



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

RONIE SILVA JUVANHOL

**MODELAGEM DA VULNERABILIDADE À OCORRÊNCIA E PROPAGAÇÃO DE
INCÊNDIOS FLORESTAIS**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2014

RONIE SILVA JUVANHOL

**MODELAGEM DA VULNERABILIDADE À OCORRÊNCIA E PROPAGAÇÃO DE
INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Recursos Florestais.

Orientador: Nilton Cesar Fiedler

Coorientador: Alexandre Rosa dos Santos

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

J97m Juvanhol, Ronie Silva, 1988-
Modelagem da vulnerabilidade à ocorrência e propagação de
incêndios florestais / Ronie Silva Juvanhol. – 2014.
77 f. : il.

Orientador: Nilton Cesar Fiedler.

Coorientador: Alexandre Rosa dos Santos.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Florestas – proteção. 2. Lógica difusa. 3. Mapa de risco.
I. Fiedler, Nilton Cesar. II. Santos, Alexandre Rosa dos.
III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

**MODELAGEM DA VULNERABILIDADE À OCORRÊNCIA E PROPAGAÇÃO
DE INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Ronie Silva Juvanhol

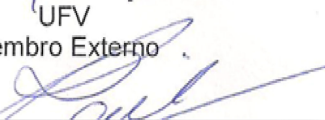
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 06 de março de 2014.



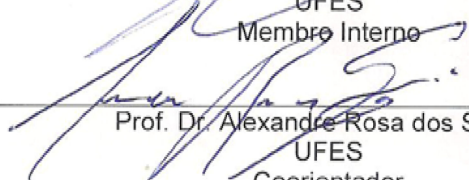
Prof. Dr. Guido Assunção Ribeiro
UFV

Membro Externo



Prof. Dr. Roberto Avelino Cecilio
UFES

Membro Interno



Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos
UFES

Coorientador



Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler
UFES

Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, ao seu filho Jesus Cristo meu melhor amigo e ao Espírito Santo meu consolador.

Aos meus familiares, em todas as suas ramificações, por todo apoio e pelo encorajamento que me proporcionaram, principalmente aos meus amados pais e irmã, pelo incentivo e compreensão nos momentos de minha ausência.

Aos grandes amigos, os de perto e os de longe, por compartilhar desta grande conquista.

Ao meu orientador Nilton Cesar Fiedler e coorientador Alexandre Rosa dos Santos, pelos anos de vivência e parceria, ensinamentos, amizade e orientação.

Aos colegas de mestrado do laboratório de Mensuração e Manejo Florestal: Giovanni e Evandro, pelas conversas e deduções essenciais na modelagem da variável orientação do relevo.

Ao Professor de Informática Moisés Omena, pela fundamental ajuda na confecção do script *Fuzzy Sino*. Sem a sua ajuda, possivelmente, seria muito difícil a conclusão deste trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais pela oportunidade de cursar o mestrado. À Reserva Natural Vale pela oportunidade e apoio dedicado à realização deste estudo. A CAPES pela bolsa de estudo concedida durante o programa de pós-graduação.

Aos amigos do laboratório de Colheita, Ergonomia e Logística Florestal (LABCELF) pela oportunidade de compartilhar bons momentos juntos.

Confia no Senhor as tuas obras, e teus pensamentos serão estabelecidos. (Provérbios 16:3)

RESUMO

JUVANHOL, Ronie Silva. **Modelagem da vulnerabilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler. Coorientador: Prod. Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

A redução sistemática de florestas naturais, provenientes de sucessivos incêndios, tem estimulado o desenvolvimento de mecanismos de prevenção, controle e combate ao fogo. Esta pesquisa teve como objetivo determinar as áreas de Risco de Incêndios Florestais (RIF), tendo como estudo de caso a Reserva Natural Vale, localizada no município de Linhares, ES. Para tanto, utilizou-se informações do uso e ocupação da terra, declividade do terreno, orientação do relevo e proximidade a estradas e residências. Com o auxílio de técnicas de Sistemas de Informações Geográficas determinou-se a influência de cada variável ao RIF por meio da modelagem *Fuzzy* no aplicativo computacional *ArcGIS/ArcINFO* 10.0. A cada conjunto *Fuzzy* representado pela imagem matricial da variável de entrada, foi definida uma função de pertinência que apresenta a cada elemento do conjunto um grau de certeza, variando entre 0 e 1, em que o maior RIF é indicado quando o valor real da variável assume 1 e nulo quando o valor real da variável assume 0. Para a variável uso e ocupação da terra foi utilizada a função de pertinência *Fuzzy Gaussian*. A variável proximidade a estradas foi modelada pela função de pertinência *Fuzzy Small*. Para a variável declividade foi utilizada a função de pertinência *Fuzzy Large*. A orientação do relevo foi programada em linguagem *Python* no *ArcGIS/ArcINFO* 10.0 pela função *Fuzzy Generalized Bell* e a variável proximidade a residências foi modelada pela função *Fuzzy Linear*. Posteriormente, as variáveis estudadas na influência que exercem sobre o início e propagação do fogo foram combinadas por meio do *Fuzzy Gamma* para representar o RIF na área de estudo. O maior risco ao incêndio foi considerado pela fisionomia campos nativos com valor no conjunto *Fuzzy* de 1. A concentração dos valores de risco para a distância a estradas corresponde principalmente para áreas de interface urbano-florestal com 41,93% dos pixels no intervalo de 0,95 -1. Para a variável declividade a maior concentração da frequência de pixels foi observada nos menores valores do

conjunto *Fuzzy* (0 – 0,2). Na orientação do relevo, embora a área de estudo apresente baixo risco ao fogo, associado às faces de menor radiação solar, os resultados demonstram que os maiores valores no conjunto *Fuzzy* estão na classe de maior risco, principalmente associado à face Norte. A variável proximidade é o principal fator de influência ao risco de incêndio pela distância da interface urbano-florestal com 70,59% dos pixels no intervalo 0,75 – 1. A área de estudo apresenta risco de incêndio variando de médio a baixo. As áreas de maior risco são pontuais e representam especialmente na interface floresta e meio urbano. Os fatores socioeconômicos desempenham um papel importante ao risco de incêndio na área de estudo e fornecem uma nova visão útil para a distribuição espacial das causas humanas do fogo. A modelagem foi adequada para avaliar os impactos de diferentes variáveis sobre o risco de incêndio.

Palavras-chave: proteção florestal; mapa de risco; lógica *Fuzzy*.

ABSTRACT

JUVANHOL, Ronie Silva. **Modeling of vulnerability to the occurrence and propagation of forest fires**. 2014. Dissertation (Master of Forest Science) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Adviser: Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler. Co-adviser: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

The systematic reduction of natural forests, from successive fires, has stimulated the development of mechanisms for prevention, control and firefighting. This resource has the objective to determine the areas of risk of forest fires (RIF) in Vale Nature Reserve, located in city the Linhares, ES. For this, used information about use and occupation of land, land slope, orientation of relief and proximity to roads and homes. With the techniques of support of Geographic Informations Systems determined the influence of each variable to RIF by *Fuzzy* modeling in computational application *ArcGIS/ArcINFO* 10.0. Each *Fuzzy* set represented by the matrix of the image input variable, a function was defined the pertinence which presents each set a degree of certainty, variation between 0 and 1, the greater is indicated RIF was set when the actual value of the variable assumes 1 and null when the actual value of the variable is 0 . For the variable the use and occupation of the land was used the function pertinence *Fuzzy Gaussian*. The roads variable was modeled by pertinence function *Fuzzy Small*. For the slope variable was used the function pertinence *Fuzzy Large*. The orientation of the relief was programmed in Python in *ArcGIS/ArcInfo* 10.0 by function *Fuzzy Generalized Bell* and the variable the proximity to residential was modeled by *Fuzzy Linear* function. Posteriorly, the variables in their influence on the onset and spread of fire were combined through *Fuzzy Gamma* to represent RIF in the study area. The biggest risk the fire was considered the physiognomy native fields with value in *Fuzzy* set 1. The concentration of risk values for the distance to roads corresponds mainly to areas of urban-forest interface with 41.93% of the pixels in the range of 0.95 – 1. For the variable the slope of highest concentration s of the frequency of pixels was observed in lower values in the set of *Fuzzy* (0 – 0.2). The orientation of the relief, although the study area presents low risk to fire, faces associated with lower solar radiation, the results show that the highest values are in the *Fuzzy* set in the class of highest risk, mainly associated with the North face. The proximity variable is the main factor influencing the risk of fire by distance from the

urban-forest interface with 70.59% of the pixels in the range of 0.75 – 1. The study area has variant of low the medium risk. The highest risk areas represent especially in forest and urban interface. Socioeconomic factors play an important paper in fire risk in the study area and provide a useful new insight into the spatial distribution of human caused the fire. The model was adequate to evaluate the impact of different variables on the risk of fire.

Keywords: forest protection; fire risk map; fuzzy logic.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. INCÊNDIOS FLORESTAIS EM ÁREAS NATURAIS PROTEGIDAS	12
2.2. A RESERVA NATURAL VALE (RNV)	13
2.3. RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS	16
2.3.1. Fatores biológicos	18
2.3.2. Fatores físicos	20
2.3.3. Fatores socioeconômicos	21
2.4. MÉTODOS NO MAPEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS	22
2.4.1. Modelagem de incertezas <i>Fuzzy</i>	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
3.2. BASE DE DADOS	30
3.3. MODELAGEM DO RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS	32
3.3.1 Uso e ocupação da terra	32
3.3.2. Proximidade a estradas	37
3.3.3. Declividade	39
3.3.4. Orientação do relevo	40
3.3.5. Proximidade a residências	41
3.4. SOBREPOSIÇÃO FUZZY	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	46
4.2. PROXIMIDADE A ESTRADAS	51
4.3. DECLIVIDADE	54
4.4. ORIENTAÇÃO DO RELEVO	58
4.5. PROXIMIDADE A RESIDÊNCIAS	61
4.6. RISCO DE OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS	63
5. CONCLUSÕES	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1. INTRODUÇÃO

As florestas são um importante recurso natural e que desempenham um papel importante na manutenção do equilíbrio do meio ambiente. O Estado do Espírito Santo está inserido no bioma Mata Atlântica, que em virtude dos constantes desmatamentos e queimadas, ocasionou a substituição de áreas de floresta nativa por outras formas de uso da terra e atualmente conta com aproximadamente 11,5% da floresta original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2013).

O fogo florestal é um agente com grande potencial para alterar os ecossistemas naturais e que afeta não somente o território brasileiro, mas também outros países como Estados Unidos, Canadá, Austrália, países da União Européia e países do Sudeste Asiático (CARAPIÁ, 2006). Quando se trata da ação do fogo sobre áreas protegidas, que são destinadas a proteção e conservação dos recursos naturais, os seus efeitos devem ser criteriosamente avaliados para estabelecer programas de manejo que propiciem a melhor forma de recuperação dos ambientes modificados (MEDEIROS; FIEDLER, 2004).

No Brasil, grande parte das Unidades de Conservação (UC's) são ocasionalmente atingidas por incêndios florestais. Os principais agentes causadores do fogo no Brasil são característicos da ação humana e a melhor forma de reduzir a ocorrência e suas causas é por meio da educação e conscientização ambiental (SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006). A conscientização da população relativa aos danos de um incêndio florestal constitui numa tarefa fundamental à prevenção da floresta, redução do número de ocorrências e suas consequências (RIBEIRO, 2004).

A redução sistemática de florestas naturais, provenientes de sucessivos incêndios, tem estimulado o desenvolvimento de mecanismos de prevenção, controle e combate ao fogo (CARAPIÁ, 2006). A realização de estudos para a avaliação do risco de incêndios florestais constitui um importante subsídio para o planejamento da proteção dos recursos naturais, pois proporciona uma visualização da distribuição espacial das áreas mais susceptíveis ao fenômeno e possibilita uma adequação dos recursos e equipamentos destinados à prevenção e combate, de acordo com as características de cada região (OLIVEIRA et al., 2004).

Nesse contexto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) têm sido utilizados como uma ferramenta efetiva pela capacidade de modelagem

computacional. Na elaboração do mapa de risco, podem ser utilizados fatores constantes (declividade do terreno e orientação do relevo) e variáveis (uso e ocupação da terra, proximidade a estradas e zonas urbanas), os quais afetam o início e propagação do incêndio.

No mapeamento de risco de incêndios florestais, a integração das variáveis tem sido objeto de estudo por parte da comunidade científica. Em muitos estudos, a integração das variáveis é realizada por modelos baseados no conhecimento empírico dos especialistas fundamentando-se na sua própria percepção do fenômeno, apresentando assim, um elevado grau de subjetividade.

A área de inteligência artificial, particularmente o de controle e modelagem *Fuzzy*, tem se estabelecido nos últimos anos em diversas áreas de conhecimento e aplicada em estudos ambientais para tomada de decisões. Esta técnica de modelagem permite agregar a precisão inerente ao modelo matemático de conjuntos clássicos com a imprecisão do mundo real. Com o auxílio do SIG, a modelagem *Fuzzy* simula por meio do uso de possibilidades, as incertezas e transições comuns no mapeamento. Para cada variável um grau de certeza, variando entre 0 e 1, é assumido no conjunto *Fuzzy*.

Diante da problemática apresentada e da importância que os incêndios florestais exercem sobre a manutenção dos processos ecológicos e conservação dos recursos naturais, o presente estudo teve como objetivo determinar as áreas de riscos de ocorrência de incêndio florestal, por meio da lógica de incertezas *Fuzzy*, tendo como estudo de caso a Reserva Natural Vale, localizada no município de Linhares, ES.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INCÊNDIOS FLORESTAIS EM ÁREAS NATURAIS PROTEGIDAS

Por efeito do decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998 entende-se como incêndio florestal o fogo não controlado, em floresta ou qualquer outra forma de vegetação, que pode ser provocado pelo homem (intencional ou negligência) ou por uma causa natural, como o ocasionado por raios (BRASIL, 2000).

No Brasil, o Sistema Nacional de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais – PREVFOGO, no âmbito do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), é o responsável pelo desenvolvimento de programas, integrados pelos diversos níveis de governo, destinados a ordenar, monitorar, prevenir e combater incêndios florestais, cabendo-lhe, ainda, desenvolver e difundir técnicas de manejo controlado do fogo, capacitar recursos humanos para difusão das respectivas técnicas e para conscientizar a população sobre os riscos do emprego inadequado do fogo.

A falta de informações de ocorrências de incêndios em áreas protegidas no Brasil, em função da falta de uma equipe técnica permanente que faça o levantamento desses relatórios dificulta a criação de uma política adequada de prevenção de incêndios e o direcionamento dos recursos financeiros a uma melhoria na gestão dessas áreas. Apenas poucas informações se conhecem, como exemplo, no período de 1983-1987 (SOARES, 1988), 1994-1997 (SOARES; SANTOS, 2002) e ainda no período 1998-2002 (SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006). Nestes períodos, os autores relataram que as principais causas dos incêndios em áreas protegidas em território nacional estiveram associadas à ação humana, principalmente na categoria incendiários e queima para limpeza com ocorrências especialmente entre os meses de julho a outubro.

No Estado do Espírito Santo, nos anos de 2007 a 2012, foram registrados mais de 2.500ha de área queimada no interior e no entorno de áreas protegidas ocasionando redução dos fragmentos florestais e perda da biodiversidade, principalmente em unidades de conservação estaduais (TEBALDI et al., 2013). Um desafio adicional à conservação da biodiversidade está ligado à carência de

investimentos, suporte político, recursos humanos e conhecimento adequado do manejo nas instituições governamentais responsáveis pelo sistema de criação e manutenção de áreas protegidas (LEAL et al., 2005).

Discernente aos incêndios florestais consegue-se minimizar as ações do homem por meio da educação ambiental, leis rigorosas de fiscalização e pela redução do risco de incêndios florestais, mediante a retirada prévia do material combustível e uso de técnicas como: construção de estradas, aceiros e proibição de acesso público a áreas consideradas de risco. Dessa maneira, um plano de prevenção de incêndios florestais deve ser cuidadosamente elaborado de modo a proteger o patrimônio natural (LIU, 2007).

2.2. A RESERVA NATURAL VALE (RNV)

Reconhecida como Patrimônio Natural da Humanidade em 1999 pela UNESCO, a Reserva Natural Vale é um dos 14 centros de alta diversidade e endemismo do Brasil e uma das áreas de conservação mais bem protegidas da América do Sul (GENTRY et al., 1997; PEIXOTO; SILVA, 1997). Compreende cerca de 80% da Mata Atlântica remanescente no Estado do Espírito Santo juntamente com a Reserva Biológica de Sooretama e apresenta a segunda maior reserva de Mata dos Tabuleiros ou Zona Costeira (Hiléia Baiana) do Estado (MARTIN; SUGUIO; FLEXOR, 1993). A vegetação da área, condicionada principalmente por fatores geológicos e edafoclimáticos, apresenta características fisionômicas e florísticas peculiares. A deciduidade sazonal de um contingente significativo dos indivíduos arbóreos é uma das suas principais características (EGLER, 1954). Uma característica da flora local, principalmente quando comparada com a flora de outras áreas cobertas por floresta úmida é a riqueza em espécies de lianas lenhosas.

A RNV segundo o Plano Diretor de Uso da Reserva Florestal de Linhares (1998) é diferenciada em quatro formações vegetais naturais, sendo eles:

- **Floresta alta:** também conhecida como floresta densa é a mais representativa encontrada na RNV (47,1%). Destaca-se por apresentar árvores de maior porte que

atingem até 40m de altura e sombreamento mais intenso do sub-bosque. É também a formação de maior riqueza específica.

A composição florística da área tem em comum com quase todas as florestas tropicais úmidas de baixada, a riqueza em Leguminosae e a presença de Annonaceae, Sapotaceae, Rubiaceae e Bignoniaceae, entre as famílias com grande número de espécies, destacando a família Myrtaceae com maior número de representantes. Também a predominância de lianas da família Bignoniaceae é uma característica comum a estas florestas.

- **Floresta de mussununga:** reveste algumas áreas da floresta alta, correspondendo aproximadamente a 7,9% da área, onde o solo apresenta-se com textura arenosa e sobre o qual se desenvolve uma vegetação representada pelas mais variadas formas de vida, com predomínio de espécies arbóreas. Nesta floresta, as árvores do estrato superior têm altura variando entre 7 e 10m, com suas copas algumas vezes se tocando e formando um dossel contínuo. Entretanto, mais comumente o dossel apresenta-se descontínuo, o que possibilita a penetração dos raios solares diretamente nos estratos inferiores.

As árvores emergentes não são muito raras, embora sua altura geralmente não exceda os 20m, ficando, na maioria das vezes, entre 15m e 18m, o suficiente para que praticamente toda sua copa esteja localizada acima das árvores do estrato superior, recebendo, dessa forma, uma grande quantidade de luz.

As árvores de submata representada principalmente pelas Myrtaceae são encontradas em uma faixa que se situa entre 4 e 6m. As lianas estão bem representadas na floresta de mussununga, e ocupam as bordas da mata, ou as clareiras existentes em seu interior. As epífitas são bastante comuns, sendo esta, uma das características mais marcantes dessa formação, quando comparada com a floresta alta.

- **Brejo, floresta de brejo e floresta ciliar:** as áreas inundadas ocupam cerca de 11,6% da área e não apresentam uma característica única, podendo ser encontrados trechos permanentemente inundado (brejo e floresta de brejo) e outros que ocorrem alagamentos periódicos (floresta ciliar). Em ambos os casos, sempre existe um curso d'água no entorno destas formações ou percorrendo seu interior.

Os Brejos apresentam as espécies herbáceas como componentes principais e plantas arbustivas que ocorrem isoladas, com altura em torno dos 3m. A característica marcante deste ambiente é o entrelaçamento do sistema caulinar e radicular dos indivíduos herbáceos, formando uma camada orgânica flutuante por não atingirem em sua maioria o substrato, podendo estes se desprender em casos de elevação do nível do corpo d'água.

A floresta de brejo de baixa diversidade florística, possui indivíduos que alcançam alturas próximas a 12m. Nesta formação, os indivíduos do estrato superior estão em sua maioria afastados uns dos outros a distâncias que não permitem junção das copas, permitindo que haja penetração de luz até o solo em grande intensidade.

A floresta ciliar apresenta indivíduos arbóreos em torno de 20m de altura. O dossel é contínuo, impedindo a entrada de grande quantidade de luz, favorecendo, neste caso, o desenvolvimento de espécies de ambientes sombreados. A presença de *Arecaceae* neste ambiente é marcante, não só em número de indivíduos, mas também em espécies, dentre as quais destaca-se *Euterpe aff. edulis*.

- **Campos nativos:** cobrindo quase 6,0% da área, os campos nativos se destacam pelo predomínio de herbáceas e lenhosas não arbóreas estabelecido sobre o substrato arenoso (PEIXOTO; GENTRY, 1990). São formações que ocorrem exclusivamente no Sul da Bahia e Norte do Espírito Santo, como enclaves na floresta alta ou na floresta de mussununga. Considerando tanto a localização geomorfológica quanto a fisionomia e composição florística, foram caracterizados na RNV e entorno, quatro tipos de campos nativos: graminóide denso, graminóide, arbustivo e em moitas (ARAÚJO; PEREIRA; PEIXOTO, 2008).

O campo nativo graminóide denso apresenta o solo totalmente coberto pela vegetação. A cobertura vegetal contínua, de cerca de 1,30m de altura, permite apenas o crescimento de indivíduos isolados lenhosos, com altura de até 3m. Sob o estrato graminóide há uma grande quantidade de matéria orgânica não totalmente decomposta. A separação entre este campo nativo e a faixa de transição é abruptamente percebida pela interrupção da ocorrência de *Panicum trinii*.

No campo nativo graminóide a vegetação é constituída por um estrato graminóide descontínuo, dominado por *Panicum trinii*, permitindo a existência de um estrato herbáceo rico em espécies. O estrato arbustivo é constituído por indivíduos

isolados de até 3m de altura, formando-se, em alguns pontos, moitas com arbustos de cerca de 5m de altura. Na transição com a Floresta Alta ocorrem arbustos isolados de *Hymenolobium alagoanum*, formando faixa estreita ao longo da borda da mata.

No campo nativo arbustivo a vegetação atinge uma altura de aproximadamente 5m, sendo constituída por indivíduos de troncos finos, de distribuição adensada, entretanto com dossel aberto. O estrato herbáceo, descontínuo, é formado por plantas de pequeno porte, de aproximadamente 40cm de altura. O solo é coberto por serapilheira e em alguns pontos, onde a camada de serapilheira é rala ou ausente, ocorrem populações de briófitas formando turfas.

No campo nativo de moitas a vegetação é constituída por moitas com até 5m de altura, intercaladas por espaços desnudos ou cobertos por espécies de pequeno porte e de distribuição esparsa. As moitas são formadas por poucos indivíduos mais altos, geralmente de copas amplas, que muitas vezes alcançam o solo. Sob estas moitas crescem Bromeliaceae, Araceae e outras herbáceas. Na zona de transição do campo nativo em moitas para a Floresta de Mussununga, as árvores atingem um porte de aproximadamente 10m de altura, sem formar dossel contínuo. À medida que adentram na mussununga, o porte das árvores aumenta até 18m e o dossel se torna contínuo.

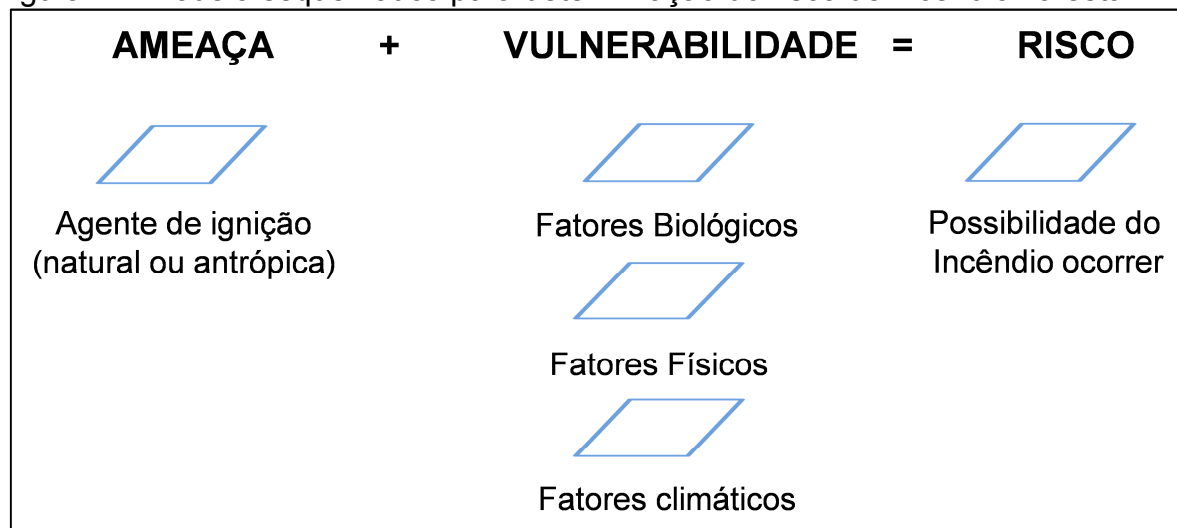
2.3. RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

Existe uma distinção conceitual entre vulnerabilidade, perigo e risco de incêndio. De acordo com Castañeda (1997), o risco de incêndio é combinado pela vulnerabilidade e pelo fator de ameaça a que está submetido o ambiente. O fator de ameaça diz respeito à existência de agentes naturais e antrópicos que dão início ao fogo. O conceito de vulnerabilidade está relacionado às características do material combustível e às condições ambientais (clima e relevo) que torna a vegetação susceptível a ignição e propagação do fogo.

Para Bachmann e Allgower (2001), o risco de incêndio (fire risk) representa a possibilidade do incêndio ocorrer e pela proporção dos efeitos que ele pode causar.

O autor acrescenta que o perigo de incêndio (fire hazard) corresponde à ocorrência do fogo relacionado ao potencial do dano. A figura 1 exemplifica as definições apresentadas.

Figura 1 – Modelo esquemático para determinação do risco de incêndio florestal.



Fonte: o autor.

De acordo com a terminologia da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 1986) o risco de incêndio florestal é a probabilidade de um fogo começar motivado pela presença e atividade de qualquer agente causal. Castañeda (1997) afirma que o mapa de risco devido às alterações antrópicas do meio, representa todas as formas de presença ou atividade de comunidades e infraestrutura internas e externas ao distrito florestal, refletindo o nível de ameaça devido à presença humana ao qual a propriedade florestal está sujeita.

Uma forma eficiente de diminuir as perdas causadas pelo fogo é obter um conhecimento do risco de incêndios florestais por meio de metodologias de previsão, prevenção e controle para cada região (RIBEIRO, 2009). O risco de incêndio pode ser realizado pelo mapeamento, que tem como objetivo a identificação de áreas com risco diferenciado em uma determinada região por meio de um mapa base, gerado pela integração de fatores que influenciam o início e a propagação do fogo (FERRAZ; VETORAZZI, 1998; VENTURI; ANTUNES, 2007).

A identificação de locais de maior possibilidade de ocorrência de incêndios florestais possibilita concentrar esforços na prevenção, direcionando equipes de campo para rondas diárias na área, restringindo o acesso aos locais de risco,

construindo aceiros preventivos e efetuando campanhas de educação ambiental junto a comunidades vizinhas. Os mapas de risco de incêndios auxiliam também no planejamento de combate, por exemplo, na alocação de recursos em pontos estratégicos, permitindo aos gestores organizar as ações com maior rapidez e eficiência (VETORAZZI; FERRAZ, 1998).

O estudo dos fatores inerentes à área de estudo, como uso e ocupação da terra, relevo e variáveis socioeconômicas ou fatores humanos, que condicionam a ocorrência e o comportamento do fogo é essencial no mapeamento de risco de incêndio. Dessa forma, tais variáveis devem ser analisadas de acordo com a sua distribuição espacial na área, sendo assim, um instrumento potencial de apoio na tomada de decisões.

2.3.1. Fatores biológicos

O estudo do uso e ocupação da terra consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações (ROSA, 2007).

Neste sentido, o mapeamento de uso e ocupação da terra é imprescindível para se analisar a forma pela qual determinado espaço geográfico está sendo ocupado, podendo este orientar o governo e responsáveis na elaboração de uma melhor política de uso da terra ao desenvolvimento da região. Ele é também um importante instrumento na medida em que o conhecimento da distribuição e quantificação da área ocupada pela vegetação natural, pastagem, agricultura, entre outros, permite que se compreenda melhor a organização do espaço facilitando tomadas de decisões (PRUDENTE, 2010).

O tipo de fisionomia florestal influencia o comportamento do fogo de várias formas, pois a variação na cobertura vegetal implica em mudanças de diversos aspectos relacionados com o comportamento do fogo, principalmente combustível e condições climáticas. As propriedades dos combustíveis variam consideravelmente

com o tipo de floresta e estas diferenças podem causar alterações no desenvolvimento de incêndios (SOARES; BATISTA, 2007).

Os materiais combustíveis apresentam características morfológicas, anatômicas e fisiológicas particulares em função do estágio sucessional. Fermino Junior et al. (2004) ressaltam, que para cada etapa da sucessão, as espécies florestais apresentam estratégias de adaptação nas estruturas das folhas em resposta às diferentes condições ambientais, como exemplo das espécies pioneiras, localizadas em ambientes mais iluminados, ou das espécies climácicas, encontradas em ambientes mais sombreados.

Uma floresta densa e fechada proporciona um microclima mais ameno e os combustíveis apresentam um conteúdo de umidade maior e mais estável em comparação com uma floresta rala ou aberta. Florestas densas e fechadas interceptam a radiação solar, reduzindo a temperatura do ar e a temperatura do material combustível, funcionando também como uma barreira, evitando que correntes de ar se locomovam livremente, diminuindo a velocidade do vento (SOARES; BATISTA, 2007). Em uma floresta rala ou aberta ocorre uma maior incidência luminosa e o aumento da densidade estomática das folhas pode ser considerado uma adaptação à maior captação de CO₂ e aumento da taxa fotossintética (MALONE et al., 1993). O aumento da densidade estomática associada a menor distância entre os estômatos reduz a transpiração (LARCHER, 2005) e aumenta a temperatura (DICKISON, 2000) das folhas expostas à radiação solar.

Segundo Jemison, Lindenmuth e Keetch (1949) as temperaturas do ar e a temperatura do material combustível, a umidade, o vento, a radiação e a evaporação variam bruscamente entre florestas densas e abertas. Assim, o equilíbrio da umidade do material combustível e as taxas de ganho e perda de umidade diferem com o grau de exposição. O tipo e a composição da floresta desempenham um papel importante na determinação do potencial de uma área desenvolver e sustentar incêndios. Deste modo, pode-se afirmar que o fogo propaga com mais facilidade na floresta aberta do que na densa.

Pelas condições homogêneas em termos de espécies, as florestas plantadas tendem a apresentar condições mais favoráveis à ocorrência de incêndios florestais, em relação às florestas naturais preservadas (SOARES; BATISTA, 2007).

2.3.2. Fatores físicos

O relevo compreende a forma física e as características do terreno de uma região. A topografia do terreno determina o tipo de combustível e influi decisivamente no comportamento do fogo (BROW; DAVIS, 1973), além de ser responsável pela localização dos diversos tipos de combustíveis, tendo influência sobre o seu crescimento e inflamabilidade devido os seus efeitos sobre o clima (GAYLOR, 1974).

O efeito da topografia sobre o comportamento do fogo se assemelha ao efeito do vento, quando todos os outros fatores são mantidos constantes (BROWN; DAVIS, 1973). De acordo com esses autores, o padrão de início, bem como a direção principal de propagação de incêndios são determinados principalmente pela velocidade do vento e pela topografia. Em terrenos acidentados, ambos os fatores controlam as condições iniciais de ignição e propagação do incêndio.

O relevo condiciona a formação de microclimas e tem grande influência no regime de ventos e no deslocamento de massas de ar afetando desta forma a umidade dos combustíveis e conseqüentemente o comportamento do fogo (BOTELHO; SALGUEIRO, 1990). As características topográficas influenciam no desenvolvimento de incêndios florestais principalmente sob três aspectos: altitude, inclinação e orientação do relevo. A altitude do relevo está relacionada intimamente às modificações climáticas. A inclinação influencia nas condições de pré-aquecimento dos combustíveis e modifica a taxa de propagação. A orientação do relevo tem influência sobre as condições de umidade e tipo de material combustível, em função das condições de iluminação solar (BROW; DAVIS, 1973). No hemisfério Sul, os raios solares incidem mais diretamente sobre faces voltadas para o Norte e, conseqüentemente, transmitem mais calor para essa exposição que para qualquer outra. A face Oeste é a segunda a receber maior quantidade de energia seguida da Leste e, finalmente, a que menos se aquece é a face Sul. Em latitudes maiores que 23°27', a face Sul não recebe radiação solar direta, nem mesmo no verão, devido à inclinação do eixo da Terra em relação ao Sol. Portanto, o efeito da orientação do relevo aumenta de acordo com o aumento da latitude (SOARES; BATISTA, 2007).

A declividade condiciona o ângulo de incidência dos raios solares e como tal potencia ou reduz o efeito da exposição e das suas conseqüências. É o fator com

maior importância no comportamento do fogo, uma vez que exerce forte influência nas formas de transmissão de energia, fazendo com que, a encosta acima, os fenômenos de convecção e radiação na propagação do fogo sejam mais eficientes (FIMIA, 2000). Favorece também a continuidade dos combustíveis em que potencia o pré-aquecimento dos combustíveis adjacentes.

Assim, dependendo do ângulo de inclinação e da velocidade do vento, a inclinação pode ser mais importante que o vento na determinação da taxa de propagação do fogo (FULLER, 1991). Segundo Soares e Batista (2007), um incêndio se propagando em um aclave acentuado, por exemplo, se assemelha a um incêndio se propagando no plano, sob efeito de forte vento, sendo que à medida que o grau de inclinação aumenta a velocidade de propagação também aumenta. Nas regiões de aclave, existindo o acúmulo de material combustível acima da frente do fogo, ocorre um maior aquecimento destes materiais, alimentando o fogo com maior rapidez.

2.3.3. Fatores socioeconômicos

Muitas análises quantitativas do risco de incêndio florestal têm dado menor atenção para a importância das variáveis socioeconômicas ou fatores humanos em comparação com biológicos e fatores físicos (CHOU; MINNICH; CHASE, 1993; YANG et al., 2007). Em estudos, tais como mudanças da paisagem, Rindfuss et al. (2004) começaram a abordar questões relacionadas com a integração de dados socioeconômicos e biofísicos para examinar padrões e processos espaciais.

Nos últimos anos, as análises de risco de incêndios florestais também começaram a incorporar as medidas de influência humana (distância a estradas, distância de áreas de lazer, densidade populacional, entre outros) (CARDILLE; VENTURA; TURNER, 2001; BADIA PERPINYÀ; PALLARES BARBERA, 2006; ROMERO CALCERRADA et al., 2010; SOTO, 2012). Contudo, a importância dos efeitos dos fatores socioeconômicos em modelagem espacial para o mapeamento de risco do fogo foi dada atenção inadequada. Anteriormente, estes estudos consideraram apenas uma pequena fração do grande número de fatores

socioeconômicos possíveis ligados à ocorrência de incêndios florestais (ROMERO CALCERRADA et al., 2008). E ainda, estes autores afirmam que estes estudos foram simples, especialmente, no que diz respeito à avaliação da influência do homem na modelagem cartográfica.

O problema na prevenção de incêndios é que muitas vezes existem grandes lacunas na informação disponível sobre a distribuição espacial dos recursos humanos, sendo um grande desafio para o desenvolvimento de planos de manejo (ROMERO CALCERRADA et al., 2010).

Os fatores associados com a proximidade a estradas e residências podem ser estudados e avaliados para determinar o risco de incêndio florestal em uma área. Áreas ao longo de rodovias, ferrovias e áreas de recreação foram indicadas por Salas e Chuvieco (1994) como importantes no processo de início do fogo. O risco do fogo na proximidade de estradas e residências pode ser representado por meio de zonas de influências. A modelagem com *buffers* é a forma mais comum de mapear a influência espacial de variáveis espaciais (LANGFORD et al., 2008), como áreas urbanas e estradas. Um *buffer* é uma zona em torno de um recurso de mapa medido em unidades de distância ou tempo, o que implica uma conexão física entre locais sendo útil para análise de proximidade (ROMERO CALCERRADA et al., 2010).

Em geral, o risco de incêndio aumenta em áreas mais próximas a estradas e com interface urbana – florestal (VEGA GARCIA et al., 1995; PEW; LARSEN, 2001) e as categorias de presença humana são definidas de acordo com as atividades no interior e entorno da área florestal e ponderadas de acordo com sua influência sobre o risco de incêndio (CASTAÑEDA, 1997).

2.4. MÉTODOS NO MAPEAMENTO DE RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

Na temática da cartografia de risco de incêndios florestais, a integração das variáveis tem sido objeto de estudo por parte da comunidade científica. Os dados espaciais georreferenciados provenientes das mais diversas fontes, como imagens digitais fornecidas por satélites e aeronaves, mapas, dados climáticos e outros,

permite sua integração e análise em ambiente SIG. São conhecidas quatro metodologias para a integração das variáveis:

- **Modelos qualitativos:** são baseados no conhecimento empírico dos especialistas que os constroem fundamentando-se na sua própria percepção do fenómeno em modelação. Tratam-se geralmente de modelos baseados em categorias abrangentes que combinadas resultam em uma classificação nominal representando atributos de descrição sem valor numérico, apenas uma simples identificação, descrição de uma classe ou uma categoria. Apresentam elevado grau de subjetividade em que o método mais utilizado é a tabela cruzada (CARVALHO, 2005).

- **Modelos quantitativos:** tem como base a soma ponderada das variáveis consideradas. O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) proposto por Saaty (1977) se apresenta como um exemplo deste modelo em que as ponderações dos critérios individuais são gerados por meio da síntese dos agentes de decisão, uma medida global para cada alternativa, priorizando-as ou classificando-as segundo a hierarquia de importância entre as variáveis definidas. A escolha do grau de importância de cada variável na matriz de comparação par-a-par ou matriz de decisão, é adotado pelo conhecimento empírico dos especialistas, associado à observação em campo e pelo levantamento bibliográfico. Os pesos são determinados por uma escala de julgamentos variando de 1 quando os critérios são de mesma importância a 9 para importância absoluta de um critério sobre outro. Os mesmos representam a intensidade de domínio de um determinado elemento sobre o outro. A partir destes, forma-se então a matriz de comparação paritária representada por uma matriz quadrada.

Seja uma matriz de decisão A, o método AHP calcula resultados parciais do conjunto A dentro de cada critério, $\bar{V}_i(A_j)$, para $j = 1, 2, \dots, n$. $\bar{V}_i(A_j)$ é o vetor de prioridade da alternativa j em relação à alternativa i, em que cada variável apresenta um valor numérico a cada comparação de alternativas. Os resultados são normalizados: $\sum_{i=1}^n \bar{V}_i(A_j)$, $j = 1, 2, \dots, n$. Cada parte do somatório consiste em:

$\bar{V}_i(A_j) = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij}$, $j = 1, 2, \dots, n$. Assim, o vetor de prioridades da alternativa i em

relação ao critério C_k é obtido: $\bar{V}_k(A_i) = \sum_{j=1}^n \bar{V}_i(A_j) / n$, $i = 1, 2, \dots, n$.

A matriz apresenta uma razão de consistência (RC) que determina se os pesos calculados são consistentes, devendo apresentar um valor menor que 0,10. O RC é fornecido por uma tabela de índice randômico (IR) e pelo índice de consistência (IC), como segue: $(RC = IC / IR)^1$.

Os modelos quantitativos permitem inferir níveis de risco de incêndio, contudo, não é um método absoluto e detêm algum grau de subjetividade.

- **Modelos físicos:** tem normalmente por objetivo a construção de mapas de risco dinâmico com a integração de variáveis meteorológicas ou variáveis que dependem fortemente de parâmetros meteorológicos, por exemplo, a humidade dos combustíveis (CHUVIECO; ISABEL, 2004).

- **Modelos baseados na análise estatística:** em função do avanço significativo na integração de módulos de estatística em plataforma SIG a análise estatística considera diversas metodologias, a exemplo, a probabilidade bayesiana e análise de regressão. O princípio da probabilidade bayesiana infere um grau de confiabilidade associado a uma dada proposição, denominada hipótese, condicionada por uma ou mais variáveis consideradas tendo uma relação lógica com essa proposição. A regra de Bayes mostra como alterar as probabilidades a priori tendo em conta novas evidências de forma a obter probabilidades a posteriori.

A regressão logística permite prever um resultado discreto, a partir de um conjunto de variáveis que podem ser contínua, discreta ou dicotômica. Em geral, a variável dependente ou de resposta é dicotômica, como a presença/ausência ou o sucesso/fracasso. É um modelo de regressão para variáveis dependentes ou de resposta binomialmente distribuídas². Assim, como o princípio de Bayes é útil para modelar a probabilidade de um evento ocorrer como função de outros fatores.

¹Maiores informações ver (SAATY, 1977).

² Distribuição de probabilidade discreta do número de sucessos numa sequência de n tentativas tais que as tentativas são independentes. Cada tentativa resulta apenas em duas possibilidades, sucesso ou fracasso (Tentativa de Bernoulli). A probabilidade de cada tentativa, p , permanece constante.

2.4.1. Modelagem de incertezas *Fuzzy*

A área de inteligência artificial, particularmente o de controle e modelagem *Fuzzy*, tem se estabelecido nos últimos anos em diversas áreas de conhecimento e aplicada em estudos ambientais para tomada de decisões. A característica especial da lógica *Fuzzy* (ZADEH, 1965) consiste na agregação da precisão inerente ao modelo matemático de conjuntos clássicos com a imprecisão do mundo real.

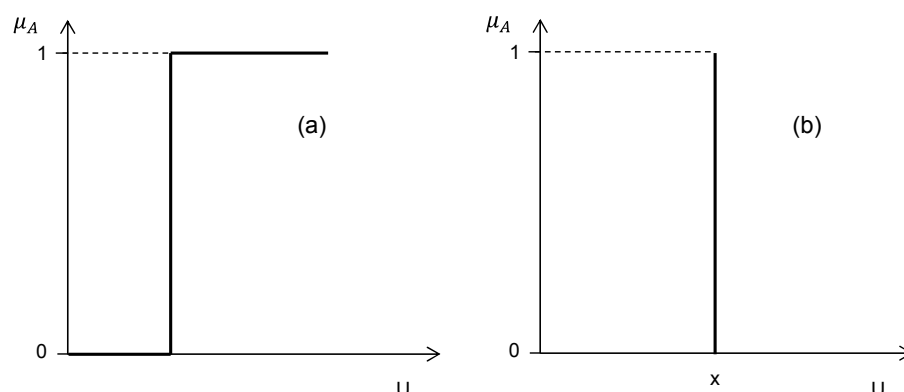
Eastman et al. (1995) afirma que a imprecisão está associada à praticamente todos os processos de tomada de decisão e estas podem ter origem nos dados e nas incertezas das regras de decisão. A lógica *Fuzzy* trabalha as informações que se encontram imprecisas, traduzindo expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, de categoria subjetiva, comuns na comunicação humana, em valores numéricos (SIMÕES; SHAW, 2007).

A teoria de conjuntos clássica apenas possibilita identificar se um elemento pertence ou não a um dado conjunto. Por exemplo, dado um universo U e um elemento particular $x \in U$, o grau de pertinência $\mu_A(x)$ com respeito a um conjunto $A \subseteq U$, é definida pela Equação 1:

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

A função $\mu_A(x): U \rightarrow \{0,1\}$ é chamada de função característica na teoria clássica de conjuntos. Uma generalização desta ideia é utilizada, por exemplo, para manipulação de dados com erros limitados. Todos os números inclusos em um erro percentual apresentarão fator de pertinência 1, tendo todos os demais um fator de pertinência 0 (Figura 2a). Para o caso preciso, o fator de pertinência é somente no número exato, sendo 0 para todos os demais (Figura 2b).

Figura 2 – Função característica na teoria clássica de conjuntos.



Fonte: Gomide e Gudwin (1994), adaptado pelo autor.

Zadeh (1965) propôs uma caracterização mais ampla, possibilitando atribuir um grau de pertinência $\mu_A(x)$ para cada elemento $x \in U$. Este valor de pertinência pertence a uma faixa de 0 (elemento não pertencente ao conjunto) até 1 (elemento totalmente pertencente ao conjunto). Ou seja, a lógica *Fuzzy* é uma forma de gerenciamento de incertezas, por meio da expressão de termos com grau de certeza, em um intervalo numérico $[0, 1]$, ou formalmente, $\mu_A(x) : U \rightarrow [0,1]$, onde a certeza absoluta é representada pelo valor 1. Os graus de pertinência podem ser considerados como medidas que expressam a possibilidade de um dado elemento ser membro de um conjunto *Fuzzy*. Assim, um vetor de pertinência *Fuzzy* é também chamado por vetor de possibilidade ou de distribuição de possibilidade.

Logo, o conjunto *Fuzzy*, apresentado por um conjunto U e um elemento $x \in U$ então, o subconjunto A de U é um conjunto de pares ordenados (Equação 2):

$$A = \{[x, \mu_A(x)], x \in U\} \quad (2)$$

Em que: $\mu_A(x)$ é o grau de pertinência de x em A .

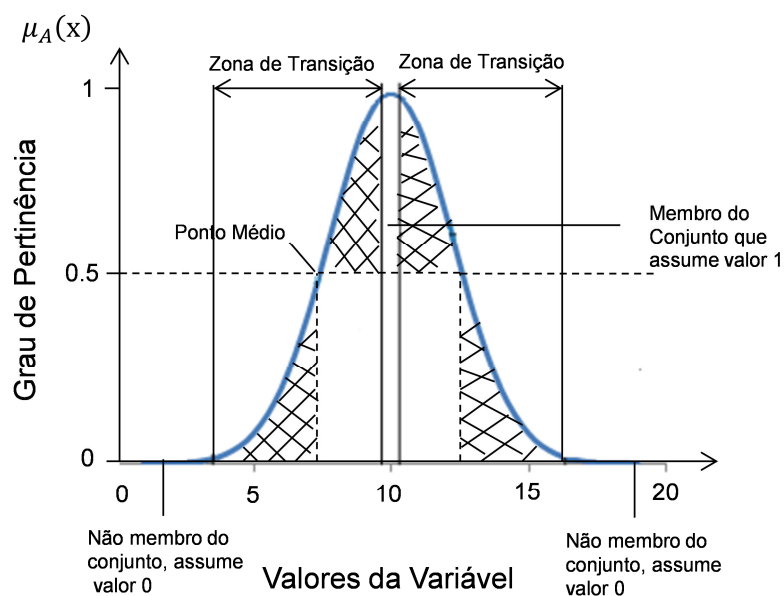
Se $\mu_A(x)$ toma seus valores em um conjunto M , chamado por conjunto de pertinência, pode-se afirmar que x toma seus valores em M por meio da função $\mu_A(x)$:

$$\begin{matrix} \mu_A(x) \\ x \end{matrix} \rightarrow M$$

Essa função é chamada por função de pertinência. Se $M = \{0,1\}$, o subconjunto A é representado como um conjunto bivalente, e a função $\mu_A(x)$ será a função *Booleana* (binária). Se $M = [0,1]$, o subconjunto A é um conjunto *Fuzzy* e a função $\mu_A(x)$ será uma função de pertinência *Fuzzy*.

Dessa maneira, um conjunto *Fuzzy* é caracterizado por uma função de pertinência que apresenta a cada elemento um grau de certeza, variando entre 0 e 1. O processo de transformar os valores de entrada da variável para a escala de 0 a 1 de possibilidades é chamado de *Fuzzificação*. No processo de *Fuzzificação*, o valor ideal da variável para a pertinência ao conjunto *Fuzzy* é definido. Cada valor real de uma variável próximo do ponto central do conjunto será indicada como 1 (Figura 3). Os valores que não fazem parte do conjunto recebem o valor 0. Os valores que se situam entre os dois limites se encontram na zona de transição do conjunto. O valor *Fuzzificação* de 0.5 é o ponto médio. Um valor *Fuzzy* superior a 0.5 indica a maior possibilidade do valor da variável pertencer a um membro do conjunto e um valor *Fuzzy* inferior indica a menor possibilidade.

Figura 3 – Diagrama da função de pertinência *Fuzzy* Gaussiana.

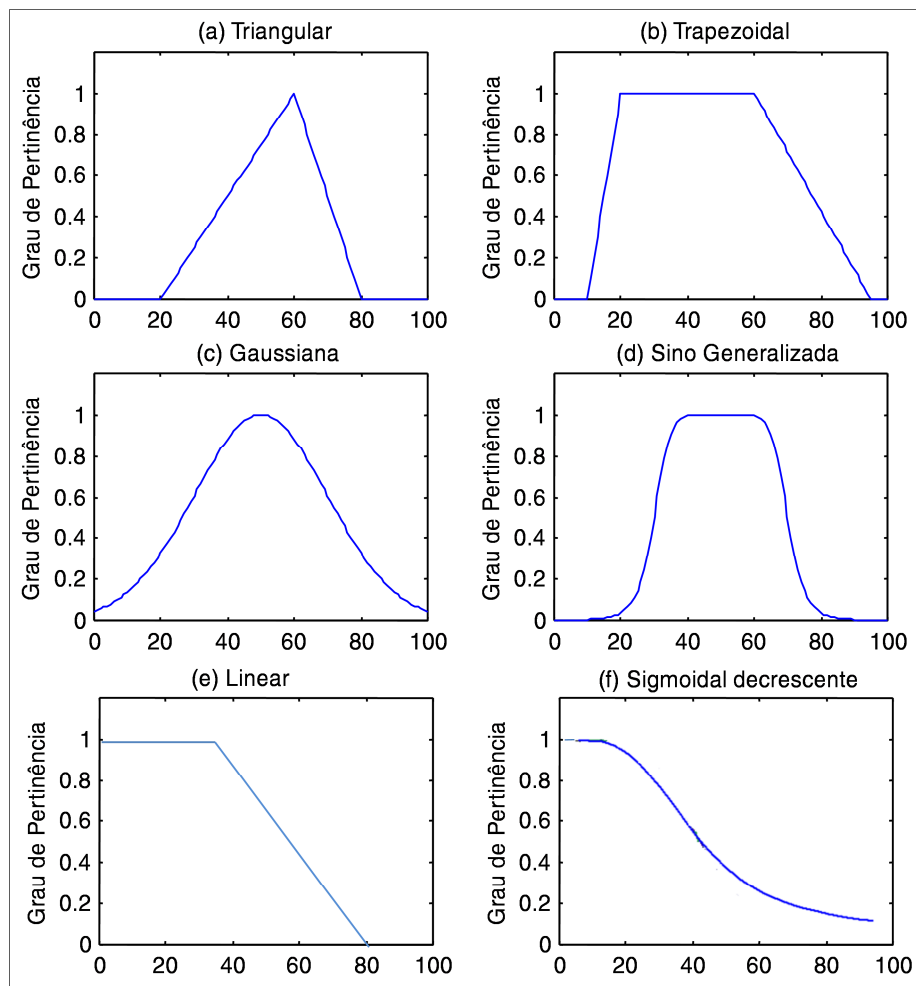


Fonte: o autor.

A escolha da função de pertinência é determinada por cada variável do estudo a ser modelado em função do problema. Segundo Ramos e Mendes (2001); Tso e Mather (2009), as funções de pertinência mais comuns são: triangular,

trapezoidal, sigmoidal crescente (*Fuzzy Large*), sigmoidal decrescente (*Fuzzy Small*), gaussiana, linear e em forma de sino (Figura 4).

Figura 4 – Funções de pertinência dos conjuntos *Fuzzy*.



Fonte: o autor.

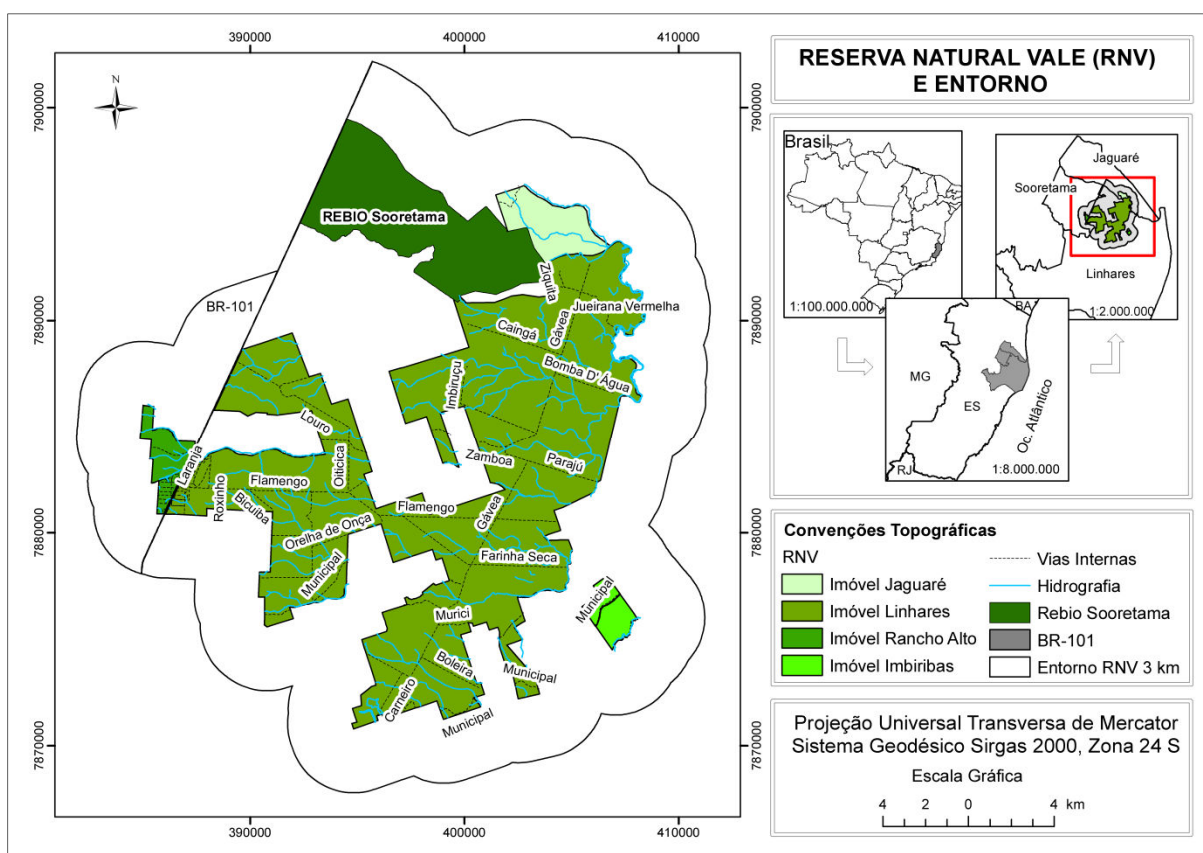
Os valores de pertinência *Fuzzy* dados de forma relativa e os operadores *Fuzzy* permitem uma grande flexibilidade na modelagem. Em outras palavras, as limitações impostas pelo modelo clássico, podem ser eliminadas pelos modelos *Fuzzy* (MEIRELLES, 1997), devido à combinação das variáveis no estudo por meio dos seus operadores, dentre eles, a interseção, união e o complemento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido na RNV e sua área de entorno, com área total de 68 mil hectares, que se localiza ao Norte do Estado do Espírito Santo, nos municípios de Linhares, Sooretama e Jaguaré, entre as coordenadas geográficas de 18°58' e 19°16' de latitude Sul e 39°50' e 40°7' de longitude Oeste (Figura 5). A área de entorno que condiciona a faixa de monitoramento e proteção da reserva é representada por 3km de raio que perfaz toda a extensão da RNV e pequena parte da reserva Biológica (REBIO) de Sooretama com limite na rodovia BR-101.

Figura 5 – Área representativa da RNV e sua área de entorno.



Fonte: o autor.

* A RNV é formada por quatro imóveis ou matrizes, sendo eles: Jaguaré, Linhares, Rancho Alto e Imbiribas. A área de entorno abrange pequena parte da REBIO de Sooretama com limite na rodovia BR-101 que corta a área de estudo.

A RNV possui uma área de 22 mil hectares e constitui a segunda maior reserva de Mata dos Tabuleiros ou Zona Tabular Costeira (Hiléia Baiana) do Estado (SRBEK ARAÚJO; CHIARELLO, 2008). A área representa um expressivo fragmento de Mata Atlântica remanescente no Estado e, forma com a REBIO de Sooretama, um significativo corredor florestal. Apresenta uma variada cobertura de vegetação, com a floresta alta e Mussununga. Também se destaca, entre as demais formações vegetais, o campo nativo e as áreas associadas aos cursos d'água, representada pelo brejo, floresta de brejo e floresta ciliar.

A Reserva Natural Vale apresenta relevo plano a suavemente ondulado e altitude variando de 28 a 65m (JESUS; ROLIM, 2005). Os solos foram classificados, de acordo com Santos et al. (2004), em quatro classes: Argissolo amarelo, Espodossolo, Gleissolo e Neossolo Quartzarênico. O Argissolo amarelo é o tipo de solo predominante na região da Reserva, assim como em todo solo capixaba, formado por sedimentos do Grupo Barreiras, característico dessa região.

O clima da região é do tipo Awi de Köppen, tropical quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os dados do posto agrometeorológico da Reserva indicam uma precipitação pluviométrica média anual de 1200mm e temperatura média de 23,3°C (ROLIM, 2006).

A vegetação está localizada nos domínios da Floresta Ombrófila Densa (IBAMA, 2004), sendo classificada como Floresta Estacional Perenifólia, que representa uma tipologia intermediária entre a primeira e a Floresta Estacional Semidecidual (JESUS; ROLIM, 2005).

3.2. BASE DE DADOS

Para a modelagem do Risco de Incêndios Florestais (RIF) foram levantados os fatores biológicos (uso e ocupação da terra), os fatores físicos (orientação do relevo e declividade) e os fatores socioeconômicos (proximidade a estradas rurais e urbanas e proximidade a residências).

Para o mapeamento do uso e ocupação da terra e estradas rurais e urbanas foram utilizadas as aerofotos digitais da região em estudo, disponibilizadas pelo

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA). A ortofoto IEMA 2007/2008 é fruto do convênio “VALE DE QUALIDADE AMBIENTAL” celebrado entre a VALE e o Governo do Estado, este representado pelo IEMA. As imagens de satélite do *Google Earth* foram utilizadas como uma ferramenta ao auxílio na interpretação das mudanças ocorridas nas classes mapeadas e, dessa forma, apresentar as informações atualizadas.

O mapeamento foi obtido por meio da digitalização da ortofoto, em escala de 1:35.000 e resolução espacial de 1m, no aplicativo computacional *ArcGIS/ArcINFO* 10.0 A digitalização via tela foi feita por meio das técnicas de fotointerpretação (interpretação visual das imagens) na escala de 1:1.500. Em caso de dúvidas, procedeu-se uma ampliação do campo visual da imagem até uma escala de 1:5.000 para interpretação da variável mapeada e posterior digitalização. Para o mapeamento do uso e ocupação da terra foram ainda realizadas visitas a campo e coletados pontos com o aparelho *GPS Garmin 60 CSX* para verificação da classe mapeada que compôs o banco de dados da RNV.

Os mapas de declividade e orientação do relevo foram obtidos por meio de um Modelo Digital de Elevação (MDE), proveniente de uma imagem matricial de radar ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), com resolução espacial de 30m. O tamanho da célula da imagem foi definido em 10 x 10m no ambiente de trabalho e os dados em formato matricial foram desenvolvidos por meio de rotinas de análise espacial.

O MDE é uma representação digital de uma seção da superfície, dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x, y) e um valor de intensidade do pixel, correspondente à elevação (z) (LUIZ; SANTOS; BRENNER, 2007). Os registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciados devem ser valores de altitude de relevo idealmente para que o MDE seja uma representação da topografia (VALERIANO, 2008).

A variável proximidade a residências foi determinada pela distância euclidiana em função do *buffer* em torno de cada residência na área de estudo definido pela densidade populacional. O conjunto de dados para determinar a densidade populacional definido pelos limites censitários foi obtido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio do CENSO 2010, disponibilizado no sítio (<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>).

3.3. MODELAGEM DO RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

Para a modelagem do RIF foi utilizada a lógica *Fuzzy*, no aplicativo computacional *ArcGIS/ArcINFO* 10.0, que permite simular, por meio do uso de possibilidades, as incertezas e transições comuns no mapeamento. A cada conjunto *Fuzzy*, representado pela imagem matricial da variável de entrada, foi definida uma função de pertinência que apresenta a cada elemento do conjunto um grau de certeza, variando entre 0 e 1, em que o maior RIF é indicado quando o valor real da variável assume 1 e nulo quando o valor real da variável assume 0. Dessa forma, o RIF é determinado no intervalo [0, 1].

As camadas de informação foram criadas usando um tamanho de célula de 10 x 10 m, a fim de permitir uma análise mais aprofundada do valor da função *Fuzzy*.




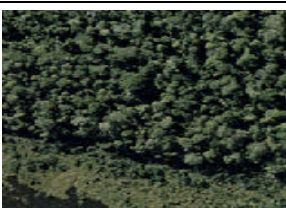



A escolha da função de pertinência foi definida segundo a função mais adequada que descreveu a influência de cada variável ao RIF. A cada função de pertinência é conferido um cálculo matemático que modela o comportamento da curva na função. Com um levantamento bibliográfico para o estudo da variável foi possível inferir sobre o melhor modelo para representar a variação gradual do risco na escala de 0 a 1 no conjunto *Fuzzy*.

3.3.1 Uso e ocupação da terra

O mapeamento de uso e ocupação da terra permitiu compreender os padrões de organização do espaço geográfico sendo possível identificar as classes de uso e ocupação da terra (Quadro 1). De posse do mapa de uso e ocupação da terra, com suas respectivas classes, foi quantificada sua área por meio da calculadora de valores da tabela de atributos do arquivo vetorial poligonal de uso e cobertura da terra, tornando possível conhecer o tamanho da área ocupada por cada classe. Posteriormente, o arquivo vetorial poligonal foi convertido em formato matricial e as


classes de uso e cobertura da terra reclassificadas em relação à influência que cada classe exerce ao RIF.

Quadro 1 – Definição das classes de uso e ocupação da terra na área de estudo

Imagem	Classes de Uso e Ocup. da Terra	Descrição das Classes
	Floresta alta	Também conhecida como floresta densa, destaca-se por apresentar árvores de maior porte e sombreamento no sub-bosque. Formação de maior riqueza específica.
	Floresta de mussununga	Reveste as áreas da floresta alta, onde o solo apresenta-se com textura arenosa, com árvores de menor porte e maior penetração de luz para o solo.
	Brejo e floresta de brejo	Área inundada coberta por vegetação de gramínea e herbácea. Uma característica marcante é o entrelaçamento do sistema caulinar e radicular dos indivíduos que forma uma camada orgânica flutuante por não atingirem em sua maioria o solo.
	Floresta ciliar	Apresenta indivíduos arbóreos com dossel contínuo, que permite a entrada de pouca luz e favorece o desenvolvimento de espécies de ambientes sombreados. Existe sempre um curso d'água no entorno ou percorrendo seu interior.
	Campos nativos	Destacam-se pelo predomínio de herbáceas e lenhosas não arbóreas. Estabelecido em solo arenoso e grande concentração de matéria orgânica.
	Cultivo agrícola	Áreas de plantio de várias culturas considerando a sazonalidade. Destaque para o café, cana-de-açúcar e fruticultura.
	Pastagem	Formação aberta ou com a presença de gramíneas, também utilizada pela pecuária.

Continua...

continuação...

	Silvicultura	Áreas com plantio de espécies florestais, com destaque ao Eucalipto.
	Macega	Áreas de floresta nativa em regeneração que sofreram algum distúrbio.
	Corpos d'água	Referem-se aos rios, canais, lagos e lagoas de água doce, represas, açudes, entre outros.
	Edificação	Áreas ocupadas com construções urbanas e rurais.
	Extração de areia	Áreas com formação de solo arenoso em transição aos campos nativos utilizados para fins comerciais.
	Extração de petróleo	Áreas com características peculiares a exploração de petróleo.
	Área periodicamente alagada	Planícies de inundação em áreas baixas podendo apresentar canais de diques.

Fonte: o autor.

A função de pertinência *Fuzzy Gaussian* foi utilizada para padronizar os valores de entrada da imagem matricial ao RIF. O *Fuzzy Gaussian* define uma distribuição de Gauss ou normal em torno de um ponto central indicado com um valor de inclinação da curva que pode assumir 0,01 – 1 (Equação 3). O valor definido no ponto central do conjunto assume um grau de pertinência de valor 1. Os

valores que se situam entre os dois limites se encontram na zona de transição do conjunto e, assume um grau de pertinência de mesmo valor. A imagem matricial de uso e ocupação da terra foi reclassificada com valores de 0 a 21 com valor no ponto central de 11 e inclinação da curva de 0,05.

$$\mu(x) = \exp^{-\sigma * (x - a)^2} \quad (3)$$

Em que:

σ : é o parâmetro que determina a inclinação ou propagação da curva;

x : é o valor da classe de uso e ocupação da terra na imagem matricial;

a : corresponde ao valor no ponto médio que define o ponto central para a função em que $\mu(x)$ adquire 1.

O tipo de fisionomia florestal e a ocupação do espaço geográfico por parte do homem foi reclassificada em função do potencial ao risco de incêndios florestais, de acordo com as suas características, tais como composição, estágio de desenvolvimento e tipo de manejo (Tabela 1). A fisionomia florestal campos nativos recebeu o valor no ponto central, considerado a classe de uso da terra de maior RIF em função do predomínio de herbáceas estabelecido em solo arenoso e grande concentração de matéria orgânica, que por suas características facilitam o início do fogo, desenvolvem um intenso calor e podem manter a combustão latente, com risco de reiniciar incêndios aparentemente controlados.

Tabela 1 – Classe de uso e ocupação da terra reclassificado em função do potencial para o risco de incêndios florestais

Classe de Uso e Ocupação da Terra	Valor reclassificado	Classe de Uso e Ocupação da Terra	Valor reclassificado
Curso d'água	0	Campos nativos	11
Floresta alta / Floresta ciliar	1	Pastagem	13
Floresta de mussununga	3	Silvicultura	15
Extração de areia	5	Extração de petróleo	17
Macega	7	Área period. alagada	19
Cultivo agrícola	9	Brejo e floresta de brejo / Edificação	21

Fonte: o autor.

O manejo do fogo na agricultura, para o preparo do solo e, na renovação da pastagem representa um fator de risco ao início do incêndio florestal e, por este motivo, foi atribuído o valor 9 para o cultivo agrícola e 13 para pastagem.

Os plantios florestais são mais propensos ao início do incêndio florestal e oferecem condições mais favoráveis à sua propagação em relação às florestas naturais. Em áreas de regeneração de floresta natural, a entrada de maior intensidade de luz no piso da floresta, favorece o desenvolvimento de gramíneas e arbustos, que por apresentarem menor temperatura de ignição (UHL; KAUFFMAN; SILVA, 1990; SOARES; BATISTA, 2007), facilitam o início do fogo e aceleram a propagação. Dessa forma, para a classe macega foi atribuído o valor 7 e para a classe silvicultura o valor 15.

O uso e apropriação dos recursos naturais pela extração de areia e petróleo revelam a interface floresta e meio urbano integrado com as estradas rurais e vias de acesso. O desenvolvimento das atividades em objetivo ao crescimento socioeconômico em nível regional é dado por um planejamento à exploração dos recursos naturais, e assim, representam um risco menor ao início de um incêndio florestal sendo conferido um valor de 5 para extração de areia e 17 para extração de petróleo.

A floresta de mussununga e as áreas com alagamento periódico foram consideradas como risco baixo ao início de incêndios florestais, pois a primeira, reveste algumas áreas da floresta alta com indivíduos arbóreos do estrato superior com as copas se encontrando e formando um dossel contínuo. Quando o dossel apresenta-se descontínuo, a penetração dos raios solares pode aumentar a temperatura da vegetação pelo aumento da densidade estomática das folhas (MALONE et al., 1993; DICKISON, 2000) e tornar a vegetação propensa ao risco de incêndio. Ainda que, as florestas de mussununga se apresentam, em sua maioria, com o dossel descontínuo, a fisionomia foi considerada de risco baixo ao incêndio. Dessa forma, o valor 3 foi atribuído para a floresta de mussununga. As áreas com alagamento periódico estão associadas muito em função do relevo da região e dos cursos d'água e, assim, o valor 19 foi definido para esta classe.

A floresta alta e a floresta ciliar por apresentarem indivíduos arbóreos que formam um dossel contínuo e sombreamento no sub-bosque proporcionam um microclima mais ameno e a vegetação apresenta um conteúdo de umidade maior e mais estável que dificulta o início do fogo florestal. A estas classes de uso da terra

foram consideradas de risco baixo e, portanto, receberam valor 1. Igualmente, a fisionomia florestal brejo e floresta de brejo e a classe edificação, foram consideradas de risco baixo ao incêndio florestal. O brejo e floresta de brejo estão associados aos trechos permanentemente inundados e as áreas de edificação com a proteção do patrimônio. Um valor de 21 foi dado para estas classes de uso e ocupação da terra. Cabe destacar ainda, que o valor 0 foi atribuído aos cursos d'água para representar o menor risco de incêndio.

3.3.2. Proximidade a estradas

Os incêndios florestais constituem uma ameaça permanente em áreas com uma interface floresta e meio urbano. A influência da rede de estradas na distribuição espacial dos incêndios pode ser estudada e avaliada pela classificação do tipo de infraestrutura e qualidade em um SIG (BURROUGH, 1989).

As estradas foram classificadas em duas categorias: rodovia e estradas rurais. A rodovia é definida pelas estradas pavimentadas com duas ou mais faixas de rodagem e dois sentidos de tráfego, representada na área de estudo pela BR-101, que percorre no sentido Norte-Sul por praticamente todo o litoral Leste brasileiro; e a BR-342, que liga no Sudoeste da Bahia à Sooretama, no Espírito Santo, passando pelo Nordeste de Minas Gerais. As estradas rurais foram definidas pelas estradas não pavimentadas e classificadas em estradas principais, estradas secundárias, estradas de acesso e vias internas. As estradas principais foram consideradas pelas estradas com bom padrão de construção com uma faixa de rodagem e largura da plataforma superior a 5m. As estradas secundárias foram consideradas pelas estradas com largura da plataforma de 4 a 5m e responsáveis pela divisão da paisagem. As estradas de acesso foram consideradas pelas estradas com largura da plataforma de 3 a 4m que dão acesso ao interior da paisagem. As vias internas foram consideradas as estradas internas que percorrem o limite da RNV com largura da plataforma variada, em geral, entre 3 a 5m.

Para a determinação da variável proximidade a estradas, primeiramente foi usado um *buffer* para estabelecer uma área de influência das estradas sobre o início

do fogo florestal. A área de influência em torno das estradas foi estabelecida em uma escala de 25 a 150m, em concordância com Chuvieco e Congalton (1989); Pew e Larsen (2001), em função do maior deslocamento de veículos e pessoas. Desta forma, as rodovias e estradas principais foram consideradas de maior influência ao risco de incêndio sendo empregado um *buffer* de 150 e 100m, respectivamente. Nas estradas secundárias foi empregado um *buffer* de 50m e nas estradas de acesso e vias internas um *buffer* de 25m.

Assim, a proximidade a estradas foi determinada pela distância euclidiana. A distância euclidiana entre dois pontos é a distância mais próxima em linha reta, a partir do centro da célula de origem da imagem matricial para o centro da célula vizinha. Em um plano, a distância entre os pontos de D_{AB} (X_a, Y_a) e (X_b, Y_b) é dada pelo Teorema de Pitágoras.

Para o estudo ao RIF da variável proximidade a estradas rurais e urbanas foi definida uma função de pertinência *Fuzzy Small*. Essa função permite representar a variação do grau de pertinência da imagem matricial com valores de entrada menores com maior possibilidade ser um membro do conjunto e assumir valor 1. O valor definido no ponto central confere um grau de pertinência de 0,5 na função com um grau de propagação da curva de 1 – 10 que determina a forma e a característica da zona de transição (Equação 4).

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{c}\right)^b} \quad (4)$$

Em que:

x: é o valor da distância a estradas (m) na imagem matricial;

b: é o parâmetro que determina a inclinação ou propagação da curva;

c: corresponde ao valor no ponto médio que define o ponto central para a função em que $\mu(x)$ adquire 0.5.

Os valores de entrada para a variável proximidade a estradas rurais e urbanas foram definidos por meio de uma revisão de literatura com estudos sobre a ocorrência de incêndios florestais a partir da distância a vários tipos de estradas

(ILIADIS, 2005; RODRÍGUEZ SILVA et al., 2010; SOTO, 2012). Dessa forma, segundo a característica das estradas e como estas se apresentam na área de estudo foi determinado um valor de distância de 300m a rede de estradas no ponto central e um valor de propagação de 3 na imagem matricial para que os menores valores assumam maior grau de pertinência no conjunto *Fuzzy*.

3.3.3. Declividade

Áreas com declives acentuados têm um maior potencial de risco a incêndios florestais do que as áreas com declives suaves. Para o estudo da variável declividade ao RIF foi definida uma função de pertinência *Fuzzy Large*. A função permite representar a variação do grau de pertinência da imagem matricial com valores de entrada maiores com maior possibilidade ser um membro do conjunto e assumir valor 1. O valor definido no ponto central confere um grau de pertinência de 0,5 na função com um grau de propagação da curva de 1 – 10 que define a forma e a característica da zona de transição (Equação 5).

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{e}\right)^{-d}} \quad (5)$$

Em que:

x: é o valor da declividade (°) na imagem matricial;

d: é o parâmetro que determina a inclinação ou propagação da curva;

e: corresponde ao valor no ponto médio que define o ponto central para a função em que $\mu(x)$ adquire 0.5.

Os valores de entrada para a variável declividade na função foram definidos por meio de uma revisão de literatura com estudos sobre o comportamento do fogo em função do aumento da declividade. Em comparação com as condições no nível do solo, a velocidade do fogo é aproximadamente o dobro a cada inclinação de 10°

(LUKE; McARTHUR, 1978). Em outros estudos Chandler et al. (1983) observou que a velocidade do fogo dobra a cada 15° de inclinação até os 30° e a partir deste ponto passa a dobrar a cada aumento de 10° de inclinação. Sendo assim, foi considerado um valor de 15° de declividade no ponto central e um valor de propagação de 3 na imagem matricial para um maior controle na inclinação da curva.

3.3.4. Orientação do relevo

A orientação do relevo apresenta também um efeito direto na propagação de um incêndio pela variação da intensidade do vento e radiação solar incidente sobre o terreno. Para a modelagem da variável orientação do relevo ao RIF foi definida uma função de pertinência *Fuzzy Generalized Bell*. A função Sino generalizada define uma distribuição em forma de sino em torno de um ponto central indicado com um valor de propagação na função e um valor para controlar a amplitude no ponto central. O valor definido no ponto central do conjunto assume um grau de pertinência de valor 1. Os valores que se situam entre os dois limites se encontram na zona de transição do conjunto e, assume um grau de pertinência de mesmo valor (Equação 6).

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-f}{g}\right)^{2h}} \quad (6)$$

Em que:

x: é o valor da orientação do relevo (°) na imagem matricial;

g: é o parâmetro que determina a inclinação ou propagação da curva;

f: corresponde ao valor no ponto médio que define o ponto central para a função em que $\mu(x)$ adquire 1;

h: controla a amplitude no ponto central.

A influência da orientação do relevo ao risco de incêndios foi programada em linguagem *Python* no *ArcGIS/ArcINFO* 10.0 sendo considerada a face Norte (0 e 360°) como de maior risco e a face Sul (180°) como de menor risco. O relevo plano representado pelo valor na imagem matricial de $x = -1$ foi considerado como risco nulo ao incêndio florestal. Para os aspectos intermediários o *Fuzzy Generalized Bell* foi utilizado. O script *Fuzzy* sino foi criado com base nas bibliotecas ***arcpy***, ***sys***, ***string***, ***os*** e ***arcgisscripting*** junto às funções matemáticas (Tabela 2) para assim determinar o risco de incêndio florestal em função da variável.

Tabela 2 – Funções matemáticas consideradas nos pontos cardeais da variável orientação do relevo em relação sua influência ao risco de incêndio florestal.

Valor (x)	Valor resultante $\mu(x)$
-1	0
[0, 180]	$1.0 / (1.0 + ((\text{valor}(x) - 0.0) / 45.0)** 2.0 * 1.0)$
> 180°	$1.0 / (1.0 + ((\text{valor}(x) - 360.0) / 45.0)** 2.0 * 1.0)$

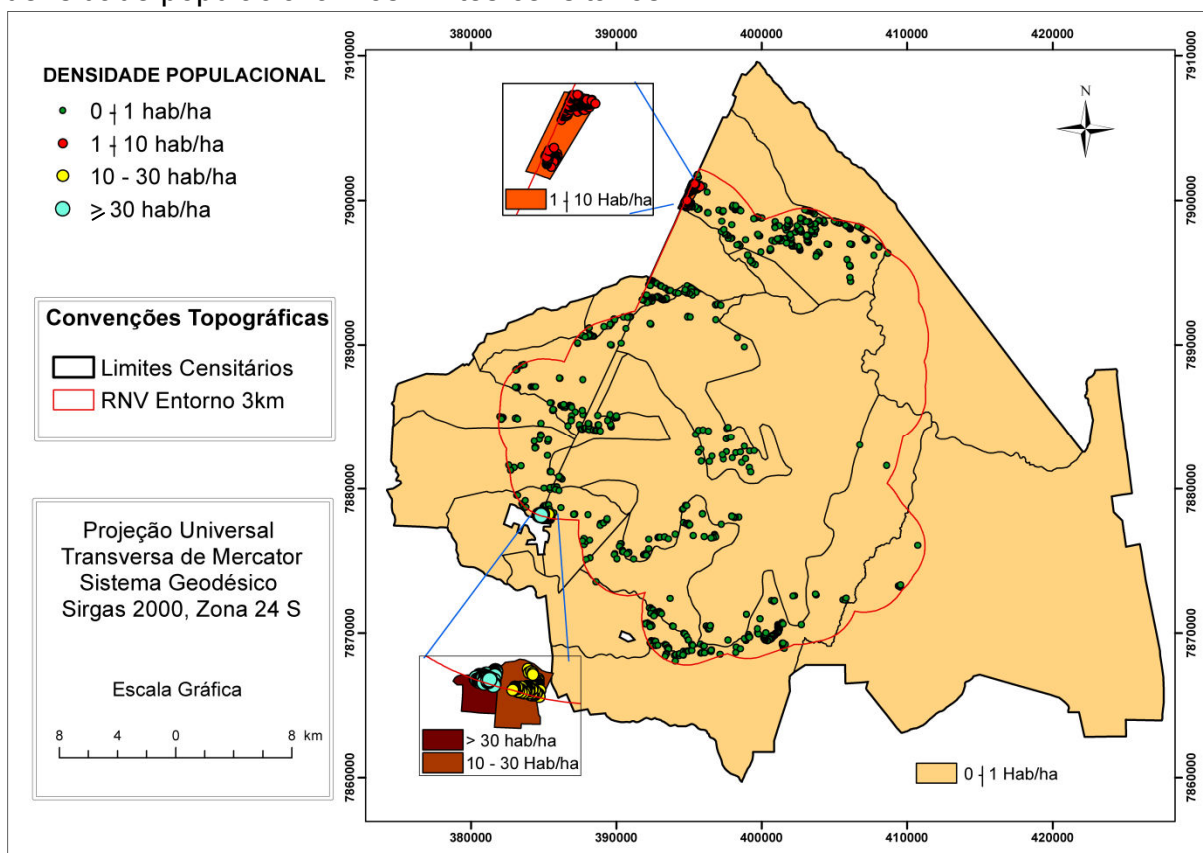
Fonte: o autor.

* Quando se trabalha com *Python* e números *float* (pontos flutuantes) em uma operação é importante colocar os números que participam dos cálculos também em formato *float* para evitar inconsistências.

3.3.5. Proximidade a residências

Os padrões espaciais de ocorrência de fogo estão fortemente associados com o acesso humano à paisagem natural. Para determinar a proximidade a residências, inicialmente foi definida a área de influência das residências em função da densidade populacional nos limites censitários indicados pelo IBGE (Figura 6). A densidade populacional (número de pessoas por unidade de área) é o resumo mais comum de distribuição da população (Equação 7).

Figura 6 – Distribuição espacial das residências na área de estudo em função da densidade populacional nos limites censitários.



Fonte: o autor.

$$D_i = \frac{P_i}{A_i} \quad (7)$$

Em que: D_i é a densidade populacional em unidade de área i ; P_i a correspondente população e A_i a área de terra da unidade (DEICHMANN, 1996).

A área de influência em torno de cada residência mapeada na área de estudo foi definida pelas classes de densidade populacional avaliada. A área de influência de 50m foi definida para a classe de densidade populacional de 0 - 1 hab./ha que delimita as propriedades vizinhas a RNV. A Noroeste da RNV, na comunidade Barra Seca, município de Jaguaré, a área de influência de 250m foi determinada para uma classe de densidade populacional de 1 - 10 hab./ha. A Sudoeste da RNV, a proximidade do perímetro urbano, do município de Sooretama, constitui uma região de risco ao incêndio pela interface meio urbano e floresta e por apresentar uma

densidade populacional maior foi definida uma área de influência de 500m para o setor de 10 – 30 hab./ha e 1000m para o setor >30 hab./ha.

Posteriormente, foi determinada a proximidade a residências por meio da distância euclidiana e a variável modelada pela função de pertinência *Fuzzy Linear*. O valor mínimo confere um grau de pertinência de 0 ($\min \mu_x(u) = 0$) e o valor máximo é atribuído pertinência 1 ($\max \mu_x(u) = 1$) para $u \in U$. Isso significa que x está no conjunto *Fuzzy* a partir da proximidade a residências u em um contínuo universo de discurso U. Assim, foi considerada a maior distância euclidiana para o valor de mínimo e a menor distância euclidiana para o valor de máximo.

3.4. SOBREPOSIÇÃO FUZZY

Na modelagem ao risco de incêndios em ambiente SIG, as variáveis estudadas na influência que exercem sobre o início e a propagação do fogo devem ser combinadas por meio de uma análise de sobreposição para indicar a possibilidade de a célula da imagem matricial de uma variável ser um membro de cada conjunto *Fuzzy* das demais variáveis pelos critérios múltiplos de entrada. Assim, o tipo de sobreposição indica o método que permite combinar os dados com base na análise da teoria de conjuntos. O método de sobreposição escolhido para a entrada da imagem matricial foi o operador *Fuzzy Gamma* que é um produto algébrico do *Fuzzy Sum* e *Fuzzy Product*, ambos elevado a potência da gama (Equação 8):

$$\mu(x) = \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right\}^{\gamma} * \left\{ \prod_{i=1}^n \mu_i \right\}^{1-\gamma} \quad (8)$$

Em que:

μ_i : são os valores de associação *Fuzzy* para $i = 1, 2, 3, \dots, 5$;

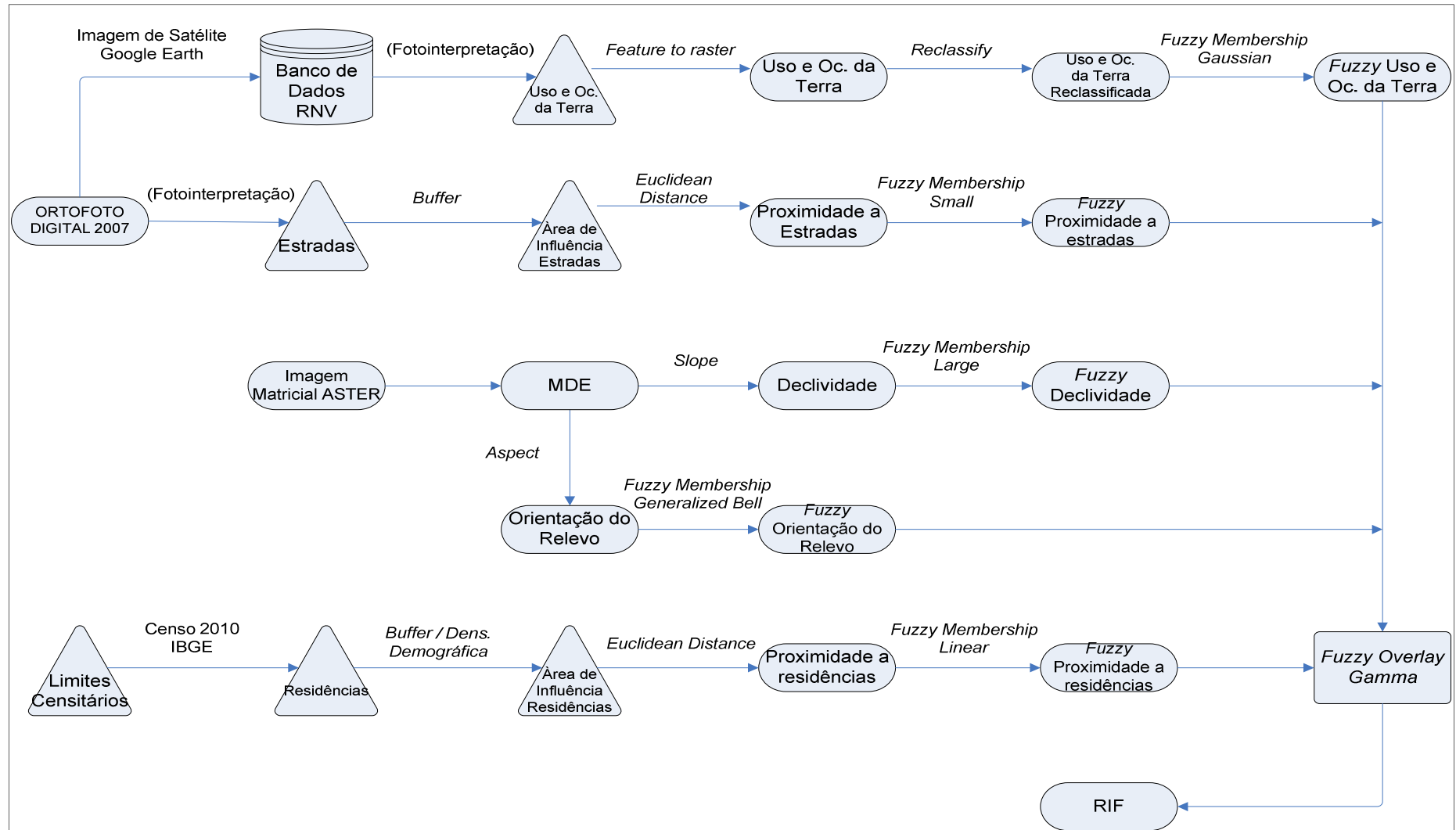
n: corresponde a camada de dados raster, ou seja, o número de variáveis no estudo;

γ : o coeficiente com valores entre 0 e 1.

O coeficiente foi definido pelo valor padrão de 0.9 para alcançar o efeito combinado entre o total e o produto gamma. O *Fuzzy Gamma* permite combinar o efeito crescente do *Fuzzy Sum* e o efeito decrescente do *Fuzzy Product* e não simplesmente retorna o valor de um único conjunto *Fuzzy*.

O desenvolvimento da metodologia descrita contendo todas as etapas necessárias para a espacialização do Risco de Incêndio Florestal para a Reserva Natural Vale é apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Fluxograma metodológico para a espacialização do Risco de Incêndios Florestais.



Fonte: o autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

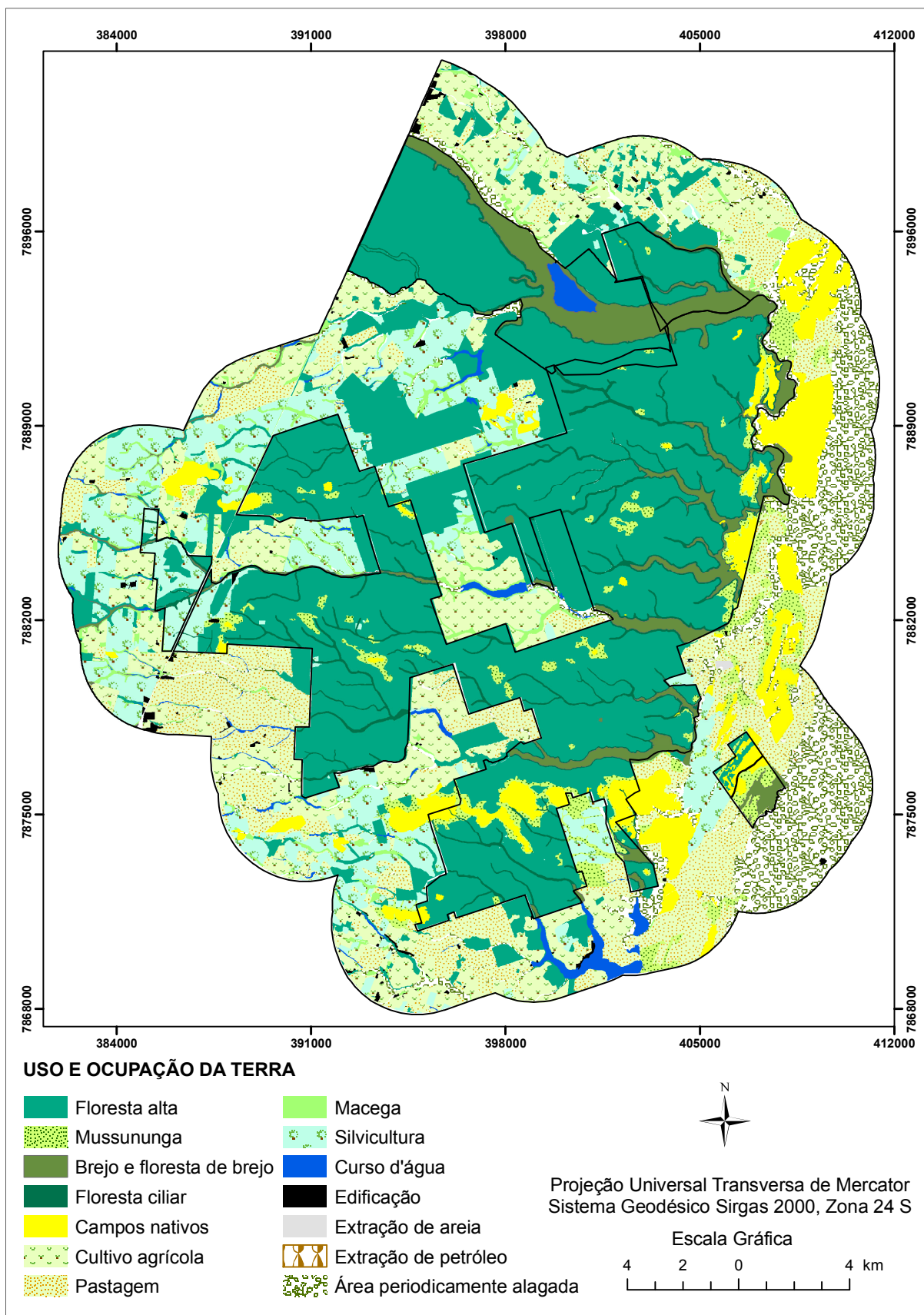
O mapeamento de uso e ocupação da terra permitiu identificar e compreender os padrões de organização do espaço geográfico (Figura 8). Os ambientes de vegetação natural (floresta alta, brejo e floresta de brejo, floresta de mussununga, floresta ciliar e campos nativos) correspondem a 53,31% da área de estudo em que favorece situações microclimáticas específicas no espaço considerado.

A floresta alta é a fisionomia florestal mais representativa com área de 25.387,32ha que corresponde a 37,34% da área de estudo. Campos nativos (5,66%), brejo e floresta de brejo (4,33%), floresta de mussununga (3,22%) e floresta ciliar (2,76%) completam a lista de vegetação natural (Tabela 3). São significativos os efeitos de borda nos limites da Reserva, constituindo a vegetação um elemento essencial de conservação dos ecossistemas naturais.

Além de ambientes de vegetação natural a região abriga áreas de antropismo (produção de mudas, experimentação, habitações e pomar de frutas tropicais), que acabam por condicionar, de acordo com os habitats disponíveis, a fauna local. O uso e apropriação dos recursos naturais da região se dão em diversas modalidades, cabendo destacar a exploração de petróleo (9,74ha) e extração de areia (15,35ha) em área próxima à RNV.

As áreas de entorno da Reserva foram desmatadas e ocupadas, em sua maioria, por monoculturas de café, cana-de-açúcar, pecuária de baixa densidade, fruticultura, em grandes propriedades, sendo constante a ameaça do fogo no período seco do ano. É grande a aplicação de recursos em fazendas produtivas, sendo que nas últimas décadas, pelas características econômicas e culturais da região, houve uma tendência para a formação de grandes propriedades. O tamanho do latifúndio, por sua vez, tem estabelecido o tipo de ocupação e uso da terra, caracterizando a tipologia de aplicação de recursos financeiros. As grandes propriedades regionais favorecem extensas áreas de pastagens e monoculturas, afetando as atitudes e comportamentos locais, além da própria produção da área.

Figura 8 – Mapa de uso e ocupação da terra na área de estudo.



Fonte: o autor.

Tabela 3 – Área, em hectares, e percentagem relativa ao total da área de estudo das classes de uso e ocupação da terra

Uso e Ocupação da Terra	Área (ha)	% relativa ao total da área de estudo
Floresta alta	25.387,32	37,34
Pastagem	8.302,73	12,21
Cultivo agrícola	7.974,34	11,73
Silvicultura	7.091,54	10,43
Área periodicamente alagada	5.840,28	8,59
Campos nativos	3.846,14	5,66
Brejo e floresta de brejo	2.944,87	4,33
Floresta de mussununga	2.186,21	3,22
Floresta ciliar	1.873,98	2,76
Macega	1223,28	1,79
Curso d'água	1.033,19	1,52
Edificação	264,31	0,39
Extração de areia	15,35	0,02
Extração de petróleo	9,74	0,01
TOTAL	67.993,56	100

Fonte: o autor.

De maneira geral, as tipologias de solos locais (Podzólicos amarelos) favorecem as culturas agrícolas e pastagens que apresentam na região de estudo uma área de 7.974,34ha (11, 73%) e 8.302,73ha (12,21%), respectivamente. Estes resultados retratam o processo de degradação da maioria das paisagens brasileiras, que teve início com o desmatamento para transformação de áreas em campos de cultivo ou pastagem. Este desmatamento para aproveitamento agropecuário do solo regional reduziu a extensão de habitats da fauna local, impactando-a significativamente, assim como a caça tem apresentado efeito sobre determinados grupos de vertebrados que constituem alimento ou animais de estimação, a exemplo, da avifauna.

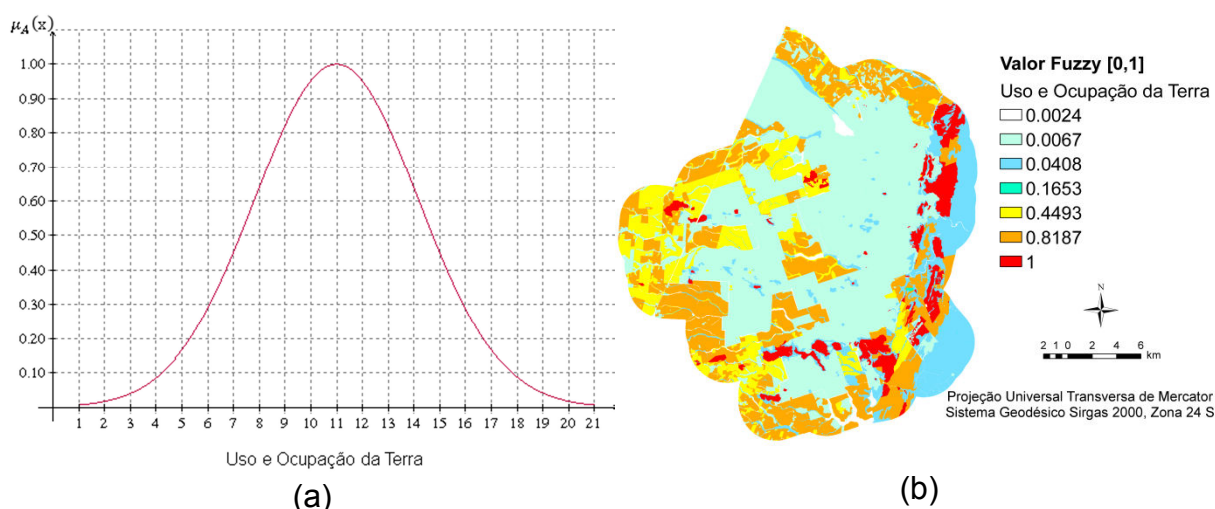
Devido ao fato do Estado do Espírito Santo apresentar alta densidade de ocupação dos solos por agricultura temporária ou perene e, ainda, por pastagens e silvicultura, é essencial que os remanescentes de floresta da reserva sejam conservados, inclusive para manter o equilíbrio dos sistemas antropizados na área.

A concentração urbana na cidade de Sooretama e residências nas zonas rurais são fatores a conduzir a distribuição espacial das pessoas que pode comprometer a integridade dos recursos da reserva. A presença da rodovia, o uso de inseticidas e o manejo das culturas com fogo provocam impactos significativos sobre a fauna.

Na área de estudo, a classe silvicultura apresenta área de 7.091,82ha (10,43%) destacando principalmente a cultura do eucalipto. Os cursos d'água locais são, em sua maioria, intermitentes, deixando de fluir sobre a superfície do solo em períodos mais secos. Cabe destacar, porém, a presença de quatro rios perenes: rios Barra Seca, Pau Atravessado e Ibiriba, além do córrego João Pedro. Especifica, também, a ocorrência de ciclos de acúmulo de água no solo, que por sua vez, causa significativas interferências na configuração das formações vegetacionais e na evolução de muitas espécies faunísticas.

O principal fator que afeta a propagação de um incêndio florestal é o tipo e as características da vegetação que representam o total de combustível disponível para o fogo. O risco de incêndios para cada classe de uso e ocupação da terra foi representado pela modelagem *Fuzzy Gaussian* (Figura 9).

Figura 9 – O efeito da função *Fuzzy Gaussian* no uso e ocupação da terra.



Fonte: o autor.

* (a) Diagrama da função de pertinência *Fuzzy Gaussian*. (b) Mapa *Fuzzy* com os valores no conjunto classificados em sete categorias, de acordo com a influência de cada classe de uso e ocupação da terra ao risco de incêndio.

Os cursos d'água consistem na classe de menor risco de incêndio, pois se apresentam como barreira natural contra o fogo, e por este fato, o valor de 0,0024 foi obtido no conjunto *Fuzzy*. As classes de uso e ocupação da terra: floresta alta, floresta ciliar, edificação e brejo e floresta de brejo, assumiram valor de 0,0067 no conjunto *Fuzzy*, que por suas características representam risco baixo de incêndio. Igualmente pouco significativos ao risco de incêndio, a classe floresta de

mussununga e as áreas com alagamento periódico assumiram valor de 0,04 e extração de areia e petróleo 0,16.

Os valores assumidos para a floresta natural no conjunto *Fuzzy* são justificados e validados em estudos, como exemplo, Goldammer (1982) que afirma que a floresta natural, principalmente em áreas úmidas ou vales, funciona como barreira natural contra o fogo. Em outros estudos, Uhl; Kauffman e Silva (1990), observando o efeito das culturas itinerantes na região de Paragominas (PA), afirmam que as florestas dos trópicos úmidos protegidas, não estão normalmente sujeitas ao fogo, por conservar uma elevada umidade no seu interior. Todavia, nas áreas contíguas de gramíneas, utilizadas para a formação de pastagens, observaram que a temperatura do ar se eleva, em até 10°C, acima da temperatura registrada na floresta e, a umidade relativa do ar, decresce de 86% para 51%, aumentando grandemente a incidência e a velocidade de propagação do fogo.

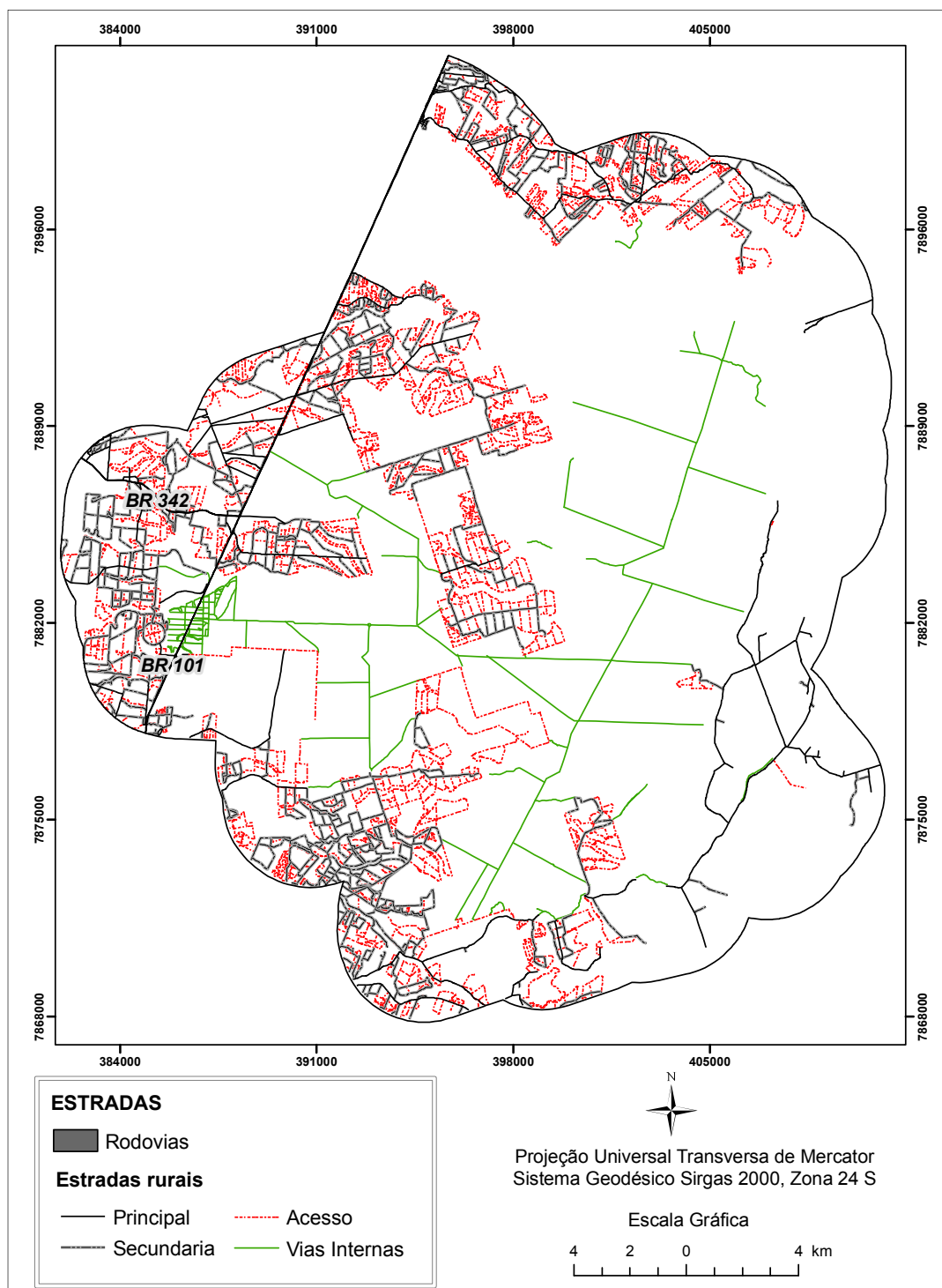
Os plantios florestais e as áreas de regeneração de floresta natural assumiram valor de 0,44 no conjunto *Fuzzy* e as culturas agrícolas e pastagem assumiram risco alto com valor de 0,81, em função do uso do fogo no preparo do solo e renovação da pastagem. Uma atividade importante para o manejo florestal na área seria a de se evitar que as bordas dos talhões florestais de produção tenham contato direto com áreas de pastagens adjacentes ou mesmo com as margens de rodovias que são geralmente dominadas por gramíneas, as quais sua natureza, são fortemente susceptíveis ao fogo. Isso pode ser concretizado, garantindo-se que as bordas dos talhões florestais sejam sempre protegidas por faixas permanentes compostas por espécies arbóreas de folhosas nativas. Essas faixas permanentes teriam uma finalidade, não apenas de melhorar o aspecto da paisagem, conforme sugerido por Magro (1997), mas também de proteção, visto que dificultariam a propagação do fogo, por manter o sub-bosque sempre mais úmido.

Na área de estudo, a fisionomia florestal campos nativos foi considerada de maior risco ao incêndio com valor de 1 no conjunto *Fuzzy*. O estudo de risco de incêndios relacionado ao uso e ocupação da terra, é importante para avaliar o grau de influência de uma vegetação ao início e propagação do incêndio, pois segundo, Brown e Bevins (1986) a variação de cargas de combustível e comportamento do fogo previsto dentro de tipos de cobertura e grupos de incêndio é considerável, comparado à variação entre os vários tipos de vegetação.

4.2. PROXIMIDADE A ESTRADAS

O conjunto de estradas totaliza 1731,86km de extensão que apresenta a área de interface floresta e meio urbano (Figura 10).

Figura 10 – Área de estudo com a rede de estradas.



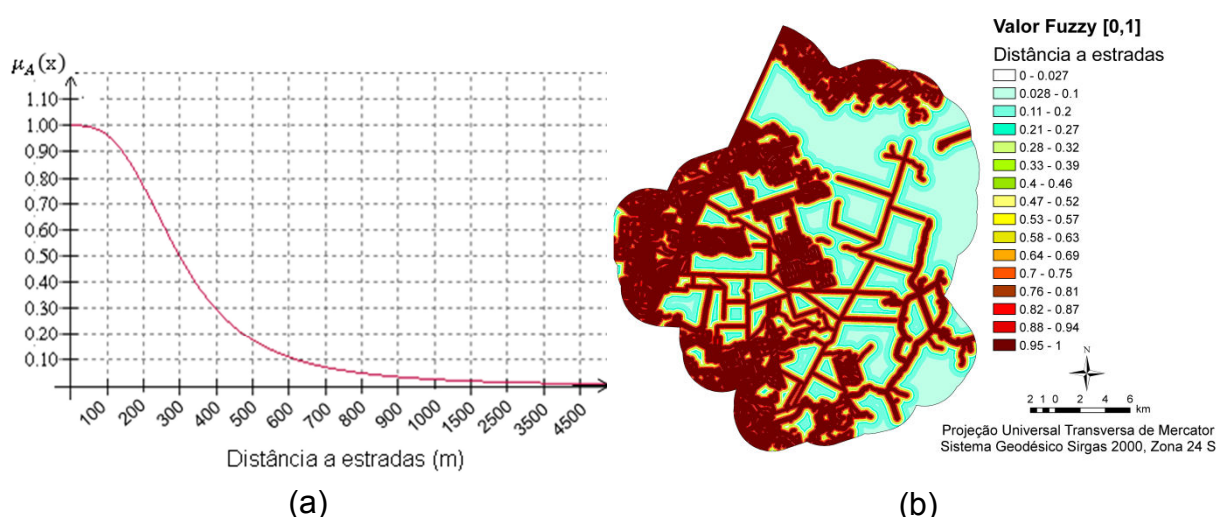
Fonte: o autor.

A paisagem se revela organizada pela rede de estradas a destacar pelas estradas de acesso que condicionam o acesso ao interior do meio rural com 829,578km de extensão, correspondendo a 47,9% das estradas mapeadas.

As demais estradas rurais, compreendida pelas estradas secundárias e principais, com maior deslocamento de veículos, apresentaram 497,968km e 172,014km de extensão, respectivamente. As vias internas da Reserva representada pelas vias principais de acesso e circulação prioritária de veículos (estradas: Flamengo, Gávea, Manteigueira, Cinco Folhas, Joeirana Vermelha, Paraju e Farinha Seca), as vias de acesso às áreas de experimentação (estradas: Louro, Orelha de Macaco, Roxinho e Gávea) e as demais vias, inclusive os aceiros, sendo destinadas à fiscalização, manutenção e apoio às atividades científicas apresentaram extensão de 166,422km. Por fim, as rodovias, representada pela BR-101 e BR-342, apresentaram extensão de 53,016km e 12,862km, respectivamente.

O risco de incêndios de acordo com Chou; Minnich e Chase (1993); Vega Garcia et al. (1995) aumenta em função da proximidade e ao tipo de estrada. No estudo foi observado uma proximidade a estradas de 0 a 4352,7m usando a distância euclidiana. O *Fuzzy Small* foi aplicado para representar o risco de incêndio no conjunto *Fuzzy* (Figura 11) e analisar os resultados no histograma (Figura 12).

Figura 11 – O efeito da função *Fuzzy Small* em torno das estradas.

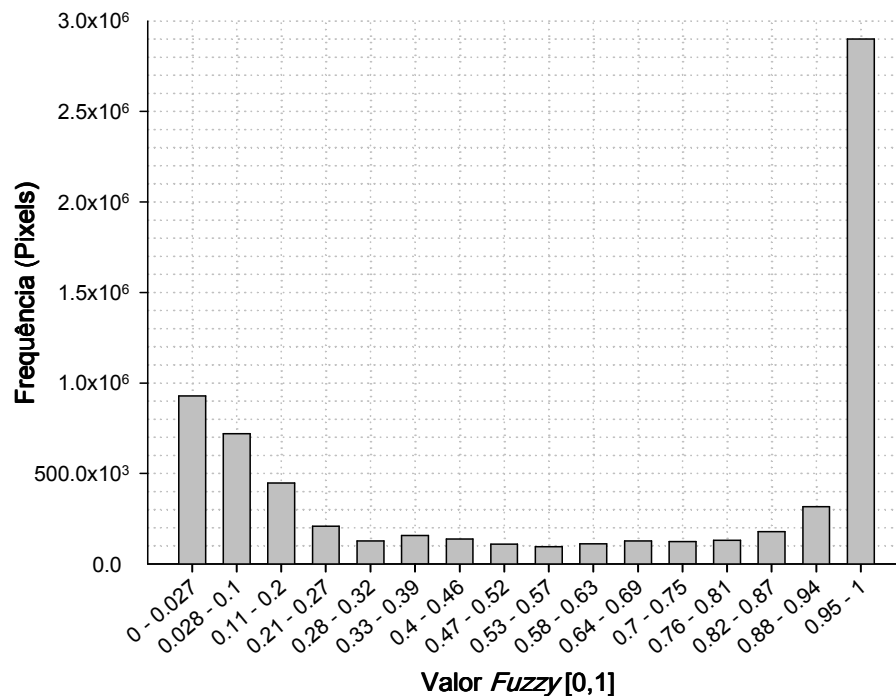


Fonte: o autor.

* (a) Diagrama da função de pertinência *Fuzzy Small*. (b) Mapa *Fuzzy* com os valores no conjunto classificados em dezesseis categorias, de acordo com a influência da distância a estradas ao risco de incêndio.

A concentração dos valores ao risco de incêndio mostrados na Figura 14 correspondem principalmente para áreas de interface urbano-florestal, corroborado pelos estudos por Rodríguez Silva et al. (2010). Como resultado deste valor de agrupamento, observa-se que as áreas de risco são consideravelmente maiores do que nas áreas mais distantes (Figura 12). Observa-se que 41,93% ou 2861379 pixels se encontram entre 0.95 – 1 no conjunto *Fuzzy*, indicando que a área de estudo apresenta alto risco de incêndio para a variável proximidade a estradas.

Figura 12 – Valores do histograma *Fuzzy* reclassificado para proximidade a estradas.



Fonte: o autor.

Rodríguez Silva et al. (2010) estudando a influência das estradas na distribuição espacial dos incêndios encontrou valores semelhantes para as frequências de incêndios em diferentes distâncias a estradas para os diferentes tipos de estradas. As áreas de influência recomendada associada às estradas pavimentadas variam de 250 a 750m. Para estradas rurais não pavimentadas, os autores definiram uma área de influência de 250m, com valores decrescentes entre 100 e 500m. Estes valores foram determinados em termos de análise de distância e ao cálculo da frequência de fogo em cada área de *buffer*. Finalmente, para estradas pavimentadas localizadas em cidades e áreas de interface urbana, sugeriram

valores de buffer de 150m, com 100 e 300m considerando os valores de vizinhança. A estabilização da frequência de fogo para as estradas rurais foi alcançada acima de uma distância limite de aproximadamente 1km.

Soto (2012) observou que o risco de incêndios não segue um padrão espacial uniforme na trajetória para cada tipo de rede de estradas, pois os resultados atribuídos à concentração de fogo têm em conta fatores adicionais, tais como os locais de centros de população e atividades agrícolas e florestais na área de influência direta.

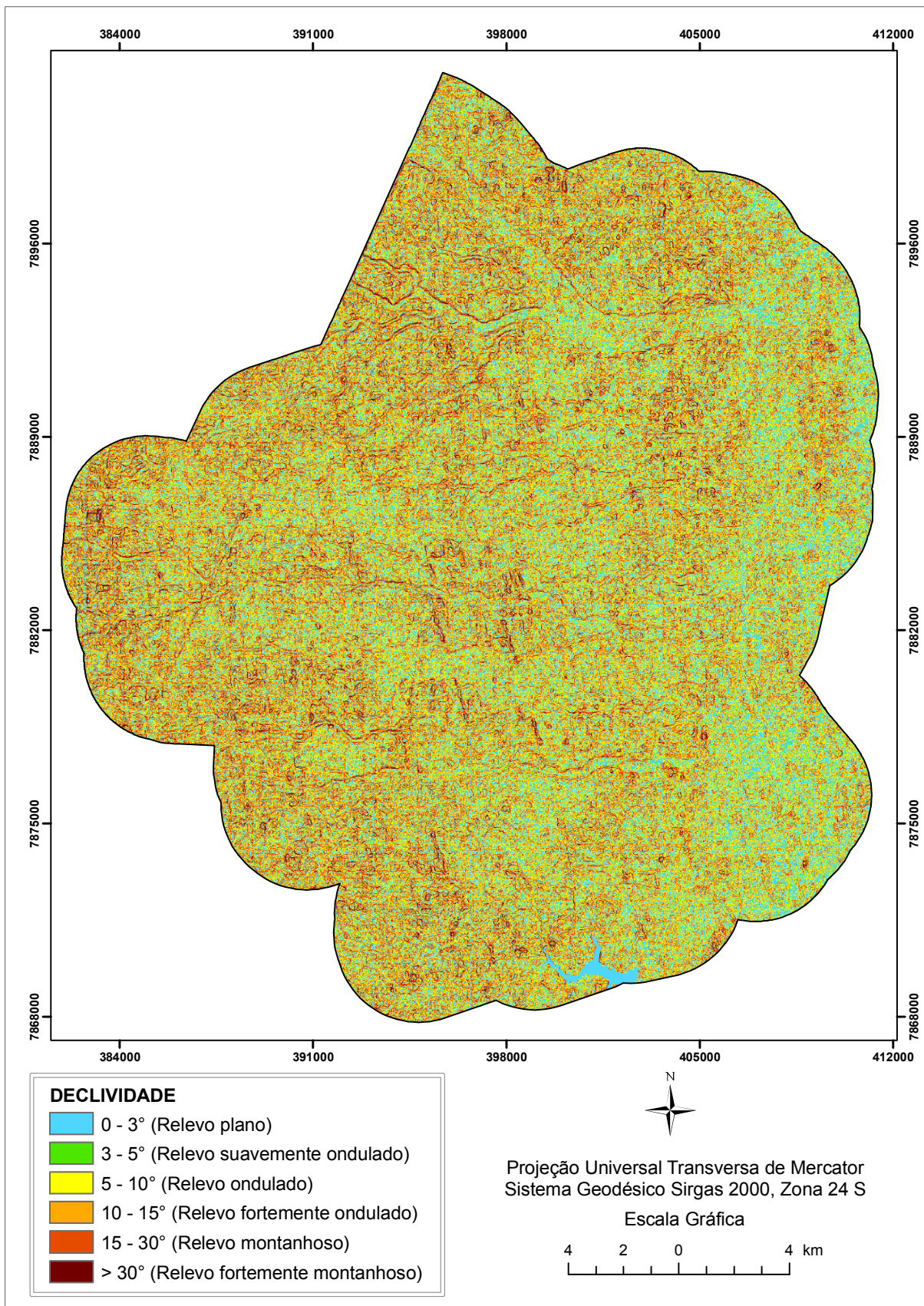
O risco de incêndio para a distância a estradas apresenta um modelo de predição eficiente a ocorrências de incêndios. Estes resultados ressaltam a importância do monitoramento efetivo nas áreas em torno das estradas principalmente ao longo de toda a extensão da BR-101 pelo intenso fluxo de veículos e proximidade à reserva.

4.3. DECLIVIDADE

A declividade tem grande importância na orientação do fogo e no aumento da velocidade de propagação das chamas. Na área de estudo a inclinação do terreno apresenta 58,95% como relevo plano a ondulado ($<10^\circ$). As áreas de relevo fortemente ondulado ($10 - 15^\circ$) representam 19,08%, e áreas de acentuado ($> 15^\circ$) representam 21,97% da área (Figura 13).

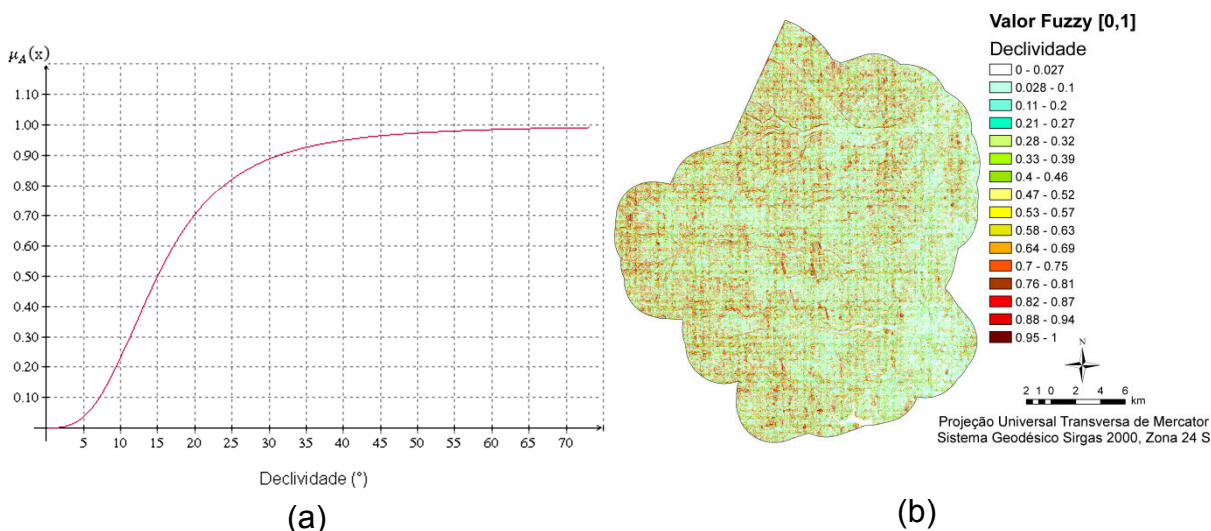
A declividade na área de estudo apresentou inclinação de 0 a $73,692^\circ$ no qual o risco de incêndio para a variável foi determinado pelo *Fuzzy Large* (Figura 14a). Sendo assim, sabendo que o comportamento do fogo é determinado pelo maior acentuado observa-se que o risco de incêndio se restringe ao entorno da RNV com os maiores valores no conjunto *Fuzzy*, principalmente a Oeste, sobre a classe silvicultura, ao Norte sobre a classe cultivo agrícola e ao Sul sobre a classe pastagem. Na vegetação natural o maior risco é observado na floresta alta da Reserva Biológica de Sooretama (Figura 14b).

Figura 13 – Mapa de declividade da área de estudo.



Fonte: o autor.

Figura 14 – O efeito da função *Fuzzy Large* na declividade.

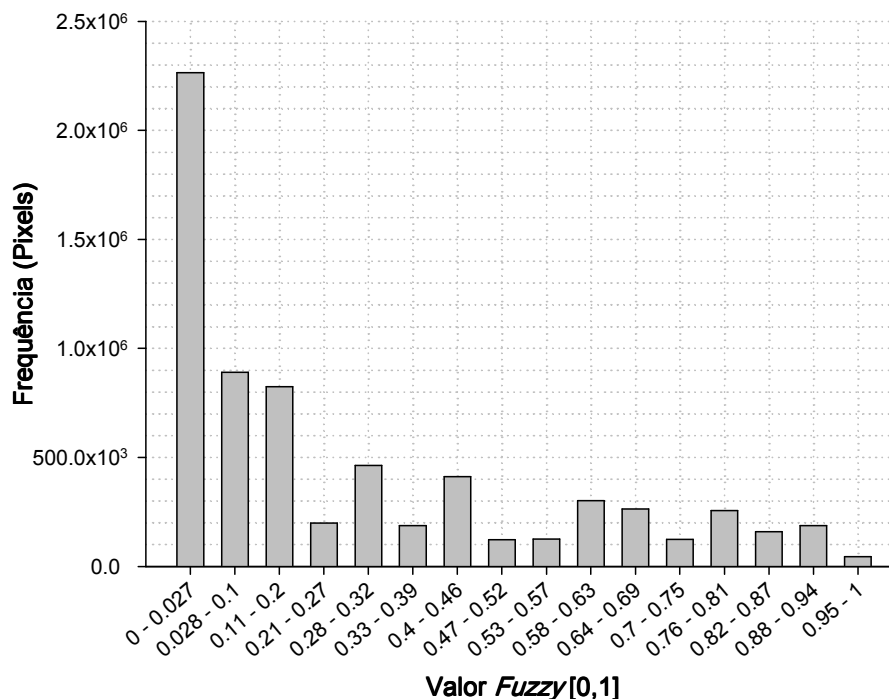


Fonte: o autor.

* (a) Diagrama da função de pertinência *Fuzzy Large*. (b) Mapa *Fuzzy* com os valores no conjunto classificados em dezesseis categorias, de acordo com a influência da declividade ao risco de incêndio.

O agrupamento dos valores correspondentes ao conjunto *Fuzzy* foram analisados em um histograma (Figura 15) que revelou a maior concentração de frequência de pixels nos menores valores do conjunto com 58,32% ou 3979918 pixels para valor *Fuzzy* de 0 – 0.2.

Figura 15 -



Fonte: o autor.

Os maiores valores do conjunto apresentaram menores frequências de pixels. Para valor *Fuzzy* de 0.75 – 1 a frequência de pixels foi de 11,3% ou 771380 pixels. Estes resultados indicam que a área de estudo apresenta risco ao incêndio variando de médio a baixo. Neste caso, a intensidade e a direção de propagação do fogo terá baixa influência da inclinação do terreno.

O manejo da vegetação é importante ser realizado em locais de aclave acentuado para minimizar os efeitos do fogo sobre a paisagem, em que o efeito da declividade é determinado pelo tipo, quantidade e disposição do material combustível na área (Tabela 4).

Tabela 4 – Percentagem da frequência de pixels para a vegetação em função da classe de declividade

Classes Vegetação	Declividade					
	0 – 3°	3 – 5°	5 – 10°	10 – 15°	15 – 30°	> 30°
Cultivo agrícola	27,39	2,75	23,98	19,89	22,88	3,11
Pastagem	29,44	3,39	25,32	19,07	20,20	2,58
Silvicultura	26,09	2,34	22,53	19,54	25,26	4,24
Macega	28,15	2,85	24,64	19,79	21,82	2,75
Campos Nativos	31,89	4,14	27,62	18,60	16,46	1,29
Floresta de mussununga	31,13	3,93	28,42	19,65	15,96	1,0
Brejo e floresta de brejo	33,18	4,54	27,98	17,74	15,21	1,35
Floresta ciliar	26,62	2,36	22,97	19,51	24,37	4,17
Floresta alta	29,35	3,26	26,25	19,58	19,07	2,49

Fonte: o autor.

Nota-se uma distribuição da vegetação nas classes de declividade, com a frequência de pixels variando de 70,50% para a classe silvicultura a 83,44% para classe brejo e floresta de brejo em uma declividade menor que 15°. A classe brejo e floresta de brejo (16,56%), mussununga (16,96%) e campos nativos (17,75%) apresentam as menores frequências de pixels em regiões de aclave (> 15°). A fisionomia campos nativos merece atenção para proteção, principalmente, próximo ao rio Barra Seca, na estrada final Jueirana Vermelha, devido suas características que facilitam o início do fogo e sua propagação, em função do efeito da declividade. A floresta alta apresenta 21,56% da vegetação em áreas de declividade maior que 15°. Esta percentagem expressiva pode justificar a recomendação do manejo da vegetação pela retirada do material combustível na área para a redução dos riscos de propagação do fogo, além de funcionar como aceiros preventivos. Esta técnica é

recomendada ao longo de toda extensão da BR-101 para que se estabeleça uma zona de proteção da vegetação.

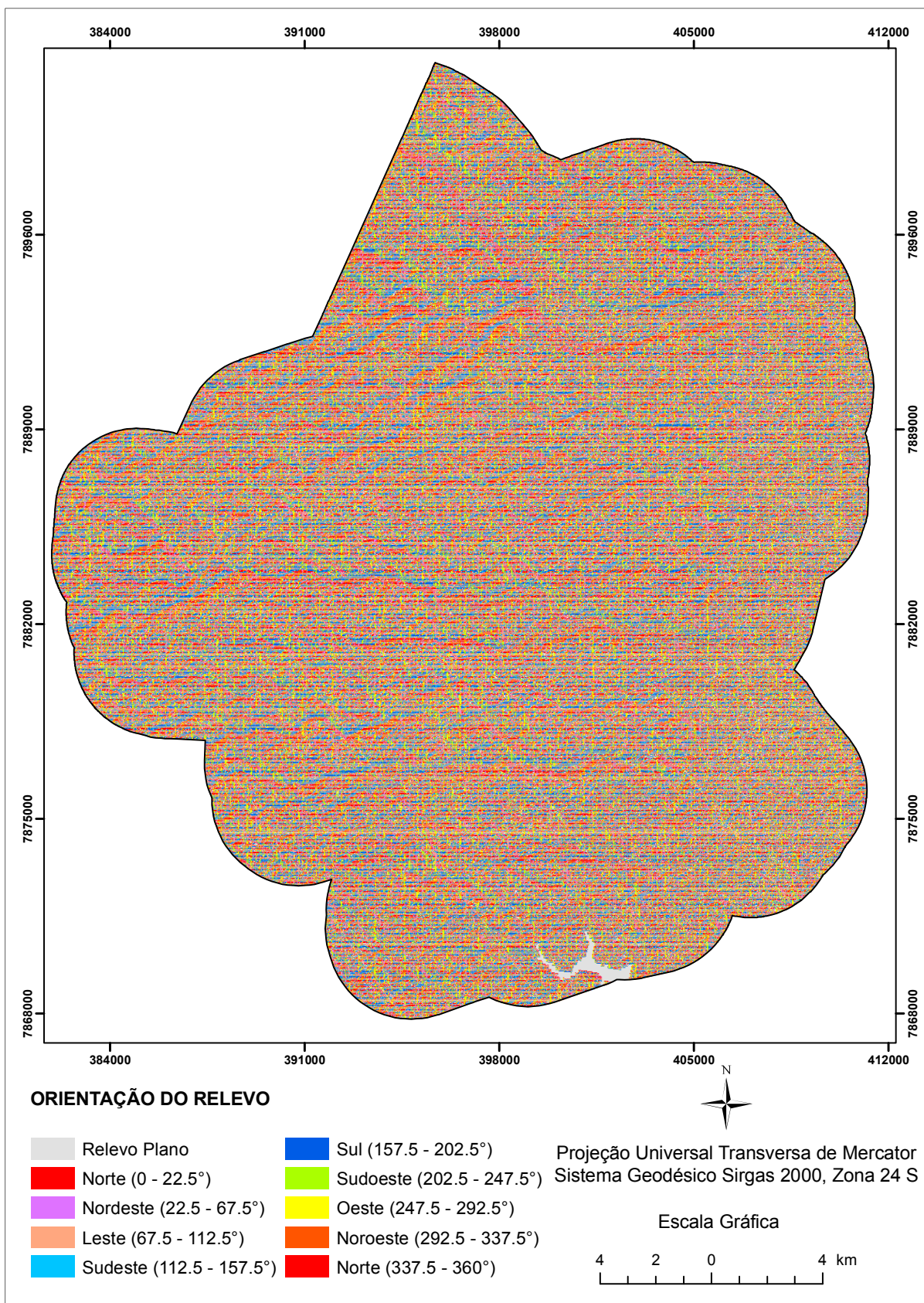
Para os planos de proteção a queima controlada em uma região de grande potencial de risco de incêndio pode ser aplicada para minimizar o potencial do incêndio na área e também reduzir a probabilidade de fogo em regiões adjacentes devido os efeitos de vizinhança. Sob a vegetação: silvicultura, cultivo agrícola e pastagem, nas regiões de aclive, a técnica pode ser empregada sob devidos cuidados e prescrições. No entanto, Ribeiro (2004) ressalta que nas margens de rodovias e sob as linhas de transmissão de energia elétrica a prática não é recomendada e ainda, a queima controlada realizada fora dos padrões conceituais deve ser enquadrada como um procedimento ilegal e o responsável pela ação fica sujeito às penalidades civis e criminais.

4.4. ORIENTAÇÃO DO RELEVO

A orientação do relevo apresenta efeito direto ao risco de um incêndio em função da radiação solar incidente sobre o terreno, tendo efeito sobre a umidade do ar e do material combustível. A área de estudo apresenta 17,65% de área com relevo plano, 26,31% para as faces voltadas a Sul, Sudeste e Sudoeste, 14,65% para a face Oeste, 15,13% para a face Leste e 26,26% para as faces Norte, Nordeste e Noroeste (Figura 16).

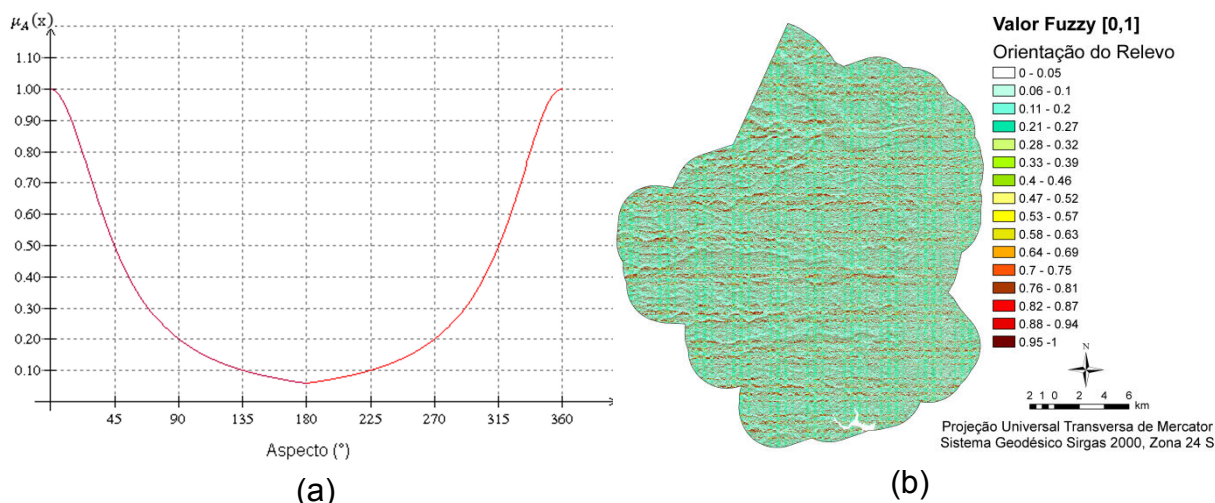
O risco de incêndio determinado pela orientação do relevo foi definido por uma função do tipo sino que indicou as faces Norte, Nordeste e Noroeste como maior risco ao fogo florestal (Figura 17). O relevo voltado para a face Norte (0 e 360°) foi considerado de maior risco ao incêndio com valor 1 no conjunto *Fuzzy*. A face Sul (180°) apresentou valor de 0,0588 no conjunto. O relevo plano foi estimado com risco nulo e para as faces intermediárias os valores foram adquiridos pela simetria na função.

Figura 16 – Mapa de orientação do relevo da área de estudo.



Fonte: o autor.

Figura 17 – O efeito da função *Fuzzy* Sino generalizada na orientação do relevo.



Fonte: o autor.

* (a) Diagrama da função de pertinência *Fuzzy* Sino generalizada. (b) Mapa *Fuzzy* com os valores no conjunto classificados em dezesseis categorias, de acordo com a influência da orientação do relevo ao risco de incêndio.

O efeito da orientação do relevo sobre o risco de um incêndio é explicado pelo menor ou maior energia solar que a vegetação recebe em função da inclinação do terreno, pelo estado fisiológico da vegetação e o horário do dia em que a radiação incide sobre a mesma. O relevo voltado ao Norte recebe energia solar durante todo o dia. As faces Noroeste e Oeste recebem luz no período da tarde, quando a energia recebida é utilizada para a secagem do material combustível.

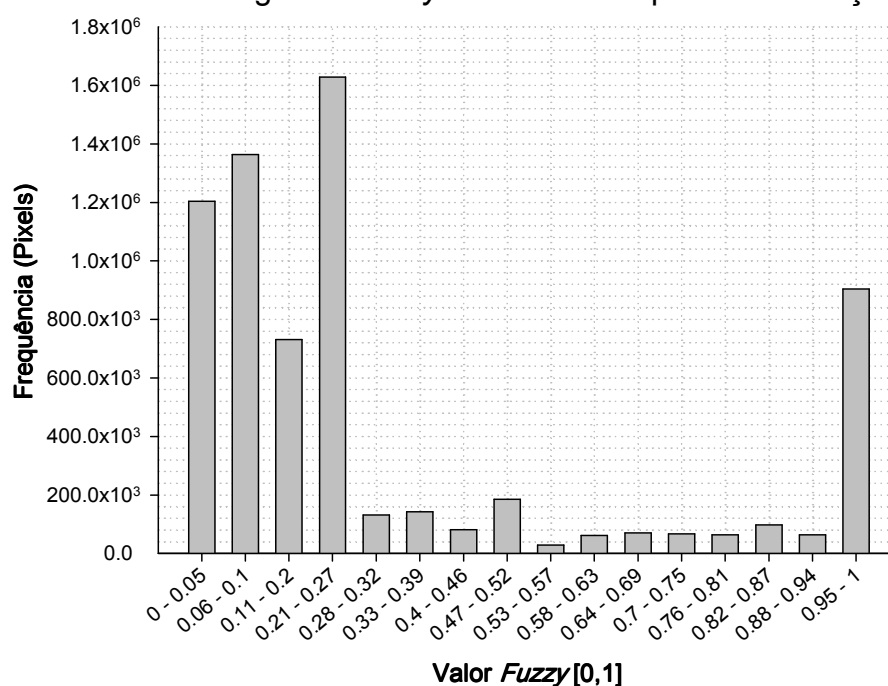
Dessa forma, é observado um maior risco nestas faces de exposição do relevo quando comparado com as faces Sul, Sudeste, Sudoeste e relevo plano. Neste último, os efeitos da radiação solar no processo de secagem do material combustível é considerado nulo.

Segundo Haurwitz e Austin (1944) apesar da quantidade de radiação solar que atinge a exposição Leste ser a mesma que atinge a exposição Oeste, a temperatura na face Oeste é mais elevada que na face Leste, a não ser quando possíveis variações diurnas de cobertura de nuvens e de turbidez da atmosfera ocorrem. Isto porque durante a tarde, quando a radiação incide sobre a face Oeste, o terreno já está pré-aquecido pelo ar cuja temperatura vem aumentando desde o nascer do Sol. O aquecimento da face Leste, por outro lado, tem início pela manhã quando a radiação solar é perdida na evaporação da água existente no terreno que está ainda úmido pela redução da temperatura na noite anterior. Fuller (1991) ressalta que esta variação na taxa de radiação implica em variações de quantidade

e diversidade da vegetação ocorrente pelos diferentes microclimas em função das inclinações do terreno.

Os valores de risco ao incêndio pela variável foram representados pelo histograma (Figura 18) que revelou a maior concentração de pixels nos menores valores do conjunto com 72,19% da frequência de pixels para valor *Fuzzy* de 0 – 0.27. Embora a área de estudo apresente um baixo risco ao fogo, associado às faces de menor radiação solar, os resultados mostram que os maiores valores no conjunto *Fuzzy* estão na classe de maior risco (0,95 – 1) correspondendo a 13,24% da frequência de pixels, principalmente associado à face Norte. Portanto o conhecimento da orientação do relevo na paisagem florestal se faz importante para o estabelecimento de planos de gestão de áreas de ameaças ao incêndio.

Figura 18 – Valores do histograma *Fuzzy* reclassificado para a orientação do relevo.



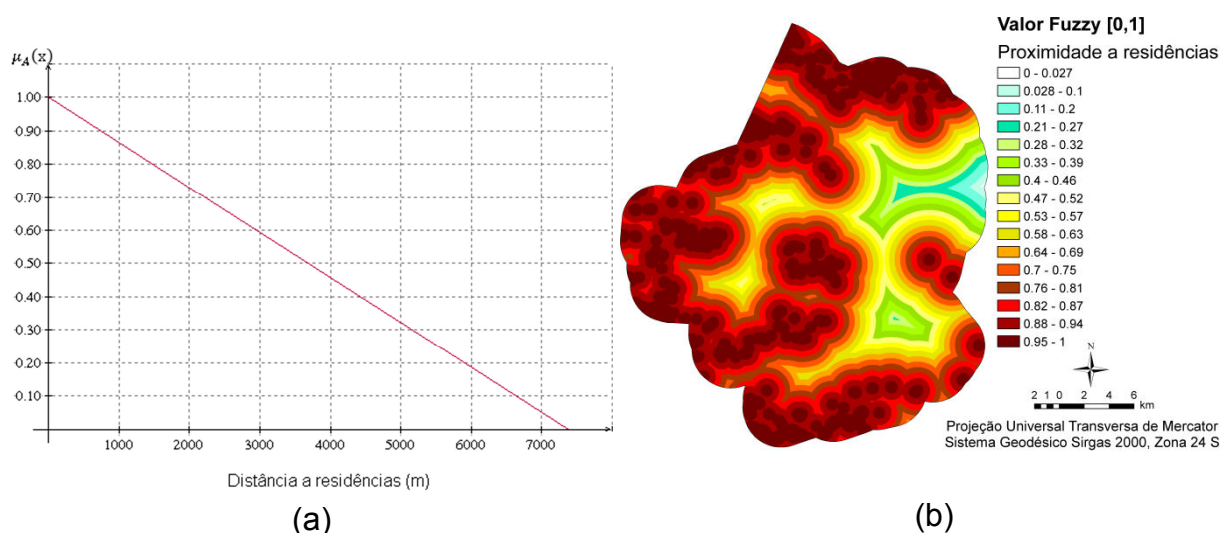
Fonte: o autor.

4.5. PROXIMIDADE A RESIDÊNCIAS

A proximidade a residências é indicada como de grande importância na distribuição de incêndios florestais. A variável definida pela distância euclidiana

indicou distâncias de 0 a 7378,38m. O risco modelado pela função *Fuzzy Linear* revelou um maior risco nos limites da Reserva com maiores valores no conjunto *Fuzzy* (Figura 19).

Figura 19 – O efeito da função *Fuzzy Linear* na proximidade a residências.



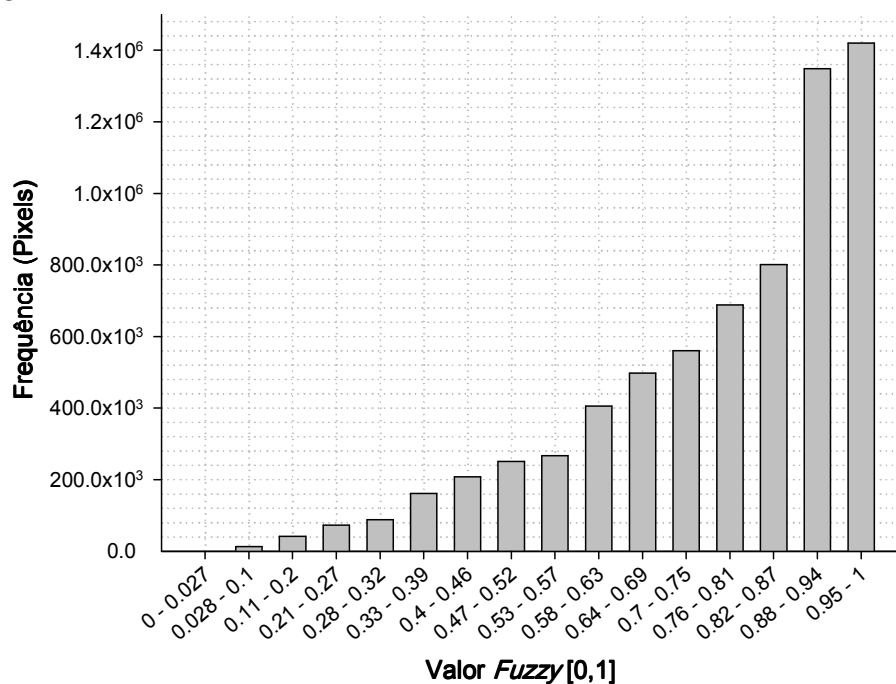
Fonte: o autor.

* (a) Diagrama da função de pertinência *Fuzzy Linear*. (b) Mapa *Fuzzy* com os valores no conjunto classificados em dezesseis categorias, de acordo com a influência da distância a residências ao risco de incêndio.

O agrupamento dos valores no conjunto *Fuzzy* analisado pelo histograma (Figura 20) observou que os maiores valores no conjunto (0,75 – 1) representam 70,59% da frequência de pixels e, dessa forma, os resultados indicam que a variável proximidade a residências é o principal fator de influência ao risco de incêndios florestais na área de estudo pela distância da interface floresta e meio urbano.

Romero Calcerrada et al. (2010) na associação espacial da densidade populacional em uma área urbana observaram que uma densidade de 14 – 23 hab./ha apresenta valores positivos de ocorrência com a localização de um início de incêndio. A distância para áreas urbanas apresenta valores significativos para os tempos até 2,25min e distâncias de até 50m. O modelo preditivo destacou ainda que os resultados indicam uma forte relação entre os pontos de ignição de fogo e de proximidade para as áreas urbanas com valores positivos de predição a classes cumulativas de distâncias a áreas urbanas de 0 – 50m e 0 – 250m.

Figura 20 – Valores do histograma *Fuzzy* reclassificado para proximidade a residências.



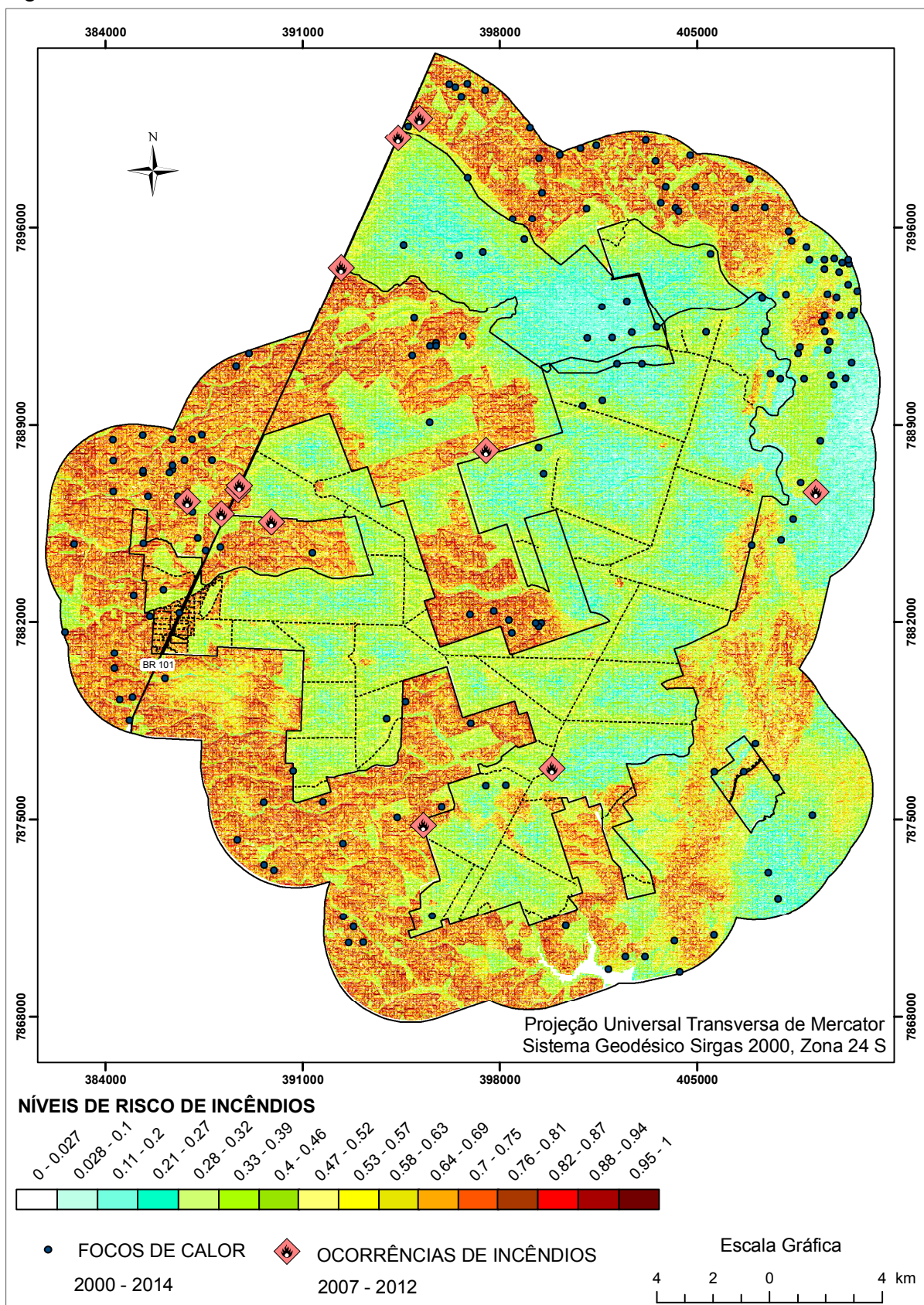
Fonte: o autor.

Mudanças de comportamento e estilo de vida (por exemplo, aumento de atividades de recreação e urbanização em áreas florestais) são os principais fatores a conduzir a distribuição espacial das pessoas em áreas de floresta e aumentar os eventos de incêndios (BADIA PERPINYA; PALLARES BARBERA, 2006). Syphard, Clarke e Franklin (2007) verificaram que a frequência de incêndios foi bem modelado na Califórnia (EUA) por fatores como densidade populacional e distância da interface floresta e meio urbano. Estas alterações indicam uma mudança potencial na natureza do risco de incêndio na área de estudo pela urbanização das zonas rurais.

4.6. RISCO DE OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

O risco de incêndio florestal determinado pela combinação das variáveis estudadas apresentou áreas de maior risco no conjunto *Fuzzy*, especialmente na interface floresta e meio urbano. Os valores intermediários no conjunto representam principalmente os limites da RNV e vias internas da mesma. Os menores valores no conjunto *Fuzzy* estão associados às áreas de floresta natural de tabuleiro, onde o acesso humano é gerenciado ou relativamente limitado (Figura 21).

Figura 21 – Risco de Incêndio Florestal na área de estudo.

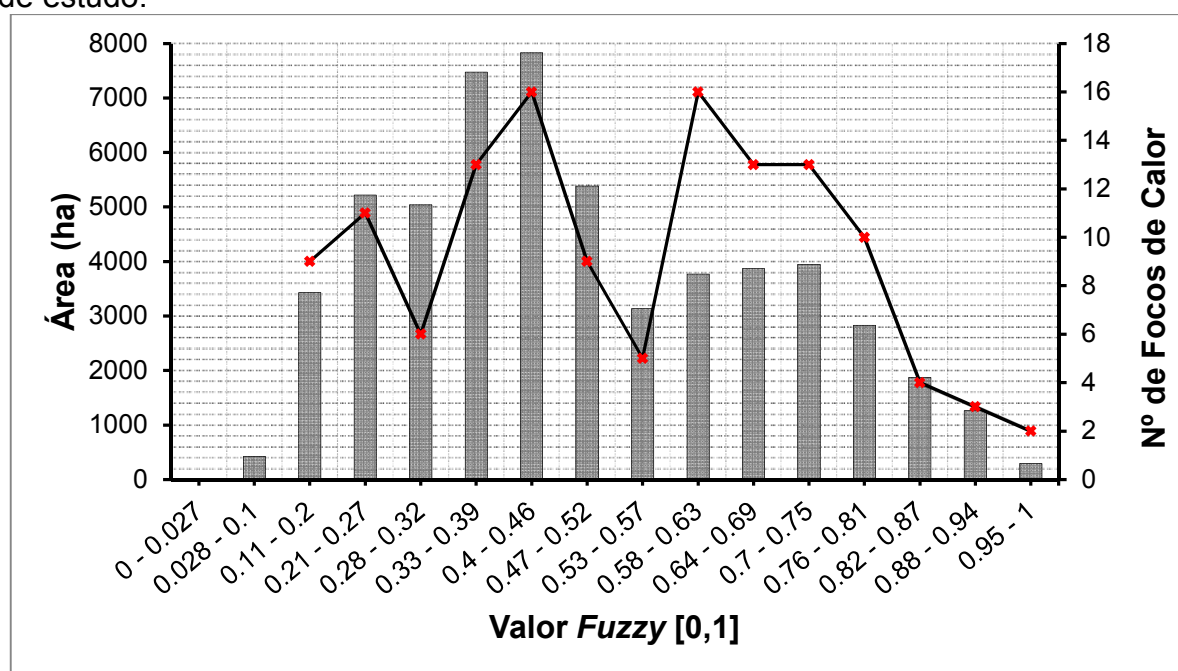


Fonte: o autor.

* A figura apresenta os níveis de risco de incêndio no conjunto *Fuzzy Gamma* e os focos de calor para validação do modelo.

Os resultados no histograma (Figura 22) revelam que a área de estudo apresenta maior área em hectares nos valores do conjunto *Fuzzy* de 0.21 – 0.46 com soma de 25.561ha representando 45,82% da área total originada pela frequência de pixels da imagem matricial. O intervalo no conjunto de 0.47 – 0.69 apresentou segunda maior área com 16.161ha representando 28,97%. O intervalo de 0.70 – 0.87 apresentou área de 8.648ha ou 15,50% da área total. As menores áreas foram encontradas nos menores e maiores valores do conjunto *Fuzzy* com área de 3.858,5ha (6,92%) no intervalo 0 – 0.2 e área de 1.555ha (2,79%) no intervalo 0.88 – 1. Estes resultados indicam que a área de estudo apresenta risco ao incêndio variando de médio a baixo e as áreas de maior risco ao incêndio são pontuais.

Figura 22 – Valores do histograma *Fuzzy* para o risco de incêndio florestal na área de estudo.



Fonte: o autor.

Nota-se ainda pela Figura 22 que o maior número de focos de calor encontra-se no intervalo do conjunto *Fuzzy* com maior área em hectares e o menor número de focos de calor ocorre no intervalo de maior valor do conjunto onde as áreas de maior risco ao incêndio são pontuais. Analisando a distribuição dos focos de calor no conjunto *Fuzzy* observou-se que dos 205 focos de calor na área de estudo, identificados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no período de 2000 a 2014, 130 foi possível inferir sobre qual intervalo no conjunto estes focos

estavam presentes. Dessa forma, o foco de calor com menor valor no conjunto apresentou valor de 0.1109 e o máximo de 0.9547. A média dos focos de calor foi de 0.5322 e desvio padrão de 0.2019.

Embora os dados de focos de calor sejam pontuais e não é propriamente um incêndio, estes dados se configuram como um importante parâmetro para avaliação do modelo. Os resultados obtidos apresenta um modelo eficiente ao risco de incêndio em que a modelagem *Fuzzy* foi adequada para analisar a influência de diferentes variáveis sobre o risco de incêndio na área de estudo. Usando o modelo, pode-se avaliar a possível mudança de risco de ocorrência de fogo em resposta para qualquer tipo de tratamento proposto e mudanças na paisagem.

Os fatores socioeconômicos desempenham um papel importante ao risco de incêndio na área de estudo. Este fato é observado pela matriz de correlação gerada pela análise de componentes principais que mostra a maior relação para o risco de ocorrência de incêndio entre as variáveis socioeconômicas pela frequência de pixels no conjunto *Fuzzy*, correspondendo a 46,299% (Tabela 5). Destaca-se ainda que a pequena correlação entre as demais variáveis confirma a contribuição e importância de cada variável ao risco de incêndio florestal.

Tabela 5 – Matriz de correlação das variáveis obtida pela análise de componentes principais

Variável	1	2	3	4
1	1.00			
2	0.46299	1.00		
3	0.06939	0.07589	1.00	
4	0.00337	0.00540	0.00893	1.00

Fonte: o autor

* 1: Proximidade a residências; 2: Proximidade a estradas; 3: Declividade; 4: Orientação do relevo.

Estes resultados fornecem uma nova visão útil para a distribuição espacial de causas humanas do fogo, dado que os fatores humanos tem recebido pouca atenção em análises quantitativas de risco. As razões para essa pouca atenção são diversos, mas um dos mais importantes é a dificuldade de integração socioeconômica e dados biofísicos para análise espacial (RINDFUSS et al., 2004).

Os mapas de risco de incêndio de origem humana permitem idealizar planos de prevenção, a concepção de planos de gestão de áreas de ameaças e a avaliação

dos impactos humanos sobre as áreas florestais. Sendo assim, é importante que as variáveis socioeconômicas sejam consideradas em tomadas de decisão e gestão de incêndios nas áreas de interface floresta e meio urbano pelos gestores.

Para fins de gestão, mapas de áreas de urbanização ou mapas da floresta natural podem ser sobrepostos por um mapa de risco de incêndio, a fim de avaliar o nível de proteção humana ou medidas de prevenção de incêndios que são necessárias para uma determinada fauna ou espécie da flora, com base em características do local e habitat. As abordagens de modelagem espacial empregadas fornecem ferramentas úteis para integrar dados socioeconômicos e biofísicos não só para analisar as características de risco de início do fogo, mas também para explicar os padrões de distribuição de risco do fogo.

As ocorrências de incêndios são espacialmente distribuídas, em sua maioria, no entorno da RNV, e os fatores humanos, tais como a propriedade rural, acessibilidade humana, e densidade da população são importantes determinantes da localização espacial dos incêndios. Proximidade de estradas é um aspecto da acessibilidade humana, e os lugares próximos a estradas (<150 m) foram geralmente associados com maior ocorrência de fogo.

Estas afirmativas são confirmadas pelo histórico dos registros de ocorrências de incêndios da RNV, que quando identificado, as causas prováveis dos incêndios foram atribuídas ao homem e parte destas, sendo criminosos, associado à ameaça a caça da fauna local. As poucas informações nos registros de ocorrências de incêndios na reserva limitou uma análise mais detalhada para validação do modelo. Por este fato, não foi possível analisar se uma área de ocorrência de fogo se concentra em uma zona de maior risco.

Em um regime de fogo antrópico, a dinâmica da vegetação é um importante determinante de ocorrência de incêndios. Analisando a classe de risco de incêndio para o uso e ocupação da terra (Tabela 6) observa-se que a classe cultivo agrícola apresenta a maior média da frequência de pixels no conjunto *Fuzzy* com 0.7097. A classe silvicultura apresenta a segunda maior média com 0.6667, seguida da macega (0.6474) e pastagem (0.6416). Estes resultados justificam a necessidade do manejo da vegetação bem como a alocação de recursos para medidas de proteção e minimização dos graves danos e efeitos causados pelo fogo em áreas de interface. Em pesquisas futuras, estes resultados também podem contribuir para os efeitos das causas dos incêndios, como resultado da propagação do fogo.

Tabela 6 – Classe de risco de incêndio florestal no conjunto *Fuzzy* para o uso e ocupação da terra

Classes	Estatística Descritiva				
	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD
Uso e Ocupação da Terra					
Cultivo agrícola	0,2324	0,9786	0,7461	0,7097	0,1292
Silvicultura	0,2157	0,9205	0,7048	0,6667	0,1217
Macega	0,1435	0,9198	0,7763	0,6474	0,1206
Pastagem	0,1642	0,9768	0,8126	0,6416	0,1434
Extração de petróleo	0,2834	0,8234	0,5400	0,5621	0,1113
Campos nativos	0,1507	0,9908	0,8401	0,5582	0,1591
Extração de areia	0,2554	0,7639	0,5085	0,5088	0,0969
Edificação	0,1305	0,6039	0,4735	0,4293	0,0814
Floresta de mussununga	0,0608	0,7191	0,6583	0,4223	0,1195
Floresta alta	0,044	0,6037	0,5594	0,3492	0,1046
Floresta ciliar	0,0489	0,6013	0,5524	0,3323	0,1010
Curso d'água	0,0466	0,5429	0,4963	0,3241	0,1013
Área periodicamente alagada	0,0133	0,7227	0,7093	0,3163	0,1469
Brejo e floresta de brejo	0,0465	0,6029	0,5564	0,2792	0,1073

Fonte: o autor.

*MIN: mínimo; MAX: máximo; RANGE: alcance; MEAN: média; STD: desvio padrão.

Finalmente, embora os resultados específicos não sejam esperados para estender-se a outras regiões, a modelagem *Fuzzy* para o RIF pode ser utilizada em outras áreas com informação suficientes dos fatores que podem influenciar no início e propagação do fogo florestal.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, conclui-se que:

- ✓ A área de estudo apresenta risco de incêndio variando de médio a baixo;
- ✓ As áreas de maior risco no conjunto *Fuzzy* são pontuais e representam especialmente na interface floresta e meio urbano;
- ✓ Os fatores socioeconômicos desempenham um papel importante ao risco de incêndio e, portanto, são os principais fatores de influência ao início do fogo florestal;
- ✓ O modelo de risco de ocorrência de incêndio pode ser expandido, incluindo variáveis adicionais que são relevantes para o início e propagação do fogo;
- ✓ Uma vez que estes dados se tornam disponíveis o mesmo processo de construção do modelo pode ser realizado novamente e uma distribuição mais precisa do risco de incêndio pode ser obtida;
- ✓ A modelagem *Fuzzy* foi adequada para avaliar a influência de diferentes variáveis sobre o risco de incêndio florestal na área de estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, D. S. D.; PEREIRA, O. J.; PEIXOTO, A. L. Campos nativos at the Linhares forest reserve, Espírito Santo, Brazil. In: THOMAS, W. W; BRITTON, E. G (Ed.). **The Atlantic coastal forest of northeastern Brazil**. New York: The New York botanical garden Press, 2008, p. 371-394.

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

BOTELHO, H. S.; SALGUEIRO, A. Aspectos meteorológicos e topográficos com influência no comportamento do fogo. In: REGO, F. C.; BOTELHO, H. S. **A técnica do fogo controlado**. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 1990, p. 27-33.

BRASIL. Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998. **Regulamenta o artigo 27 do Código Florestal e dispõe sobre a prevenção e combate a incêndio florestal, e dá outras providências**. Brasília, DF. 2000

BROWN, A. A.; DAVIS, K. P. **Forest fire: control and use**. 2nd ed. New York: McGraw Hill Book, 1973. 686 p.

BROWN, J. K; BEVINS, C. D. **Surface fuel loadings and predicted fire behavior for vegetation types in the northern rocky mounstains**. Utah: US. Department of Agriculture. Forest Service (Research Note INT-358), 1986. 11 p.

BURROUGH, P. *Fuzzy mathematical methods for survey and land evaluation*. **Journal of Soil Science**, v. 40, n. 3, p. 477-492, 1989.

CARAPIÁ, V. R. **Predição do índice de risco de incêndio e modelagem computacional do comportamento do avanço da frente do fogo no parque nacional da floresta da Tijuca**. 2006. 197 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CARDILLE, J. A.; VENTURA, S. J.; TURNER, M. G. Environmental and social factors influencing wildfires in the upper Midwest, United States. **Ecological Applications**, v. 11, n. 1, p. 111-127, 2001.

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 Forestal**, Colombia, n. 2, p. 38-46, abr. 1997.

CHANDLER, C.; CHENEY, P.; THOMAS, P.; TRABAUD, L.; WILLIAMS, D. **Fire in forestry**: forest fire behavior and effects. New York: J. Wiley & Sons, 1983. 298 p.

CHOU, Y. H.; MINNICH, R. A.; CHASE, R. A. Mapping probability of fire occurrence in San Jacinto Mountains, California, USA. **Environmental Management**, v. 17, n. 1, p. 129-140, 1993.

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. Application of remote sensing and geographic information systems to fire hazard mapping. **Remote Sensing of Environment**, n. 29, p. 147-159, 1989.

CHUVIECO, E.; ISABEL. **Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales**. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004. 190 p.

DEICHMANN, U. **A review of spatial population database design and modeling**. Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis, 1996. 58 p.

DICKISON, W. C. **Integrative plant anatomy**. 1nd ed. California: Academic Press. 2000. 533 p.

EASTMAN, R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Rasters procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 5, p. 539-547, 1995.

EGLER, W. Rio Doce, enigma do passado, promessa no presente. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 1, n.7, p. 42-47, 1954.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Wildland fire management terminology**. FAO Forestry Paper. FAO – Forest Resources Division. Rome, 1986. 284 p.

FERMINO JUNIOR, P. C. P.; PAULILO, M. T. S.; REIS, A.; SANTOS, M. Espécies pioneiras e climáticas da floresta ombrófila densa: anatomia foliar comparada. **Insula**, Florianópolis, n. 33, p. 21-37, 2004.

FERRAZ, S. F. de B.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p. 39-48, jun. 1998.

FIMIA, J. C. M. Factores ambientales – Factores topográficos. In: MUÑOZ, R. V (Ed.). **La defensa contra incendios forestales** – Fundamentos y experiencias. Madrid: McGraw Hill, 2000.

FULLER, M. **Forest fires**: an introduction to wildland fire behavior, management, firefighting, and prevention. 1nd ed. New York: J. Wiley, 1991. 238 p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2011-2012**. São Paulo, SP, 2013. 61 p.

- GAYLOR, H. P. **Wildfires**: prevention and control. Bowie: Prentice-Hall, 1974, 319 p.
- GENTRY, A.; HERRERA-MACBRYDE, O.; HUBER, O.; NELSON, B. W.; VILLAMIL, C. B. Regional overview: South America. In: DAVIS, S. D.; HEYWOOD, V. H, J.; HAMILTON, A. C (Ed.). **Centres of plant diversity**: A guide and strategy for their conservation. The Americas. Cambridge: WWF/IUCN, v.3, 1997, p. 269-307.
- GOLDAMMER, J. G. Forest fires problems in the Federal Republic of Germany. In: NAO, T. V. **Forest fire prevention and control**. Forestry Sciences, v. 7, 1982. p. 143-147.
- GOMIDE, F. A. C; GUDWIN, R. R. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. **SBA Controle & Automação**, v. 4, n. 3, p. 97-115, set./out. 1994.
- HAURWITZ, B; AUSTIN, J. M. **Climatology**. New York: McGraw-Hill, 1944, 410 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Sistema nacional de prevenção e combate aos incêndios florestais** – PREVFOGO. Brasília, DF, 2000. 53 p.
- ILIADIS, L. A decision support system applying an integrated *fuzzy* model for long – term forest fire risk estimation. **Environmental Modeling and Software**, v. 20, n. 5, p. 613-621, 2005.
- JEMISON, G. M.; LINDENMUTH, A. W.; KEETCH, J. J. **Forest fire danger measurement in the eastern United States**. Washington: US. Department of Agriculture. Forest Service (Agriculture Handbook n. 1), 1949. 70 p.
- JESUS, R. M. de; ROLIM, S. G. Fitossociologia da Mata Atlântica de Tabuleiro. **Boletim técnico da Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, v.19, p. 1-149, 2005.
- LANGFORD, M.; HIGGS, G.; RADCLIFFE, J.; WHITE, S. Urban population distribution models and service accessibility estimation. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 32, n. 1, p. 66-80, 2008.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2005. 550 p.
- 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.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande, MS: UNIDERP, 2007. 881 p.
- LUIZ, S.; SANTOS, A. R. S.; BRENNER, T. L. Geração de modelo digital de elevação a partir de imagens reference stereo satélite IKONOS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC, 2007. p. 581-587.

LUKE, R. H.; MCARTHUR, A. G. **Bushfires in Australia**. Canberra: Australian Government Publishing Service, 1978. 359 p.

MAGRO, T. C. Manejo de paisagens em áreas florestadas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 10, n. 29, p. 59-72, nov. 1996.

MALONE, S. R.; MAYEUX, H. S.; JOHNSON, H. B.; POLLEY, H. W. Stomatal density and aperture length in four plant species grown across a subambient CO₂ gradient. **American Journal of Botany**, v. 80, n. 12, p. 1413-1418, 1993.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M. As flutuações de nível do mar durante o quaternário superior e a evolução geológica de “deltas” brasileiros. **Bol. IG-USP**, Publ. Especial, São Paulo, n.15, p. 1-186; maio 1993.

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, v. 14, n. 2, p. 157-168, 2004.

MEIRELLES, M. S. P. **Análise integrada do ambiente através do geoprocessamento: uma proposta metodológica para a elaboração de zoneamento**. 1997. 192 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

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.

PEIXOTO, A. L.; GENTRY, A. Diversidade e composição florística da mata de tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, n.13, p. 19-25, 1990.

PEIXOTO, A. L.; SILVA, I. M. Tabuleiro forests of northern Espírito Santo, South-eastern Brazil. In: DAVIS, S. D.; HEYWOOD, V. H.; HAMILTON, A. C (Ed.). **Centres of plant diversity: A guide and strategy for their conservation**. The Americas. Cambridge: WWF/IUCN, v.3, 1997. p. 369-372.

PEW, K. L.; LARSEN, C. P. S. GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada. **Forest Ecology and Management**, v. 140, n. 1, p. 1-18, 2001.

PLANO DIRETOR DE USO DA RESERVA FLORESTAL DE LINHARES. **Análise da Reserva – Fatores Bióticos**. Vitória, ES, 1998. 143 p.

PRUDENTE, T. D. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no parque nacional da chapada dos veadeiros e área de entorno**. 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença. **Engenharia Civil**, n. 10, p. 7-29, 2001.

RIBEIRO, G. A. Estratégias de prevenção contra os incêndios florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 243-247, maio/ago. 2004.

RIBEIRO, L. A. **Pressão antrópica e os riscos de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Amazônia Mato-grossense**. 2009. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

RINDFUSS, R. R.; WALSH, S. J.; TURNER, B. L.; FOX, J.; MISHRA, V. Developing a science of land change: challenges and methodological issues. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, v. 101, n. 39, p. 13976-13981, 2004.

RODRÍGUEZ SILVA, J. G.; CASTILLO, M.; MOLINA, J.; HERRERA, M. et al. Aplicación y adaptación del modelo SEVEIF para la evaluación socioeconómica del impacto de incêndios forestales em la Provincia de Valparaíso, Chile. **Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)**, 2010, 52 p.

ROLIM, S. G. **Modelos e mecanismos de sucessão secundária na Floresta Atlântica em Linhares (ES)**. 2006. 168 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ROMERO CALCERRADA, R.; NOVILLO, C. J.; MILLINGTON, J. D. A.; GOMEZ JIMENEZ, I. GIS analysis of spatial patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (Central Spain). **Landscape Ecology**, v. 23, n. 3, p. 341-354, 2008.

ROMERO CALCERRADA, R.; BARRIO PARRA, F.; MILLINGTON, J. D. A.; NOVILLO, C. J. Spatial modelling of socioeconomic data to understand patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (central Spain). **Ecological Modelling**, n. 221, n.1, p. 34-45, 2010.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6. ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. 248 p.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, jun. 1977.

SALAS, J.; CHUVIECO, E. Geographic information systems for wildland fire mapping. **Wildfire**, v. 3, n. 2, p. 7-13, 1994.

SANTOS, R. D. dos; et al. **Levantamento expedito dos solos das reservas florestais de Linhares e Sooretama no Estado do Espírito Santo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 68 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 49).

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**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 93-100, jan./abr. 2006.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem Fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2007. 186 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: Controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: FUPEF, 2007. 264 p.

SOARES, R. V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 219-232, 2002.

SOARES, R. V. Perfil dos incêndios florestais no Brasil, de 1984 a 1987. **Floresta**, Curitiba, v. 18, n. 12, p. 94-121, 1988.

SOTO, M. E. C. The identification and assessment of areas at risk of forest fire using fuzzy methodology. **Applied Geography**, v. 35, n. 1-2, p. 199-207, 2012.

SRBEK ARAUJO, A. C.; CHIARELLO, A. G. Registros de perdiz *Rhynchotus rufescens* (Aves, Tinamiformes, Tinamidae) no interior da Reserva Natural Vale, Linhares, Espírito Santo, Sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 251-254, abr./jun. 2008.

SYPHARD, A. D.; CLARKE, K. C.; FRANKLIN, J. Simulating fire frequency and urban growth in southern California coastal shrublands, USA. **Landscape Ecology**, v. 22, n.3, p. 431-445, 2007.

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. 4, p. 538-549, out./dez. 2013.

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

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B.; SILVA, E. D. Os caminhos do fogo na Amazônia. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 65, p. 25-32, 1990.

VALERIANO, M. de M. **Topodata**: guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos, SP: INPE. 75 p. Projeto de Pesquisa (Modelagem de dados topográficos SRTM) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, SP, 2008.

VEGA GARCIA, C.; WOODARD, P. M.; ADAMOWICZ, W. L.; LEE, B. S. A logit model for predicting the daily occurrence of human caused forest-fires. **International Journal of Wildland Fire**, v. 5, n. 2, p. 101-111, 1995.

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

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

YANG, J.; HE, H. S.; SHIFLEY, S. R.; GUSTAFSON, E. J. Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark highlands. **Forest Science**, v. 53, n. 1, p. 1-15, 2007.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.