



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

LEONARDO DUARTE BIAZATTI

ZONEAMENTO DE RISCO DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS
NA FLORESTA NACIONAL DO RIO PRETO E SUA ZONA DE
AMORTECIMENTO

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
Novembro, 2019

LEONARDO DUARTE BIAZATTI

ZONEAMENTO DE RISCO DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS
NA FLORESTA NACIONAL DO RIO PRETO E SUA ZONA DE
AMORTECIMENTO

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências Florestais e
da Madeira da Universidade Federal do
Espírito Santo, como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro
Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler
Coorientador: Antonio Henrique Cordeiro
Ramalho

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
Novembro, 2019

Leonardo Duarte Biazatti

**ZONEAMENTO DE RISCO DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS
FLORESTAIS NA FLORESTA NACIONAL DO RIO PRETO E SUA
ZONA DE AMORTECIMENTO**

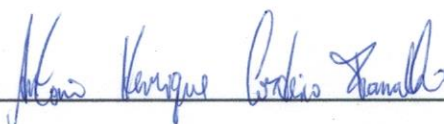
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 6 de dezembro de 2019

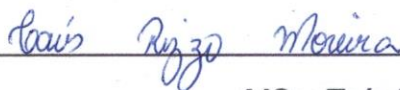
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Eng. Florestal Antonio Henrique Cordeiro Ramalho
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador



MSc. Taís Rizzo
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador



Gabriel Rezende – ICMBIO
Examinador

“A grandeza não consiste em receber honras, mas em merecê-las”

(Aristóteles)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu força e sabedoria, para realizar este trabalho de conclusão de curso sem sua ajuda isso não seria possível.

À minha família que é minha base, exemplo e inspiração, tudo que sou hoje é fruto de seus ensinamentos, sinto-me muito orgulhoso de ser filho e irmão de vocês, minha namorada Mayra Altoé que esteve comigo em todos os momentos de dificuldade desde o início da faculdade, me dando força e motivação para continuar mesmo nos momentos mais difíceis que passamos, além de ter sido a melhor companhia possível nestes anos.

Desejo agradecer especialmente ao meu coorientador e acima de tudo amigo Antônio Henrique, que desde o início da proposta do trabalho se mostrou interessado a me ajudar, e que ajuda em? Sem seu auxílio seria muito difícil alcançar este objetivo, pode ter certeza que sou muito grato por ter te conhecido, e ter essa oportunidade de trabalhar com você.

Como não agradecer aos meus amigos do “Coleguinhas do mal”? Que apesar das tretas tornaram muito melhor essa etapa da minha vida, em especial ao meu irmão Matheus Cordeiro que conseguiu morar comigo durante 4 dos 5 anos de curso, vou sempre lembrar das histórias que construímos aqui. Como sempre digo nas fotos com vocês: “Os bons estão comigo”, e vão continuar.

A turma do 8º período que me acolheu nas matérias em que fizemos juntos me apoiando quando tive dificuldades e aos novos amigos que fiz neste período.

Ao professor Nilton Cesar Fiedler pela oportunidade de realizar este trabalho e por ter acreditado em meu potencial.

Por fim Agradeço aos meus avaliadores Taís Rizzo Moreira, e Gabriel Rezende, pelo apoio, correções excepcionais e atenção e a Universidade Federal do Espírito santo, por todo aprendizado e desenvolvimento profissional a mim proporcionado.

Obrigado a todos!

RESUMO

BIAZATTI, Leonardo Duarte. Zoneamento de risco de ocorrência de incêndios florestais na Floresta Nacional do Rio Preto e sua zona de amortecimento. 2019. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler. Coorientador: Antonio Henrique Cordeiro Ramalho.

O manejo do fogo é uma prática utilizada pelos seres humanos para auxiliar o cultivo agrícola, porém seu uso indiscriminado gera impactos negativos na região afetada. Além disso o empirismo das técnicas de determinação das zonas de risco de incêndios, remete à necessidade de metodologias capazes de elevar a confiabilidade da predição. Desta forma com o presente estudo objetivou-se a realização do zoneamento de risco de incêndios na Floresta Nacional do Rio Preto e sua zona de amortecimento localizadas no município de Conceição da Barra – ES, por meio da lógica *Fuzzy*. Para tal foram utilizadas as variáveis físicas (declividade e orientação do relevo), sociais (proximidade de estradas) e biológica (uso e ocupação da terra). Com o auxílio de procedimentos baseados em sistemas de informações geográficas (SIG), determinou-se o tamanho da influência de cada variável nos episódios de queimada, utilizando a técnica de modelagem baseada na lógica *Fuzzy* com o auxílio do software *ArcGis* 10.3. Foram elaborados mapas representando cada parâmetro e estabeleceu-se a função de pertinência *Fuzzy* que melhor os representava, sendo proporcionado para cada elemento um grau de certeza presente no intervalo entre 0 e 1, onde 0 corresponde à menor probabilidade de ocorrência de incêndios e 1 à maior. A análise da variável uso e ocupação da terra apresentou resultados indicativos de que as atividades realizadas na região aumentam o risco de incêndios, sendo as áreas de plantio de Eucalipto as que oferecem maior risco, com Valor *Fuzzy* igual a 1. A proximidade a estradas mostrou que a influência deste fator é significativa, pois todas as classes viárias receberam valor 1 no conjunto *Fuzzy*. Os resultados das análises foram combinados por meio da técnica de sobreposição *Fuzzy gamma* que definiu o risco de incêndio na área baseado no grau de influência dos fatores sobre o início das chamas e seu comportamento de propagação. Posteriormente, foi gerado um mapa indicando que o perigo de incêndios para a área varia de moderado, no interior da FLONA, a alto, na zona de amortecimento. Assim, ao buscar proporcionar conhecimento acerca das regiões com alta probabilidade de ocorrência de incêndios, este trabalho, conseqüentemente, visou auxiliar as tomadas de decisão para a prevenção e combate dos incêndios nestas áreas de maneira a torná-las mais efetivas e eficazes.

Palavras-chave: Proteção Florestal, Áreas protegidas, *Fuzzy*, Mapeamento, *ArcGis*.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Incêndios florestais	4
3.2. Unidades de Conservação	5
3.3. Floresta Nacional do Rio Preto	6
3.4. Risco de incêndios florestais	6
3.4.1. Mapeamento de risco de incêndios florestais	8
3.5. Lógica <i>Fuzzy</i>	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1. Caracterização da área de estudo	12
4.2. Obtenção e Organização da base de dados	13
4.2.1. Uso e Ocupação da Terra	13
4.2.2. Estradas	14
4.2.3. Declividade e Orientação do Relevo	15
4.3. Aplicação da lógica <i>Fuzzy</i> nas variáveis analisadas	15
4.4. Sobreposição das variáveis por meio da <i>Fuzzy Gamma</i>	19
4.5. Validação do modelo	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1. Uso e ocupação da terra	22
5.3. Declividade	29
5.4. Orientação do relevo	32
5.5. Risco de ocorrência de incêndios Florestais	36
6. CONCLUSÕES	40
7. REFERÊNCIAS	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de risco de incêndios segundo Ribeiro et al. (2008).....	9
Tabela 2: Classes de risco de incêndios proposto por Chuvieco et. al (2010). 10	
Tabela 3: Classe de uso e ocupação da terra, reclassificadas de acordo com o potencial para o Risco de Incêndio Florestais.....	16
Tabela 4: Número e porcentagem de focos de calor por classe de Risco de Incêndios Florestais	38
Tabela 5: Focos de calor, ano e local de ocorrência e precipitação.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Flona do Rio Preto e sua zona de amortecimento ...	12
Figura 2: Fluxograma metodológico para modelagem de risco de incêndios florestais.....	21
Figura 3: Uso e ocupação do solo na Flona de Rio Preto e sua Zona de Amortecimento.	23
Figura 4: Efeito da função Fuzzy Gaussian para a variável uso e ocupação da terra.....	24
Figura 5: Presença de estradas na área em estudo.....	27
Figura 6: Efeito da função Fuzzy Small para a variável proximidade a estradas	29
Figura 7: Classes de declividade da área em estudo.....	30
Figura 8: Efeito da função Fuzzy Linear sobre a declividade	32
Figura 9: Orientação do relevo da área em estudo	34
Figura 10: Modelagem Fuzzy Sino para orientação do relevo	35
Figura 11: Mapa do Risco de incêndio florestal e focos de calor para a FLONA do Rio Preto e sua zona de amortecimento	37

1. INTRODUÇÃO

O uso do fogo é uma prática milenar utilizada pelo homem para limpeza do terreno e auxiliar na caça. Porém, seu uso indiscriminado, acarreta inúmeros danos ao ecossistema, gerando um forte impacto nos seres vivos da região afetada, proporcionando um desequilíbrio entre as queimadas e a recuperação do ecossistema (COSTA; DEAN, 2002; MEDEIROS; FIEDLER, 2004; ADÁMEK et al., 2015).

De acordo com Telbadi et al. (2013) e Koproski et al. (2011), os incêndios são as principais ameaças aos ambientes destinados à proteção e conservação da biodiversidade (Unidades de Conservação - UCs). No Brasil, o uso incorreto do fogo como prática de limpeza de restos de culturas e pastagens nas áreas circunvizinhas as UCs tem sido a principal causa dos incêndios em áreas protegidas (PEREIRA; FIEDLER; MEDEIROS., 2004).

Segundo Rodríguez et al. (2013), a falta de informações acerca dos casos de incêndios ocasiona dois cenários: investimentos acima do necessário para prevenir os danos ou investimentos insuficientes, colocando a segurança das florestas em risco. Assim, o poder destrutivo dos incêndios florestais, a frequência de ocorrência e a dificuldade de previsão fazem com que a busca, por métodos de prevenção e combate, torne-se indispensável aos órgãos gestores das UC's.

Eugenio et al. (2016) destacam a eficiência do zoneamento de riscos de incêndios no planejamento da proteção das unidades de conservação. O risco de incêndios está relacionado com as condições ambientais e características da área, que se manifestam gerando o potencial de ocorrência de focos de calor.

O zoneamento do risco de incêndios florestais (RIF) proporciona uma boa visualização da distribuição espacial das áreas de maior susceptibilidade ao fogo, indicando as regiões estratégicas para aplicação de técnicas preventivas (OLIVEIRA et al, 2004). Para a elaboração do RIF, procede-se com uma combinação de informações digitalizadas de diferentes variáveis de influência (meteorológicas, topográficas e ambientais) (WHITE; WHITE; RIBEIRO, 2016) por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Dentro do ambiente SIG, a inteligência artificial, mais particularmente a lógica *Fuzzy*, configura-se em uma excelente ferramenta de auxílio na aplicação de

técnicas de prevenção, alocação estratégica de equipes de combate e, conseqüentemente, redução da ocorrência dos incêndios florestais. A presente pesquisa foi elaborada a partir da hipótese de que a aplicação da modelagem *Fuzzy* pode indicar as áreas mais susceptíveis à ocorrência de incêndios no interior e na zona de amortecimento da Floresta Nacional do Rio Preto, localizada no Município de Conceição da Barra, Espírito Santo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Determinar as áreas de risco de ocorrência de incêndios florestais, utilizando os recursos da modelagem *Fuzzy* para a Floresta Nacional do Rio Preto e sua zona de amortecimento localizada no município de Conceição da Barra (ES).

2.2 Objetivos específicos

- a)** Analisar a influência das variáveis sobre o risco de incêndios;
- b)** Estimar o risco de Incêndios Florestais para a Floresta Nacional do Rio Preto e sua Zona de Amortecimento por meio da sobreposição das variáveis de influência;
- c)** Correlacionar o Risco de Incêndios com as regiões de ocorrência;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Incêndios florestais

Incêndio Florestal é a terminologia utilizada para definir episódios com fogo não controlado que se propaga livremente consumindo materiais com potencial combustível em florestas (SOARES & BATISTA, 2007). Diante disso, o fogo pode ser considerado um dos principais responsáveis por danos ambientais e econômicos em todo o mundo. Grande parte dos incêndios são originados por ações antrópicas, porém, as variáveis como seca, relevo, declividade e velocidade do vento da área influenciam diretamente na propagação das chamas e no nível de devastação gerado (SANTOS *et al.*, 2006).

O Brasil possui o Sistema Nacional de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais – PREVFOGO, que é um centro especializado dentro da estrutura do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA). Este órgão é responsável primeiramente por elaborar mecanismos emergenciais para proteção de unidades de conservação mais vulneráveis a queimadas e estabelecer políticas que visam à prevenção e o combate aos incêndios florestais, bem como a criação de campanhas educativas, treinamento e capacitação de produtores rurais e brigadistas, além de subsidiar monitoramentos e pesquisas (RAMOS, 1995)

Entre os anos 2007 e 2012, no estado do Espírito Santo mais de 2.500 ha de área protegida sofreram queimadas em seu interior e entorno, ocasionando uma maior fragmentação das florestas e perda da biodiversidade das unidades de conservação da região (TEBALDI *et al.*, 2013). Segundo o Boletim Informativo do Programa Estadual de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais/ES, no mês de janeiro de 2018 foram constatados cerca de 7 focos de incêndios em UCs, resultando em uma área afetada de aproximadamente 15,91 ha. Já no primeiro semestre de 2019, foram registradas 17 ocorrências de incêndios, totalizando 60,58ha de área atingida por queimadas (PREVINES, 2019).

O fogo pode ocasionar grandes danos aos processos ecológicos que ocorrem em áreas naturais e para a conservação da biodiversidade, pois, quando ocorrem focos, tanto a cobertura vegetal quanto a fauna podem desaparecer ou sofrer distúrbios irreversíveis, gerados pela perda de recursos genéticos, por exemplo. (MEDEIROS & FIEDLER, 2004; AXIMOFF, 2011).

Os efeitos dos incêndios em áreas protegidas devem ser analisados minuciosamente para que seja possível estabelecer estratégias que permitam a recuperação dos ambientes afetados. Apesar disso, ainda se observa a falta de investimentos em recursos humanos e conhecimento técnico adequado dessas formas de manejo por parte das instituições governamentais responsáveis pela criação e manutenção das áreas protegidas. (FIEDLER *et al.*, 2006; MEDEIROS & FIEDLER, 2004; LEAL *et al.*, 2005).

3.2. Unidades de Conservação

As Unidades de Conservação existem com o propósito de preservar a biodiversidade principalmente em áreas que possuem ecossistemas singulares, podendo, assim, conservar intactas essas áreas naturais promovendo o desenvolvimento sustentável e o uso de princípios e práticas de conservação do meio ambiente. As UCs são idealizadas em alguns casos para realizar controle territorial e para proteger paisagens naturais com grande beleza cênica, recuperar recursos hídricos e estimular a educação ambiental, dando o devido valor sociológico e econômico à diversidade biológica (BRASIL, 2000). Essas áreas protegidas são classificadas de acordo com o manejo adotado, forma de proteção e usos permitidos (BRASIL, 2000).

Os grupos de classificação das UCs são:

- **Unidades de Proteção Integral ou Uso Indireto** – objetiva conduzir os ecossistemas sem a interferência humana, portanto, nessas áreas é possível realizar apenas atividades que não englobem coleta, dano, consumo ou deterioração dos recursos naturais, sendo estas as classes de UCs mais restritivas. As unidades que se enquadram nestes grupos são classificadas perante as seguintes categorias de manejo: Estações Ecológicas (ESEC), Parques Nacionais (PARNA), Parques Naturais Municipais, Reservas Biológicas (REBIO), Parque Estadual (PE), Monumento Natural (MONA) e Refúgio da Vida Silvestre (REVIS) (BRASIL, 2000).

- **Unidades de Uso Sustentável ou Uso Direto** – possuem como objetivo a proteção dos atrativos naturais, com ênfase na exploração sustentável, permitindo visitação pública e pesquisa científica (MMA, 2019).

Os tipos de UCs presentes neste grupo são: Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), Reserva Extrativista (RESEX), Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS),

Floresta Nacional (FLONA) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) (BRASIL, 2000).

Atualmente, o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) é o encarregado de administrar 16 UCs no Estado do Espírito Santo (IEMA, 2014). Já o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO) é responsável por 12 UCs (ICMBIO, 2012).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2016), atualmente, devido às perturbações e ao processo desordenado de ocupação territorial, o Espírito Santo conta com apenas 10% de sua cobertura vegetal original, característica do Bioma Mata Atlântica. De acordo com o § 4º do Artigo 225 da Constituição Federal, a Mata Atlântica é reconhecida como patrimônio nacional, e a exploração de seus recursos só poderá ser realizada, de acordo com a lei e seu plano de manejo, atendendo às condições que assegurem a preservação do meio ambiente (BRASIL, 1988).

3.3. Floresta Nacional do Rio Preto

A Floresta Nacional do Rio Preto (FNRP) foi criada pelo decreto nº 98845 de 17/01/1990 e está situada no Município de Conceição da Barra, Norte do Espírito Santo, e de acordo com sua categoria, por ser do grupo de uso sustentável, permite a exploração de recursos naturais, atividades de pesquisa científica, com ênfase na obtenção de métodos de exploração sustentável (MMA, 2019).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2019), a Flona do Rio Preto é gerida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO), e composta originalmente por florestas do tipo ombrófila densa de terras baixas, as quais estão associadas ao domínio Atlântico. Este tipo florestal é encontrado em áreas de planícies costeiras, originados de depósitos aluviais, possuindo, em sua grande maioria, solos com pobreza de nutrientes (GOMES, 2019). A vegetação da FLONA do Rio Preto sofreu um intenso impacto por conta de incêndios florestais e atividades de corte seletivo de madeira, mas ainda assim é uma das poucas áreas remanescentes de Mata Atlântica de baixadas no estado (MMA, 2019).

3.4 Risco de incêndios florestais

Risco de incêndios florestais pode ser entendido como a probabilidade de ocorrência do fenômeno e a expectativa dos efeitos que ele pode causar. O RIF está relacionado ao quão vulnerável ao fogo é a área e ao fator de ameaça em que ela

está submetida, sendo este fator a presença de agentes naturais ou ação humana capazes de ocasionar incêndios. (BACHMANN; ALLGOWER, 2001; JUVANHOL, 2014).

A vulnerabilidade do ambiente às chamas é inerente aos materiais com potencial combustível presentes na área e às condições ambientais como o clima e o relevo, que podem fazer com que a vegetação se torne mais susceptível à combustão e favorável à propagação do fogo. O uso e ocupação da terra também possui grande influência sobre a vulnerabilidade e é responsável por ditar quais atividades agrícolas e que tipo de vegetação se encontram no local, podendo estar relacionado com potenciais fontes de ignição (CASTAÑEDA,1997; GOBBO et al., 2016).

De acordo com Irland (2013), avaliar o histórico do fogo e interpretar caráter estatístico do tamanho e da área de ocorrência dos incêndios florestais é fundamental para os programas de proteção florestal. Em seus estudos, Linn et al. (2012) constataram que quanto mais se entende do comportamento do fogo e sua resposta às condições do ambiente em que ele está ocorrendo, mais fácil será prevenir impactos de grandes magnitudes, além de se obter uma maior precisão nas decisões acerca do manejo dos combustíveis e dos incêndios.

Toda região, até mesmo as mais próximas, possuem formas diferentes de comportamento do fogo. Diante disso, faz-se necessária a realização de estudos estatísticos dos incêndios locais para a compreensão correta e precisa das ocorrências em cada área e assim obter medidas preditivas mais eficientes na diminuição dos danos ocasionados (PEZZATTI et al., 2013).

Uma prática eficiente, no auxílio da previsão do risco de incêndios é o zoneamento, que tem como objetivo a identificação das áreas com diferentes riscos de incêndio de uma determinada região a partir de um mapa base, elaborado pela integração dos fatores que influenciam no início e na propagação do fogo. Com o auxílio do mapa, pode-se determinar onde há maior probabilidade de ocorrência de incêndios florestais e realizar a concentração dos esforços de prevenção como construção de aceiros e promoção de campanhas de educação ambiental de forma estratégica diretamente nessas áreas (FERRAZ; VETORAZZI, 1998; VENTURI; ANTUNES, 2007).

O conhecimento do uso e ocupação da terra, relevo e fatores humanos que condicionam a ocorrência e interferem no comportamento do fogo é essencial para o mapeamento de risco de incêndio. Isto indica que tais variáveis necessitam de uma análise de acordo com sua distribuição espacial, tornando-se importantes no auxílio às tomadas de decisão (JUVANHOL, 2014).

3.4.1 Mapeamento de risco de incêndios florestais

Na área da cartografia de risco de incêndios florestais, a associação de variáveis tem merecido muita atenção nos estudos e pesquisas científicas. Dados espaciais obtidos por georreferenciamento, oriundos de imagens de satélites, mapas e séries históricas do clima, podem ser cruzados em ambientes de SIG (JUVANHOL, 2014).

Existem quatro tipos de metodologias para integrar as variáveis que são:

- **Modelo qualitativo:** é baseado na experiência do avaliador, o qual constrói o modelo com base na sua percepção pessoal do fenômeno em análise. Os modelos gerados por esse método geralmente são baseados em categorias abrangentes que, quando são combinadas, resultam em uma classificação nominal, a qual representa os atributos de forma apenas descritiva sem valor numérico, uma simples identificação, apresentando grande subjetividade (CARVALHO, 2005).

- **Modelo quantitativo:** Ribeiro *et al.* (2008) propôs uma avaliação multicritério, onde os fatores analisados devem ser representativos de acordo com as variáveis que podem contribuir para o aumento do risco de incêndio, sendo independentes entre si. Estes devem ser quantificados e qualificados de acordo com seus atributos, onde cada atributo deve avaliar o desempenho de determinado critério na determinação do potencial de risco de incêndio de cada área avaliada.

Os critérios selecionados são: uso e ocupação do solo, rede viária, declividade, densidade demográfica e hidrografia, obtendo-se assim a equação 1.

$$\text{RISCO}=\text{US}+\text{RV}+\text{DV}+\text{DD}+\text{HD}$$

Eq. 1

Em que:

US = Variável de Uso e ocupação da Terra;

RV = Variável de Rede Viária;

DV = Variável de Declividade;

DD = Variável de Densidade Demográfica;

HD = Variável de Hidrografia;

O potencial de risco neste método pode ser quantificado como nulo, baixo, moderado, alto, muito alto e extremo de acordo com a Tabela 1 (RIBEIRO *et al.*, 2008).

Tabela 1: Classes de risco de incêndios segundo Ribeiro *et al.* (2008).

Classes de Peso	Classes de Risco
0 – 3	Nulo
4 – 8	Baixo
9 – 12	Moderado
13 – 16	Alto
17 – 20	Muito Alto
21 – 22	Extremo

Fonte: Ribeiro *et al.* (2008).

Existe ainda outro modelo que também utiliza a análise multicritério, o qual foi proposto por Chuvieco *et al.* (2010), onde a avaliação é feita através do somatório das ponderações das variáveis. Realiza-se o produto do peso e o critério como na equação (2) e, assim, obtém-se o valor respectivo ao risco de incêndio que poderá ser classificado como muito alto, alto, moderado, baixo, muito baixo, e nulo. Embora a escala de pesos seja arbitrária, deve-se levar em conta a importância relativa de cada variável como fator de risco de incêndio.

$$\text{RISCO} = 1 + 100V + 30D + 100OE + 5ET + 2AL$$

Eq. 2

Em que:

V = Variável da vegetação;

D = Variável da declividade;

OE = Variável da orientação das encostas;

ET = Variável da proximidade a estradas e trilhas;

AL = Variável da altitude;

A Tabela 2 indica as classes de peso e seus respectivos riscos.

Tabela 2: Classes de risco de incêndios proposto por Chuvieco *et. al* (2010).

Classes de Pesos	Riscos	Classes de Peso	Riscos	Classes de Peso	Riscos
0 – 30	Muito Alto	61 – 160	Moderado	191 – 230	Muito Baixo
31 – 60	Alto	161 – 190	Baixo	231 – 255	Nulo

Fonte: Chuvieco *et al.* (2010).

- **Modelos Físicos:** este tipo de modelo tem por propósito elaborar mapas de risco dinâmicos integrando variáveis meteorológicas ou que dependam de parâmetros meteorológicos, como teor de umidade do material combustível da área (CHUVIECO; ISABEL, 2004)

- **Modelos com base em análises estatísticas:** segundo Juvanhol (2014), com o expressivo progresso com a incorporação de módulos estatísticos em plataformas SIG, as análises estatísticas podem considerar diversas metodologias como a análise de regressão e a probabilidade Bayesiana.

A probabilidade bayesiana conclui um grau de confiabilidade a uma hipótese condicionada por uma ou mais variáveis consideradas, possuindo uma relação lógica com essa proposição. A regra de Bayes mostra como alterar probabilidades, a priori possuindo evidências novas que permitem obter probabilidades a posteriori. Esta metodologia de análise de regressão possibilita prever resultados discretos a partir de variáveis contínuas, discretas ou dicotômicas. Geralmente, a variável de resposta é dicotômica como a presença ou ausência, ou o sucesso ou falha (JUVANHOL, 2014).

3.5 Lógica Fuzzy

Várias pesquisas envolvendo o risco de incêndio são realizadas utilizando-se de fórmulas determinísticas com base nos fatores relacionados ao clima, relevo, uso e ocupação do solo e outras variáveis. Porém, para se combinar tais fatores com suas contribuições para a combustão, deve-se fundamentar em observações e

entendimentos prévios de outros pesquisadores o que pode ocasionar subjetividade aos resultados (SILVA; PONTES, 2011).

Por essa razão, Barros e Bassanezi (2006) e Silva *et al.* (2013) indicaram o uso das regras da lógica *Fuzzy* para se modelar e prever os riscos de incêndios florestais. Para se caracterizar um conjunto *Fuzzy*, deve-se recorrer ao conceito de pertencimento, o qual consiste numa função que determina se o elemento avaliado pertence ou não ao conjunto analisado (BURROUGH; MCDONNEL, 2005).

Segundo Junges (2006), análises lógicas possuem duas respostas: “verdadeiro ou falso”. Entretanto, a lógica *Fuzzy* nos permite a criação de um conjunto que varia de 0 a 1, fazendo com que a resposta possa ser parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa. A definição de um conjunto *Fuzzy* se dá de forma que, em um universo U , se encontra um elemento x ($x \in U$), o grau de pertinência $\mu_A(x)$ relacionado a um conjunto $A \subseteq U$ é descrito como um conjunto de pares ordenados de acordo com a equação 3 (SILVA *et. al*, 2011).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

$\mu_A(x)$ função de pertinência que determina com que grau x está em A :

$\mu_A(x) = 1$ x pertence totalmente ao conjunto A ;

$0 < \mu_A(x) < 1$ x pertence parcialmente ao conjunto A ;

$\mu_A(x) = 0$ x não pertence ao conjunto A .

Em operações com conjuntos *Fuzzy*, é comum o uso de variáveis linguísticas. Estas que podem ser tanto qualitativas quanto quantitativas, cujos valores assumidos são subconjuntos *Fuzzy* e representam os estados da variável que, em geral, são expressos por valores de caráter subjetivo, como pequeno, muito, pouco, alto (SÁ *et al.*, 2017; CECCONELLO, 2006).

A seleção da função de pertencimento vai depender de cada variável analisada no estudo (JUVANHOL, 2014). As funções de pertencimento mais comuns na modelagem *fuzzy* são: triangular, trapezoidal, sigmoidal crescente (*Fuzzy Large*), sigmoidal decrescente (*Fuzzy small*), *gaussiana*, *linear* e *em sino* (TSO & MATHER, 2009).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Rio Preto e sua zona de amortecimento, localizadas no Município de Conceição da Barra, ao Norte do Estado do Espírito Santo, sob as coordenadas 39°55'0" e 39°50'0" Latitude Oeste e 18°19'0" e 18°24'30" Longitude Sul (Figura 1). A área de estudo conta com 13.106,07 ha, sendo 2.830 ha pertencentes à FLONA propriamente dita (MMA,2019).

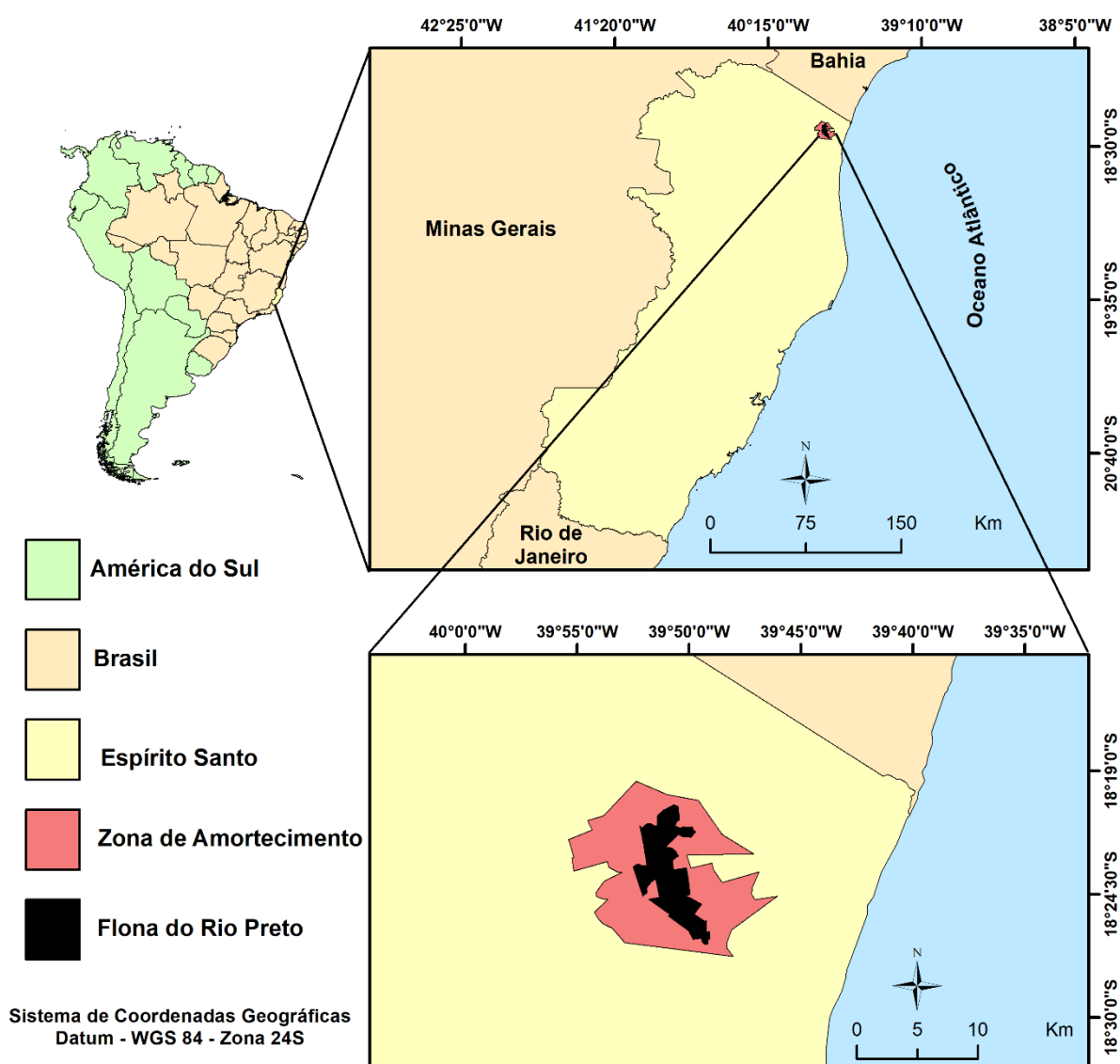


Figura 1. Localização da Flona do Rio Preto e sua zona de amortecimento
Fonte: O autor.

A Floresta Nacional do Rio Preto pertence à região fitoecológica denominada Floresta Ombrófila Densa das terras baixas ou Floresta Tropical Fluvial. O clima da

região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Af (tropical úmido) com verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média anual é superior a 22° C e a média do mês mais frio é superior a 18° C. O relevo da área varia de plano a suavemente ondulado, apresentando algumas depressões (GOMES, 2019; ALVARES et al., 2013; SOUSA; RESENDE, 1999).

4.2. Obtenção e Organização da base de dados

Para a modelagem do Risco de Incêndios Florestais (RIF), observaram-se as variáveis uso e ocupação da terra, orientação do relevo, declividade e proximidade a estradas.

4.2.1 Uso e Ocupação da Terra

Os arquivos vetoriais de representação do uso e ocupação da terra (UOT) foram obtidos junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Os dados utilizados são referentes aos anos de 2012 a 2015, em escala de 1:25.000 e resolução espacial de 25 cm (GEOBASES, 2019). As classes de UOT presentes na área estão listadas no Quadro 1.

Quadro1. Classes de uso e ocupação da terra na FLONA do Rio Preto e sua Zona de amortecimento.

Classes de uso e ocupação da terra	Descrição das classes
Solo Exposto	Áreas onde a cobertura vegetal foi toda perdida, deixando o solo desprotegido, e propenso a processos erosivos.
Brejo	Área inundada coberta por vegetação de gramíneas e herbáceas
Campo Sujo	Formação semi - aberta com presença de gramíneas e arbustos.
Seringueira	Áreas destinadas ao plantio de <i>Hevea brasiliensis</i> (Seringueira).
Macega	Floresta nativa em estágio regenerativo, que passaram por algum distúrbio.
Eucalipto	Áreas destinadas ao plantio de <i>Eucalyptus</i> spp.
Pastagem	Formação aberta com presença de gramíneas.

Cultivo Agrícola	Plantio de culturas variadas
Mata Nativa Avançada	Vegetação nativa desenvolvida e estabelecida.
Mata Nativa Inicial	Vegetação nativa que sofreu algum dano, e estão no início de sua recuperação.
Massa d'água	Presença de cursos hídricos ou lagos.

Fonte: O autor.

Para a inserção das variáveis na modelagem de risco de incêndios florestais por meio da lógica *Fuzzy* é necessário que as imagens se encontrem em formato matricial. Sendo assim, para possibilitar a aplicação do modelo, foi realizada a conversão da imagem vetorial de uso e ocupação da terra para o formato matricial.

4.2.2. Estradas

O mapeamento das estradas presentes na região foi elaborado a partir de técnicas de fotointerpretação das *basemaps* disponíveis no software *Arcgis*, versão 10.3. As imagens utilizadas possuem resolução espacial de 1m e a escala utilizada para fotointerpretação foi de 1:3000. As classes de estradas foram definidas em primárias (as de maior extensão, que cruzam praticamente toda a Flona e sua zona de amortecimento), secundárias (estradas de menor extensão para acesso às propriedades) e terciárias (estradas de talhão florestal).

Mesmo sendo necessárias ao deslocamento e acesso das brigadas de combate às áreas incendiadas, as estradas devem ser constantemente monitoradas, pois a intensa circulação de pessoas contribui para o acúmulo de material combustível e consequente aumento do risco de início do processo de ignição (CIPRIANI et al., 2011; RIBEIRO et al., 2012). Após a definição das classes de estradas (primárias, secundárias e terciárias), aplicou-se um *buffer* para estabelecer a área de influência de cada classe no risco de ocorrência de incêndios.

Para as estradas primárias, utilizou-se o *buffer* de 50 metros, já as estradas secundárias o *buffer* foi de 25 metros e para as estradas terciárias aplicou-se um *buffer* de 12,5 metros, sendo estas distâncias as influências de cada uma das classes. Após a determinação das áreas de cada classe de estradas, aplicou-se a distância euclidiana para determinação da influência de cada uma no RIF. Essa metodologia determina a distância linear, entre o centro de duas células. Em um

plano, a distância entre dois pontos $D_{AB}(X_A, Y_A)$ e (X_B, Y_B) é calculada pelo Teorema de Pitágoras.

4.2.3. Declividade e Orientação do Relevo

Considerando que o comportamento do fogo está relacionado à influência das condições ambientais e físicas do local, pode-se dizer que o relevo tem importante influência na ação do fogo aumentando a proximidade das chamas de acordo com que se aumenta a inclinação (TORRES et al., 2016).

Segundo Torres *et al* (2016), superfícies com orientações e inclinações distintas recebem diferentes quantidades de radiação solar em uma mesma região e época do ano se comparadas a uma superfície plana. Por essa razão, a orientação do relevo possui efeito direto no alastramento de incêndios por essa variação na quantidade de radiação e na velocidade dos ventos (JUVANHOL, 2014).

Para a elaboração do mapa clinográfico e de orientação do relevo, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE), do radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução de 30 m, corrigida cartograficamente no sistema de coordenadas UTM, datum WGS 1984, adquirido na plataforma *GoogleEarth Engine*. A declividade foi obtida por meio da ferramenta “*Slope*” presente na extensão “*Spatial Analyst Tools*” presentes no software *Arcgis*, versão 10.3. Já a orientação do relevo foi elaborada utilizando a ferramenta “*Aspect*”, presente na mesma extensão do software.

4.3. Aplicação da lógica *Fuzzy* nas variáveis analisadas

Com o auxílio do aplicativo *Arcgis 10.3*, realizou-se a modelagem de Risco de Incêndios Florestais por meio da lógica *Fuzzy*. Para todo conjunto *Fuzzy* deste estudo, estabeleceu-se um grau de certeza que poderia variar no intervalo de 0 a 1, onde 0 representaria o risco mais baixo possível e o valor 1 o risco mais alto, seguindo as diretrizes da metodologia proposta por Juvanhol (2014).

Com a intenção de conseguir uma maior qualidade na avaliação do valor *Fuzzy*, utilizou-se um tamanho de célula de 30 x 30 m. Foram definidas as funções de pertinência (FP) a partir das análises feitas por Juvanhol (2014).

• **Uso e ocupação da terra**

Para a variável de uso e ocupação da terra, utilizou-se a função *Fuzzy Gaussian*, que determina a influência das classes de UOT a partir de uma

distribuição normal do conjunto em torno de um ponto médio que assume valor 1 no conjunto *Fuzzy*, ou seja, a maior influência sobre o RIF, os valores que se encontram entre os limites, na zona de transição do conjunto, assumem o mesmo valor de pertinência. O valor de inclinação da curva é definido entre o intervalo de 0,01 a 1 (Equação 1).

$$\mu(x) = \exp^{-\sigma^*(x-a)^2} \quad \text{Eq 4.}$$

Em que:

σ = Parâmetro que modela a propagação da curva;

X = Valor da classe de uso e ocupação da terra na imagem matricial;

A = Valor do ponto médio, que indica o ponto central da função em que $\mu(x)$ é igual a 1;

A classe definida como ponto central (valor 5) foi o “Eucalipto” apontando ser a classe de maior risco. O valor de inclinação da curva é definido entre o intervalo de 0,01 a 1 (Tabela 3).

Tabela 3: Classe de uso e ocupação da terra, reclassificadas de acordo com o potencial de Risco de Incêndios Florestais.

UOT	Valor Reclassificado	UOT	Valor Reclassificado
Solo exposto	0	Pastagem	6
Brejo	1	Agricultura	7
Campo Sujo	2	Mata Nativa Avançada	8
Seringueira	3	Mata Nativa Inicial	9
Macega	4	Massa d'água	10
Eucalipto	5		

Fonte: O autor.

De acordo com White et al (2014), plantios de eucalipto possuem grande potencial para ocorrência de incêndios florestais devido ao acúmulo de material combustível nas áreas com essa atividade o que facilita a propagação do fogo e o aumento de sua intensidade. Por essa razão, classificou-se as áreas de Eucalipto com o valor 5, sendo este o valor de maior risco adotando o valor 1 no conjunto *Fuzzy*.

Plantios florestais estão propensos à ocorrência de incêndios florestais por apresentarem condições favoráveis à propagação do fogo, e o mesmo ocorre com a agricultura a qual necessita de atividades de preparo do solo e limpeza para sua implantação o que muitas vezes é feito com a utilização do fogo, apresentando assim potencial para ignição (JUVANHOL, 2014). Diante disso, atribuiu-se para a classe seringueira e agricultura os valores de classe 3 e 7 respectivamente, representando risco moderado.

Áreas que se encontram em processo de restauração propiciam o início do fogo, pelo fato de não possuírem dossel desenvolvido, permitindo a penetração de uma maior intensidade de luz no piso da floresta o que colabora com o aparecimento de gramíneas e arbustos, os quais possuem menor temperatura de ignição (JUVANHOL, 2014). Por essa razão, as classes macega e pastagem receberam os valores 4 e 6, que representam risco moderado de incêndio.

As classes brejo e massa d'água foram consideradas de baixo risco, uma vez que são áreas alagadas. O mesmo ocorreu com a classe solo exposto que, pelo fato de não possuir cobertura vegetal, tem baixo potencial combustível. Sendo assim, os valores destas classes foram respectivamente 0;1 e 10.

• Proximidade a estradas

Para esta variável utilizou-se a função *Fuzzy small*, que indica que quanto mais próximo das estradas maior o risco de incêndio (mais próximo de 1), e, à medida que a distância aumenta, o risco também diminui (mais próximo a 0) (Equação 5)

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{c}\right)^b} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

X = Valor da distância a estradas em metros na imagem matricial;

b = Parâmetro que modela a propagação da curva;

c = Valor do ponto médio que indica o ponto central da função em que $\mu(x)$ é igual a 0,5;

• Declividade

A modelagem da influência da inclinação sobre o risco de incêndios foi dada pela função de pertinência *Fuzzy linear*. Segundo Juvanhol (2014), a velocidade do fogo dobra a cada 15° de inclinação; porém, verificou-se que a maior declividade presente na região era de 13°. Diante disso, estabeleceu-se no estudo que o risco de ocorrência de incêndios aumenta gradativamente com a elevação do relevo até chegar ao valor de risco máximo de nossa área de estudo correspondente aos 13° de inclinação (Equação 6).

$$\mu(x) = 1 - \left(\frac{1}{d}\right)^x \quad \text{Eq. 6}$$

Em que:

d = Valor máximo de declividade;

x = Valores de declividade da imagem matricial;

• Orientação do relevo

Para a modelagem desta variável, definiu-se a função de pertinência *Fuzzy Generalized Bell*. Esta função se define em forma de sino em torno de um ponto central que assume um grau de pertinência de valor 1. Os valores que se encontram entre os dois limites estão na zona de transição do conjunto e possuem graus de pertinência de mesmo valor (Equação 7)

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-f}{g}\right)^{2h}} \quad \text{Eq. 7}$$

Em que:

X = Valor da orientação do relevo (°) na imagem matricial;

g = Parâmetro que modela a propagação da curva;

f = Valor do ponto médio, que indica o ponto central da função em que $\mu(x)$ é igual a 1;

h = Amplitude do ponto central;

Considerou-se a face Norte (0 e 360°) como a de maior risco pela maior quantidade de radiação que esta recebe, e a face sul (180°) como a face de risco

baixo assim como as áreas planas, de acordo com a metodologia de Juvanhol (2014).

4.4 Sobreposição das variáveis por meio da *Fuzzy Gamma*

Para modelar o risco de incêndios, utilizou-se a sobreposição *Fuzzy*, e analisar a probabilidade da célula da imagem matricial de certa variável pertencer a cada conjunto *Fuzzy*. A sobreposição direciona a escolha do método para combinar os dados de acordo com os conjuntos *Fuzzy* (JUVANHOL,2014). O método utilizado para a entrada da imagem rasterizada foi o *Fuzzy Gamma*, que pode ser traduzido como o produto algébrico da soma e do produto *Fuzzy*, ambos elevados à potência *Fuzzy* (Equação 8).

$$\mu(x) = \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right\}^y * \left\{ \prod_{i=1}^n \pi_i \right\}^{1-y} \quad \text{Eq. 8}$$

Em que:

μ_i = valores de associação difusa para $i = 1, 2, 3, 4$;

n = número de variáveis no estudo;

y = valor de coeficiente entre 0 e 1;

Afim de alcançar o efeito combinado do produto *Fuzzy Gamma*, utilizou-se para o coeficiente “ y ” o valor padrão de 0,9. A *Fuzzy Gamma* proporciona a combinação entre o efeito crescente da soma *Fuzzy* e o decrescente do produto *Fuzzy* evitando, assim, retornar ao valor de um único conjunto *Fuzzy*.

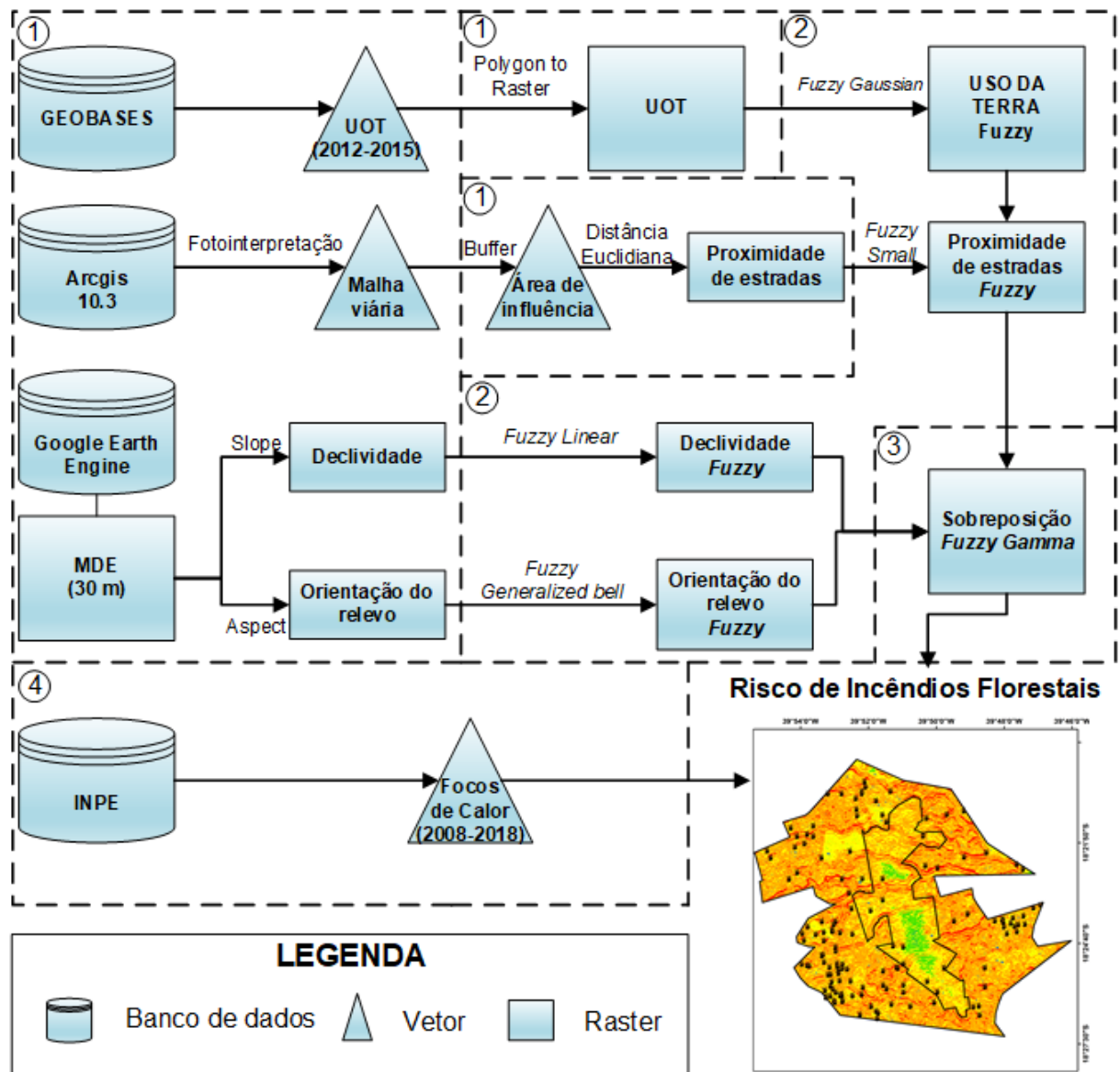
Por fim, realizou-se a reclassificação espacial sobre as imagens matriciais geradas para cada uma das variáveis consideradas, de forma a definir as classes de RIF em: Muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto.

4.5. Validação do modelo

A validação tem como objetivo aumentar a confiabilidade da modelagem dos eventos, utilizando-se de dados que comprovam a ocorrência destes na prática (PICKARD; MEENTEMEYER, 2019) Para avaliar o nível de confiança da modelagem *Fuzzy*, elaborou-se o mapa de focos de calor, que mostra a ocorrência de incêndios dentro de um intervalo de 10 anos (2008 a 2018), em que os dados foram obtidos através do site Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Obteve-se também a série histórica de precipitação referente a estação meteorológica de São Mateus, com o mesmo intervalo de tempo de 10 anos (2008 a

2018). Esta estação foi escolhida pelo fato de ser a mais próxima disponível da área de estudo.

O fluxograma metodológico que representa as etapas realizadas para a modelagem de Risco de Incêndio Florestal para a Floresta Nacional do Rio Preto é apresentado na Figura 2.



① = Obtenção e organização da base de dados para a modelagem de risco

③ = Sobreposição das variáveis por meio da *Fuzzy Gamma*

② = Aplicação da lógica *Fuzzy* nas variáveis Analisadas

④ = Validação do modelo

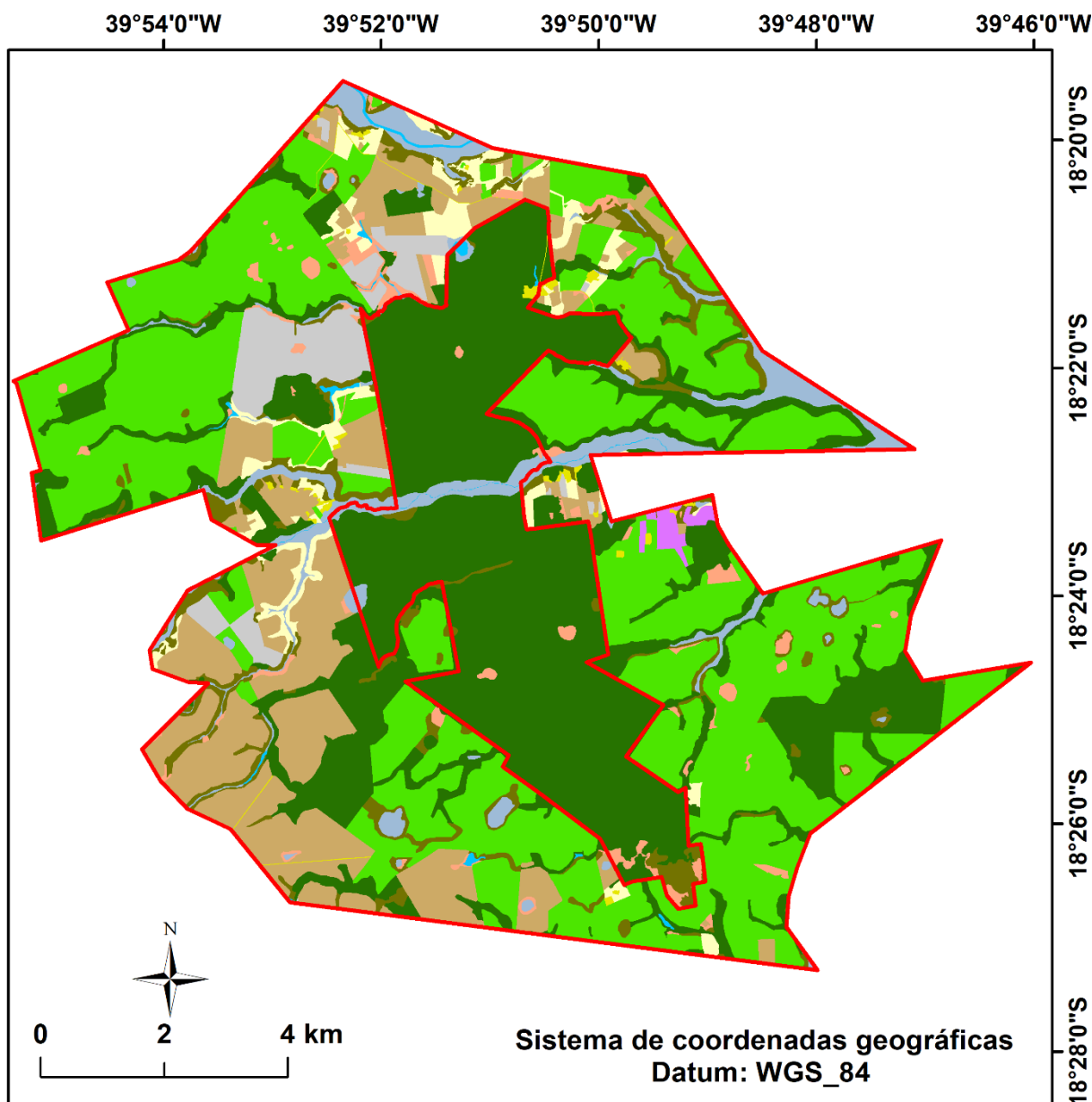
Figura 2: Fluxograma metodológico para modelagem de risco de incêndios florestais.

Fonte: O autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Uso e ocupação da terra

O mapa de uso e ocupação da terra permitiu a compreensão da organização



Brejo (4,31%)	Massa D' Água (0,29%)	M. Nativa Avançada (34,11%)
Pastagem (2,65%)	Seringueira (0,36%)	M. Nativa Inicial (4,74%)
Eucalipto (35,52%)	Solo Exposto (3,15%)	Cultivo Agrícola (12,71%)
Macega (1,73%)	Campo Sujo (0,43%)	Z. Amortecimento e FLONA

do espaço e das atividades realizadas na área do estudo (Figura 3).

Figura 3: Uso e ocupação da terra na FLONA do Rio Preto e sua Zona de Amortecimento. Fonte: O autor.

As áreas alagadas ou que possuem cursos hídricos (Massas d'água e brejos) correspondem a apenas 4,60% (605,45 ha) do território. Os ambientes cobertos por vegetação natural (macegas, mata nativa em estágio inicial e avançado) representam a maior parte da área da FLONA e sua zona de amortecimento, cerca de 40,58% (5.340,04 ha), indicando que boa parte da região está destinada à conservação.

As atividades silviculturais (plantios de Eucalipto e Seringueira) correspondem a grande parte do uso do solo, cerca de 35,88% (4.722,77 ha) da área. O cultivo dessas espécies teve como objetivo o reflorestamento de zonas que sofreram algum distúrbio, porém algumas áreas são destinadas à colheita seletiva de madeira.

O cultivo agrícola representa 12,71% (1.673,33 ha) da área de estudo, ocorrendo predominantemente na região sudoeste da área de estudo próximo aos limites da zona de amortecimento. Tais atividades agrícolas são realizadas a nível familiar em pequenas fazendas no entorno da FLONA do Rio Preto.

As classes de pastagem e solo exposto correspondem juntas a 5,80% do terreno, o que se equivale a aproximadamente 763,53 ha. Este valor em área pode ser considerado relativamente pequeno em comparação a toda extensão da região de estudo.

Vale ressaltar que todas as atividades exploratórias como agricultura, silvicultura e a classe de solo exposto se encontram dentro da zona de amortecimento, mantendo a vegetação nativa presente na FLONA em estado de conservação de forma a respeitar as restrições presentes na Lei nº 9.985 de julho de 2000 (BRASIL, 2000) como apresentado na Figura 3.

De posse do mapa com as classes de uso e ocupação da terra e suas localizações na área de estudo, aplicou-se a função *Fuzzy Gaussian* para avaliar o grau de interferência de cada classe ao risco de incêndio. Os resultados acerca da influência do uso e ocupação da terra estão apresentados na Figura 4.

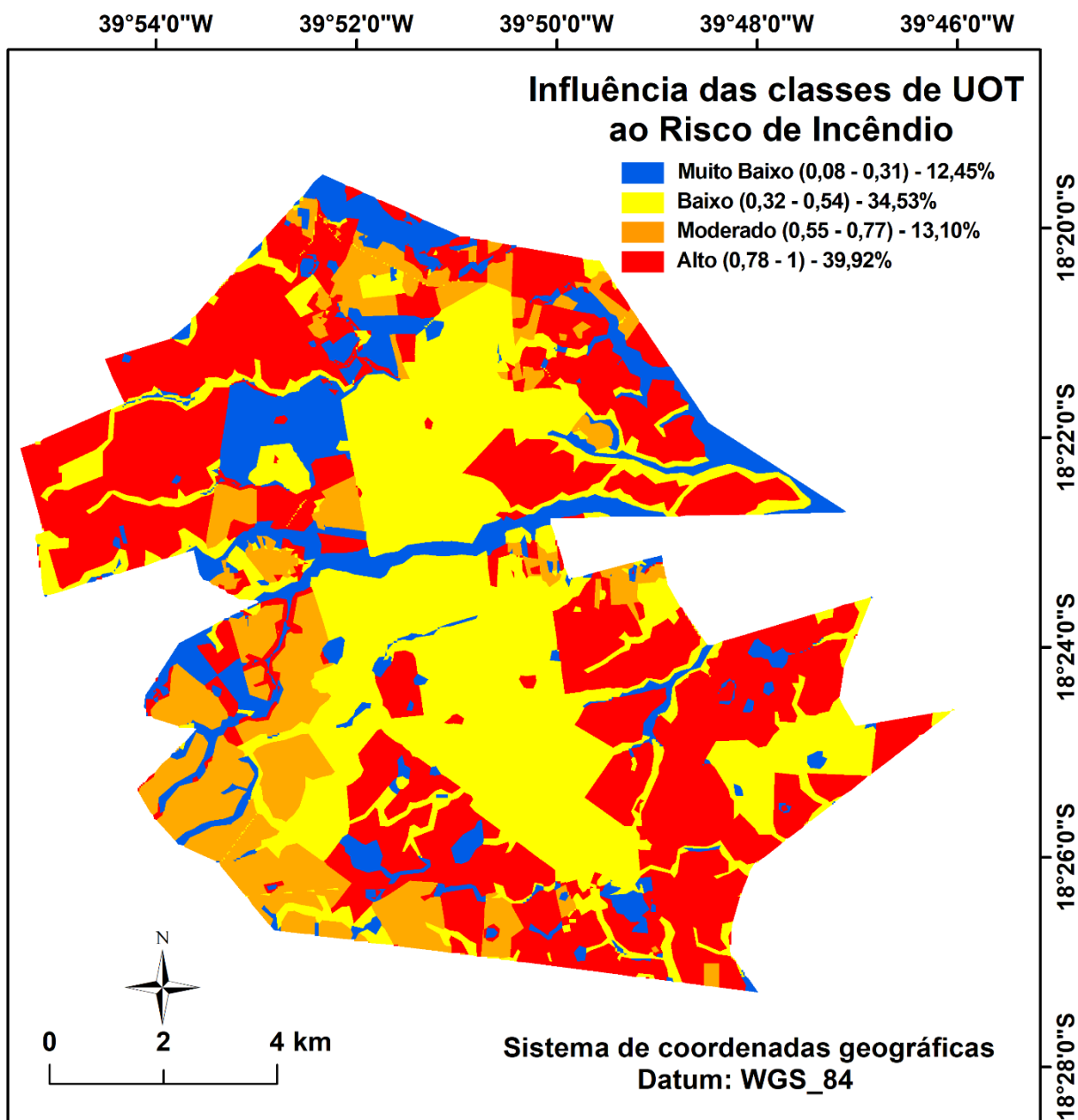


Figura 4: Efeito da função Fuzzy Gaussian para a variável UOT.

Fonte: O autor.

As áreas que corresponderam ao risco muito baixo de incêndios são representadas pelas classes de brejo, massa d'água e solo exposto, que, pelo fato de serem regiões inundadas ou sem vegetação, possuem baixo potencial combustível, se tornando zonas naturais de bloqueio ao fogo (JUVANHOL,2014). A classe de mata inicial também pertence a este conjunto, pois esta retém mais água e produz menos material combustível, sendo assim considerada por Araújo et al. (2013) como resistentes à propagação do fogo. Dessa forma, essas tipologias se enquadraram no intervalo de 0,08 a 0,31 do valor *Fuzzy*, indicando que apenas

12,45% da área possuem características ambientais que geram risco muito baixo de ocorrência de incêndios.

As áreas de cultivo agrícola possuem potencial para a propagação de incêndios por conta da atividade antrópica realizada no terreno, fazendo uso muitas vezes do manejo do fogo para limpeza destas áreas, ou proporcionando fagulhas, quando há contato de máquinas e implementos com rochas presentes no solo (OMENA,2016). As zonas de cultivo agrícola se encaixaram no intervalo *Fuzzy* de 0,55 a 0,77 que determina a classificação de risco moderado, representando 13,10% do território. Os plantios de Seringueira também foram classificados como risco moderado.

A classe de mata nativa em estado avançado que se concentra na área da FNRP se enquadra na classe de risco baixo, correspondente ao intervalo *Fuzzy* de 0,32 – 0,54, representando 34,53% da área. De acordo com os estudos de Araújo *et al.* (2013), este resultado se dá em razão da alta umidade retida no solo dessas áreas e entorno das raízes e resíduos vegetais, podendo-se afirmar que esses ecossistemas possuem maior resistência à penetração do fogo. Todavia, se submetidas a condições climáticas anormais como períodos de seca excessiva, e temperaturas muito elevadas, tais áreas podem se tornar vulneráveis ao fogo pela quantidade de material vegetal que é produzida (ARAÚJO *et al.*, 2013).

De acordo com a modelagem *Fuzzy*, 39,92% da área de pesquisa possui alto risco de ocorrência de incêndios. O risco elevado é representado pelos valores de pertinência contidos no intervalo 0,78 – 1, e as classes de uso e ocupação da terra enquadradas nesses valores foram: plantio de eucalipto, macega e pastagem.

Segundo Juvanhol (2014), há registros de que em áreas de pastagens a temperatura aumenta 10° C acima das regiões de floresta, e a umidade decresce cerca de 35%, aumentando muito a probabilidade de ocorrer a queima e proporcionando o ambiente ideal para a propagação do fogo.

Os plantios de eucalipto possuem todas as características favoráveis à propagação de incêndios. As árvores dessa espécie produzem muita matéria orgânica seca como galhos, a própria casca, além de possuírem copas ralas que permitem a entrada de radiação solar no talhão. Além disso, as atividades de colheita proporcionam alto risco de incêndio, pois são utilizados vários maquinários, que podem liberar matéria combustível no local.

Outro fator importante é a presença humana nos processos de colheita, o que corrobora ainda mais com os valores de risco elevado para as áreas de Eucalipto, considerando que 99% dos incêndios que ocorrem no Brasil são consequência de ações antrópicas, segundo Soares e Batista (2007).

Diante do exposto, percebe-se que as classes de risco baixo e alto são as predominantes na área. A alta representatividade do risco alto indica que as atividades realizadas na zona de amortecimento da FNRP possuem grande potencial para a ocorrência de incêndios, fazendo-se necessário um monitoramento constante dessa região. A classe de baixo risco abrange as áreas de Floresta natural, que correspondem a uma grande área do uso e ocupação da terra, por tal fator esta classe de risco possui grande expressão em área.

Uma medida que pode ser adotada para dificultar a propagação do fogo na área de conservação da FLONA é evitar o contato das áreas de colheita com as bordas das florestas nativas, a fim de protegê-las de uma possível propagação de chamas.

5.2. Proximidade às estradas

A Figura 5 apresenta a malha viária presente na Floresta Nacional do Rio Preto, bem como as estradas vicinais e de talhões de eucalipto e seringueira.

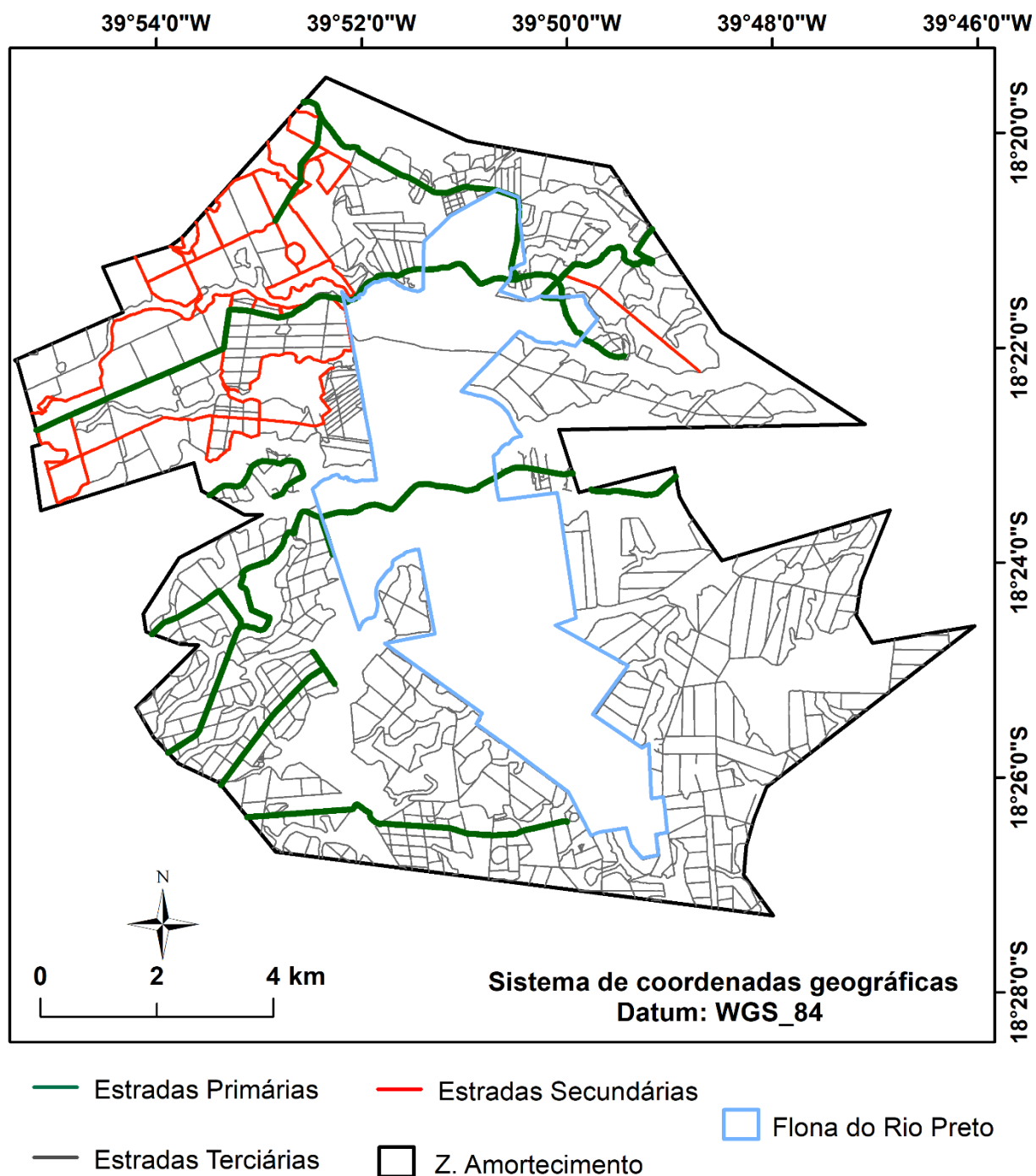


Figura 5: Presença de estradas na área em estudo.

Fonte: O autor.

Áreas adjacentes às estradas apresentam alto risco de incêndios. Isso ocorre pois, de acordo com Melo (2018), áreas marginais às rodovias estão sujeitas à

incêndios causados por veículos, cargas, e por fogueiras ou descarte de material inflamável por parte dos transeuntes.

O alto risco encontrado na zona de amortecimento se dá pela elevada densidade de estradas utilizadas para transitar entre talhões de eucalipto e seringueira. Estas estradas no período de colheita ficam condicionadas à influência antrópica contínua devido ao tráfego de grande número de veículos. Como boa parte da zona de amortecimento é utilizada para o cultivo de eucalipto, as estradas terciárias preenchem quase todo o território.

A modelagem *Fuzzy* indicou que 93,87% da área do estudo possui alto risco de incêndio, ou seja, praticamente toda a zona de amortecimento e a FNRP estão sujeitas à influência das estradas. As zonas de muito baixo, ou baixo risco representam juntas apenas 3,98% da área do estudo estando dispostas no interior da FNRP, onde não há estradas, e nos locais mais afastados da zona de influência das rodovias como mostra a Figura 6.

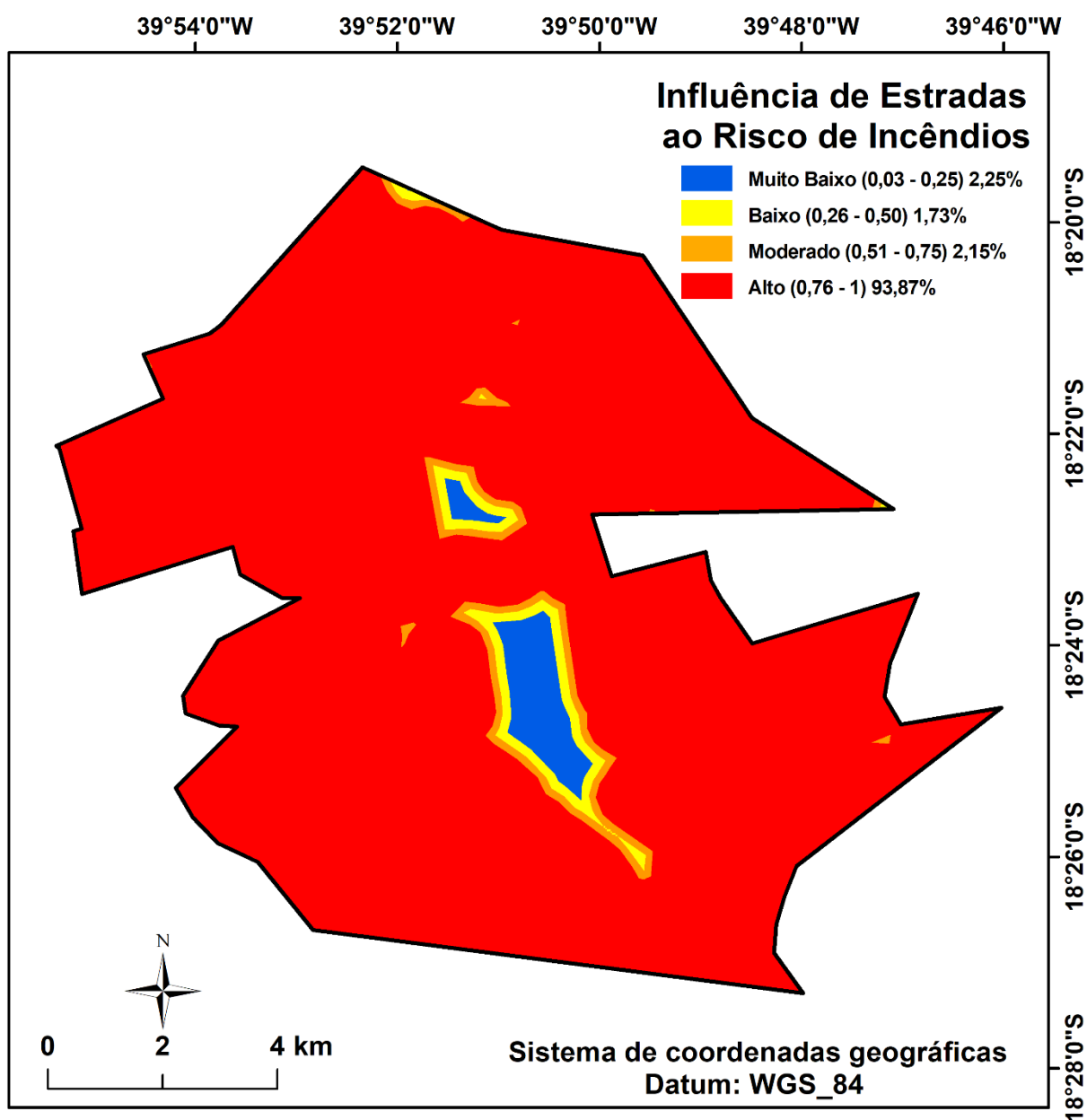


Figura 6: Efeito da função Fuzzy Small para a variável proximidade à estradas

Fonte: O autor

5.3. Declividade

Viegas (2004), expõe que a propagação do fogo se torna mais propícia em locais com elevada inclinação, em função dos fatores de convecção e radiação. O autor ainda afirma que o mínimo de declividade já causa um aumento na taxa de propagação do fogo.

A Figura 7 apresenta as classes de declividade presentes na área da FLONA, e

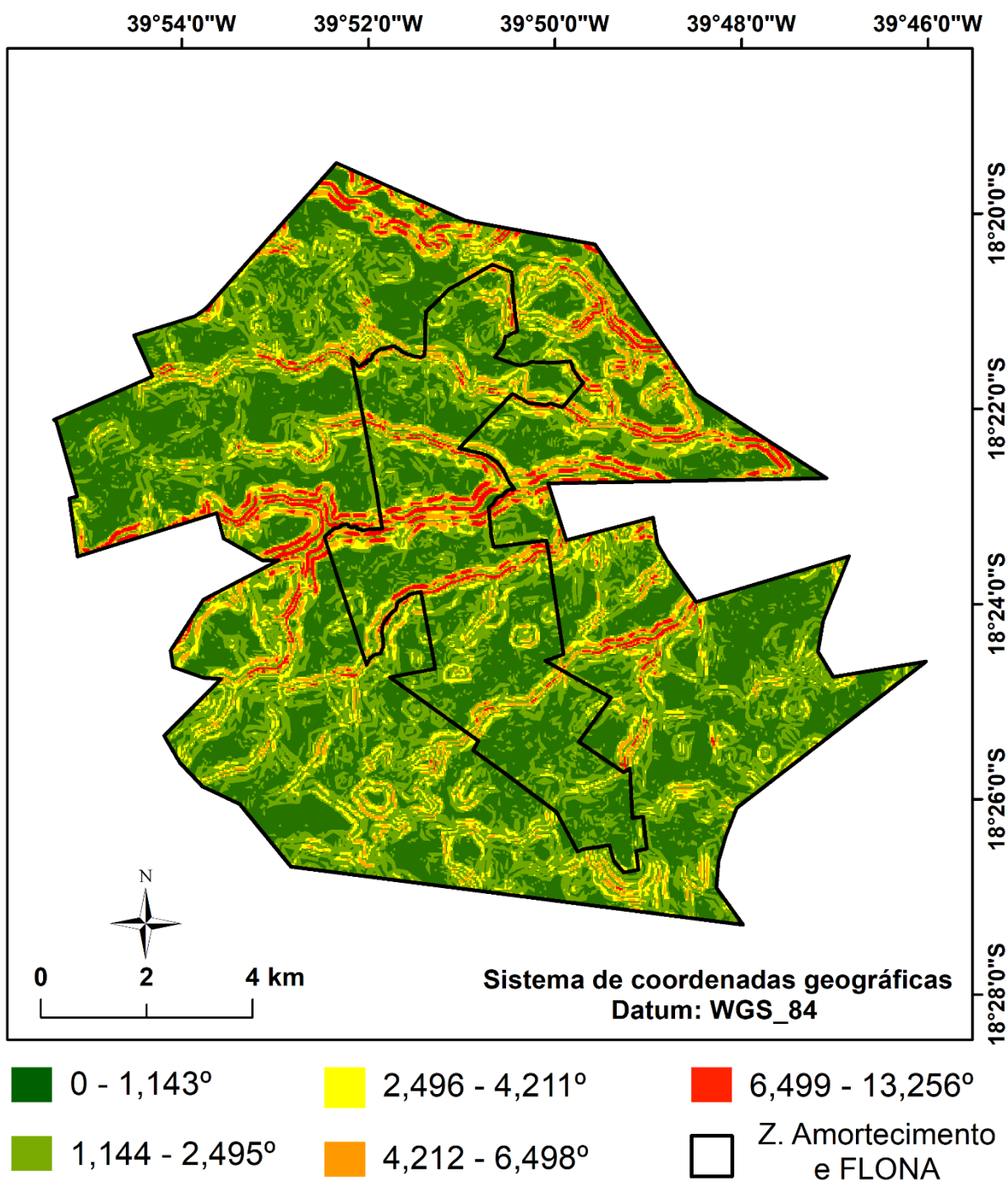


Figura 7: Classes de declividade da área em estudo

zona de amortecimento.

Fonte: O autor.

Verificou-se que a maior parte da extensão do terreno possui declividade até 1,143°, que é considerado como relevo plano. O local também apresenta algumas regiões com relevo suavemente ondulado (2,496° e 4,211°). A maior inclinação do

terreno apresentada foi de $13,256^\circ$, esta que ocorreu em sua grande parte próximo aos cursos d'água.

Como a maior declividade encontrada na área de estudo foi de $13,256^\circ$, considerou-se este valor como o de maior risco correspondendo a 0,17% da área. Diante disso, pode-se dizer que para a região de estudo as zonas de alto risco são pouco representativas. Averiguou-se que 13,28% apresentam baixo risco, corroborando com a afirmação de que o mínimo de inclinação aumenta o risco de propagação, pois as áreas que se encaixaram nesta classe, possuem no máximo $4,211^\circ$ de inclinação.

A partir desses resultados pode-se dizer que a variável declividade não representou uma grande influência no aumento do risco de incêndios para a área em estudo. Verificou-se que 84,12% da área se encontram no intervalo de valores *Fuzzy* de 0 – 0,25, que correspondem à classe de risco muito baixo, comprovando que o fato do relevo da FNRP ser plano em sua maioria diminui a interferência da declividade no risco de incêndios (Figura 8).

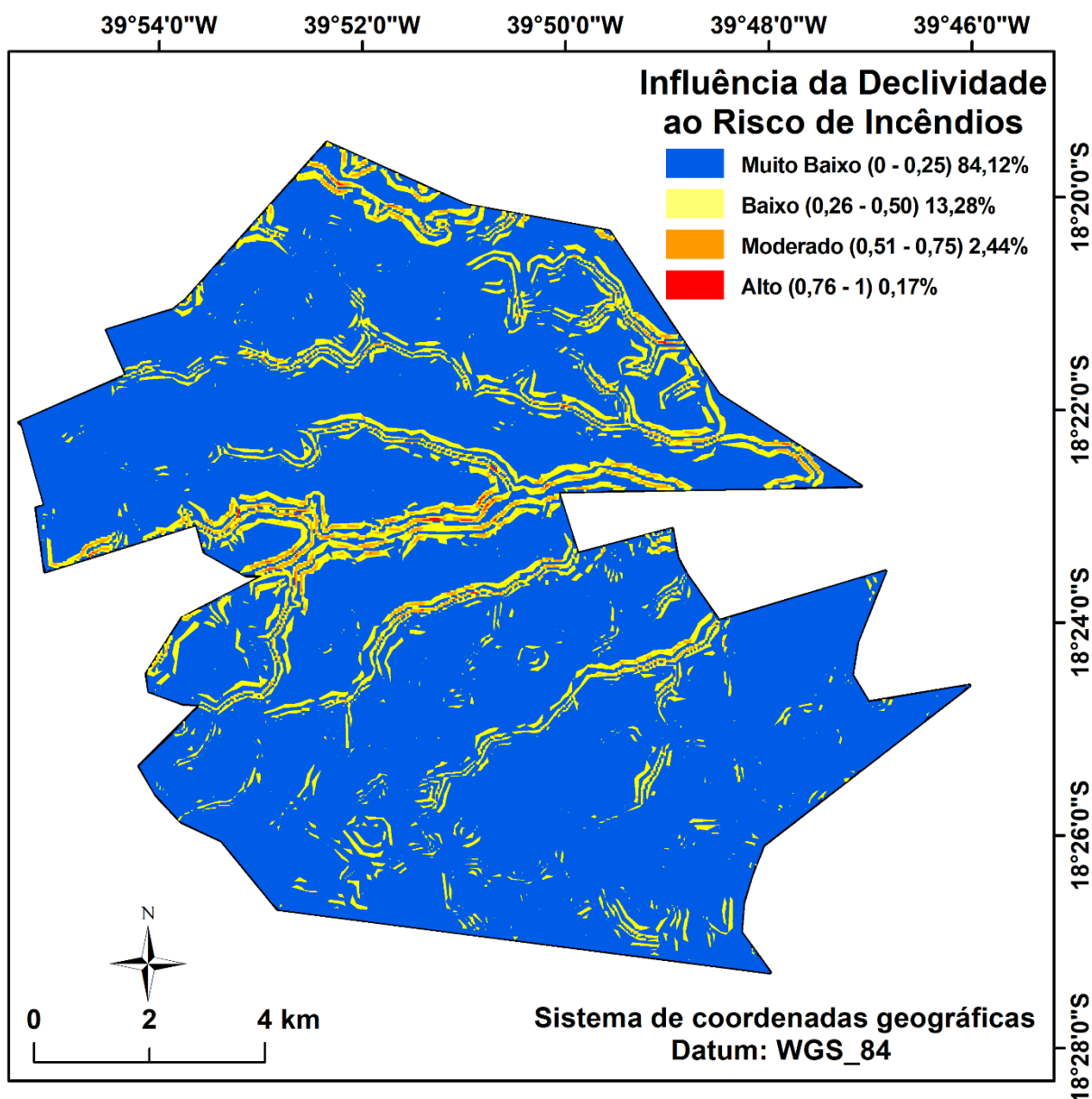


Figura 8: Efeito da função *Fuzzy Linear* sobre a declividade

Fonte: O autor.

5.4. Orientação do relevo

A orientação do relevo indica a direção em que se encontram as faces das encostas, o que influencia diretamente na quantidade de radiação que o terreno recebe (OMENA, 2016), o que está diretamente ligado à variação na umidade do ar.

Nunes (2005) afirmou que a umidade atmosférica possui efeito direto na inflamabilidade dos comburentes por conta da troca constante de umidade entre os materiais mortos e a atmosfera (materiais secos absorvem água de uma atmosfera úmida e liberam quando o ar está seco). Esta secagem do material combustível

eleva sua vulnerabilidade às chamas, ocasionando um aumento da probabilidade de propagação do fogo.

Torres et al (2016) afirmaram que encostas voltadas para o norte são significativamente mais quentes pela incidência de calor recebida por elas. Já as encostas voltadas para o sul, que recebem menos radiação solar, retém 1,6 vezes mais a umidade, fazendo com que o material orgânico nelas depositado fique em média 41,9% mais úmido.

O mapa da orientação do relevo (Figura 9) mostrou que 37,57% das encostas estão voltadas para a direção norte, nordeste e noroeste, e a maior parte das encostas está direcionada para a orientação sul, sudeste e sudoeste, representando 39,37%. As encostas voltadas ao leste representam 11,28% do relevo. e as direcionadas para o oeste 11,23%. O relevo completamente plano representa apenas 0,55% da área.

A função de pertinência *Fuzzy* escolhida para essa variável foi a *Fuzzy Generalized Bell*.

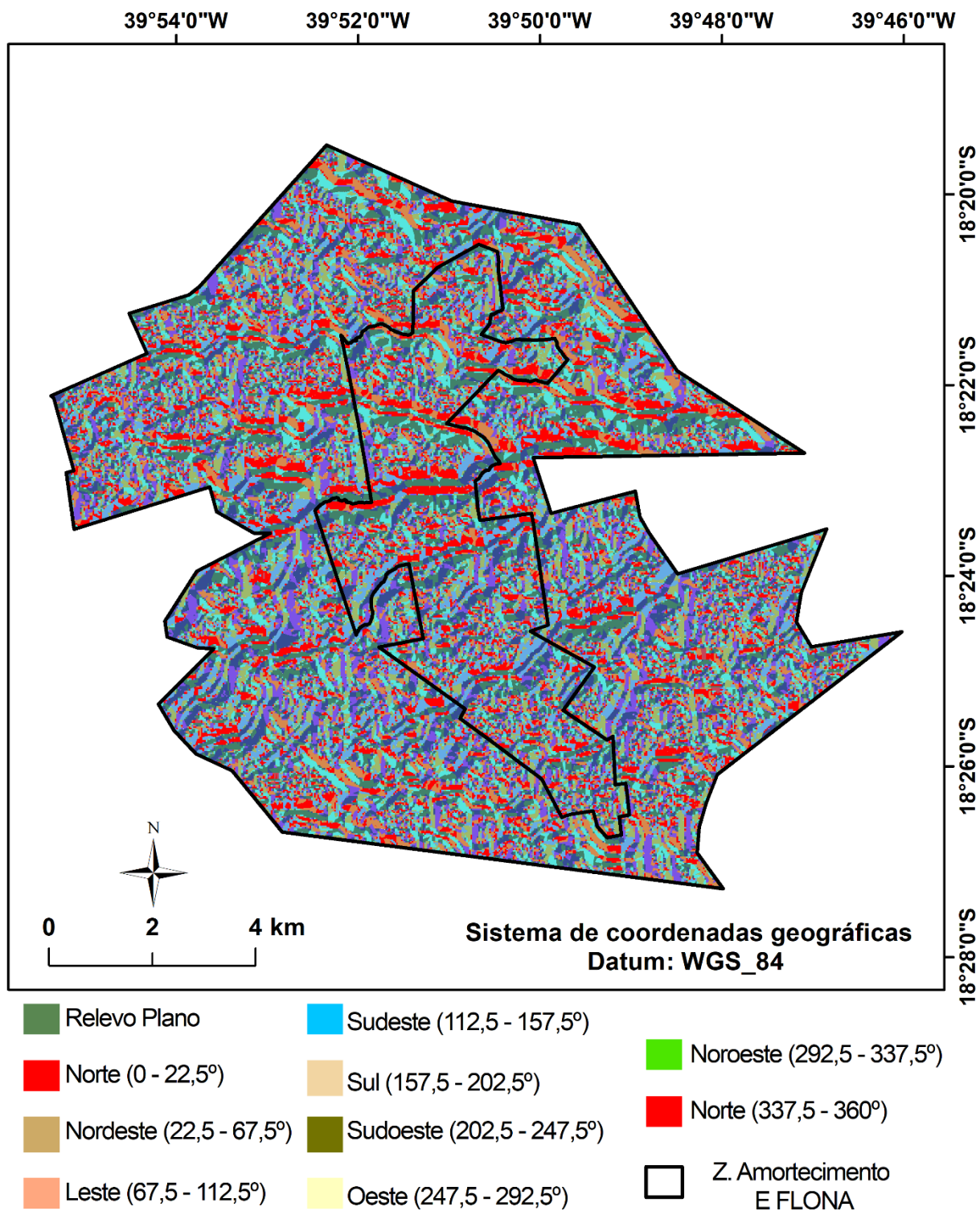


Figura 9: Orientação do relevo para a área em estudo

Fonte: O autor

A figura 10 mostra o efeito da função *Fuzzy Generalized Bell* sobre a orientação do

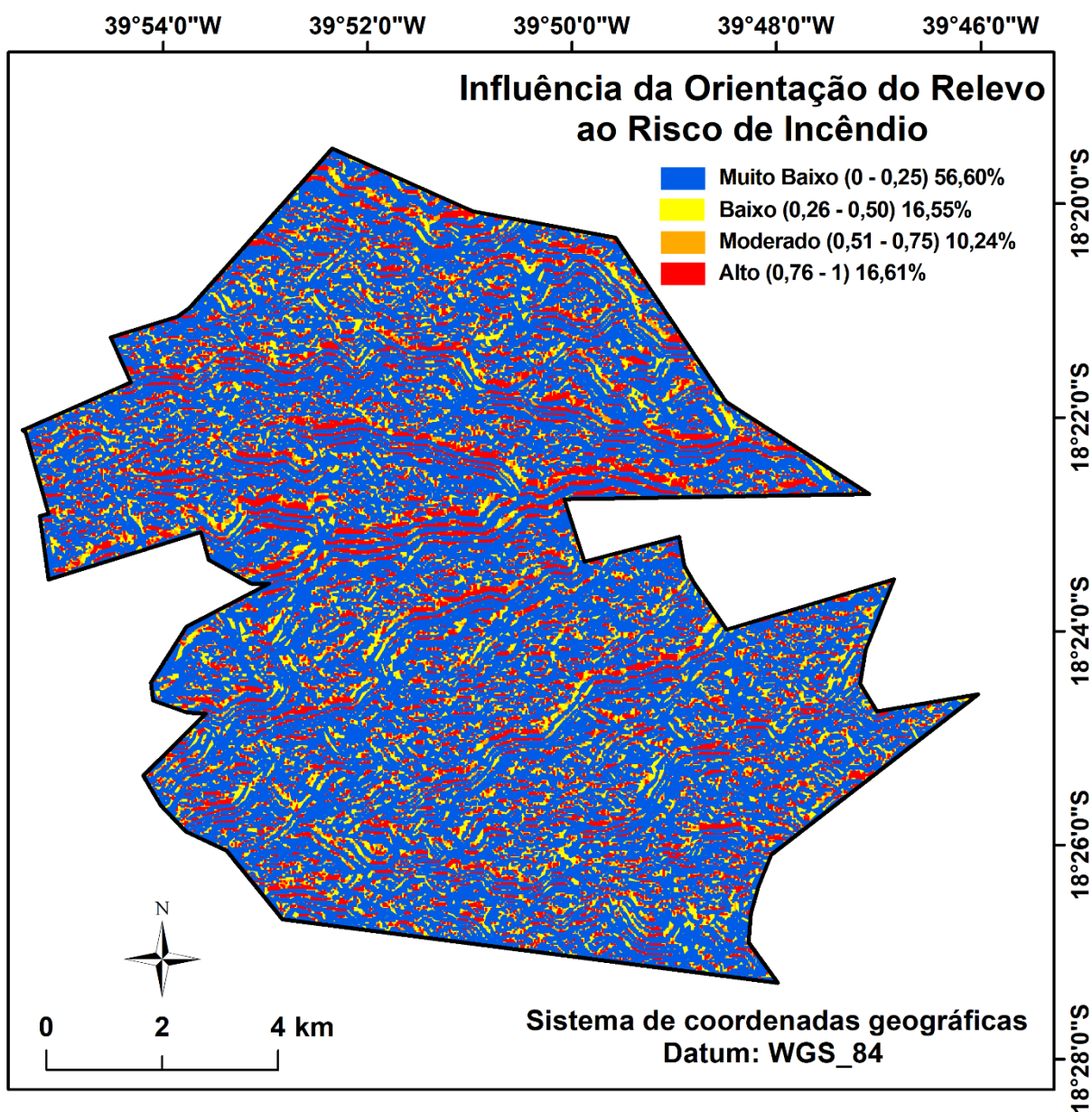


Figura 10: Modelagem *Fuzzy Generalized Bell* para orientação do relevo rel
evo

Fonte: O autor.

A modelagem *Fuzzy* indicou que a variável orientação do relevo não possui grande influência no risco de incêndios para a área, pois, como a maior parte das encostas é voltada para o sul, a classe de baixo risco representou 56,60% da área, mostrando que a influência desta variável na FNRP é baixa. Porém, as encostas que

possuem maior inclinação e estão voltadas à parte norte ainda representam o risco alto de incêndio, cerca de 16,61% da área.

O fato do relevo da FLONA ser pouco ondulado influencia diretamente nesses resultados, pois a baixa inclinação das encostas diminui o risco de incêndios mesmo estando voltada para a orientação considerada de maior risco.

5.5. Risco de ocorrência de incêndios Florestais

Para a confecção deste mapa, compilou-se os resultados da modelagem *Fuzzy* de todas as variáveis analisadas. Com isso, pode se inferir que a área do estudo possui risco moderado de incêndio, pois esta classe representou cerca de 44,64% da área. Porém a classe de alto risco também foi significativa descrevendo 24,70% do território do estudo. Isto pode ser explicado pela grande área de cultivo de eucalipto existente na região, que, além de ser a classe de uso e ocupação da terra com maior risco de incêndios, ainda é cortada por várias estradas. Além disso, as áreas que compreendem os menores riscos, representadas pelas classes que possuem corpos d'água ou pouco material combustível, ou as zonas mais afastadas das estradas, são áreas pequenas em relação a área em estudo.

Percebe-se também que a variável com maior influência sobre o risco de incêndios da região é a proximidade com estradas. Devido ao grande número de estradas o risco de incêndios se eleva estendendo por todo o território, ressaltado que todas as 3 classificações das rodovias (primárias, secundárias ou terciárias) se enquadraram na classe de alto risco de incêndios.

As áreas indicadas como risco alto são aquelas que, além de estarem próximas aos locais com grande concentração de estradas, possuem as maiores inclinações, recebem atividades de uso e ocupação da terra de alto risco como a exploração de eucalipto e ainda estão orientadas para o norte.

Já as de risco baixo que também representam grande parte da área em estudo (27,35%), são aquelas que sofrem uma menor influência das estradas e seu uso e ocupação da terra produz materiais com menor potencial combustível.

O território pertencente à FLONA possui zonas consideradas como risco muito baixo de incêndios, localizadas no interior da floresta, onde não há influência das estradas, locais esses que representam 3,31% da área de estudo. As classes com maior presença dentro da FLONA do Rio Preto foram as de risco baixo e moderado, indicando a necessidade de monitoramento constante da FLONA devido à influência

que os locais de maior risco podem exercer sobre as áreas circunvizinhas, pois queimadas nestas áreas de risco alto podem se propagar e atingir a mata nativa.

Sendo assim, pode-se inferir que se fazem necessários planos de combate a incêndios efetivos pois sua ocorrência em zonas destinadas à conservação pode causar danos irreparáveis como a perda de espécies em risco de extinção protegidas por esta Unidade. A figura 11 representa o mapa de risco de incêndios para a FLONA do Rio Preto, bem como as ocorrências de focos de calor na região.

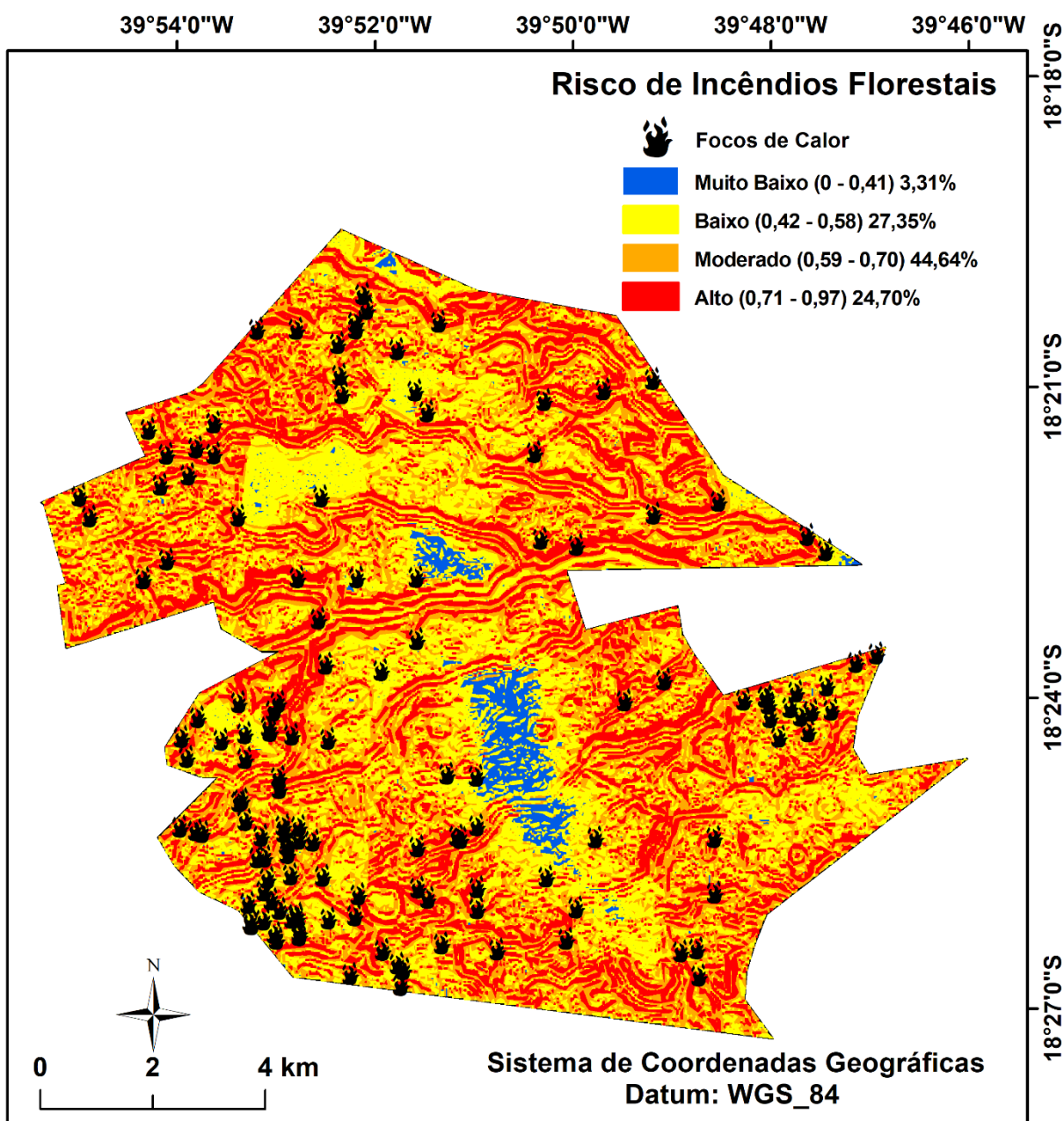


Figura 11: Mapa do Risco de incêndio florestal e focos de calor para a FLONA do Rio Preto e sua zona de amortecimento

Fonte: O autor

A observação da série histórica dos focos de calor corroborou com os resultados encontrados, pois grande parte das 138 ocorrências registradas durante os anos de 2008 a 2018 se deram próximo ou nas áreas indicadas como risco moderado (25,36%), alto (22,46%). Na área de baixo risco observou-se 71 focos de calor (51,45%), isso mostra a influência das zonas de maior risco sobre as áreas vizinhas, indicando a necessidade do monitoramento e proteção. Percebe-se que há um alto índice de focos de incêndios na área da zona de amortecimento, onde se concentram as atividades de agricultura e exploração de eucalipto, comprovando que tais atividades, somadas à presença humana, são potenciais elevadores do risco de incêndios.

Outro apontamento é o fato da ocorrência de apenas 10 de 138 incêndios dentro dos limites da FLONA, o que pode ser explicado pela menor influência das estradas dentro da FNRP, gerando um menor tráfego de pessoas; além disso, como o dossel de florestas nativas é mais fechado, a incidência de luz dentro do fragmento é menor o que pode manter a serra pilheira mais úmida, diminuindo seu potencial combustível. A tabela 4 contém o número de focos e sua respectiva porcentagem por classe de risco de incêndios.

Tabela 4: Número e porcentagem de focos de calor por classe de Risco de Incêndios Florestais

Classe de RIF	Número de focos (un.)	Porcentagem (%)
Muito baixo	1	0,72
Baixo	71	51,45
Moderado	35	25,36
Alto	31	22,46
Total	138	100

Fonte: O autor

estudo da série histórica de um intervalo de 10 anos (2008 à 2018) da precipitação anual, com base nos dados fornecidos pela estação meteorológica automática de São Mateus, proporcionou um panorama do regime de chuva do Norte do Estado, região onde se encontra a Floresta Nacional do Rio Preto. A

análise mostrou que, no período de 2014 a 2016, houve uma baixa na quantidade de chuvas, indicando que estes anos foram mais secos.

Segundo os dados de focos de calor, os anos de 2015 e 2016 foram aqueles em que se registrou a maior quantidade de ocorrência de incêndios, correspondendo a 54 dos 138 casos ocorridos. Estes dados evidenciam que períodos de estiagem possuem influência sobre o risco de incêndios, pois, como toda área fica seca sem eventos de chuva, os materiais combustíveis aumentam seu potencial de ignição.

Observa-se também alguns dados contrastantes, como o alto número de focos de calor registrado no ano de 2008, que foi um ano com alta taxa de precipitação (1.444 mm). Isso, porque, a interferência das chuvas, apesar de existir, não é uma regra, ou seja, o fato de se ter eventos de precipitação não exclui completamente a probabilidade de ocorrer incêndios, mesmo sendo um fator que pode limitar a probabilidade de ignição.

A tabela 5 demonstra todos os dados de foco de calor registrados, seu ano e local de ocorrência, e a precipitação aferida na época do evento.

Tabela 5: Focos de calor, ano e local de ocorrência e precipitação.

Ano	Número de ocorrências		Precipitação acumulada anual (mm)
	Interior da FLONA	Zona de amortecimento	
2008	-	11	1444,0
2009	3	14	1199,5
2010	1	7	1033,1
2011	3	7	1436,7
2012	2	8	1142,0
2013	-	15	1184,9
2014	-	5	1112,2
2015	-	29	797,3
2016	1	25	822,9
2017	-	3	1425,9
2018	-	4	1525,9
Total	10	128	

Fonte: O autor.

6. CONCLUSÕES

- As variáveis que demonstraram maior influência sobre o risco de incêndios florestais para a área de estudo foram o uso e ocupação da terra, e proximidade das estradas.
- A sobreposição *Fuzzy Gamma* possibilitou estimar que a área de estudo possui risco moderado de incêndios florestais.
- Registrou-se focos de calor nas áreas de risco baixo, moderado e alto, indicando que o modelo foi eficaz e indicou que todas as áreas possuem probabilidade de ocorrência de incêndios.

7. REFERÊNCIAS

ADÁMEK, M.; BOBEK, P.; HADINCOVÁ, V.; WILD, J.; KOPECKÝ, M. Forest fires within a temperate landscape: a decadal and millennial perspective from a sandstone region in Central Europe. **Forest Ecology and Management**, v. 336, n. 2015, p. 81-90, 2015.

ARAÚJO, R.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A. C.; KAYANO, M.; SOUZA, R. A influência do ENOS e Atlântico Equatorial na precipitação sobre a região norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000400009>

AXIMOFF, I. O que Perdemos com a Passagem do Fogo pelos Campos de Altitude do Estado do Rio de Janeiro?. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 180-200, 2011.

BACHMANN, A.; ALLGOWER, B. A consistent wildland fire risk terminology is needed. **Fire management today**, v. 61, n. 4, p.28. 2001

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. “**Tópicos de Lógica Fuzzy e Bio-matemática**”. Volume 5. Coleção IMECC. Textos Didáticos. IMECC - UNICAMP, Campinas. 2006.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o Artigo 255, Parágrafo 1º, Incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Acesso em 27/06/2019.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. “**Principles of geographical information systems**”. Oxford, Oxford University Press, 2005.

CARVALHO, P. A. C. F. de. **Modelação do risco de incêndio florestal com redes neuronais artificiais: aplicação ao parque natural Montesinho** 2005. 180 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica) – Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2005.

CASTAÑEDA, A. Zonificación para el manejo de incendios en plantaciones forestales en Colombia. **Boletín de Protección Florestal**, Colombia, n. 2, p. 38-46, abr. 1997.

CECCONELLO, M. S. “**Modelagem alternativa para dinâmica populacional: Sistemas dinâmicos fuzzy**”. Dissertação de Mestrado. IMECC- UNICAMP, Campinas. 2006.

CIPRIANI, H. N.; PEREIRA, J. A. A.; SILVA, R. A.; FREITAS, S. G.; OLIVEIRA, L. T. Fire risk map for the Serra de São Domingos Municipal Park, Poços de Caldas, MG. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 77-83, 2011.

CHUVIECO, E. A.; YEBRA, I.; NIETO M.; SALAS, H.; MARTIN, J.; VILAR, M.P.; MARTÍNEZ, L.; MARTÍN, J.; IBARRA, S.; DE LA RIVA, P.; BAEZA, J.; RODRIGUEZ, J.; MOLINA, F.; HERRERA, J. R.; ZAMORA, M. A. “Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system Technologies”. **Ecological Modelling** v. 221 p.46-58, 2010.

CHUVIECO, E.; ISABEL. **Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios florestais**. Madri: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004.

COSTA, E. P.; DEAN, W. **A Ferro e Fogo: A história da devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 2002. p. 484

Ministério Do meio ambiente. 1988. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>
Acesso em: 09/06/2019.

EUGENIO, F. C. et al. Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 173, p. 65–71, 2016.

FIEDLER, N.C., MERLO, D.A., MEDEIROS, M.B. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás: **Ciência Florestal**. v. 16, n.2, p. 153-161, 2006.

GALVÍNCIO, J.D.; SOUZA, F.; SHIRINIVASAN, V.S. Análise do relevo da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. **Revista de Geografia**, Recife, v. 23, p. 54-70, 2006.

GOBBO, S.D.A. Uso da terra no entorno do PARNA-Caparaó: preocupação com incêndios florestais. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 3, p. 350-361, 2016.

GOMES, L. P. **Regeneração natural e banco de sementes do solo sob efeito de borda em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas**. UFES, Jerônimo Monteiro, 2019.

ICMBIO -. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE **As Unidades de Conservação Federais do Espírito Santo**. Rio de Janeiro, 2012.

IRLAND, L. C. Extreme value analysis of forest fires from New York to Nova Scotia, 1950-2010. **Forest Ecology and Management**, v. 294, n. 2013, p. 150-157, 2013.

JUVANHOL, R.S. **Modelagem da vulnerabilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais**. 2014. 77f.: il.

JUNGES, L.C.D. **Introdução a lógica fuzzy** Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Departamento de Automação de Sistemas, 2006

KOPROSKI, L.; FERREIRA, M. P.; GOLDAMMER, J. G.; BATISTA, A. C. Modelo de zoneamento de risco de incêndios para unidades de conservação brasileiras: o caso do Parque Estadual do Cerrado (PR). **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 551-562, 2011.

LEAL, C. G.; JACOBSEN, T. R.; LANGHAMMER, P. F.; OLIVIERI, S. Estado dos hotspots: a dinâmica da perda de biodiversidade. In: LEAL, C. G; CÂMARA, I. de G. (Ed.) **Mata Atlântica – Biodiversidade, Ameaças e perspectivas**. Belo Horizonte MG, 2005, p. 12-23.

LINN, R. R.; CANFIELD, J. M.; CUNNINGHAM, P.; EDMINSTER, C.; DUPUY, J. L.; PIMONT, F. Using periodic line fires to gain a new perspective on multi-dimensional aspects of forward fire spread. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 157, n. 2012, p. 60-76, 2012.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, c. 14. N. 2, p. 157-168, 2004.

MELO, R.R. **Dinâmica de ocorrência de incêndios florestais em unidade de conservação influenciada por diversos usos e cobertura do solo: APA Gama e Cabeça de Veado–DF**. 2018.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE **Subprograma Projetos Demonstrativos (PDA)** ES – Vitória. Disponível em: <<https://mma.gov.br/publicacoes-mma/category/139-subprogramas-de-projetos-demonstrativos-pda>> Acesso em: 09/06/2019

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE Disponível em: <<http://sistemas.mma.gov.br/cnuc/index.php?ido=relatorioparametrizado.exibeRelatorio&relatorioPadrao=true&idUc=122>> Acesso em: 30/10/2019

NUNES, J. R. S.- **Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná** – Brasil. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.2005

OLIVEIRA, D. dos S. de; BATISTA, A. C.; SOARES R. V.; GRODZKI, L; VOSGERAU, J. Zoneamento de risco de incêndios florestais para o estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p 217-221 maio/ago. 2004.

OMENA, M. T. R. **Zoneamento do risco de incêndio florestal para o Parque Nacional de São Joaquim–SC**. Biodiversidade Brasileira, v. 6, n. 2, p. 173-186, 2016.

PEIXOTO, M. S. **Sistemas dinâmicos e controladores fuzzy: Um estudo da dispersão da Morte Súbita dos Citros em São Paulo**. Tese de Doutorado. IMECC - UNICAMP, Campinas. 2008

PEREIRA, C. A.; FIEDLER, N. C.; MEDEIROS, M. B. Análise de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais em unidades de conservação do cerrado. **Floresta**, v. 34, n. 2, p. 95-100, 2004.

PEZZATTI, G. B.; ZUMBRUNNEN, T.; BÜRGI, M.; AMBROSETTI, P.; CONEDERA, M. Fire regime shifts as a consequence of fire policy and socio-economic development: an analysis based on the change point approach. **Forest Policy and Economics**, v. 29, n. 2013, p. 7-18, 2013.

PREVINES - Programa Estadual de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais/ES <<https://iema.es.gov.br/prevines>> acesso em 26/11/2019.

RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R.; BATISTA, A. Zoneamento de Riscos de Incêndios Florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR)”. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3,. 2008.

RIBEIRO, L.; SOARES, R. V.; BEPLER, M. Mapeamento do risco de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso, Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 117-126, 2012. DOI: 10.1590/S0104-77602012000100014.

RODRÍGUEZ, M. P. R. et al. Comparação entre o perfil dos incêndios florestais de monte alegre, Brasil, e de pinar Del Rio, Cuba. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 231- 240., 2013.

SÁ, A., NERO, M., TAVARES JÚNIOR, J., CANDEIAS, A., & NOBREGA, R. Comparação e validação da modelagem espacial de riscos de incêndios considerando diferentes métodos de predição **BULLETIN OF GEODETIC SCIENCES**, 23(4), 556–577. 2017.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Floresta**, v. 36, n. 1, p. 93-100, 2006.

SILVA, I. D. B.; PONTES, A. C. F. “Elaboração de um Fator de Risco de Incêndios Florestais utilizando Lógica Fuzzy”. **Revista Biomatemática** 21. IMECC – UNICAMP – Campinas. p. 113- 128. 2011.

GEOBASES. SISTEMA INTEGRADO DE BASES GEOESPACIAIS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO . Disponível em: < <https://geobases.es.gov.br/>>. Acesso em: 11/09/2019

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais**: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba, 2007.

SOUSA, P. A. L. de; RESENDE, P. J. L. P. de. Plano de Manejo da Floresta Nacional do Rio Preto - ES. Universidade Federal de Viçosa - MG. 1999.

TEBALDI, A. L. C.; FIEDLER, N. C.; JUVANHOL, R. S.; DIAS, H. M. Ações de prevenção e combate aos incêndios florestais nas unidades de conservação estaduais do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 3, p. 538-549, 2013.

TEBALDI, André Luiz Campos. **Metodologia diagnóstica para as Unidades de Conservação Estaduais do Espírito Santo: condições para sua gestão, prevenção e combate aos incêndios florestais..** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2010

TORRES, F. T. P., RIBEIRO, G. A., MARTINS, S. V. LIMA, G. S. Influência do relevo nos incêndios em vegetação em Juiz de Fora (MG). **GEOgraphia**, v 18(36), p.170-182. (2016)

TSO, B.; MATHER, P. M. **Classification methods for remotely sensed data**, New York: Taylor & Francis Group, 2009. 155p.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos (2008).

VENTURI, N. L.; ANTUNES, A. F. B. Determinação de locais ótimos para a implantação de torres de vigilância para detecção de incêndios florestais por meio de sistemas de informação geográficas. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 159-173, 2007.

VETORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F.de B. Uso de sistemas de informação geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 111-115, 1998.

VIEGAS, D. X. **Cercados pelo fogo**. Coimbra: Editorial Minerva, 2004

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. Caracterização do material combustível e simulação do comportamento do fogo em eucaliptais no litoral norte da Bahia, Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 33-42, 2014.

WHITE, L. A. S.; WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T. Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 41, 2016.