,22	45,19	628,53	17,73	617,80	13,18	279,13	7,92	1176,06	26,99	287,91	15,00	1311,72	9,89
5	22216,27	51,51	578,76	36,86	1505,94	42,33	-	-	187,39	5,29	3593,56	76,69	3155,35	89,56	1203,39	27,62	1052,11	54,80	10761,18	81,15
Verão																				
1	876,43	2,03	138,59	8,83	29,28	0,82	144,45	2,27	209,84	5,92	36,11	0,77	1,95	0,06	176,65	4,05	40,99	2,14	77,10	0,58
2	3012,86	6,99	214,72	13,67	205,93	5,79	202,03	3,17	920,35	25,96	78,08	1,67	15,62	0,44	799,33	18,35	298,65	15,56	247,90	1,87
3	6180,89	14,33	170,80	10,88	609,01	17,12	1526,44	23,98	1268,78	35,79	219,60	4,69	43,92	1,25	1012,09	23,23	275,23	14,34	1004,29	7,57
4	10264,40	23,80	263,52	16,78	1077,48	30,29	4023,00	63,20	682,21	19,25	431,38	9,21	495,80	14,07	1190,70	27,33	350,38	18,25	1683,57	12,70
5	22792,10	52,85	782,74	49,84	1635,75	45,98	469,45	7,38	463,59	13,08	3920,52	83,67	2966,01	84,18	1178,01	27,04	954,51	49,72	10248,78	77,28
Inverno																				
1	1363,45	3,16	296,70	18,91	104,43	2,93	224,48	3,53	322,08	9,09	46,85	1,00	2,93	0,08	220,57	5,06	44,90	2,34	1363,45	3,16
2	4637,87	10,75	182,51	11,63	465,54	13,08	627,56	9,86	1652,34	46,61	154,21	3,29	20,50	0,58	936,94	21,51	314,27	16,37	4637,87	10,75
3	9710,04	22,52	239,12	15,24	1077,48	30,28	4415,34	69,37	1015,02	28,63	328,91	7,02	78,08	2,22	1078,46	24,75	246,92	12,86	9710,04	22,52
4	8614,99	19,98	385,51	24,56	424,55	11,93	1097,98	17,25	526,05	14,84	758,34	16,18	309,39	8,81	1948,06	44,71	287,91	15,00	8614,99	19,98
5	18800,34	43,59	465,54	29,66	1486,42	41,77	0,00	0,00	29,28	0,83	3398,37	72,51	3099,72	88,30	172,75	3,97	1025,76	53,43	18800,34	43,59
Legenda																				
Temperatura Média Anual (°C)					Temperatura Média no Verão (°C)					Temperatura Média no Inverno (°C)										
1- Muito Baixo (9,5 – 16,6)					Muito Baixo (11,3 – 18,5)					Muito Baixo (7,2 – 14,2)										
2 - Baixo (16,6 – 18,9)					Baixo (18,5 – 20,8)					Baixo (14,2 – 16,5)										
3 - Médio (18,9 – 20,6)					Médio (20,8 – 22,6)					Médio (16,5 – 18,2)										
4 - Alto (20,6 – 22,2)					Alto (22,6 – 24,1)					Alto (18,2 – 19,8)										
5 - Muito Alto (22,2 – 23,8)					Muito Alto (24,1 – 26,5)					Muito Alto (19,8 – 21,4)										

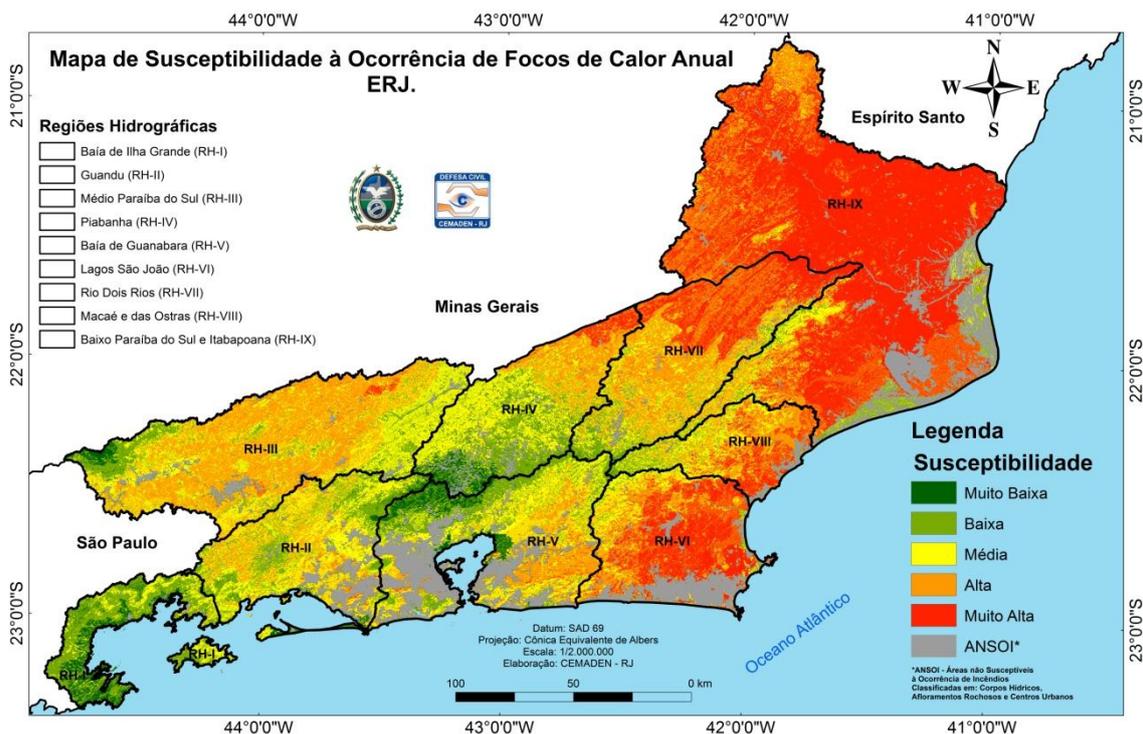
Fonte: Própria do Autor

4.8. Mapa de Susceptibilidade à Ocorrência de Focos de Calor no ERJ

O Mapa de Susceptibilidade ao surgimento de Focos de Calor apresenta no ERJ as áreas mais propícias ao surgimento de queimadas podendo acarretar, em cenários mais drásticos, nos incêndios florestais e queimas fora de controle. O mapa foi separado em cinco classes de susceptibilidade, em três categorias climatológicas, visando reproduzir as condições sazonais impostas ao ERJ, estimando as áreas em quilômetros quadrados e a representação percentual de cada classe em questão.

Os resultados apontam que no cenário anual, 21,95% do território do ERJ, correspondentes a 9.575,55 Km², são altamente favoráveis ao surgimento de focos de calor conforme figura 16 e tabela 19.

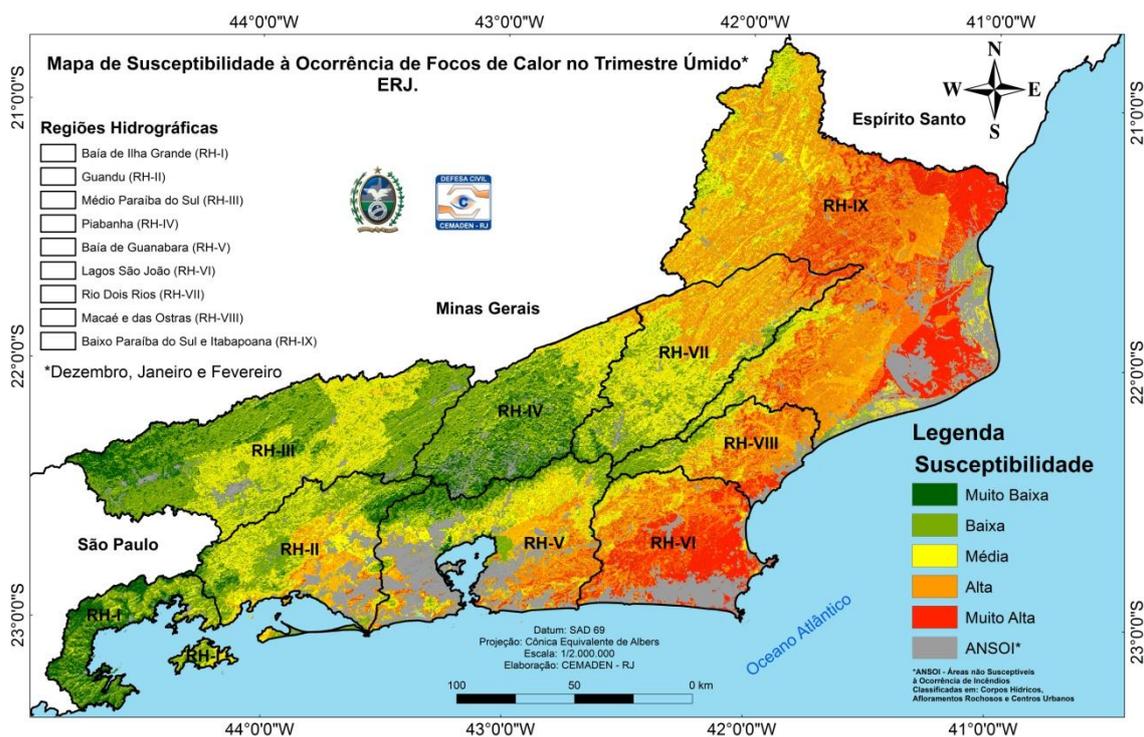
Figura 16 – Mapa de Susceptibilidade à Ocorrência Anual de Focos de Calor no ERJ



Fonte: Própria do Autor

No Trimestre úmido, 11,65% do território do ERJ, correspondente a 5.083,12 Km², são altamente favoráveis ao surgimento de focos de calor conforme figura 17 e tabela 19.

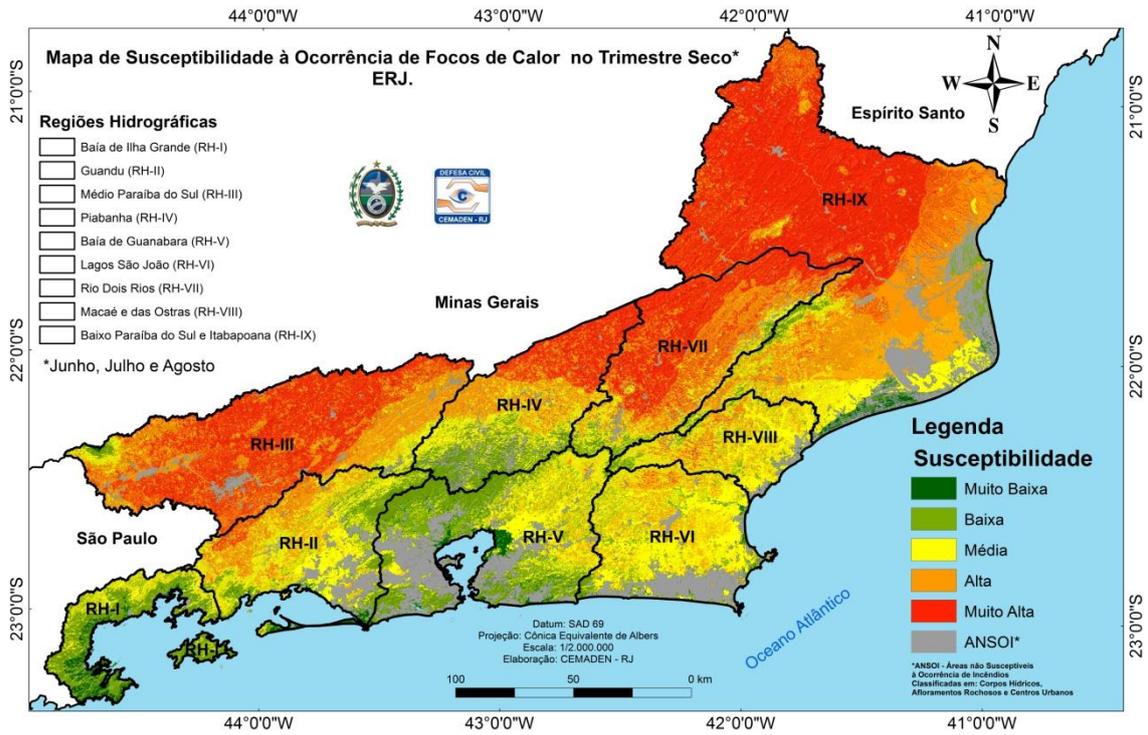
Figura 17 – Mapa de Susceptibilidade à Ocorrência Anual de Focos de Calor no ERJ



Fonte: Própria do Autor

No trimestre seco, 27,03% do território do ERJ, o que corresponde a 11.788,13 Km², apresenta altas condições de surgimento de focos de calor conforme figura 18 e tabela 19.

Figura 18 – Mapa de Susceptibilidade à Ocorrência Anual de Focos de Calor no ERJ



Fonte: Própria do Autor

Tabela 19 – Estimativa da susceptibilidade à ocorrência de focos de calor no ERJ em Km² e percentual de área em conjunto com Regiões Hidrográficas

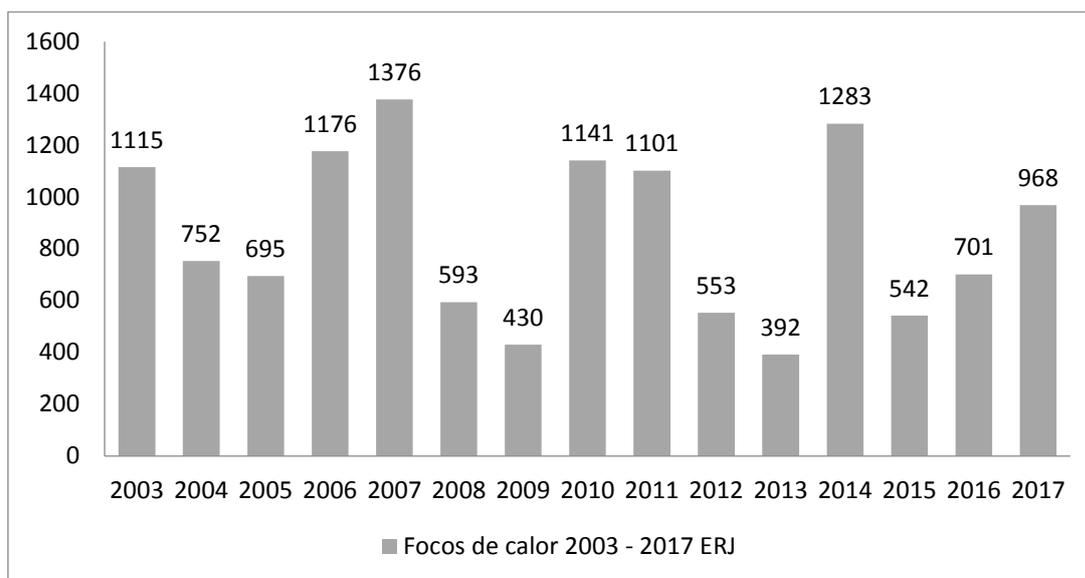
ERJ	RHI		RHII		RHIII		RHIV		RHV		RHVI		RHVII		RHVIII		RHIX			
Anual																				
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
ANSOI	4959,32	11,37	55,02	3,30	461,10	12,54	281,66	4,40	256,94	7,25	1359,74	28,37	700,97	19,48	153,37	3,51	132,84	6,70	1483,71	11,00
1	3026,91	6,94	732,77	43,91	359,14	9,77	344,62	5,38	662,34	18,69	668,21	13,94	19,80	0,55	119,13	2,73	28,11	1,42	85,72	0,64
2	7080,21	16,23	749,10	44,89	1186,69	32,29	1257,04	19,63	936,31	26,42	1083,29	22,61	219,11	6,09	611,48	13,99	397,34	20,04	635,42	4,71
3	8937,94	20,49	127,00	7,61	1347,50	36,66	2565,79	40,06	1052,76	29,71	1116,57	23,30	563,23	15,65	921,22	21,08	489,71	24,70	751,35	5,57
4	10036,95	23,01	4,72	0,28	312,77	8,51	1924,73	30,05	524,89	14,81	518,87	10,83	1020,36	28,36	1658,22	37,95	665,84	33,58	3402,76	25,23
5	9575,55	21,95	0,00	0,00	8,45	0,23	30,49	0,48	110,50	3,12	45,47	0,95	1075,00	29,87	906,19	20,74	269,10	13,57	7126,56	52,85
Verão																				
ANSOI	4959,32	11,37	55,02	3,30	461,10	12,54	281,66	4,40	256,94	7,25	1359,74	28,40	700,97	19,49	153,37	3,51	132,84	6,70	1483,71	11,00
1	3156,30	7,24	592,48	35,58	287,48	7,82	965,06	15,09	804,28	22,70	302,82	6,32	2,40	0,07	128,38	2,94	24,05	1,21	39,57	0,29
2	9031,94	20,71	764,91	45,94	1126,83	30,65	2933,93	45,88	1488,29	42,01	843,04	17,61	64,30	1,79	926,10	21,19	311,15	15,69	561,01	4,16
3	10566,47	24,23	241,40	14,50	1238,78	33,70	2076,03	32,46	867,57	24,49	1023,58	21,38	391,25	10,88	1679,90	38,43	463,02	23,35	2577,09	19,11
4	10816,96	24,80	11,22	0,67	526,83	14,33	138,26	2,16	125,36	3,54	1020,31	21,31	1061,54	29,52	1331,42	30,46	760,54	38,35	5837,34	43,29
5	5083,12	11,65	0,00	0,00	35,08	0,95	0,35	0,01	0,42	0,01	238,94	4,99	1375,82	38,26	151,85	3,47	291,34	14,69	2986,48	22,15
Inverno																				
ANSOI	4959,32	11,37	55,02	3,30	461,10	12,54	281,66	4,40	256,94	7,25	1359,74	28,40	700,97	19,49	153,37	3,51	132,84	6,70	1483,71	11,00
1	1001,87	2,30	232,95	13,99	122,11	3,32	12,19	0,19	69,14	1,95	293,42	6,13	76,91	2,14	6,56	0,15	16,78	0,85	165,37	1,23
2	5104,37	11,70	949,85	57,03	623,77	16,97	129,84	2,03	633,31	17,88	1556,15	32,50	312,66	8,69	230,38	5,27	193,30	9,75	462,13	3,43
3	9961,59	22,84	417,31	25,05	1581,00	43,00	563,63	8,81	869,69	24,55	1398,91	29,21	1969,21	54,76	541,01	12,38	1182,19	59,62	1432,59	10,62
4	10801,60	24,76	10,37	0,62	802,72	21,83	2465,68	38,55	922,41	26,04	179,34	3,75	522,77	14,54	1535,74	35,13	431,17	21,74	3923,94	29,10
5	11788,13	27,03	0,14	0,01	85,75	2,33	2942,72	46,01	791,38	22,34	1,01	0,02	13,87	0,39	1903,96	43,56	26,65	1,34	6017,78	44,62
Legenda																				
Classes de Susceptibilidade em Níveis de Hierarquia					Classes de Susceptibilidade em Níveis de Hierarquia					Classes de Susceptibilidade em Níveis de Hierarquia										
ANSOI – Áreas não Susceptíveis à ocorrência de Incêndios					ANSOI – Áreas não Susceptíveis à ocorrência de Incêndios					ANSOI – Áreas não Susceptíveis à ocorrência de Incêndios										
1 – Muito Baixo					1 – Muito Baixo					1 – Muito Baixo										
2 – Baixo					2 – Baixo					2 – Baixo										
3 – Médio					3 – Médio					3 – Médio										
4 – Alto					4 – Alto					4 – Alto										
5 – Muito Alto					5 – Muito Alto					5 – Muito Alto										

Fonte: Própria do Autor

4.9. Análise temporal e espacial dos focos de calor

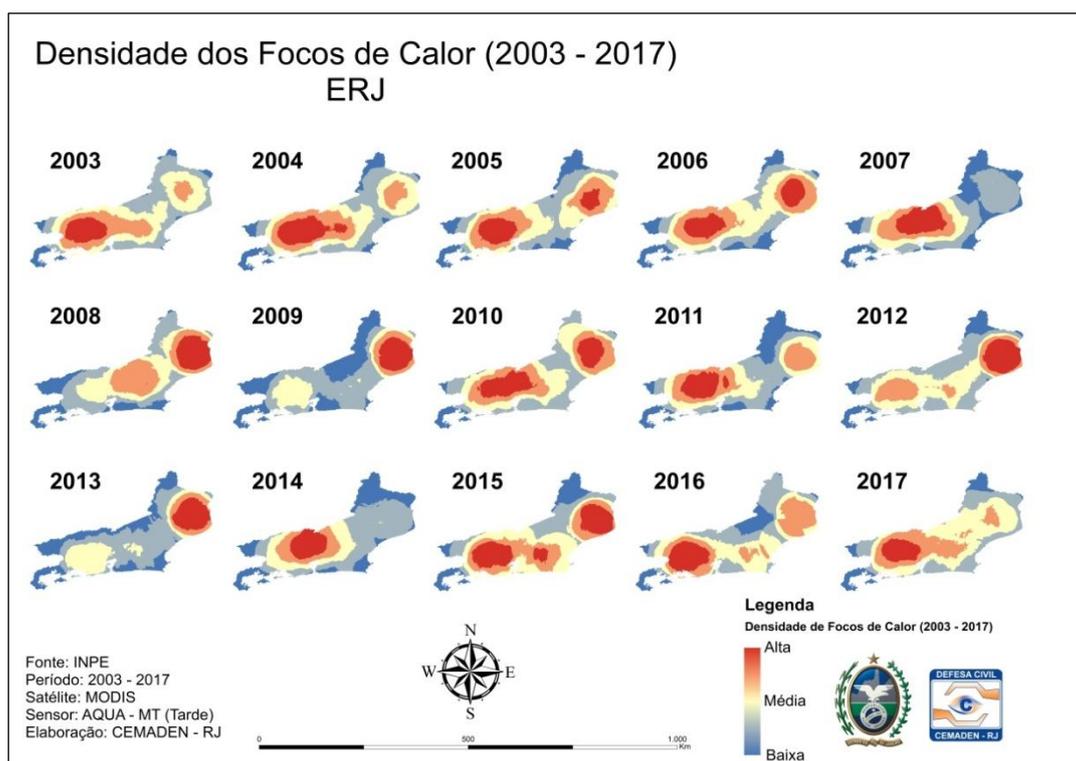
Os focos de calor destacam-se pelo comportamento sazonal e espacial. A variação sazonal, indicado na figura 19, tende a apontar dois picos de ocorrências a cada dois anos, seguido pelo deslocamento espacial da concentração dos focos de calor, conforme indicado na figura 20.

Figura 19 – Distribuição dos Focos de calor no ERJ



Fonte: Própria do Autor

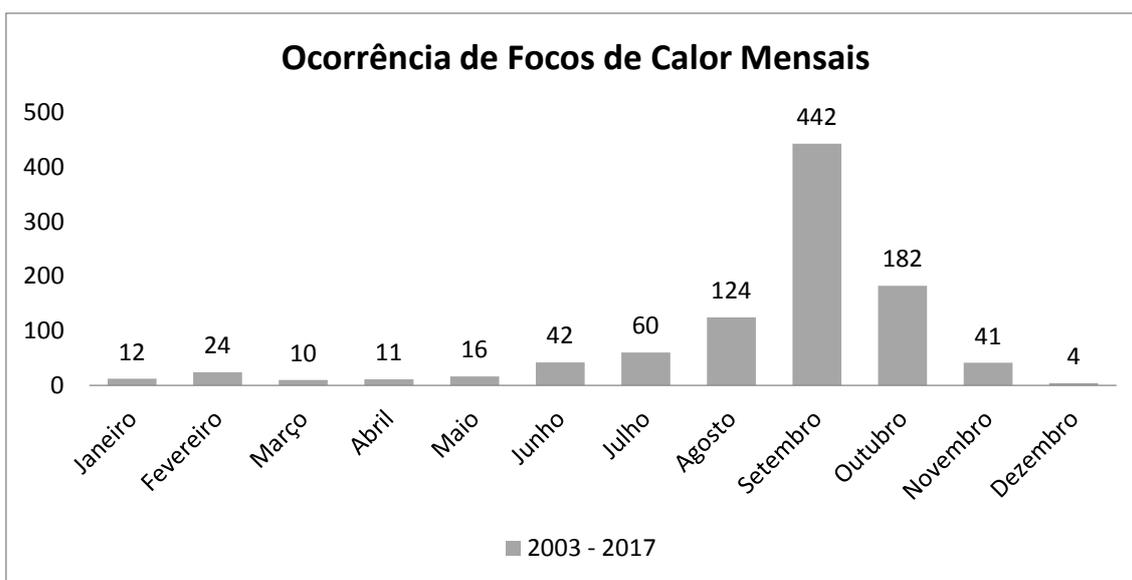
Figura 20 – Variação espacial dos focos de calor ERJ



Fonte: Própria do Autor

A distribuição do número de focos de calor anual aponta predominância de ocorrência nos meses de Agosto, Setembro e Outubro, conforme figura 21, indicando o mês de Setembro como o de maior expressão na série temporal.

Figura 21 – Relação entre os focos de Incêndio e os meses do ano no ERJ



Fonte: Própria do Autor

A biomassa de maior inflamabilidade no ERJ são os campos/pastagens, seguidos pela vegetação secundária em estágio médio/avançado, conforme destacada na figura 22, gráfico este construído da correlação entre os focos de calor e o mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2015.

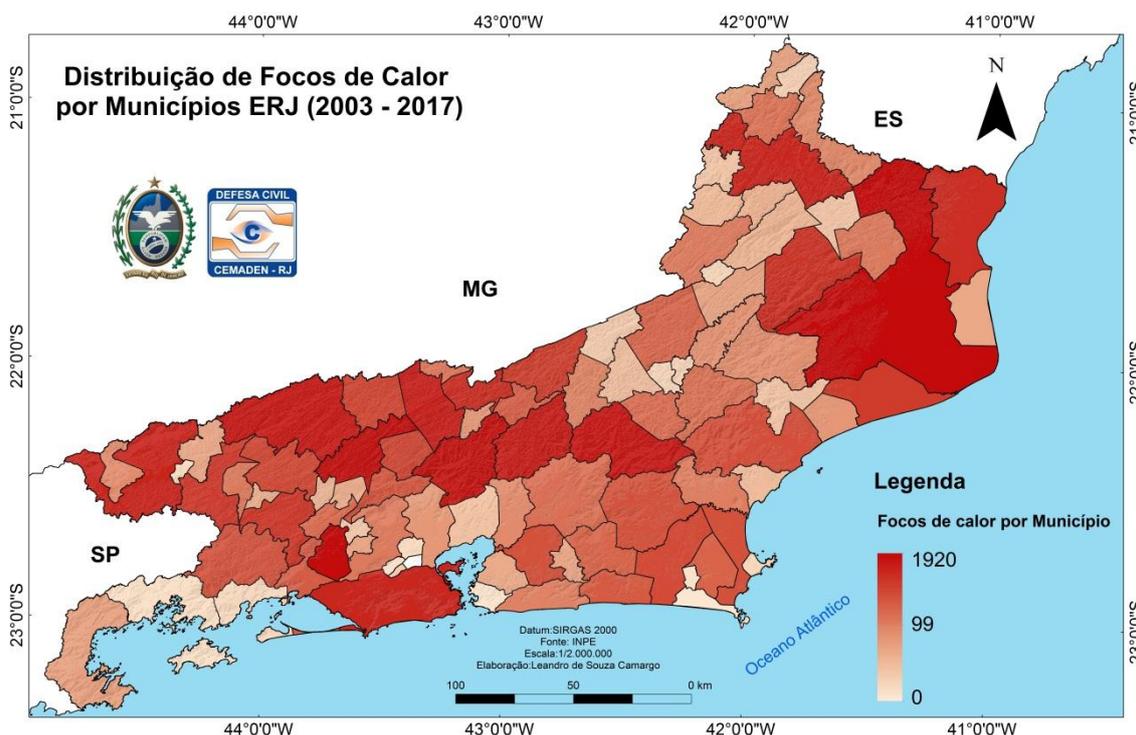
Figura 22 – Correspondência entre focos de calo e uso do solo no ERJ



Fonte: Própria do Autor

Destaca-se ainda a concentração de focos de calor por municípios no ERJ. O município de Campos dos Goytacazes apresenta aproximadamente 1920 focos de calor registrados pelo sensor AQUA – MT no período entre 2003 e 2017, como destacado na figura 23.

Figura 23 – Distribuição dos Focos de Calor por Municípios no ERJ



Fonte: Própria do Autor

4.10. Relação entre os Focos de Calor e o Mapa de Susceptibilidade

A correlação entre a sinalização das regiões com maior grau de susceptibilidade e o registro dos focos de calor realizado pelo satélite AQUA – MT, demonstrada na tabela 19, indica o grau de precisão do produto cartográfico produzido. Os focos de calor foram separados em função dos meses de ocorrência e comparados com os cenários descritos nos mapas. Os anos de referencia adotados para a comparação dos registros de calor estão compreendidos entre 2015 e 2017, justificados pela base de dados cartográfico mais atual de uso e cobertura do solo ser correspondente a 2015, supondo desprezível a variação espacial das Áreas Não Susceptíveis à Ocorrência de Incêndios (ANSOI) para períodos de análise posterior a esta data em comparação com a escala adotada. Optou-se realizar a média aritmética simples para o conjunto de dados (focos de calor) entre 2015 – 2017, como medida de tendência central, uma vez que busca equilibrar os máximos e mínimos valores na variação dos dados.

O mapa de susceptibilidade anual foi comparado com dados anuais, o mapa de susceptibilidade para o período úmido foi comparado com os focos de calor registrados no período de Dezembro a Fevereiro e o mapa de susceptibilidade do trimestre seco foi comparado com focos de calor registrados entre Julho a Setembro.

Ainda neste documento destacam-se as ANSOI, tendo por objetivo indicar as feições onde a probabilidade de surgir focos de calor é nula, contudo, devido a erros de aquisição de dados – oriundos do satélite imageador – e a baixa resolução espacial adotada neste relatório, houve registros de queimadas em áreas de ocorrência improvável, sendo os focos de calor nessas regiões caracterizados como falsos positivos. A inclusão destes falsos positivos na validação dos modelos preditivos podem incidir em resultados imprecisos.

Tabela 20 – Comparação entre a média dos focos de calor e as classes de susceptibilidade no ERJ no percentual de área em conjunto com Regiões Hidrográficas para os anos de 2015 – 2017

	ERJ		RHI		RHII		RHIII		RHIV		RHV		RHVI		RHVII		RHVIII		RHIX	
Anual																				
	Focos	%	Focos	%	Focos	%	Focos	%	Focos	%	Focos	%	Focos	%	Focos	%	Focos	%	Focos	%
ANSOI	78,40	10,63	0,00	0,00	11,00	9,70	10,30	7,27	4,00	7,94	12,00	19,54	8,00	9,55	4,00	6,78	1,30	8,44	27,70	13,39
1	24,40	3,31	2,40	70,59	3,00	2,65	5,00	3,53	5,00	9,92	4,00	6,51	0,00	0,00	3,30	5,59	0,00	0,00	1,70	0,82
2	90,40	12,26	1,00	29,41	26,70	23,54	19,30	13,63	14,30	28,37	8,00	13,03	1,70	2,03	7,70	13,05	0,70	4,55	5,70	2,76
3	194,67	26,40	0,00	0,00	61,30	54,06	67,30	47,53	14,70	29,17	24,70	40,23	7,40	8,83	14,00	23,73	2,40	15,58	5,00	2,42
4	175,00	23,74	0,00	0,00	11,40	10,05	37,70	26,62	9,00	17,86	12,00	19,54	35,00	41,77	20,00	33,90	7,00	45,45	44,00	21,28
5	174,40	23,65	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	1,41	3,40	6,75	0,70	1,14	31,70	37,83	10,00	16,95	4,00	25,97	122,70	59,33
Verão																				
ANSOI	12,00	20,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	8,33	0,40	33,33	2,70	37,50	3,00	21,28	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	29,80
1	2,40	4,12	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	35,42	0,40	33,33	0,40	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	3,70	6,36	0,00	0,00	0,40	9,09	1,70	35,42	0,00	0,00	0,40	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	4,64
3	8,70	14,95	0,00	0,00	3,00	68,18	1,00	20,83	0,00	0,00	0,70	9,72	0,40	2,84	0,00	0,00	0,00	0,00	4,40	14,57
4	20,70	35,57	0,00	0,00	1,00	22,73	0,00	0,00	0,40	33,33	2,00	27,78	4,70	33,33	0,00	0,00	0,70	63,64	12,00	39,74
5	10,70	18,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	13,89	6,00	42,55	0,00	0,00	0,40	36,36	3,40	11,26
Inverno																				
ANSOI	47,70	9,30	0,00	0,00	9,00	9,83	6,00	5,66	1,70	5,72	7,70	18,20	3,40	7,32	2,40	6,40	0,67	6,22	14,70	11,57
1	6,70	1,31	1,00	26,32	1,40	1,53	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40	5,67	0,67	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,53
2	33,70	6,57	2,40	63,16	5,70	6,22	1,70	1,60	2,00	6,73	9,40	22,22	5,00	10,76	2,00	5,33	1,00	9,29	3,00	2,36
3	146,00	28,47	0,40	10,53	57,70	62,99	5,00	4,71	7,00	23,57	20,40	48,23	32,00	68,86	5,70	15,20	6,70	62,21	9,00	7,08
4	164,40	32,05	0,00	0,00	16,40	17,90	42,70	40,25	9,70	32,66	2,40	5,67	5,40	11,62	12,40	33,07	2,00	18,57	62,00	48,79
5	114,40	22,30	0,00	0,00	1,40	1,53	50,70	47,79	9,30	31,31	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	40,00	0,40	3,71	37,70	29,67
Legenda																				
Classes de Susceptibilidade em Níveis de Hierarquia							Classes de Susceptibilidade em Níveis de Hierarquia							Classes de Susceptibilidade em Níveis de Hierarquia						
ANSOI – Áreas não Susceptíveis à ocorrência de Incêndios							ANSOI – Áreas não Susceptíveis à ocorrência de Incêndios							ANSOI – Áreas não Susceptíveis à ocorrência de Incêndios						
1 – Muito Baixo							1 – Muito Baixo							1 – Muito Baixo						
2 – Baixo							2 – Baixo							2 – Baixo						
3 – Médio							3 – Médio							3 – Médio						
4 – Alto							4 – Alto							4 – Alto						
5 – Muito Alto							5 – Muito Alto							5 – Muito Alto						

Fonte: Própria do Autor

5. DISCUSSÕES

A combinação das variáveis topográficas – Declividade, Orientação do Terreno e Altimetria – favorecem o surgimento e propagação dos focos de calor no ERJ. Prudente (2010) destaca que elevadas declividades e altitudes proporcionam maior velocidade de propagação das chamas, em aclive, e dificulta o acesso aos focos de calor, fato este constatado nas RHs III, IV e VII, que nos períodos de menor precipitação apresentam expressivo aumento nos registros de focos de calor nas regiões de maior aclive e atitude.

A exposição da biomassa a irradiação solar aumenta o grau de secagem do material combustível. Segundo Venturi & Antunes (2007), o perigo de ocorrência de incêndios florestais é diretamente proporcional à maior exposição do relevo à incidência solar e, por conseguinte, ao aquecimento mais rápido do material combustível. A Região Hidrográfica IV (Piabanha) apresenta alta ocorrência de focos de calor, mais de um a cada 1 km², nos períodos de seca meteorológica devido, entre outras variáveis, ao conjunto topográfico combinado – Elevas Altitudes e Declividades acentuadas – e aproximadamente 27% do território apresentar encostas orientadas para Nordeste (N) e Noroeste (NW). Contudo Martin (*et al.* 2017) destaca elevados registros de focos de calor em baixas declividades no Nepal, fato este constatado na Região Hidrográfica IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana) que não apresenta a mesma combinação topográfica, contudo o agrupamento de outros condicionantes, destacam-se a elevada quantidade de biomassa com altas condições de inflamabilidade – Campo/Pastagem – atrelada a altas taxas de evapotranspiração e os menores índices pluviométricos, favorecem o surgimento de focos de calor.

As variações das condições atmosféricas no ERJ em cada Região Hidrográfica favorecem o surgimento de focos de calor (Mendonza, 2002). A diferença de temperatura ao longo da superfície no ERJ, em função do trimestre de análise, tem influencia indireta no aparecimento e propagação do fogo, uma vez que aumenta o grau de inflamabilidade do material combustível (Kasmierkzark, 2015). Desataca-se neste estudo a RH IX, que para todos os cenários, apresenta elevada vulnerabilidade à ocorrência de focos de calor explicada pela baixa precipitação média acumulada – Anual, Verão e Inverno – elevada perda líquida – na forma de evapotranspiração – o registro das maiores temperaturas médias e grande extensão territorial composta de

Campo/Pastagem. Destaca-se ainda como incremento a susceptibilidade à ocorrência de focos de calor nesta região a forte presença de atividade agropecuária, com evidência no cultivo da cana de açúcar, fato este que incrementa o potencial de surgimento de focos de calor. Ronquim (2010) destaca que apesar da modernização das técnicas de uso e manejo do solo, bem como, a inserção de tecnologias extrativistas que otimizam os processos de plantio/colheita, o uso de queimadas na colheita da cana-de-açúcar apresenta-se como prática usual em estados como Rio de Janeiro e São Paulo, o que eleva o grau de risco de ocorrência de queimadas.

A ponderação dos condicionantes atrelada ao método de decisão AHP gerou três mapas de susceptibilidade à ocorrência de focos de calor no ERJ. White (*et al.* 2016) destaca a eficiência no uso do método AHP no mapeamento de áreas com risco de incêndio florestal fato este verificado neste trabalho.

No período anual as RHs VI, VIII e IX apresentam extensas áreas sujeitas ao aparecimento de focos de calor – tabela 18 – evidenciando os maiores níveis de estágios operacionais, classificados como alto e muito alto, concentrando-se próximo ao litoral – RH VI e VIII – e incorporando mais da metade da RH –IX.

O trimestre úmido – Dezembro, Janeiro e Fevereiro – é assinalado pela formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que de acordo Carvalho & Jones (2015) caracteriza-se como uma intensa atividade convectiva originada no oeste da bacia Amazônica, no início de agosto, deslocando-se, nos meses subsequentes, em direção ao sudeste do Brasil. Durante esse período uma banda de nebulosidade e chuvas, com orientação noroeste – sudoeste, estendendo - se desde a Amazônia até o sudeste do Brasil, associado a um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera, acarreta importantes variações na organização espacial e na intensidade das chuvas no ERJ. Devido ao fenômeno meteorológico descrito as RHs I, II, III, IV, parte da V e VII, demonstram drásticas reduções nos estágios operacionais e nas RHs de menor atuação da ZCAS, respectivamente VI, VIII e a porção sul – sudeste da IX, apresentam elevados níveis de estágios operacionais.

No trimestre seco – Junho, Julho e Agosto – há redução brusca dos totais de precipitação, figura 12, com aumento de áreas sujeitas à perda líquida na forma de evapotranspiração. Destaca-se neste cenário a mudança geográfica dos maiores níveis operacionais, antes predominantemente concentrados nas regiões litorâneas e na RH – IX, para as RHs III, IV, VII e norte da IX.

O mapa de Susceptibilidade à Ocorrência de focos de Calor para os três cenários distintos demonstrou correlação satisfatória na comparação com os registros de queimadas obtidos do satélite AQUA – MT, no período entre 2015 -2017, sendo portanto uma ferramenta útil e moderna para identificação de áreas sujeitas a queimadas (Prudente, 2010; Nunes *et. al* 2015; White *et al.* 2016; Anderson, L. O. *et al.* 2016).

Destaca-se ainda que o INPE desenvolveu um algoritmo próprio de detecção de focos de queima, para o satélite AQUA e AVHRR, conservativo, de modo a minimizar os falsos positivos associados a ruídos e ao reflexo solar ocasional em corpos d'água e solo exposto em imagens diurnas (INPE, 2017), contudo trabalhos como Pereira (2009) & Jesus (*et al.* 2011) destacam que tal tecnologia possui erros de imageamento oriundos da plataforma orbital – posição, velocidade e atitude – inerentes ao instrumento e distorções próprias ao modelo da Terra (relevo, rotação e esfericidade).

O período anual no ERJ demonstrou pouca diferença na comparação com os estágios médios e altos, apresentando distinção satisfatória entre os menores e maiores estágios operacionais. A RH – IX obteve as melhores correlações entre os focos de calor e os maiores níveis operacionais de acordo com a tabela 20

No trimestre úmido (Verão) houve prevalência do estágio operacional alto, sendo acompanhada pela redução drástica do número de detecções realizada por meio de sensoriamento remoto. Na comparação com a tabela 20 a RH – VI obteve as melhores correlações entre os focos de calor e os maiores níveis operacionais.

O trimestre seco (Inverno) é marcado pelo aumento de registros de focos de calor, figura 21, oriundo da associação das variáveis atmosféricas, topográficas e antrópicas que potencializam o surgimento e propagação das queimadas. Nunes *et al.* (2016) constatou aumento do número de incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia nos períodos de Julho a Setembro, fato este, também verificado neste relatório. Nas RHs III, IV e VII constatou-se aumento nos níveis de estágios operacionais, ou seja, regiões no qual o nível de alerta do estágio operacional era considerado médio passou a ser indicado como alto e/ou muito alto. Nas RHs V, VI, VIII e sul da IX houve redução dos níveis de alerta, contudo, como destacado por Kasmierzkark (2015), os fatores antrópicos exercem considerável influência no aparecimento de queimadas o que pode explicar a mudança de estágio operacional na RH – VI mas não uma sensível redução no número de registros de calor. Contudo, na comparação com a tabela 20, o modelo predictor apresentou bom comportamento.

O deslocamento espacial dos focos de calor, figura 20, indica a sazonalidade dos focos de calor e seu comportamento geográfico. Os maiores registros de calor, tanto em números absolutos e densidade, apontam os anos de 2007 e 2014 como os de maior expressão da série histórica com predominância de registros na RH – IV (Piabanha), com risco potencial de afetar extensas áreas remanescentes da Floresta Amazônica. Os anos de 2009 e 2013 destacam-se pelos menores registros na série histórica e a concentração dos focos de calor na RH – IX.

6. CONCLUSÕES

O ERJ detém extensas áreas propícias a eventos de queimadas e que estes tem comportamento sazonal. O panorama anual evidencia as RHs VI, VIII e IX como os mais susceptíveis ao surgimento de focos de calor. No trimestre úmido as áreas de maior fragilidade concentram-se nas regiões costeiras do ERJ, tendo como destaque a RH-VI com predominância de áreas sinalizadas como altamente susceptíveis ao surgimento de focos de calor. O trimestre seco é marcado pelo incremento dos níveis de alerta, com direção predominantemente norte-noroeste, nas RHs III, IV e VII com aumento expressivo no número de registros de focos de calor.

O número de focos de calor entre os anos de 2003 – 2017 tem expressivo aumento nos meses de agosto, setembro e outubro sendo o mês de setembro o que acumula o maior número de registros no período de estudo. Caracteriza-se neste relatório o comportamento sazonal e geográfico das queimadas no ERJ. A sazonalidade dos eventos de queimadas é expressa na série histórica em concomitância com seu deslocamento geográfico. Nos períodos de menor registro de queimadas, os focos de calor concentram-se ao norte do estado e nos períodos de picos a concentração estendem-se as regiões sul e serrana.

A biomassa predominante no ERJ é Campo/Pastagem sendo esta detentora de alto grau de inflamabilidade nos períodos de estiagem meteorológica. As RHs – III e IX possuem mais de 60% de seu território compostos dessa biomassa.

A correlação espacial entre os focos de calor detectados pelo satélite AQUA – MT com as áreas assinaladas entre os estágios médio, alto e muito alto, sobre a região de estudo mostrou-se satisfatória para os três cenários propostos.

Diante dos resultados obtidos conclui-se que o mapeamento do ERJ reflete o comportamento sazonal das áreas de maior vulnerabilidade a ocorrência de queimadas, que em cenários mais drásticos, tem potencial de tornarem-se incêndios florestais. No entanto, indicamos que este estudo não seja a única fonte de avaliação de áreas susceptíveis a incêndios florestais, mas seja uma ferramenta complementar de contribuição para gestão pública, colaborando com informações condizentes das fragilidades que cada região pode apresentar objetivando ações preventivas relacionadas à minimização de desastres.

7. BIBLIOGRAFIA

Adab, H.;Kanniah, K. D. & Solaimani, K. 2013.Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural hazards*, 65(3): 1723-1743.

Anderson, L. O.; Yamamoto, M.; Christopher, C.; Marisa, F.; Letícia, K. F.; Pimentel, A. & Aragão, L. E. O. C. 2016. Utilização de Dados Orbitais de Focos de Calor para Caracterização de Riscos de Incêndios Florestais e Priorização de Áreas para a Tomada de Decisão. *Revista Brasileira de Cartografia*. Rio de Janeiro, v. 1, n. 69, p.163-177.

André, R. G. B.; Marques, V. S.; Pinheiro, F. M. A. & Antônio, S. F. 2008. Identificação de Regiões Pluviometricamente Homogêneas no Estado do Rio de Janeiro, Utilizando-se Valores Mensais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p.501-509.

Ajin, R. S.;Loghin, A. M.;Vinod, P. G.& Jacob, M. K. 2016. Forest Fire Risk Zone Mapping Using RS and GIS Techniques: A Study in Achankovil Forest Division, Kerala - India. *Journal of Earth, Environment and Health Sciences*, 2(3): 109.

Araújo, W. F.; Costa, S. A. A. & Santos, A. E. 2007. Comparação entre Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ETO) para Boa Vista, RR. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 20, n. 4, p.84-88.

Bacani, V. M. 2016. Geoprocessing Applied to Risk Assessment of Forest Fires in the Municipality of Bodoquena, MS - Brasil. *Revista Árvore*, 40(6): 1003-1011.

Bastos, J. & Napoleão, P. O Estado do Ambiente: Indicadores Ambientais do Rio de Janeiro de 2010. INEA, 2011. Disponível em: <<http://200.20.53.3:8081/cs/groups/public/documents/document/zwew/mde1/~edisp/inea0015448.pdf>>. Acesso em 20 de julho de 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012. *Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC*. Brasília, DF.

Carvalho, L. M. V. & Charles, J. 2009. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos. p.69 -81.

Centro de Estatísticas, Estudos e Pesquisas – CEPERJ. 2010. *O Estado do Rio de Janeiro e seu Ambiente*. Disponível em: <http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/info_territorios/ambiente.html>. Acesso em: 1 set. 2018.

Chuvieco, E, & Congalton, R.G. 1989. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping.*Remote Sensing of Environment*.29: 147 -159.

Dalcumune, M.A.B & Santos, A.R.D.2005. Mapeamento de índice de risco de incêndio para a Região da Grande Vitória/ES, utilizando imagens do satélite LANDSAT para o

ano de 2002. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 12, Goiânia, 2005, *Anais*, INPE, p. 1485-1492.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 2006. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2ª edição)*. Brasília, Distrito Federal. 306 p.

Fitz, P. R. 2008. Geoprocessamento sem complicações. São Paulo: Oficina de Textos, p. 123 -154.

Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*.

Fernandes, M. C.; Coura, P. H. F.; Souza, G. M. & Avelar, A. S. 2011. Avaliação Geocológica de Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Floresta e Ambiente*, [s.l.], v. 18, n. 3, p.299-309. DOI: <10.4322/loram.2011.050>.

Ferraz, S.F.B. & Vettorazzi, C. A. 1998. Mapeamento de Risco de Incêndio Florestais por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), SP – Brasil. *Scientia Florestalis*, 53: 39 - 43.

Gai, C., Weng, W. & Yuan, H. 2011. GIS-Based Forest Fire Risk Assessment and Mapping. In: *4th International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, China, 2011. Conference paper, China, IEEE, p.1240 - 1244

Instituto Estadual do Ambiente – INEA. 2010. *O Estado do Ambiente - Indicadores do Rio de Janeiro 2010*. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/index.htm>>. Acesso em Junho de 2017.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2007. *Banco de Dados de Queimadas*. São José dos Campos. Disponível em: <<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas>>. Acesso em Junho de 2017.

Jesus, S. C.; Setzer, A. W. & Morelli, F. 2011. Validação de Focos de Queimadas no Cerrado em Imagens TM/LANDSAT-5. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto: SBSR, Anais*, INPE, p. 8051-8058.

Kazmierczak, M.L. 2015. Sensoriamento Remoto para Incêndios Florestais. In: Sausen, T.M. & Lacruz, M.S.P. (ed.). *Sensoriamento remoto para desastres*. Editora Oficina de Textos, p. 142 – 168.

Matin, M. A.; Chitale, V. S.; Murthy, M. S.; Uddin, K.; Bajracharya, B. & Pradhan, S. 2017. Understanding Forest Fire Patterns and Risk in Nepal Using Remote Sensing, Geographic Information System and Historical Fire Data. *International Journal of Wildland Fire*, 26(4): 276-286.

Mendoza, E. R. H. Susceptibilidade da Floresta Primária ao Fogo em 1998 e 1999: Estudo de caso no Acre, Amazônia Sul - Ocidental, Brasil. Dissertação (Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – *Universidade Federal do Acre*. 2002.

Nunes, M. T. O.; Souza, G. M.; Tomzhinski, G. W.; Oliveira, J. F. & Fernandes, M. C. 2015. Factors Influencing on Susceptibility Forestry Fire in Itatiaia National Park. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* [s.l.], v. 38, n. 1, p.54-62, 24. DOI: <10.11137/2015_1_54_62>.

Oliveira, D.S.; Batista, A.C.; Soares, R.V.; Grodzki, L. & Vosgerau, J. 2004. Zoneamento de risco de incêndios florestais para o estado do Paraná. PR – Brasil. *Revista Floresta*, 34 (2): 217 – 221.

Oliveira, L.C.D.; Siqueira, G.M. & Varanda, E. 2010. *Plano de Manejo para o Parque Natural Municipal de Padre Quinha*. Prefeitura Municipal de Petrópolis. PMP. 100 p.

Prudente, T.D. 2010. *Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Dissertação de Mestrado, 114 p.

RIO DE JANEIRO (Estado). Lei Estadual nº 3239, de 02 de agosto de 1999. *Política Estadual de Recursos Hídricos*. Estado do Rio de Janeiro, RJ.

Ronquim, C. C. *Queimada na colheita da cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos*. 2010. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), Campinas – SP. 49p.

Saaty, T. L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, New York, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977. DOI:< 10.1016/0022-2496(77)90033-5>.

Silva, W. L., & Dereczynski, C. P. (2014). Caracterização Climatológica e Tendências observadas em extremos climáticos no Estado do Rio de Janeiro. *Anuario Do Instituto de Geociencias*, 37(2), 123–138. DOI: <10.11137/2014_2_123_138>

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

Soares, R.V. & Batista, A.C. 2004. *Meteorologia e climatologia florestal*. Curitiba. 195 p.

Souza, L.G.; Sousa, G.M.; Coura, P.H.F.; Fernandes, M.C. & Menezes, P.M.L. 2009. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para estudos geocológicos no maciço da Pedra Branca – RJ. *Anuário do Instituto de Geociências*, 32 (1): 21-33

Teodoro, A. C. & Duarte, L. 2013. Forest Fire Risk Maps: a GIS Open Source Application—a Case Study in Norwest of Portugal. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(4): 699-720.

Venturi, N.L. & Antunes, A.F.B. 2007. Determinação de locais ótimos para implantação de torres de vigilância para detecção de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas. PR – Brasil. *Revista Floresta*, 37 (2): 159 – 173.

White, L. A. S.; White, B. L. A. & Ribeiro, G. T. 2016. Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Sergipe, v. 36, n. 85, p.41-49, 31 mar. 2016. Embrapa Florestas. DOI: <10.4336/2016.pfb.36.85.850>.