



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**THIAGO NUNES DA SILVA MACEDO**

**RISCO DE INCÊNDIOS EM ÁREAS APTAS PARA PLANTIOS FLORESTAIS**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2021

THIAGO NUNES DA SILVA MACEDO

**RISCO DE INCÊNDIOS EM ÁREAS APTAS PARA PLANTIOS 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 Ciências Florestais. Orientador: Prof. Dr. Nilton César Fiedler; Coorientadores: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos; Prof. Dr. Ronie Silva Juvanhol.

JERÔNIMO MONTEIRO –ES

2021

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

M141r Macedo, Thiago Nunes da Silva, 1985-  
Risco de incêndios em áreas aptas para plantios florestais  
/ Thiago Nunes da Silva Macedo. - 2021.  
84 f. : il.

Orientador: Nilton César Fiedler.

Coorientadores: Alexandre Rosa dos Santos, Ronie Silva  
Juvanhol.

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

1. Florestas - proteção. 2. Zoneamento edafoclimático. 3.  
Sistema de Informações Geográficas. 4. Lógica difusa. I. Fiedler,  
Nilton César. II. Santos, Alexandre Rosa dos. III. Juvanhol,  
Ronie Silva. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro  
de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 630

---

# RISCO DE INCÊNDIOS EM ÁREAS APTAS PARA PLANTIOS FLORESTAIS

**Thiago Nunes da Silva Macedo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias 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 26 de fevereiro de 2021.



---

**Prof. Dr. Daniel Pena Pereira** (Examinador externo)  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro



---

**Prof. Dr. Ronie Silva Juvanhol** (Examinador externo)  
Universidade Federal do Piauí



---

**Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos** (Coorientador)  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

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

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e Nossa Senhora Aparecida, por me conceder força, luz, inteligência e sustentação para concluir esta etapa.

À Sofia, minha esposa e eterna namorada, pelo companheirismo, amor, dedicação, ensinamentos de vida e científicos, pelo apoio nas horas mais difíceis e também por ser meu alicerce nas horas que me faltavam forças para buscar a vitória. A vida me mostrou que ter alguém como você é o caminho certo para felicidade, boas risadas, novas aventuras e tudo aquilo que é possível imaginar e ser descoberto.

À minha família: mãe, pai, irmãos, avó; pelo amor, dedicação, paciência, horas de conversas e carinho confiados a mim, que em muitas vezes foram os motivos para manter-me firme em busca do meu objetivo. Em especial à minha mãe Maria, pelo apoio e orações constantes, ao meu pai Vanderley por me ensinar que a vida não é fácil e a minha vó e madrinha Conceição que reza todos os dias para mim. *In memoriam* ao primo e padrinho Warley.

Ao Professor Dr. Nilton César Fiedler, meu orientador, pelo direcionamento e disposição contínua para contribuir na construção do trabalho.

Ao Professor Dr. Alexandre Rosa dos Santos, meu coorientador, pelo entusiasmo contagiante ao tratar os assuntos ligados ao mundo acadêmico e científico.

Ao professor Dr. Ronie Silva Juvanhol, por disponibilizar tempo para me auxiliar e orientar em uma nova área de aprendizado dentro da Engenharia Florestal.

À UFES e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela oportunidade de aprender novos conceitos e discutir novas ideias.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo durante o curso de mestrado.

Aos amigos de profissão que me incentivaram e apoiaram desde o início do mestrado, em agradecimento especial ao amigo Dório Anderson que me liberou quando ainda estava na Fibria para iniciar esta jornada. Aos amigos de diversos setores das empresas Fibria, Votorantim, Bracell, Rima em especial aos do Fomento e Meio Ambiente.

Aos colegas da Pós que tornaram essa trajetória mais leve, em especial à Taís Rizzo Moreira pelos ensinamentos em ArcGis, pelo tempo dedicado a me auxiliar a processar dados em diversos momentos angustiantes, com sorriso no rosto. Você é referência dos conceitos de competência e humanidade, minha sincera admiração.

Agradeço a todos os mestres que estiveram junto a mim nessa caminhada do saber, desde a Escolinha Infantil Doce Cantinho, passando pela FAFI, Colégio Anglo, Kumon, Yázigi, Uptime e a minha universidade de graduação em Engenharia Florestal, a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, gratidão a todos vocês por tudo que me ensinaram e me proporcionaram nesses anos de vida que passei com cada um de vocês.

Aos novos e bons amigos Jeferson, Ramon, Leandro pela caminhada em Jerônimo Monteiro, pelos momentos de descontração e aperfeiçoamento pessoal na construção de uma relação de amizade e respeito.

A todos vocês, muito obrigado!

Vocês fazem a diferença em minha vida.

TMJADF

*A Deus toda honra e toda glória.*

## RESUMO

MACEDO, T. N S. **Risco de incêndios em áreas aptas para plantios florestais. 2021.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Nilton César Fiedler, Coorientadores: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos; Prof. Dr. Ronie Silva Juvanhol.

Os incêndios florestais são prejudiciais a qualidade de vida do ser humano, a flora e a fauna do local de ocorrência acarretando prejuízos das mais diferentes formas, desde financeiros até paisagísticos. O objetivo deste trabalho foi realizar o zoneamento edafoclimático de três espécies florestais, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Corymbia citriodora* e um híbrido de eucalipto, *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* X *E. urophylla*) e estimar nas áreas aptas para plantio, aquelas com maior risco de ocorrência de incêndios. Para tal, foi utilizado as ferramentas e técnicas do Sistema de Informações Geográficas (SIG), pois através delas foi organizado em um único banco de dados, informações edafoclimáticas (temperatura, precipitação, déficit hídrico e tipos de solo) da área de estudo que ao serem processadas pelo software ArcGis 10.3 geraram mapas que subsidiaram a tomada de decisão para selecionar as áreas aptas para implantação de cada espécie florestal. A deficiência hídrica foi a variável de maior limitação para a implantação de novos plantios, uma vez que a irrigação se faz necessária durante a implantação em todo a região. A temperatura também limitou as regiões aptas para o plantio. De posse destes mapas, utilizando-se a Lógica *Fuzzy*, determinou-se a função de pertinência mais adequada para descrever a influência que cada variável (uso e ocupação da terra, orientação do relevo, declividade e proximidade a estradas) exerce ao RIF. Os valores obtidos demonstram que as áreas apresentam risco de incêndio variando de baixo a médio e que o maior risco de incêndios no conjunto *Fuzzy* estão relacionados com a proximidade de rodovias, além das atividades de uso e ocupação da terra como as pastagens e os plantios de cana-de-açúcar. A modelagem foi apropriada para avaliar a importância das variáveis selecionadas sobre o risco de incêndio.

**Palavras chaves:** risco de incêndios florestais, zoneamento edafoclimático, SIG, Lógica *Fuzzy*.



## ABSTRACT

MACEDO, T. N S. **Risk of fire for areas suitable for forestry plantations**. 2021. Dissertation (Masters in Forest Sciences) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Nilton César Fiedler, Co-orientators: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos; Prof. Dr. Ronie Silva Juvanhol.

Forest fires are detrimental to the quality of life of the human being, the flora and fauna of the place of occurrence causing damage in many different ways, from financial to landscape. The objective of this work was to carry out the edaphoclimatic zoning of three forest species *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Corymbia citriodora* and a hybrid of eucalyptus, *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* X *E. urophylla*) and estimate in areas suitable for planting, those with the highest risk of fire occurrence. To this end, the tools and techniques of the Geographic Information System (GIS) were used, because through them it was organized in a single database, edaphoclimatic information (temperature, precipitation, water deficit and soil types) of the area of study that when processed by the software ArcGis 10.3 generated maps that supported the decision making to select the areas suitable for implantation of each forest species. Water deficiency was the most limiting variable for the implantation of new plantings, since irrigation is necessary during implantation throughout the region. The temperature also limited the regions suitable for planting. With these maps, using *Fuzzy* logic, the most appropriate pertinence function was determined to describe the influence that each variable (land use and occupation, relief orientation, slope and proximity to roads) has on RIF. The values obtained demonstrate that the areas present a fire risk ranging from low to medium and that the greatest fire risk in the *Fuzzy* set is related to the proximity of highways, in addition to land use and occupation activities such as pastures and sugarcane plantations. The modeling was appropriate to assess the importance of the selected variables on fire risk.

**Keywords:** risk of forest fires, edaphoclimatic zoning, GIS, *Fuzzy* logic.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. HIPÓTESE .....</b>	<b>14</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
3.1. Geral .....	14
3.2. Específicos .....	14
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
4.1. O setor florestal no Brasil.....	15
4.2. Minas Gerais e o setor florestal .....	15
4.3. Características das propriedades rurais para plantios de eucalipto.....	19
4.4. Geotecnologias no setor florestal.....	20
4.5. Zoneamento edafoclimático .....	22
4.6. Incêndios florestais.....	25
4.7. Modelagem de incertezas <i>Fuzzy</i> .....	27
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
5.1. Área de estudo .....	28
5.2. Elaboração do banco de dados para o zoneamento edafoclimático de <i>Eucalyptus</i> e <i>Corymbia</i> .....	29
5.3. Zoneamento edafoclimático das espécies florestais .....	32
5.3.1. Vetorização espacial do zoneamento edafoclimático.....	34
5.4. Modelagem dos riscos de incêndios florestais .....	35
5.4.1. Uso e ocupação da terra .....	35
5.4.2. Orientação do relevo .....	38
5.4.3. Declividade.....	38
5.4.4. Proximidade a estradas.....	39
5.4.5. Sobreposição <i>Fuzzy</i> .....	41
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
6.1. Zoneamento edafoclimático de <i>Eucalyptus</i> e <i>Corymbia</i> .....	42
6.2.1. Uso e ocupação da terra .....	52
6.2.2. Orientação do relevo .....	55
6.2.3. Declividade.....	56
6.2.4. Proximidade a estradas.....	58
6.3. Risco de ocorrências de incêndios.....	59
6.4. Risco de ocorrências de incêndios em áreas aptas para as espécies florestais e um híbrido de eucalipto .....	61

<b>7. DISCUSSÃO</b> .....	<b>63</b>
7.1. Zoneamento edafoclimático de Eucalyptus e Corymbia.....	63
7.2. Modelagem dos riscos de incêndios florestais .....	64
7.2.1. Uso e ocupação do solo .....	64
7.2.2. Orientação do relevo .....	65
7.2.3. Declividade.....	66
7.2.4. Proximidade a estradas.....	67
7.3. Risco de ocorrências de incêndios.....	68
7.4. Risco de ocorrências de incêndios em áreas aptas para as espécies florestais e um híbrido de eucalipto .....	69
<b>8. CONCLUSÕES</b> .....	<b>70</b>
<b>9. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são responsáveis pela degradação e destruição da paisagem em diversos biomas, áreas de preservação ambiental, maciços florestais, centros urbanos e outros locais. Isso tem causado diversos prejuízos entre eles econômicos, ecológicos, às características químicas e biológicas do solo, poluição da atmosfera, saúde e bem-estar da sociedade (OLIVEIRA, 2002; CARDOSO et al., 2008; COSTA et al., 2009).

Na definição das áreas aptas, restritas ou inaptas para implantar novos plantios, é preciso realizar o zoneamento da região de interesse, pois através dele é possível o cruzamento de várias informações, gerando um modelo com base em dados edafoclimáticos obtidos da região, e avaliação de diferentes cenários para cada espécie a ser implantada (FLORES; ALBA; GARRASTAZÚ, 2009; FRANCELINO; REZENDE; SILVA, 2012). Esses dados aliados a outras informações como o histórico da região a respeito de disputas e invasões de terras, comunidades locais, áreas de reservas naturais, furtos de madeiras, distância dos plantios até a fábrica, logística para escoar a produção e o risco de ocorrência de incêndios florestais são a base para o sucesso da instalação e abastecimento de novas unidades fabris.

Várias metodologias e pesquisas em riscos de incêndios são desenvolvidas com fórmulas determinísticas baseadas, muitas vezes, em fatores do clima, relevo, uso e ocupação do solo, entre outras variáveis. Entretanto a combinação desses fatores e a contribuição dos mesmos para o incêndio é alicerçada em observações e conhecimentos prévios de pesquisadores, o que pode ocasionar subjetividade aos resultados (SILVA; PONTES, 2011).

No estado de Minas Gerais, a região Norte e Jequitinhonha são as áreas que tem maior ocorrência de focos de calor principalmente entre os meses mais secos, que varia de junho a novembro. A região Sul do estado apresenta o menor número de ocorrências desses focos de calor (MATAVELI; CHAVES, 2014; PEREIRA et al., 2014; SANTOS; PEREIRA; ROCHA, 2014). A região do Triângulo Mineiro ocupa o terceiro lugar entre as regiões do estado com maior quantidade de focos de calor (MARINHO et al., 2021). É importante buscar o histórico e perfil das ocorrências de incêndios, sendo necessário compreender a quantidade de focos existentes durante

os anos, tamanho das áreas atingidas pelos incêndios florestais para que possam ser desenvolvidas estratégias para proteção e combate (IRLAND, 2013).

Os zoneamentos de risco de incêndios são fundamentais para realizar o planejamento da proteção das áreas florestais (OLIVEIRA, 2002; LEAL; SOUZA; LEAL, 2019). Possibilitam visualização da distribuição espacial do risco em toda a região de interesse e propiciam melhor ajuste dos recursos e equipamentos designados à prevenção e combate, uma vez que as ocorrências de incêndios em determinadas áreas são maiores que em outras, como por exemplo margens de rodovias e estradas de ferro, pastagens, áreas agrícolas, plantios florestais, assentamentos e vilas (OLIVEIRA et al., 2004).

Perante a essas informações, trabalhos desenvolvidos por Silva; Pontes, (2011); Soto, (2012); Bolourchi; Uysal, (2013); Juvanhol, (2014); Castro et al. (2018) recomendaram o uso das regras da lógica *Fuzzy* para se modelar e predizer os Riscos de Incêndios Florestais (RIF's), uma vez que, não se pode definir limites rígidos entre as classes de variáveis. De acordo com estudos de Burrough; McDonnell, (2005), a cada conjunto *Fuzzy*, deve-se recorrer ao conceito de pertencimento, ou seja, uma função de pertinência que denota a cada elemento do conjunto um grau de certeza, que varia entre 0 e 1. Dessa forma, os elementos podem estar associados a graus de pertinência entre zero e um, indicando que os mesmos podem pertencer parcialmente a um conjunto (SILVA; PONTES, 2011). Assim o maior RIF é indicado quando o valor real da variável assume 1 e nulo quando o valor real da variável assume 0. Portanto, o RIF é determinado no intervalo de  $\{0,1\}$ .

Diante da implantação de novas plantas industriais de base florestal, como é o caso recente da Duratex (DURATEX, 2019), a identificação das áreas aptas, restritas e inaptas para novos plantios florestais no Triângulo Mineiro, desenvolvida neste trabalho contribuirá para melhor utilização e proteção dessas áreas.

## 2. HIPÓTESE

O zoneamento edafoclimático de três espécies florestais e um híbrido de eucalipto e os riscos de incêndios da região, contribui para escolha de áreas e novos plantios afim de possibilitar a prevenção dos incêndios florestais para a região do Triângulo Mineiro.

## 3. OBJETIVOS

### 3.1. Geral

Predizer o risco de incêndios no Triângulo Mineiro para as áreas aptas para plantio de três espécies florestais (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*) e um híbrido (*Eucalyptus urograndis* - *E. Grandis* X *E. urophylla*).

### 3.2. Específicos

- a) Elaborar o zoneamento edafoclimático para a implantação de novos plantios de três espécies florestais e um híbrido de eucalipto; e,
- b) Estimar o risco de incêndios florestais por meio das Lógica *Fuzzy*, nas áreas aptas e em áreas com restrição para os plantios comerciais, pela análise dos fatores do local: uso e ocupação da terra, orientação do terreno, declividade e proximidade às estradas

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1. O setor florestal no Brasil

O Brasil possui números relevantes e importantes dentro do setor florestal mundial. O país possui 7,83 milhões de hectares plantados, destes o eucalipto ocupa uma área de 5,7 milhões de hectares, pinus detém 1,6 milhões de hectares e as demais espécies plantadas ocupam 590 mil hectares. Com uma participação de 1,3% do PIB e exportações com vendas de US\$ 12,5 bilhões, o setor gera 513 mil empregos, impactando 3,8 milhões de pessoas direta e indiretamente. O total de áreas certificadas representam 3,5 milhões de hectares, abrindo novos mercados para os produtos florestais brasileiro. Com estes números, o país vem recebendo grandes investimentos na área florestal e até 2022 serão investidos R\$ 22,2 bilhões em novos projetos de diferentes empresas florestais (IBÁ, 2019).

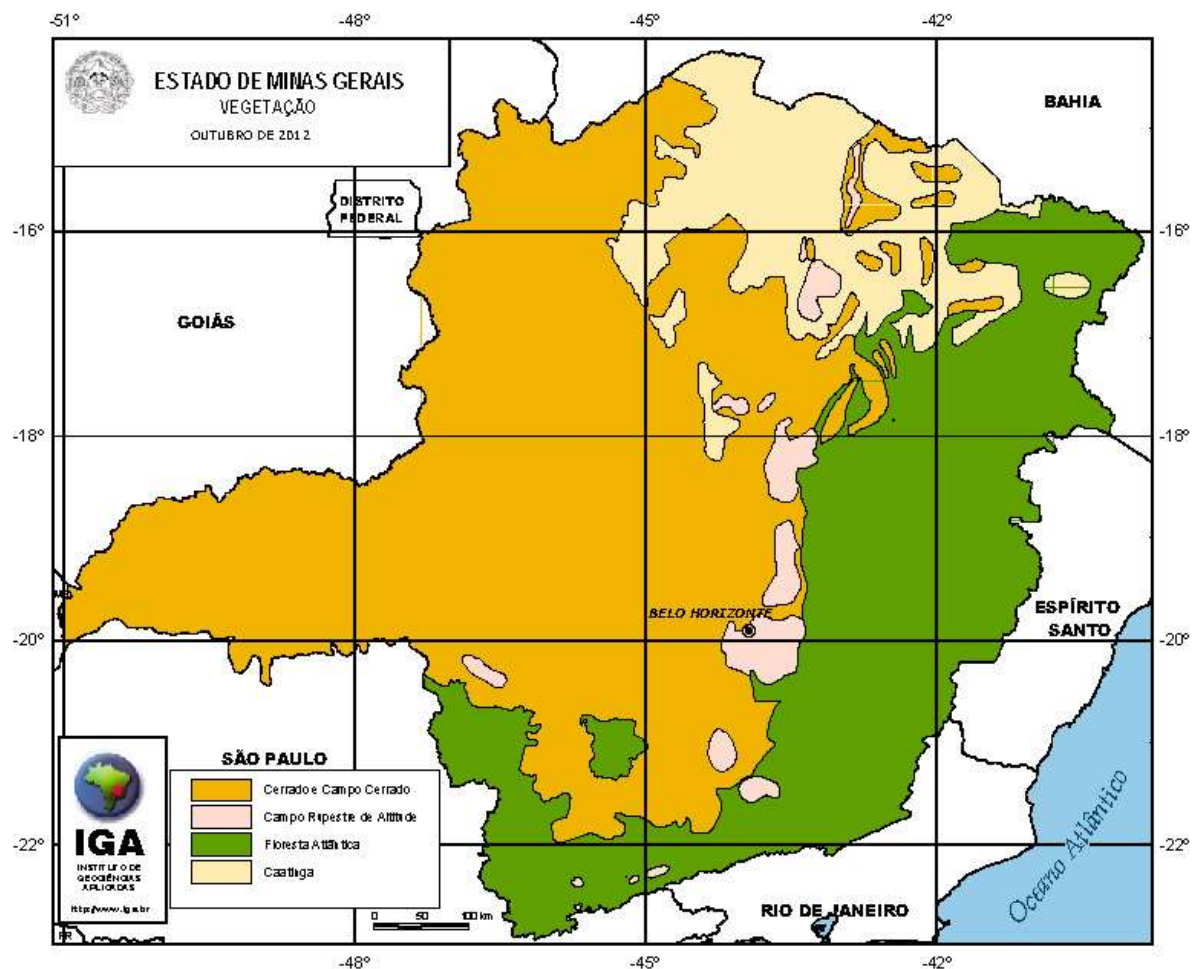
### 4.2. Minas Gerais e o setor florestal

Minas Gerais é uma das 27 unidades federativas do Brasil e possui 853 municípios. Está localizado na região Sudeste do Brasil, e faz divisa com os estados da Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás. Seu território fica entre os paralelos 14°13'59" e 22°55'22" de latitude sul e os meridianos de 39°51'25" e 51°02'46" a oeste de Greenwich. A estrutura fundiária de Minas Gerais é bem diversificada, isso se deve ao tamanho do território ocupado pelo estado que atualmente é de 586.521,123 Km<sup>2</sup>, sendo o quarto maior estado do Brasil (IBGE, 2020). A população estimada pelo censo para o ano de 2020 é de 21.292.666 pessoas, sendo o segundo estado mais populoso do Brasil (IBGE, 2020).

A infraestrutura de Minas Gerais é propícia à logística e escoamento da produção brasileira. O estado apresenta a maior malha rodoviária do país, totalizando 28.817 km de estradas pavimentadas, de domínio estadual e federal, além de 1.444 km de trechos não pavimentados (DER – MG, 2019). As estradas são essenciais para as atividades florestais, desde o transporte de insumos e mudas para a implantação de novos plantios, para o escoamento da produção até o consumidor final.

Devido a sua extensão, a cobertura vegetal do estado é bem diversificada e conta com a presença de vegetações características de três biomas brasileiros: o Cerrado e suas fitofisionomias, localizado na porção centro-ocidental que ocupa 57% do território, a Mata Atlântica, localizada na porção oriental ocupa 41% e a Caatinga é representada com 2% e encontra-se apenas no norte do estado, de acordo com dados fornecidos pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF,2019).

Figura 1 – Cobertura vegetal do estado de Minas Gerais.



Fonte: IGA, (2012)

Verifica-se também a existência de diferentes tipos climáticos em Minas Gerais, sendo Aw com maior ocorrência, ocupando uma área de 34,9% da área total do estado, seguido por Cwa, Cwb e As cobrindo respectivamente 25,5%, 26% e 12,3%, os



demais climas Cfa, Cfb, Cwc e Am não correspondem a 2% de representatividade dentro da área total do estado (ALVARES et al., 2013).

O estado possui diversas classes de solos, sendo as mais relevantes: Latossolos, ocupando 53,97% do território, Cambissolos, Neossolos e Argissolos, ambos com 17,32%, 12,52% e 11,26% de ocupação e as demais classes individualmente, não expressam 1% de ocupação do território mineiro (FEAM, 2010).

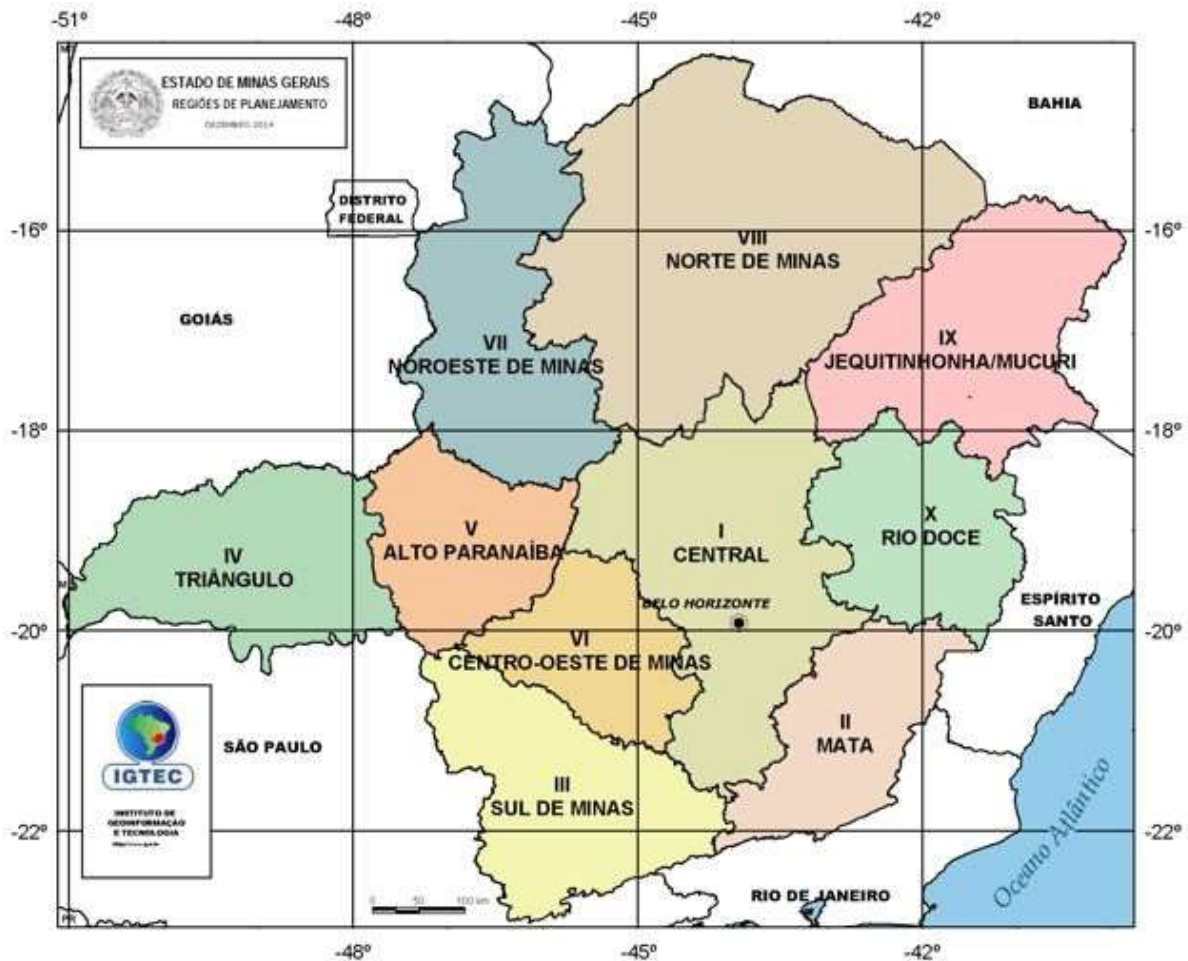
A precipitação na região Sudeste é diversificada entre os estados. Em Minas Gerais observa-se máximos de precipitação no verão e mínimos no inverno, com variação média anual de 650 mm na região norte do estado até 1750 mm na região centro-sul (REBOITA et al., 2010).

O plantio de espécies florestais para o abastecimento do setor florestal mineiro é composto principalmente pelo eucalipto, com aproximadamente 1,5 milhões de hectares plantados (IBÁ, 2019). O estado encontra-se em primeiro lugar no quesito produção florestal à base de eucalipto, com 25,2%, seguido por São Paulo e Mato Grosso do Sul, ambos com 17,6% e 14,5%. Toda esta produção é utilizada para suprir a demanda das siderúrgicas, do setor de celulose e papel, biomassa, moveleiro entre outros (MENDES; TREICHEL; BELING, 2016).

O Sudeste e Sul são responsáveis por 64,2% da produção florestal no Brasil, os estados de Minas Gerais e Paraná apresentam, respectivamente um valor de produção de R\$ 4,7 bilhões e R\$3,6 bilhões. As áreas com plantios florestais estão concentradas nestas duas regiões, chegando a expressivos 70,2%. Enquanto no Sudeste predomina-se o plantio de eucalipto, com 42,3% do total plantado no país, principalmente pela representatividade dos estados de MG, SP e ES; no Sul do país, o plantio predominante é o de pinus, sendo representados pelos estados do Paraná com 42% e Santa Catarina com 34% do total plantado no país (IBÁ, 2019). Entre os dez municípios com maior valor de produção na silvicultura no ano de 2018, encontram-se respectivamente quatro em Minas Gerais (Itamarandiba, Curvelo, Três Marias e Buritizeiro) e três no Paraná (General Carneiro, Telêmaco Borba e Cerro Azul), (IBGE, 2018).

A área total dos 607,6 mil estabelecimentos agropecuários do estado levantados é de 38,2 milhões de hectares de acordo com o IBGE (2017). Oficialmente, o estado possui dez regiões de planejamento, sendo elas: Alto Paranaíba, Central, Centro-Oeste de Minas, Jequitinhonha/Mucuri, Mata, Noroeste de Minas, Norte de Minas, Rio Doce, Sul de Minas e Triângulo.

Figura 2 – Regiões de planejamento do estado de Minas Gerais.



Fonte: IGTEC, (2014)

A região de interesse para se desenvolver o trabalho é o Triângulo Mineiro, que em 2007, tinha os maiores plantios de eucalipto localizados em Uberlândia, com aproximadamente 15 mil hectares e Indianópolis, com 8.592 hectares. Oito anos depois, em 2015, os municípios de Prata, com 11.120 hectares e Indianópolis, com 18.040 hectares foram os municípios que apresentaram as maiores áreas plantadas de eucalipto. A região apresentou a menor área de plantio de eucalipto em comparação com as demais do estado (BORGES; LEITE; LEITE, 2018) porém é líder em produtos do agronegócio, com a predominância da pecuária, plantios de soja e cana-de-açúcar (FERREIRA; VINHA, 2020).

Contudo, a região conta com vastas áreas para a implantação de novos plantios de eucalipto, além de ter condições edafoclimáticas favoráveis, localização próxima

aos grandes centros de distribuição e uma infraestrutura que favorece o transporte de toda a produção, seja por via terrestre ou ferroviária (CHELOTTI; ROSOLEN, 2014).

#### 4.3. Características das propriedades rurais para plantios de eucalipto

Em 2018, o setor florestal brasileiro destacou-se ao produzir as florestas mais produtivas do mundo. A produtividade média para os plantios de eucalipto foi de 36,0 m<sup>3</sup>/ha/ano e para os de pinus 30,1 m<sup>3</sup>/ha/ano (IBÁ, 2019). Este setor cresce a cada ano e, diante disso, é importante avaliar de onde virão as fontes de abastecimento das indústrias de papel e celulose, carvão vegetal, movelaria, entre outras que necessitam de madeira, seja ela plantada ou de manejo florestal. Os plantios para produção de celulose e papel, produtores não verticalizados e siderurgia ocupam 78% das áreas com espécies florestais no país (MAPA, 2018).

Para a instalação de novas fábricas pelo país que irão consumir madeira provenientes de plantios florestais e dando continuidade as expansões do setor florestal brasileiro, é importante avaliar onde serão instalados os novos empreendimentos. A partir da sua localização será tomada a decisão de implantação de novos plantios, compras de madeira de terceiros, programas de fomento, arrendamentos de terras e, em último caso, a necessidade de aquisição de novas áreas para plantios, para garantir o fluxo contínuo de produção de madeira. Os dois principais fatores responsáveis pela tomada de decisão das empresas são a distância dos projetos até a fábrica e a produtividade das áreas (SILVA; JACOVINE; VALVERDE, 2005; ORLANDINI et al., 2011; HORA, 2015; RODE et al., 2015).

Essa distância é determinada por cada empresa, de acordo com seu negócio e suas projeções de consumo de madeira. Quanto menor a distância de transporte, menor serão os custos com transporte de insumos, máquinas para colheita, baldeio e transporte da madeira. A distância dos projetos até o pátio da empresa que irá consumir a madeira é altamente influenciada pelo custo de transporte, ou seja, pelo frete que é pago para transportar a madeira (RODE et al., 2015). Estudos realizados apontam que, um melhor retorno econômico referente a distância das áreas que são utilizadas pelas empresas para a implantação de novos plantios, seja em áreas próprias, programas de fomento ou arrendamento varia de 100 a 150 km (FISCHER; ZYLBERSZTAJN, 2012; RODE et al., 2015)

Outro fator primordial para escolha das áreas para os plantios florestais é a produtividade florestal que, além de estar relacionada com as condições ambientais do local de plantio, é diretamente influenciada pelos tratamentos silviculturais utilizados para implantação, condução de brotação ou reforma das áreas (ROSADO et al., 2012). A qualidade da matéria-prima adequada ao seu uso final está relacionada com o manejo florestal aplicado, exemplo disso são os plantios de eucaliptos com finalidade de produção de painéis de madeira que necessitam de tratamentos silviculturais que proporcionem madeira com densidade básica média, permeabilidade alta e baixa co-nicidade (CUNHA et al., 2014).

Outros fatores que influenciam a escolha das áreas para implantação de eucalipto é o tamanho da área a ser plantada. De acordo com Fischer; Zylbersztajn (2012), o tamanho ideal de plantio em uma propriedade deve ser acima de 30 hectares, sendo suficiente para produzir 10 mil metros cúbicos de madeira com a rotação entre 6 e 8 anos. Essa produção de madeira justifica os gastos com transporte de máquinas para colheita e baldeio.

Diante dos fatos, para que seja possível realizar a implantação, colheita e transporte da madeira, é fundamental que esta propriedade possua toda a documentação exigida pelos órgãos fiscalizadores, ou seja, esteja sem ônus no âmbito legal, fiscal e ambiental. Sem esses documentos, não é possível certificar as áreas e exportar os produtos para os mercados externos. Todos estes fatores citados são fundamentais para implantação de novas áreas de eucalipto pelas empresas. Sem eles, a viabilidade do negócio fica comprometida devido aos mais variados fatores econômicos, entraves sociais e ambientais que cercam o setor florestal.

#### 4.4. Geotecnologias no setor florestal

O uso de geotecnologias é cada vez maior e difundido entre os segmentos da cadeia produtiva de base florestal brasileira. O número de dados coletados e gerados é cada vez maior e para o seu devido processamento pelos diversos setores dentro das empresas é necessário a utilização de ferramentas que dão suporte para se obter as respostas com qualidade e objetividade. Todo este processamento deve ser realizado de forma ágil e preferencialmente em menor tempo possível, pois por meio dele

são traçadas as estratégias gerenciais e táticas a serem utilizadas dentro do horizonte de planejamento de cada empresa. Por isso, torna-se cada vez mais desafiador, a obtenção e processamento desta grande quantidade de dados, sendo assim necessário a utilização de ferramentas de SIG, que são responsáveis por cruzar todos estes dados e nos fornecer informações assertivas para as tomadas de decisões, com menores dispêndios de recursos financeiros e de tempo de análise.

Para ampliação ou construção de novas fábricas é de extrema importância analisar onde este novo empreendimento será instalado, pois a realização do planejamento a curto, médio e longo prazo e também de todas as atividades florestais envolvidas no processo, depende principalmente da localização e da distância dos plantios até a fábrica. Com o auxílio das ferramentas de SIG é possível o seu uso em diversos setores das empresas. Entre estes setores, quatro se destacam para a realização do estudo proposto neste trabalho: o setor de Novos Negócios Florestais, Proteção Florestal, Colheita e Transporte Florestal.

Para abastecimento das fábricas, as empresas devem avaliar quais são as melhores formas de se realizar os contratos de longo prazo, que são representados pelos arrendamentos de áreas de terceiros e programas de fomento (FISCHER; ZYLBERSZTAJN, 2012). O setor de Novos Negócios Florestais é o responsável pelas atividades de prospecção e compras de terras e também pela realização destes contratos a longo prazo. O setor é fundamental para iniciar todo o processo de planejamento da área industrial e florestal, pois através dele, todas as áreas plantadas sejam elas próprias, de arrendamento de terceiros ou programa de fomento serão colhidas e transportadas fornecendo assim a madeira que será usada como matéria prima dentro das empresas florestais.

O setor de Proteção Florestal é o responsável pelo monitoramento de invasões dos terrenos da empresa por pessoas não autorizadas; furto de madeira dos talhões; ataques de pragas e doenças e monitoramento de focos de incêndios e seu imediato combate, seja da área de preservação ou dos talhões plantados. Este último item, deve ser bem monitorado, pois causam perdas financeiras e falta de matéria-prima para o abastecimento das empresas, além de inúmeros prejuízos à fauna, flora, recursos hídricos e a população próxima às áreas atingidas pelos incêndios. Por ser um problema recorrente em todas as florestas do mundo, toda informação gerada a respeito da sua distribuição espacial é importante para se traçar as melhorias das estratégias e táticas de prevenção (TIAN et al., 2013).

Devido a busca por métodos mais eficazes e de menor custo com prevenção e combate aos incêndios, torna-se cada vez mais necessário para a proteção do meio ambiente e das florestas, a utilização de ferramentas de SIG para a criação de mapas de riscos de incêndios para cada região de interesse. Estes mapas auxiliam a criação do planejamento estratégico dentro dos órgãos públicos e empresas privadas, e assim as tomadas de decisões pelos gestores na hora da prevenção e combate aos incêndios florestais (GONZÁLEZ et al., 2006; PAZ et al., 2011; BENTO-GONÇALVES et al., 2012; NICOLETE; ZIMBACK, 2013; ABDI et al., 2018).

Os setores de Colheita e Transporte Florestal com o apoio do SIG, detectam onde é possível a redução dos custos durante o transporte das máquinas para as frentes de colheita, caminhamento dentro dos talhões, sempre em busca da maior eficiência na utilização de cada máquina com a redução do consumo de combustível e otimização da distância de baldeio. Essas tomadas de decisões em cada etapa dentro dos processos, colaboram para uma maior eficiência desses dois setores, pois o maior custo entre as atividades florestais é o transporte da madeira até a fábrica contribuindo dessa forma para o aumento dos custos de produção (BAIN et al., 2003; SULTANA; KUMAR, 2012; COSTA, 2014; MACHADO, 2014; PAULO et al., 2015).

Portanto, a utilização das ferramentas de SIG, são fundamentais para a aquisição de novos ativos e novos contratos a longo prazo dentro das empresas do setor florestal brasileiro. Elas diminuem o tempo destinado as prospecções e deslocamentos a campo em busca de terras pela região de interesse, agilizando o processo de avaliação e decisão de compra, arrendamento e programas de fomento. Desta forma, economiza-se o tempo atribuído às vistorias de campo a serem realizadas nas propriedades de interesse pelas equipes multidisciplinares da empresa e ganhos financeiros com a escolha de áreas com documentação do imóvel correta, ambientalmente legalizada e com maior quantidade de área potencial para plantio do eucalipto.

#### 4.5. Zoneamento edafoclimático

A madeira, matéria prima responsável pela produção nas empresas florestais vem principalmente dos plantios de espécies como as dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, que se encontram cultivados por todo Brasil (IBÁ, 2019).

As variáveis edafoclimáticas temperatura e deficiência hídrica exercem grande influência sob a escolha das áreas de implantação pois uma vez que se identifica o clima é possível a seleção de espécies que melhor se adaptam à região (ALVARES et al., 2013).

Para se desenvolver, cada espécie necessita da absorção de quantidades diferentes de água, luz e nutrientes. Um dos fatores que mais colocam em risco o bom desenvolvimento dos plantios é o déficit hídrico, causado pela irregularidade de precipitação durante os meses do ano, sendo assim prejudicial à boa produtividade do eucalipto (XAVIER et al., 2013). As plantas impactadas pela deficiência hídrica tem redução em seu crescimento em altura e diâmetro (MARTINS, 2007; TATAGIBA et al., 2009).

A temperatura do ambiente é fortemente influenciada pela altitude do local, em que, locais mais altos apresentam temperaturas mais baixas (VIANELLO; ALVES, 2004), esta relação é explícita para o Triângulo Mineiro, em que a região oeste do território apresenta menores altitudes, em média 450 metros e maiores temperaturas (25 a 26°C), já nas regiões central e leste encontram-se altitudes maiores, entre 850 a 1000 m com temperaturas entre 21 e 24°C (BORGES; LEITE; LEITE, 2018).

Outra variável utilizada para a realização do zoneamento edafoclimático são os tipos de solo. Os Gleissolos apresentam limitações ao cultivo de espécies florestais, principalmente devido a alagamentos frequentes além da fertilidade natural baixa à média e com restrições ao uso de máquinas para o preparo de solo e manutenções dos plantios (EMBRAPA, 2006; AMARAL, 2007; BOGNOLA et al., 2020; PALMA et al., 2020). Os Neossolos Quartzarênicos são muito suscetíveis à erosão, limitados quanto à capacidade de armazenamento de água disponível no solo além de altos investimentos na melhoria e na manutenção das condições de produção que podem ultrapassar os ganhos obtidos com a cultura implantada na área. (Coelho et al., 2002; Embrapa, 2006; SANTOS et al., 2018). Os solos indiscriminados apresentam pouca representatividade dentro da região além de possuir restrições físicas e químicas que prejudicam o desenvolvimento das espécies florestais. O Latossolo é o solo com maior ocorrência dentro da região do Triângulo Mineiro, uma vez que ele possui maior abrangência por todo o estado de Minas Gerais, quando comparado aos demais solos, de acordo com dados da FEAM, (2010). A sua aptidão para a inserção da cultura florestal é devido às suas características, como serem profundos, porosos, por apresentarem

características apropriadas para um bom desenvolvimento radicular em profundidade e possibilitar a mecanização das atividades florestais (EMBRAPA, 2006).

Com sua rápida expansão pelo Brasil, o gênero *Eucalyptus* com as suas diferentes espécies e os seus mais diversos clones podem não apresentar índices de produtividades elevados se inseridos em áreas com restrições edafoclimáticas. Por isso, é importante a busca por áreas aptas para que essa cultura possa atingir seu potencial máximo em produção de madeira (BOGNOLA et al., 2009).

O desenvolvimento de um zoneamento para estas espécies possibilita o gerenciamento das atividades a serem desenvolvidas nas áreas. Assim, é possível identificar os impactos que podem ser causados ao meio ambiente e mapear os locais apropriados para realizar as atividades florestais (MARIN; ANDREO; MUDARRA, 2015). Todas as informações geradas pelo zoneamento, possibilitam também ganhos econômicos, pois as áreas com maior aptidão e potencial florestal são identificadas durante o processo, minimizando os impactos sobre o meio ambiente, identificando qual o manejo adequado para ser utilizado em cada região e conscientizando o uso dos recursos naturais de forma sustentável (GENG et al., 2014).

Para a elaboração de um zoneamento direcionado a uma atividade específica, o uso do SIG é importante para se definir onde os plantios florestais terão maior sucesso. As informações geradas com todos os dados coletados da região, ficam registradas em um único banco de dados, possibilitando dessa maneira a escolha das melhores áreas (FRANCELINO; REZENDE; SILVA, 2012; MORAES et al., 2014). Diversos trabalhos demonstram que o SIG automatiza tarefas executadas de forma manual e facilita a realização de análises complexas englobando dados georreferenciados (FLORES; ALBA; GARRASTAZÚ, 2009; MOREIRA et al., 2015; WREGGE et al., 2017). Para atingir o resultado de interesse com o zoneamento é necessário primordialmente definir os fatores que de alguma forma acarretarão uma solução satisfatória ou não do empreendimento. As atividades florestais, principalmente aquelas ligadas à silvicultura, tem interface direta com os fatores relacionados ao meio ambiente, por isso considera-se os principais direcionadores: o solo, o relevo e o clima. Estes fatores são cruciais para estabelecer as zonas de aptidão de cada região de interesse (BOLDRINI, 2009; KLIPPEL et al., 2013; FRAGA et al., 2018).

A definição das áreas de aptidão climática para o cultivo de espécies florestais, denominadas como áreas aptas, restritas e inaptas, é o objetivo principal do zoneamento edafoclimático. A escolha correta das áreas aptas para o cultivo do eucalipto



possibilita uma redução dos custos e de tempo quando comparado com os métodos tradicionais de zoneamento (FRANCELINO; REZENDE; SILVA, 2012). O estudo de viabilidade e tomada de decisão para aquisição, arrendamento ou realização de programas de fomento torna-se mais eficaz, pois com o zoneamento edafoclimático há um direcionamento de quais áreas são aptas para atender as especificações de desenvolvimento da cultura.

Para a instalação de novos empreendimentos florestais no Triângulo Mineiro, é vital a produção de madeira para abastecimento fabril. Para que isto ocorra é necessário utilizar as ferramentas de SIG para agrupar em um único banco de dados, informações sobre a ocorrência de incêndios na região de interesse e também a realização do zoneamento edafoclimático das espécies florestais, buscando dessa forma identificar as áreas aptas para seu cultivo (MORAES et al., 2014).

#### 4.6. Incêndios florestais

O cultivo do eucalipto passa por diversas etapas, desde a escolha da área a ser implantada a cultura, tratos silviculturais até a colheita, baldeio e transporte da madeira para o pátio das empresas consumidoras. Existe um horizonte de planejamento das atividades a serem realizadas para que elas aconteçam de forma ambientalmente adequada, socialmente justa e economicamente viável.

Um incêndio florestal é todo fogo que age sem controle em qualquer tipologia vegetal, o que pode ser provocado por ações antrópicas ou causas naturais (RAMOS 1995; SILVA, 1998). Em geral, são responsáveis pela destruição de milhões de hectares de florestas em todo o mundo e geram perdas financeiras, sociais e ambientais e podem ocorrer em plantios florestais, unidades de conservação e preservação, margens de estradas, áreas urbanas e outras localidades (FIEDLER; RODRIGUES; MEDEIROS, 2006; COSTA et al., 2009; KNELMAN et al., 2017; RODRÍGUEZ et al., 2017).

O Brasil, está entre os cinco países do mundo que possuem maior risco de ocorrências de incêndios florestais (MENG; DENG; SHI, 2015). Os incêndios florestais no Brasil eram vistos como acidentes causados por agricultores e pecuaristas, recebendo verdadeira atenção e tratativas somente no fim da década de 90, quando os

órgãos governamentais diagnosticaram os incêndios como um problema ambiental de maior escala, gerando além de danos econômicos, impactos sociais aos locais e áreas do entorno que foram atingidas pelo fogo e também à sua população (SOARES; BATISTA; NUNES, 2009). De acordo com Caúla et al. (2015), houve um aumento significativo da quantidade de focos de incêndios no Brasil nos últimos anos, devido principalmente as atividades agropastoris nas regiões centro-oeste, nordeste e sul, desmatamentos na região norte e atividades de agricultura, mineração e das indústrias na região Sudeste.

De acordo com estudos realizados por Pereira et al. (2014), no estado de Minas Gerais, entre os anos de 1999 a 2009 foi possível catalogar uma média de 6.121 focos por ano, sendo que o ano de 2003 apresentou o maior registro com um total de 10.929 focos e as maiores ocorrências foram registradas no mês de outubro e nas regiões norte e nordeste do estado.

Perante essas informações, é possível desenvolver e planejar um controle mais eficaz, pois conhecendo os meses do ano e locais de maior ocorrência dos focos de queima torna-se mais eficiente a liberação dos recursos que serão utilizados para se proteger o meio ambiente, evitando maiores riscos à sobrevivência das florestas (OLIVEIRA et al., 2004; RODRÍGUEZ et al., 2013; TORRES et al., 2016). Para se obter informações seguras e através delas planejar as melhores táticas de prevenção e combate aos incêndios, é necessário o registro dos eventos durante o decorrer do tempo, gerando uma série histórica, além de mapas de ocorrência de focos de calor que são essenciais para se obter uma melhor perspectiva sobre o comportamento dos incêndios e da relação fogo e clima (SYPHARD et al., 2008; NICOLETE; ZIMBACK, 2013).

O uso do SIG, possibilita a obtenção de mapas com maior agilidade e precisão através do cruzamento de diferentes tipos de dados, como por exemplo: as características da vegetação, variáveis meteorológicas, declividade e face de exposição do terreno; uso e cobertura da terra, atividades antrópicas, entre outros fatores. Ao integrar estas informações em um único banco de dados, possibilita estimar as áreas de riscos e definir os zoneamentos para a implantação de culturas e empreendimentos florestais. (FARIA; SILVA; GOES, 2003; BATISTA et al., 2014; WHITE, WHITE, RIBEIRO, 2016).

Na literatura, encontram-se vários modelos que foram usados para desenvolver zoneamentos de riscos de incêndios, como por exemplo Ferraz; Vettorazzi (1998);

Mohammadi; Bavaghar; Shabani (2013); Eugenio et al. (2016). Para se obter um modelo confiável para a área do Triângulo Mineiro é essencial a obtenção de uma série histórica consistente ligada à coleta de dados de focos de queima e suas causas, pois através dessas informações serão confeccionados mapas de riscos de incêndios dentro das áreas aptas ao plantio das espécies florestais em estudo, que são fundamentais para se desenvolver metodologias de combate e prevenção à incêndios, possibilitando a alocação mais assertiva dos recursos disponíveis, além da delimitação de áreas destinadas às culturas florestais.

#### 4.7. Modelagem de incertezas *Fuzzy*

Para a obtenção de resultados satisfatórios e confiáveis referentes a viabilidade do estudo de risco de incêndios florestais é necessário a utilização de ferramentas computacionais capazes de processar grandes quantidades de dados gerando assim informações que auxiliarão no planejamento e tomada de decisões das atividades florestais. Para o processamento destes dados é de suma importância a integração de ferramentas e técnicas, principalmente aquelas ligadas ao SIG e a Lógica *Fuzzy*.

A teoria dos conjuntos *Fuzzy* ou lógica nebulosa foi desenvolvida no início dos anos 60, pelo engenheiro e professor Lofti Asker Zadeh quando ele trabalhava com problemas de classificações de conjuntos que não possuíam fronteiras bem delimitadas. A teoria trabalha com base em conceitos e situações incertas (BARROS; BASSANEZI, 2006), ou seja, baseia-se em uma análise multicriterial que tem como objetivo encontrar uma avaliação de aptidão, combinando variáveis onde as fronteiras não são bem definidas sem estabelecer limites rígidos entre classes (CHENG; CHANG; LIN, 2006). A lógica *Fuzzy* agrega possibilidades de melhoria de interpretação dos dados e sustenta os modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exatos, simulando a realidade do pensamento humano que é cheio de incertezas (GOMIDE; GUDWIN; TANSCHKEIT, 1995; PAULA; SOUZA, 2007; PELUZIO, 2017).

Através dessa teoria é possível a automatização de atividades relacionadas a problemas que compreendam situações ambíguas, que necessitam de respostas para se obter um bom desempenho. Porém, para chegar a uma solução, não existem so-

mente dois valores de verdade possíveis. A lógica *Fuzzy* utilizada neste trabalho, baseia-se na teoria dos conjuntos, ou seja, define possibilidades, não probabilidades. O grau de pertinência é estabelecido por um número no intervalo que varia entre 0 e 1, ou seja, pode-se definir que a incerteza completa do conjunto será representada pelo valor “0” e a certeza absoluta pelo valor “1”. Desse modo, representa o valor que uma variável está de acordo com um determinado conjunto. Atualmente, a técnica encontra-se difundida em diversos setores como o ambiental, da medicina, engenharias e outros.

Portanto, a Lógica *Fuzzy* conforme Juvanhol (2014) pode ser empregada para a delimitação do risco de ocorrência e propagação de incêndios florestais.

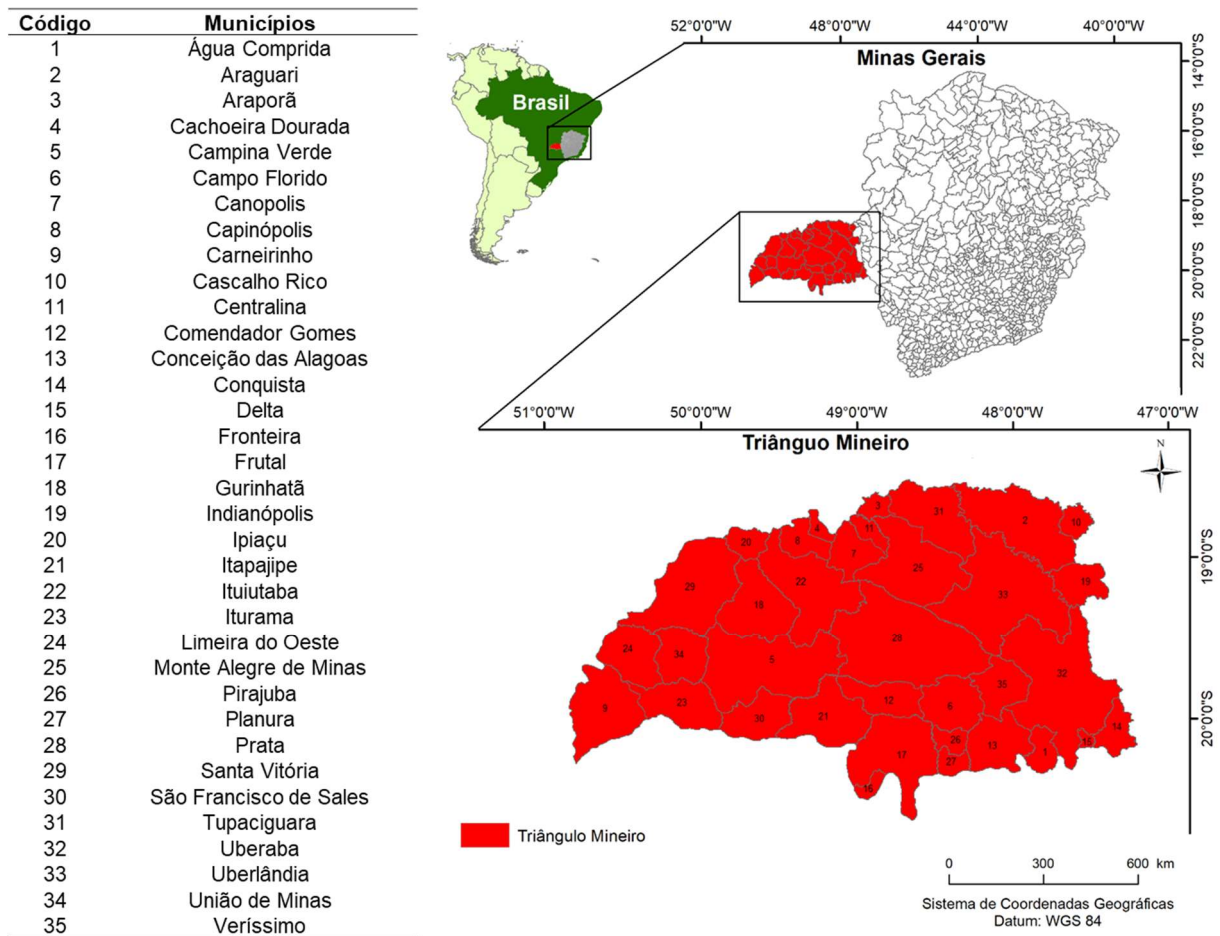
## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. Área de estudo

A área de estudo foi o Triângulo Mineiro que se encontra na região oeste de Minas Gerais entre os paralelos 18°18' e 20°24' de latitude sul e os meridianos de 47°29' e 51°03' de longitude a oeste de Greenwich (Figura 3), composto por 35 municípios.

A região é limitada pelos Rios Paranaíba e Grande, que possuem os Rios São Domingos, Araguari e Tijuco como bacias secundárias. A bacia do rio Paranaíba é responsável por drenar aproximadamente 75% da área do Triângulo Mineiro (EMBRAPA, 1982). Grande parte do Triângulo Mineiro é caracterizado como clima tropical com inverno seco (Aw), que pode ser observado em trabalhos realizados por Sparovek; Van Lier; Dourado Neto, (2007); Sá Júnior (2009) e Beck et al. 2018. Os solos são compostos em sua maior parte por Latossolos Vermelhos de acordo com os estudos levantados por FEAM (2010).

Figura 3 - Área de estudo



Fonte: O autor (2021).

## 5.2. Elaboração do banco de dados para o zoneamento edafoclimático de *Eucalyptus* e *Corymbia*

Abaixo estão listadas as variáveis utilizadas para realização do zoneamento edafoclimático e os métodos utilizados para obtenção das mesmas.

**Dados climáticos:** Os dados climáticos em uma série de 37 anos (1980 a 2016) para a região do Triângulo Mineiro, foram extraídos da base de dados interpolados e atualizada até o ano de 2016 por Xavier; King; Scanlon, (2015) com precisão de 25 km, em que foram gerados 160 pontos. Utilizou-se a ferramenta Localizar Centróides, criando desta forma as feições de pontos que representam o centro geométrico (centróide) com base no tamanho da resolução da informação de Xavier (25 km).

Para cada ponto foram geradas planilhas com as variáveis: temperatura (T) - mín, med., máx. (°C), umidade relativa do ar (%), precipitação (mm), velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ), radiação solar ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) em escala diária. Foram geradas para os dados de temperatura, umidade do ar e velocidade do vento, médias anuais e, para a precipitação e radiação solar, o somatório anual. Para cada variável gerou-se a média de todo o período, assim obteve-se um valor representativo de cada variável em cada ponto.

**Capacidade de armazenamento de água no solo (CAD):** a CAD para cada um dos 160 pontos, foi obtida por meio da base de dados geradas no trabalho de Rossato; Alvalá; Tomasella (2004) em que, por meio dos atributos físicos e hídricos do solo, foram interpoladas CAD's a 1,20 m de profundidade para todo o território brasileiro. Para extração dos dados, utilizou-se o software ArcGIS®, versão 10.3.

**Altitude (Alt):** a altitude foi extraída utilizando-se os mapas do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), liberado gratuitamente no portal da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária na escala de 1:250.000 na projeção cartográfica WGS 84 (EMBRAPA, 2005).

**Balanço hídrico sequencial (BHS):** para determinação da deficiência hídrica do solo (DEF) foi realizado o balanço hídrico sequencial proposto por Thornthwaite; Matter (1955) e a evapotranspiração potencial (ETP) calculada pelo método de Penman-Monteith, parametrizado pelo boletim da FAO (PM-FAO 56). O BHS foi calculado em escala mensal para cada um dos 160 pontos, para se obter os valores de DEF anual e posteriormente, a média dos 36 anos. Utilizou-se as variáveis climáticas, altitude e CAD no software Microsoft Office Excel®, versão 2013, para geração do BHS de acordo com as etapas descritas por Rocha et al. (2020).

**Tipos de solo (TS):** para identificação dos tipos de solo presentes na região do Triângulo Mineiro foi utilizado o banco de dados disponível no site da Agência de Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema) do estado de Minas Gerais.

**Exigências edafoclimáticas das espécies:** para realizar o zoneamento edafoclimático de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*, obteve-se as exigências com relação à temperatura, deficiência hídrica e tipos de solo de acordo com os estudos realizados por Ferreira (1997); Carneiro et al. (2006); Paiva et al. (2007); Scolforo et al. (2008); Sperandio et al. (2010); Reis et al. (2017). As tabelas 1, 2 e 3 descrevem as faixas de aptidão de acordo com a exigência edafoclimática de cada espécie.

**Tabela 1.** Faixas de aptidão térmica para as espécies florestais *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*

Aptidão	Temperatura (°C)			
	C.C	E. G	E.U	E. U x E. G
Apta	20 a 24	17 a 23	19 a 26	18 a 25
Restrita	19 a 20 e	15 a 17 e	18 a 19 e	17 a 18 e
	24 a 25	23 a 25	26 a 27	25 a 26
Inapta	< 19 e > 25	< 15 e > 25	< 18 e > 27	< 17 e > 26

**Tabela 2.** Faixas de aptidão hídrica para as espécies florestais *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*

Aptidão	Deficiência hídrica (mm)			
	C.C	E.G	E.U	E.U x E.G
Apta Sem Irrigação	< 90	< 120	< 210	< 170
Apta com Irrigação Ocasional	90 a 270	120 a 240	210 a 310	170 a 340
Apta com Irrigação Obrigatória	> 270	> 240	> 310	> 340

**Tabela 3.** Faixas de aptidão edáfica para as espécies florestais *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*

Aptidão	Tipos de Solo
Apta	Argissolo
	Cambissolo
	Chernossolo
	Latossolo
	Neossolo flúvico
	Neossolo litólico
	Nitossolo vermelho
	Organossolo háplico
Inapta	Afloramento de rocha
	Espodossolo
	Gleissolo
	Neossolo quartzarênico
	Solos indiscriminados

De posse de toda a base de dados, foi gerada uma planilha contendo todos os dados de coordenadas geográficas, climáticos, altitude e deficiência hídrica para os 160 pontos, bem como os mapas de tipos de solo, para a região do Triângulo Mineiro e, foram importados para o ArcGIS®, versão 10.3 e projetados para WGS84 para condução do zoneamento edafoclimático para as espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*.

### 5.3. Zoneamento edafoclimático das espécies florestais

A temperatura média anual para os 37 anos foi interpolada para a região do triângulo mineiro utilizando-se a ferramenta de interpolação matricial por tendência com o modelo de regressão linear múltipla, proposto por Ribeiro (2013) e ajustado de acordo com os dados disponíveis para a região (Equação 1). A equação apresentou medidas de precisão:  $R^2$ : 0,95 e erro de 9,87%.

$$T = 30,2009 + (0,2470 * Lat) - (0,0404 * Long) - (0,0052 * Alt) \quad (\text{Eq.1})$$

Em que: T é a temperatura (°C); Lat é a latitude (X); long é longitude (Y) e Alt é a altitude em metros.

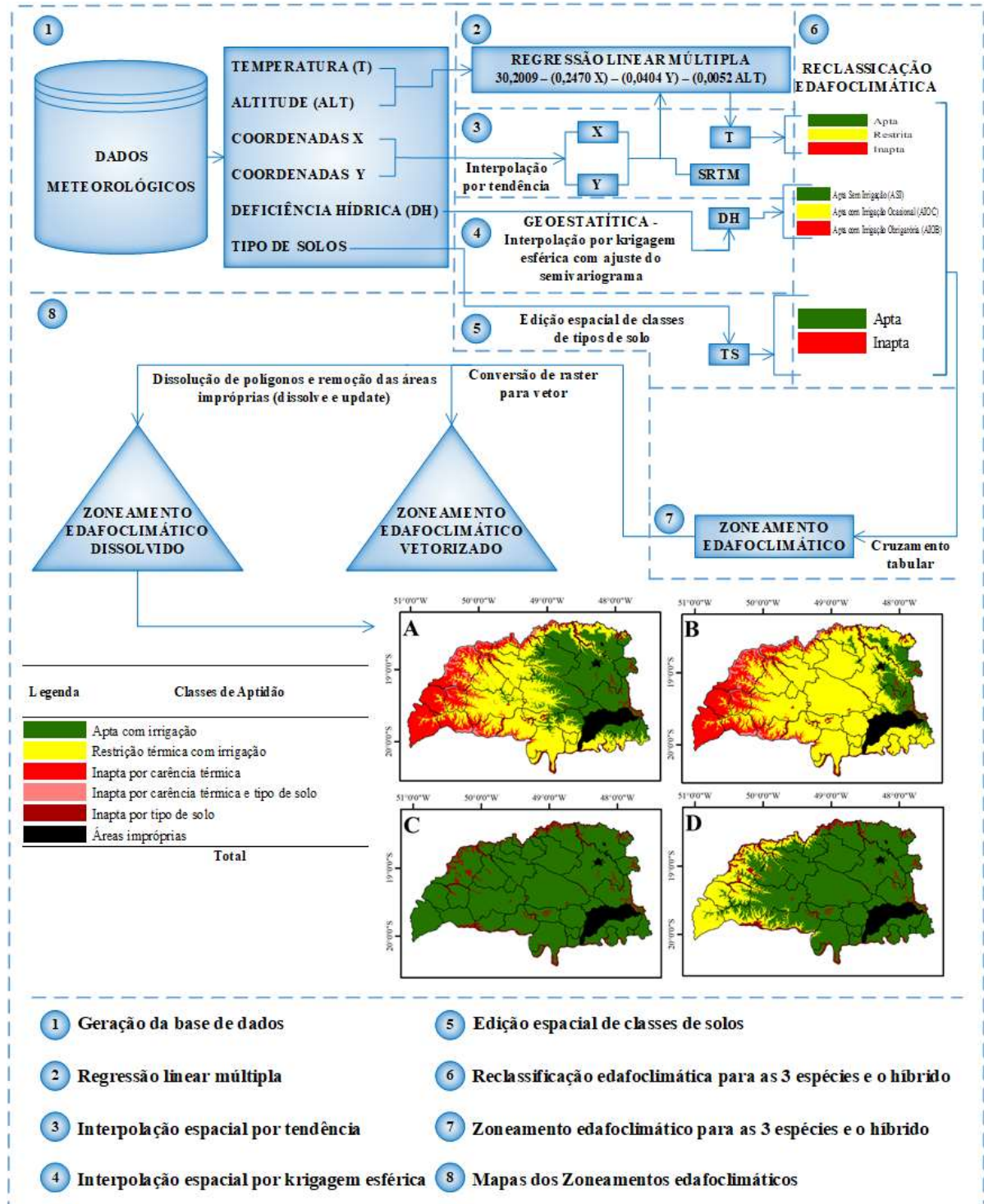
A deficiência hídrica anual foi interpolada por meio da Krigagem ordinária, utilizando o modelo semivariograma esférico como técnica geoestatística. Os mapas de tipos de solo foram editados com a função “conversão de polígono para raster” com o objetivo de gerar a imagem matricial dos principais tipos de solo para o Triângulo Mineiro. De tal modo, gerou-se os mapas de temperatura, deficiência hídrica e tipos de solo para o Triângulo Mineiro.

De acordo com o mapeamento das variáveis edafoclimáticas no Triângulo Mineiro e as exigências das espécies, conduziu-se a reclassificação espacial para cada espécie e para cada variável (T, DEF, TS), identificando espacialmente as faixas de aptidão para cada uma delas de acordo com a descrição das Tabelas 1, 2 e 3. Em seguida, os dados foram combinados para gerar mapas com as três variáveis (T, DEF e TS) para cada uma das espécies, obtendo-se o zoneamento edafoclimático para as espécies em estudo.

A Figura 4, descreve o fluxograma metodológico que compreende as etapas executadas para o desenvolvimento do zoneamento edafoclimático para as espécies florestais de *Eucalyptus* e de *Corymbia*.



Figura 4 - Etapas metodológicas realizadas para o desenvolvimento do zoneamento edafoclimático para as espécies de *Eucalyptus* e de *Corymbia*.



Fonte: O autor (2021).

X: Latitude; Y: Longitude; T: A: *Corymbia citriodora*; B: *Eucalyptus grandis*; C: *Eucalyptus urophylla*; D: (*Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* X *E. urophylla*)).

### 5.3.1. Vetorização espacial do zoneamento edafoclimático

Para sequência do trabalho, as imagens matriciais representativas do zoneamento edafoclimático para cada espécie florestal, foram convertidas para o formato vetorial poligonal por meio da função “*raster to polygon*”. Quando essa conversão é feita, são gerados diversos polígonos de características semelhantes, dificultando assim a análise dos dados. Para solucionar o problema, ocasionado pela grande quantidade de polígonos gerados após o processo de conversão vetorial, foi aplicada a função “dissolução” poligonal, tendo como saída uma nova imagem vetorial com tabela de atributos contendo apenas as classes derivadas da aptidão, restrição e inaptidão.

Por fim, na tabela de atributo da imagem vetorial poligonal dissolvida, foi criado três novos campos: área, perímetro e porcentagem. Em estado de edição, foi utilizada a função “cálculo geométrico”, calculando desta forma, as áreas em hectares (*ha*) para as classes de aptidão determinadas. Por fim, por intermédio da função “calculadora de campos”, foi calculada a porcentagem das classes de aptidão, através da Equação 2.

$$Pa = \frac{A_i * 100}{A} \quad (\text{eq.2})$$

Em que: *Pa* é a Porcentagem de área; *A<sub>i</sub>*: Área da classe de aptidão e *A* é a Área do Triângulo Mineiro

De posse dos mapas de zoneamento edafoclimático para as três espécies florestais e um híbrido em análise, foram selecionadas as áreas aptas ao cultivo por meio da ferramenta de seleção e exportação do ArcGIS, denominada “*Export data*”, criando um arquivo vetorial com as classes aptas ao cultivo, nas quais foram gerados os mapas de risco de incêndios florestais.

#### 5.4. Modelagem dos riscos de incêndios florestais

Por meio do uso da Lógica *Fuzzy* para se modelar o RIF, foi utilizado o software ArcGIS®, versão 10.3, que permitiu simular, através do uso de possibilidades, as incertezas e transições comuns no mapeamento. Devido a isso, foi possível a obtenção e organização da base de dados para se desenvolver uma modelagem do RIF, utilizando-se as variáveis: uso e ocupação da terra, orientação do relevo, declividade e proximidade a estradas.

Com isso, a escolha da função de pertinência foi estabelecida de acordo com a função mais adequada para descrever a influência de cada variável ao RIF. Com exceção do uso e ocupação da terra, as demais variáveis foram calculadas com o método de classificação de quebras naturais de Jenks.

##### 5.4.1. Uso e ocupação da terra

O mapa de uso e ocupação da terra, obtido no MapBiomias 2019, auxiliou a compreensão dos padrões de organização do espaço geográfico do Triângulo Mineiro possibilitando desta maneira identificar as classes de uso e ocupação da terra. Desta forma, o arquivo matricial foi convertido em formato vetorial para cálculo de área de cada classe de uso e ocupação da terra.

A padronização dos valores de entrada de uso e ocupação da terra sobre a imagem matricial de RIF foi através da função de pertinência *Fuzzy Gaussian*. Esse tipo de função de pertinência tem um decaimento suave e tem valores diferentes de zero para todo domínio da variável estudada, ou seja, 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), (SILVA; PONTES, 2011).

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

Em que:  $\sigma = 0,1$ ; é o parâmetro que determina a inclinação ou propagação da curva;  $x$  e o valor da classe de uso e ocupação da terra na imagem matricial e  $a$  corresponde ao valor no ponto médio (11) que define o ponto central para a função em que  $\mu(x)$  adquire 1.

A tipologia florestal e a ocupação da terra pelo homem foram reclassificadas em função do potencial ao risco de incêndios florestais, em concordância com as suas características e cobertura vegetal, como, as espécies presentes na área, estágio de desenvolvimento, tipo de manejo, existência de recursos hídricos na região, avaliação dos perímetros urbanos, estradas entre outros (Tabela 4), conforme recomenda Juva-nhol (2014).

Tabela 4. Classe de uso e ocupação da terra reclassificada em função do potencial para o risco de incêndios florestais

<b>Classes de uso e ocupação da terra</b>	<b>Valor reclassificado</b>
Corpos d'água	0
Formação Florestal	1
Outras áreas não vegetadas	3
Formação campestre	5
Pastagem	7
Cana-de-açúcar	9
Formação savânica	11
Agricultura ou pastagem	13
Outras lavouras temporárias	15
Floresta plantada	17
Soja	19
Lavoura perene	21
Infraestrutura urbana	23

Fonte: O autor (2021).

Os pesos concedidos às classes de uso e ocupação da terra foram estabelecidos com base no potencial de risco de incêndios. As áreas com corpos d'água apresentam menor risco de incêndio, com exceção em ocasiões específicas, como por exemplo, nas atividades de recreação em suas margens, sendo assim foi atribuído o valor 0.

O manejo do fogo utilizado para o preparo do solo e renovação das pastagens, tanto na agricultura quanto na pecuária, caracteriza um fator de risco ao início do incêndio florestal e, por isso, foi atribuído peso 7 para pastagem e peso 9 para cana-de-açúcar uma vez que essa cultura representa altos riscos de incêndios, devido à grande quantidade de material combustível e muitas vezes a utilização do fogo em sua colheita, mesmo sendo ilegal essa prática de acordo com a Lei nº 11.241 que foi regulamentada pelo decreto nº 47.700, de 11 de março de 2003. Dessa forma, o peso 13 foi

atribuído para o mosaico de agricultura e pastagem e o peso 15 para outras lavouras temporárias.

Os plantios florestais devido ao acúmulo de material combustível durante o seu ciclo de crescimento, facilita a propagação do fogo pela área segundo White, (2014) por este motivo foi atribuído peso 17. A formação florestal, recebeu peso 1, pois o ambiente apresenta um microclima mais ameno e os combustíveis apresentam um teor de umidade maior e mais estável. As copas das árvores interceptam a radiação solar, reduz a temperatura do ar e a temperatura do material combustível, funcionando também como uma barreira a correntes de ar no interior da floresta.

À infraestrutura urbana foi atribuída peso 23, pois ela oferece baixo risco de incêndios às florestas, uma vez que existe toda uma estrutura para combate e também para evitar a propagação do fogo. O Cerrado, teve sua extensão territorial modificada para inserção de pastagens e expansão agrícola de monoculturas como a soja, milho, algodão (JANTÁLIA et al., 2007), sendo assim a prática de se utilizar o fogo para limpeza das áreas é algo comum, por isso foi atribuído à formação savânica, o valor no ponto central, com peso atribuído de 11, pois apresenta o maior risco de ocorrência de incêndios florestais. A formação campestre conta com três principais tipos de vegetação, sendo elas: o Campo Sujo, o Campo Limpo e o Campo Rupestre que possui vegetação predominantemente herbáceo-arbustiva, com presença de árvores espaçadas que não ultrapassam os dois metros de altura e com trechos compostos por afloramentos rochosos, porém os riscos de incêndios são médios devido a presença de uma espécie vegetal invasora, o capim gordura (*Melinis minutiflora*) que possui facilidade em propagar o fogo (MARTINS; LEITE; HARIDASAN, 2004), desta forma foi atribuído o peso 5 para a classe de formação campestre. As áreas não vegetadas são compostas principalmente por afloramentos rochosos e dunas, com pouco material combustível e baixo risco de propagação de incêndios, sendo atribuído peso 3 para a classe.

A soja, é plantada em grandes extensões de terras, com altos investimentos em maquinários desde o plantio até a sua colheita, sendo assim foi atribuído peso 19.

Para a lavoura perene foi atribuído peso 21, uma vez que elas possuem maior tecnologia aplicada e planejamento em suas atividades.

#### 5.4.2. Orientação do relevo

A orientação do relevo influencia diretamente a ocorrência e propagação dos incêndios pois atua na alternância da intensidade dos ventos e radiação solar que atinge o terreno.

Utilizou-se a função de pertinência *Fuzzy Generalized Bell* para realizar a modelagem da variável orientação do relevo. Essa função tem como base uma distribuição em forma de sino em torno de um ponto central, indicado com um valor de inclinação 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 localizam entre os dois limites estão na zona de transição do conjunto e assumem graus de pertinência de mesmo valor (Equação 4).

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-f}{g}\right)^{2h}} \quad (\text{eq.4})$$

Em que:  $x$  é o valor da orientação do relevo ( $^{\circ}$ ) na imagem matricial;  $g$  é o parâmetro que modela a inclinação da curva;  $f$  corresponde ao valor no ponto médio, que indica o ponto central para a função em que  $\mu(x)$  iguala a 1 e  $h$  amplitude no ponto central.

A orientação do relevo influencia diretamente o RIF. Utilizando-se a versão do ArcGIS 10.3 para programação desta variável, a face Norte ( $0$  e  $360^{\circ}$ ) foi considerada como de maior risco e a face Sul ( $180^{\circ}$ ) como de menor risco. Para as áreas planas estimou-se o risco como nulo e para os aspectos intermediários o *Fuzzy Generalized Bell* foi utilizado para modelar a variável conforme a simetria presente na função.

#### 5.4.3. Declividade

De acordo com estudos realizados por Soares; Batista; Tetto (2017); Ribeiro et al. (2008), sabe-se que a declividade exerce grande influência na orientação do fogo e também no aumento da velocidade de propagação de suas chamas.

Utilizou-se a função de pertinência *Fuzzy Large* para realizar o estudo da variável declividade. A função retrata a variação do grau de pertinência da imagem matricial com valores de entrada maiores, com maior possibilidade de ser um membro do

conjunto e assumir valor 1. O valor estabelecido 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).

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

Em que: o valor da declividade ( $^{\circ}$ ) na imagem matricial;  $d$  é o parâmetro que determina a inclinação ou propagação da curva e  $e$  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 foram adotados com base em estudos sobre o comportamento do fogo em função do aumento da declividade. Ao se comparar com as condições ao nível do solo, a velocidade do fogo em incêndios que ocorrem em povoamentos florestais de eucalipto pode dobrar em aclives com inclinação de  $10^{\circ}$  e quadruplicar em aclives de  $20^{\circ}$  (SOARES, 1984). Em outro trabalho constatou-se que a velocidade do fogo dobra a cada  $15^{\circ}$  de inclinação até os  $30^{\circ}$  e a partir deste ponto passa a dobrar a cada aumento de  $10^{\circ}$  de inclinação (CHANDLER et al., 1983). Desse modo, foi considerado um valor de  $15^{\circ}$  de declividade no ponto central e um valor de propagação de 3 na imagem matricial para um maior controle na inclinação da curva (JUVANHOL, 2014).

#### 5.4.4. Proximidade a estradas

As estradas foram obtidas do banco de dados do IDE-Sisema, 2019 e classificadas em duas categorias: rodovias e estradas rurais. A rodovia foi definida pelas estradas pavimentadas com duas ou mais faixas de rodagem e dois sentidos de tráfego. As estradas rurais são aquelas não pavimentadas.

Para a definição da variável proximidade a estradas, em primeiro lugar foi utilizado um buffer para estabelecer uma área de influência das estradas sobre o início dos incêndios florestais. Estabeleceu-se uma escala de 25 a 150 metros como sendo a área de influência em torno das estradas, de acordo com Chuvieco; Congalton, (1989); Pew; Larsen (2001), em função da maior locomoção de veículos e pessoas.

Desta maneira, as rodovias foram consideradas com maior influência ao risco de incêndio sendo empregado um buffer de 100 metros e para as estradas rurais foi empregado um buffer de 50 metros.

Após a definição das áreas de cada classe de estradas, a distância euclidiana foi aplicada para determinação da influência de cada uma no RIF. 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 DAB  $(X_a, Y_a)$  e  $(X_b, Y_b)$  é calculada pelo Teorema de Pitágoras. (ROMERO CALCERRADA et al., 2010).

Utilizou-se a função de pertinência *Fuzzy Small* para tratar a variável proximidade a estradas rurais e urbanas. Essa função permite retratar a variação do grau de pertinência da imagem matricial com valores de entrada menores com maior possibilidade de 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 6).

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{c}\right)^b} \quad (\text{eq.6})$$

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

De acordo com estudos desenvolvidos por Iliadis, (2005); Rodríguez Silva et al. (2010); Soto (2012), os valores de entrada para a variável proximidade a estradas rurais e urbanas foram definidos levando em consideração a ocorrência de incêndios florestais a partir da distância a vários tipos de estradas. Sendo assim, segundo a característica das estradas e como estas se apresentam na área de estudo foi determinado um valor de distância de 300 metros 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.



#### 5.4.5. Sobreposição Fuzzy

Para modelar o risco de incêndios em áreas aptas para o cultivo de espécies florestais na região do Triângulo Mineiro, foi utilizado a sobreposição *Fuzzy*. Através dela, foi possível analisar a probabilidade da célula da imagem matricial de certa variável pertencer a cada conjunto *Fuzzy*. De acordo com Juvanhol, (2014), o tipo de sobreposição aponta o método que possibilita combinar os dados com base na análise da teoria de conjuntos. Sendo assim, o método de sobreposição selecionado para a entrada da imagem matricial foi o *Fuzzy Gamma* que é o resultado do produto algébrico do *Fuzzy Sum* e *Fuzzy Product*, ambos elevado a potência da gama (Equação 7).

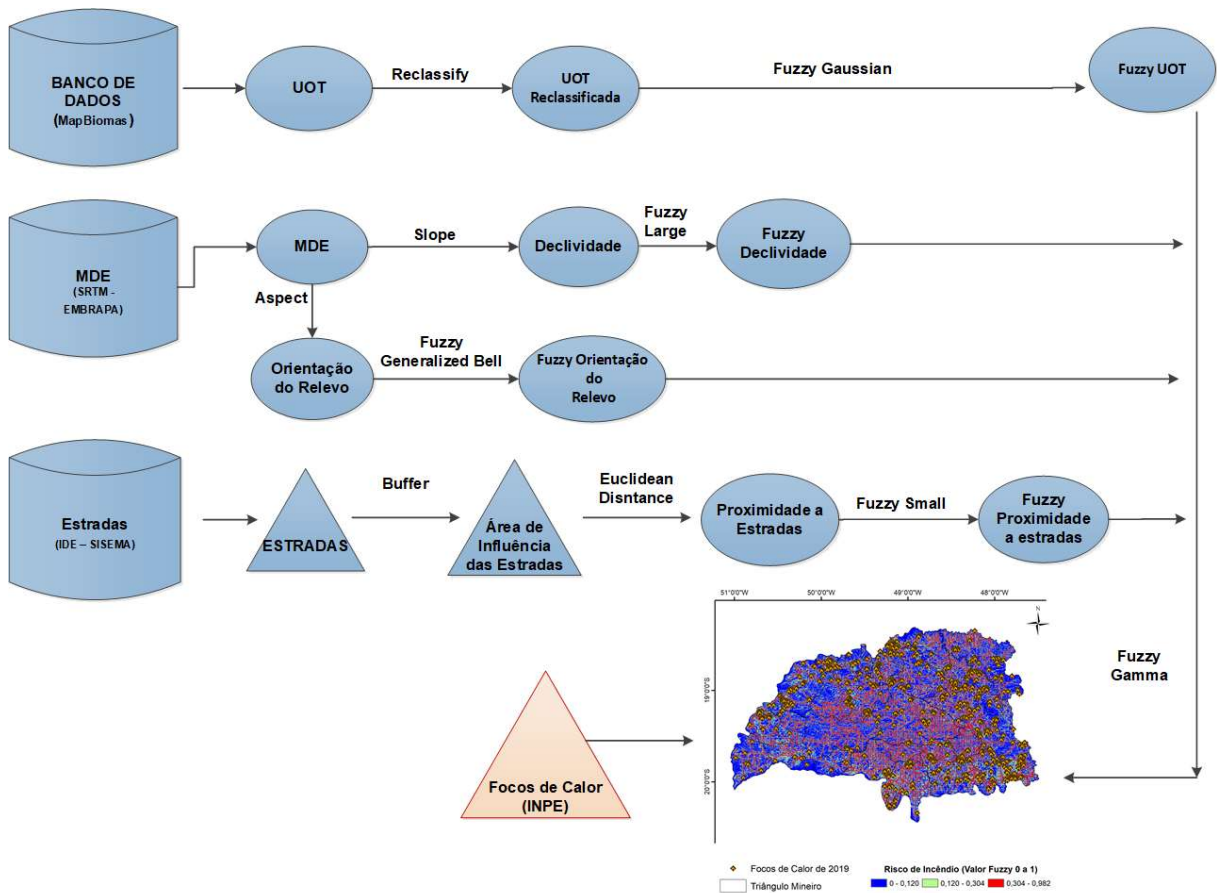
$$\mu(x) = \{1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)\}^y * \{\prod_{i=1}^n \mu_i\}^{1-y} \quad (\text{eq.7})$$

Em que:  $\mu_i$  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 e  $\gamma$  o coeficiente com valores entre 0 e 1.

O *Fuzzy Gamma* possibilita a união do efeito crescente do *Fuzzy Sum* e o efeito decrescente do *Fuzzy Product* e não apenas retorna o valor de um único conjunto *Fuzzy*. Recortou-se o RIF ocorridos em áreas aptas ao plantio (*extract by mask*). O objetivo desta etapa foi disponibilizar a informação para as áreas aptas e verificar se o modelo de RIF gerado neste estudo é condizente com as áreas que apresentam os focos de queima.

Foram acrescentados ao mapa os focos de calor, obtidos por meio do Banco de Dados de Queimadas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e do INPE, disponíveis em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#exportar> - (CPTEC, 2020), de onde extraiu-se os dados referentes ao ano de 2019 (das 00:00 horas do dia 01-01-2019 às 23:59 do dia 31-12-2019) em formato shapefile. Foram obtidos do satélite Aqua Tarde, referência em monitoramento de focos de queima.

Figura 5 - Fluxograma metodológico para a espacialização do risco de incêndios florestais.



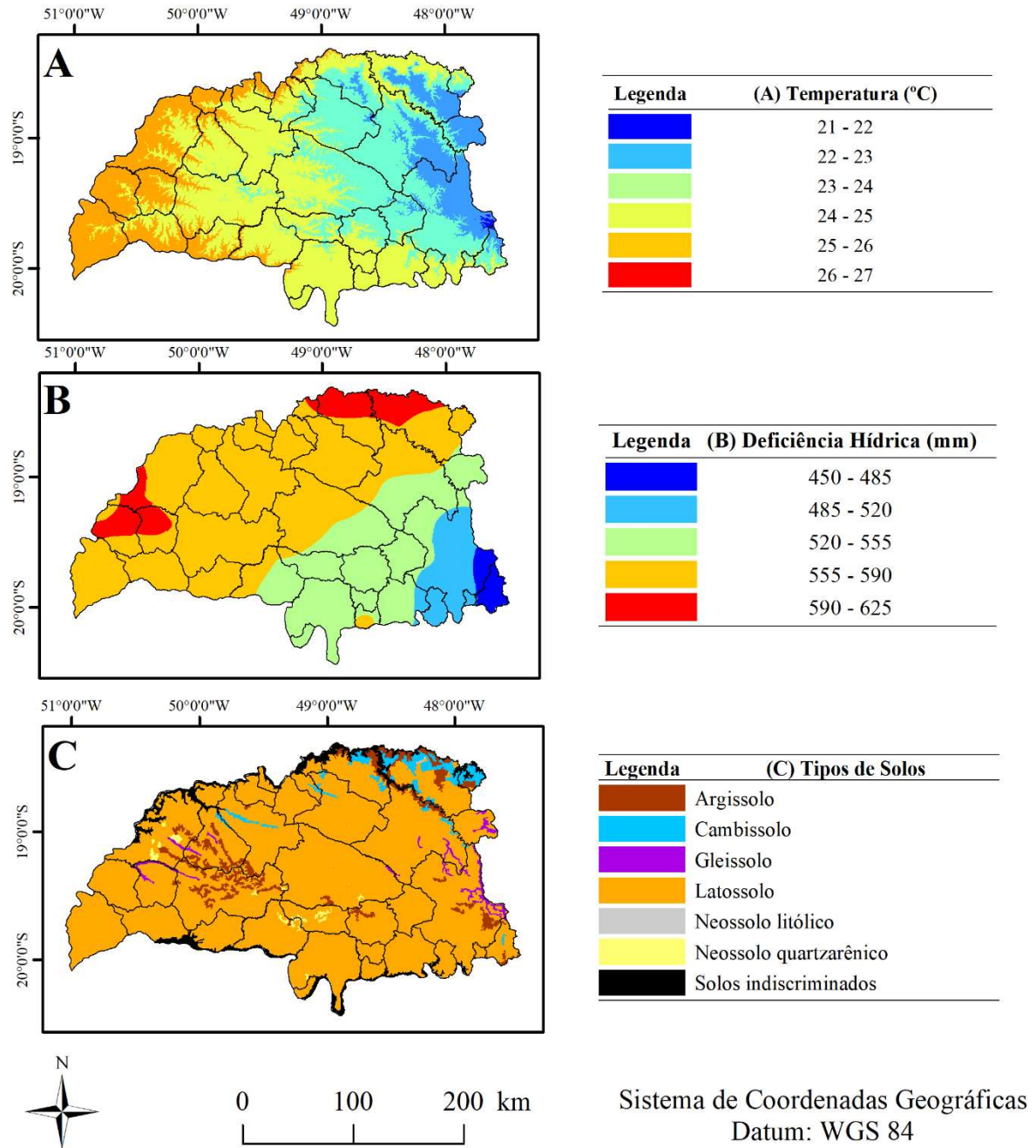
Fonte: Adaptado de Juvanhol (2014).

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Zoneamento edafoclimático de *Eucalyptus* e *Corymbia*

A região do Triângulo Mineiro apresentou temperatura média entre 21°C e 26°C, sendo que, a região leste apresentou amplitude de temperatura entre 21°C e 24°C, temperaturas estas mais baixas que na região oeste, que apresentou amplitude de temperatura entre 24°C e 26°C (Figura 6 – A). A temperatura foi uma variável que proporcionou grande limitação quanto à implantação das espécies florestais dentro do território, sendo um fator limitante para a implantação do *E. grandis* e *C. citriodora* na região Central e Oeste do Triângulo Mineiro.

Figura 6 - Distribuição espacial das variáveis edafoclimáticas temperatura, deficiência hídrica e tipos de solo para a região do Triângulo Mineiro.



Fonte: O autor (2021).

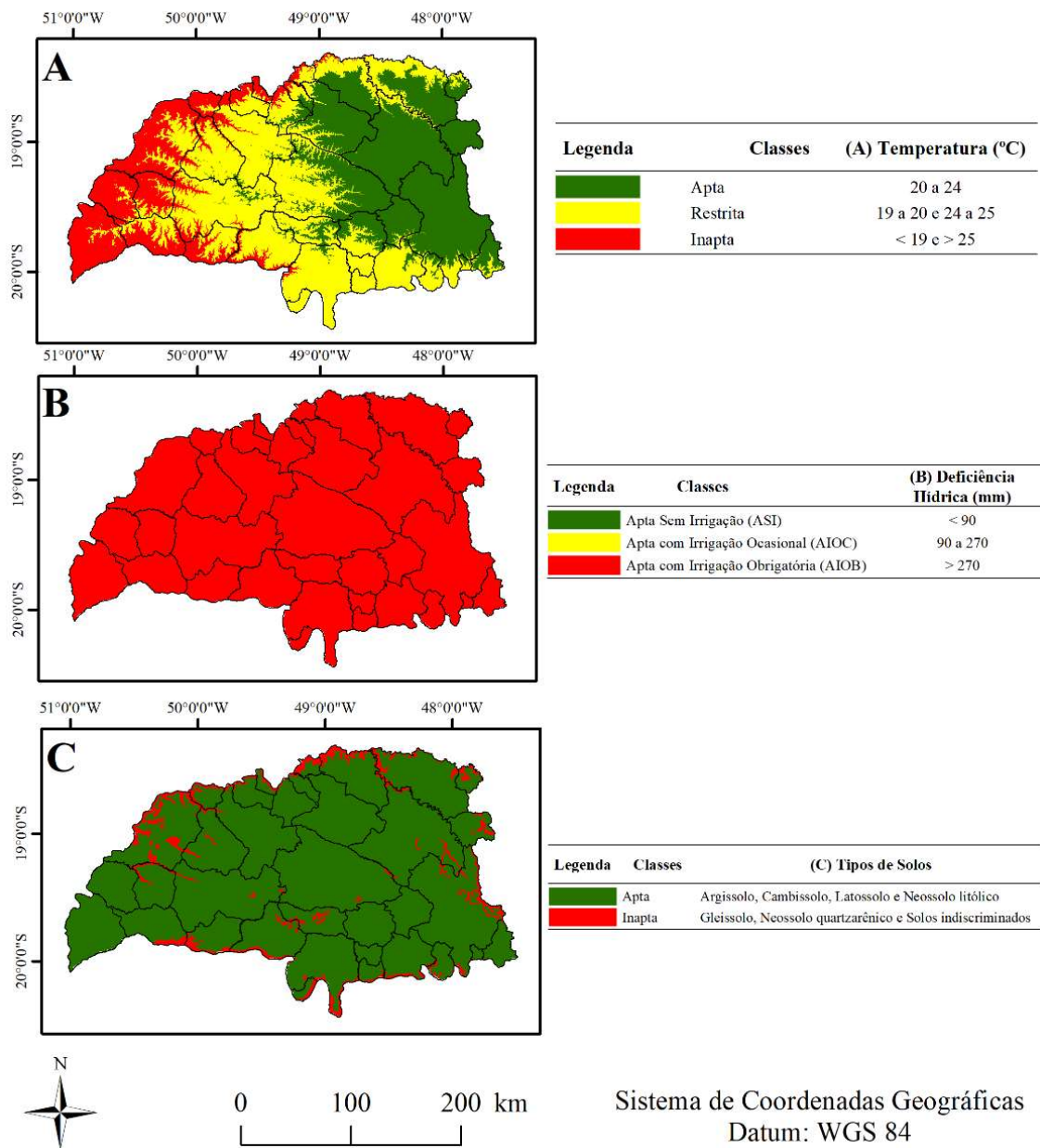
A deficiência hídrica para o Triângulo Mineiro, foi a variável de maior impacto para delimitação das áreas aptas. Ela variou de 450 a 625 mm.ano<sup>-1</sup>, em que, a maior parte da área apresentou DEF entre 555 e 590 mm.ano<sup>-1</sup>, seguido do intervalo de 520 a 555 mm.ano<sup>-1</sup>. Valores de DEF mais baixos e mais altos (450 a 520 mm.ano<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> e 590 a 625 mm.ano<sup>-1</sup>) ocorreram nas regiões de extremidades, em que, fazem divisa com os estados do Goiás, regiões de maiores DEF's e, São Paulo, regiões de menores DEF's (Figura 6 – B). O híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* possui maior resistência ao déficit hídrico seguido do *E. urophylla*, *C. citriodora* e *E. grandis*.

Os Argissolos, Cambissolos, Latossolos e Neossolos litólicos, são solos aptos para a implantação de culturas florestais e estes ocupam a maior parte dos terrenos presentes no Triângulo Mineiro. O Latossolo é o solo de maior predominância na região, seguido por pequenas ocorrências de Argissolo e Cambissolo, principalmente nas extremidades da região. Os Gleissolos, Neossolos quartzarênicos e solos indiscriminados são inaptos para a implantação das espécies florestais. Manchas de Gleissolo foram detectadas nas regiões de extremidade e divisa com a região do Alto Paranaíba, Neossolos quartzarênicos possuem manchas com pouca representatividade espelhadas pela região Central e Oeste e os Solos indiscriminados são encontrados nas divisas com os estados do Goiás e São Paulo. (Figura 6 – C). A variável solo é a que propicia menor limitação à implantação das espécies florestais dentro da região.

A região do Triângulo Mineiro apresentou áreas aptas para plantio de *Corymbia Citriodora* em que, a variação da temperatura foi entre 20°C e 24°C. As áreas restritas apresentaram temperatura entre 19°C a 20°C e 24°C a 25°C e, para as áreas inaptas a temperatura foi menor que 19°C e maior do que 25°C. A deficiência hídrica acima dos 270 mm.ano<sup>-1</sup> torna a irrigação obrigatória em toda a área de plantio com essa espécie. Quanto aos tipos de solo, aproximadamente 96% da área de estudo é apta para o plantio dessa espécie (Figura 7).

Figura 7 - Aptidão para plantio de *Corymbia Citriodora* na região do Triângulo Mineiro, com base em temperatura média anual (°C), deficiência hídrica anual (mm) e tipos de solo.

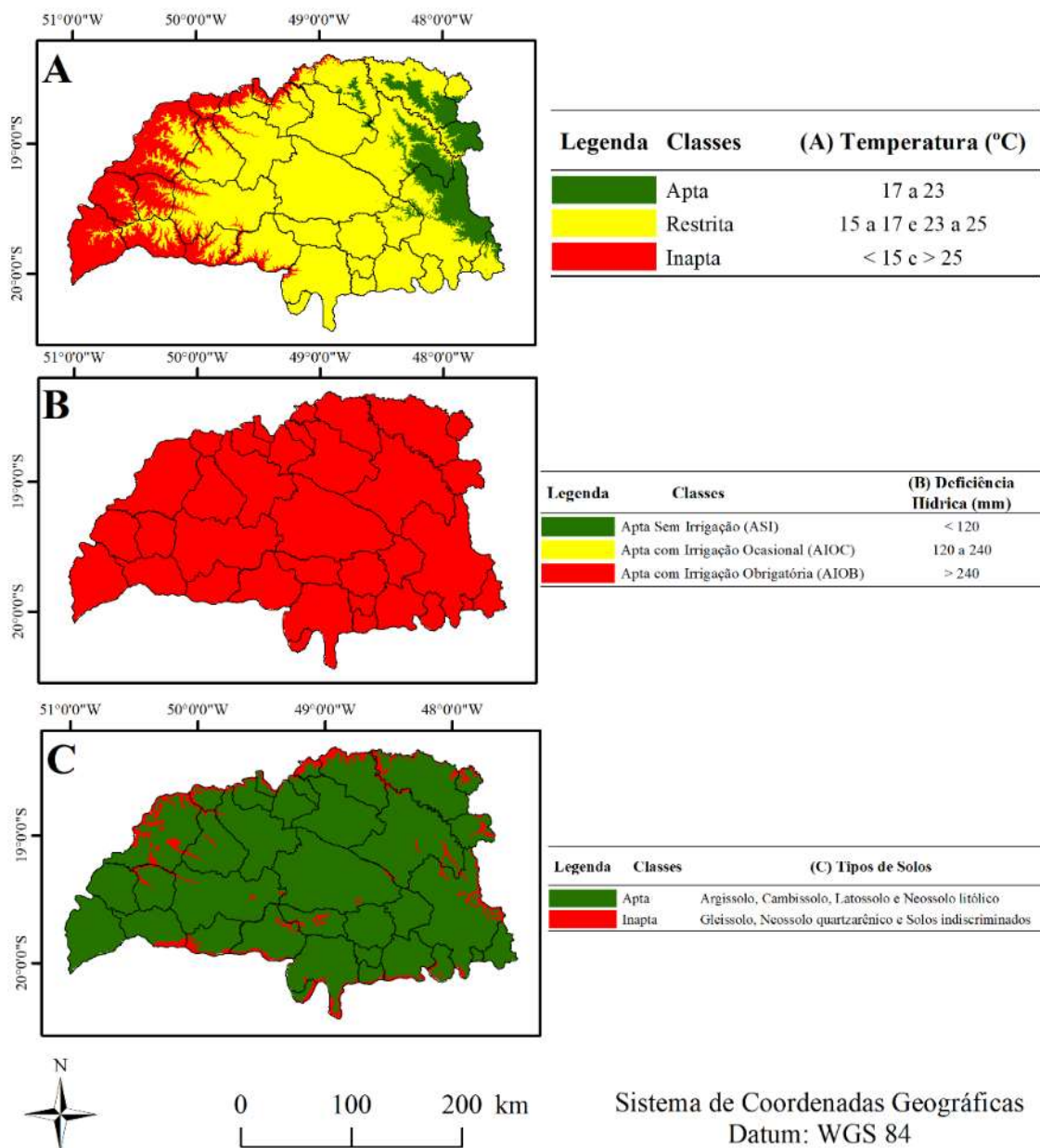


Fonte: O autor (2021).

A região do estudo apresentou áreas aptas para plantio de *Eucalyptus grandis* onde a variação da temperatura foi entre 17°C e 23°C. As áreas restritas apresentaram temperatura entre 15°C a 17°C e 23°C a 25°C e para as áreas inaptas a temperatura é menor que 15°C e maior do que 25°C. A deficiência hídrica acima dos 240 mm torna a irrigação obrigatória em toda a área de plantio com essa espécie.

Quanto aos tipos de solo, aproximadamente 96% são aptos para o plantio dessa espécie sendo que as áreas inaptas encontram-se nas regiões de extremidades, ou seja, divisa com a região do Alto Paranaíba e os estados de São Paulo e Goiás (Figura 8).

Figura 8 - Aptidão para plantio de *Eucalyptus grandis* na região do Triângulo Mineiro, com base em temperatura média anual (°C), deficiência hídrica anual (mm) e tipos de solos.

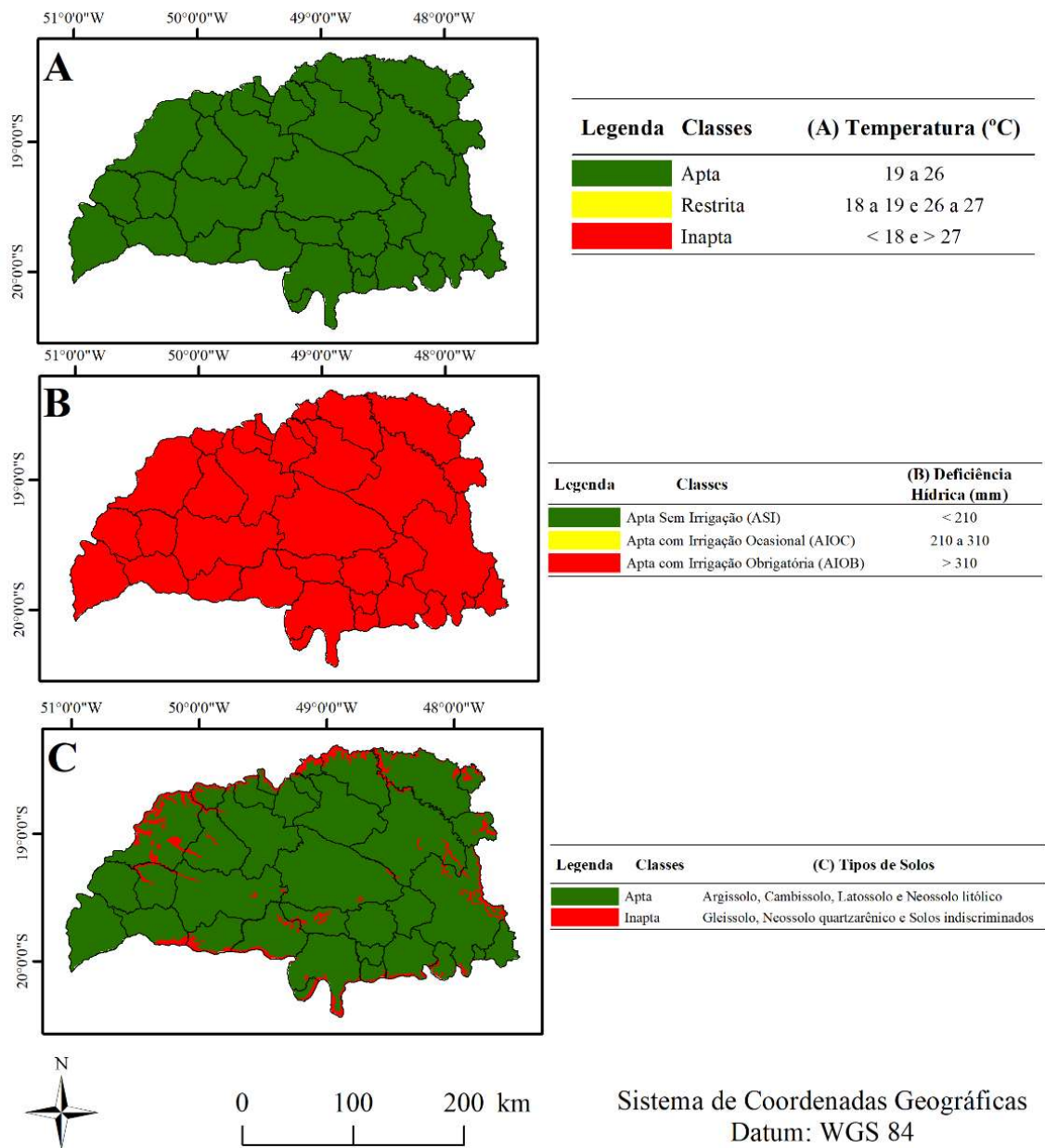


Fonte: O autor (2021).

A região de interesse apresentou áreas aptas para plantio de *Eucalyptus urophylla* em que, a variação da temperatura foi entre 19°C e 26°C. As áreas restritas apresentaram temperatura entre 18°C a 19°C e 26°C a 27°C e para as áreas inaptas a temperatura é menor que 18°C e maior do que 27°C. A deficiência hídrica acima dos 310 mm torna a irrigação obrigatória em toda a área que for realizado plantio com essa espécie.

Quanto aos tipos de solo, aproximadamente 93% são aptos para o plantio dessa espécie sendo que as áreas inaptas encontram-se nas regiões de extremidades, ou seja, divisa com a região do Alto Paranaíba e os estados de São Paulo e Goiás (Figura 9).

Figura 9 - Aptidão para plantio de *Eucalyptus urophylla* na região do Triângulo Mineiro, com base em temperatura média anual (°C), deficiência hídrica anual (mm) e tipos de solos.



Fonte: O autor (2021).

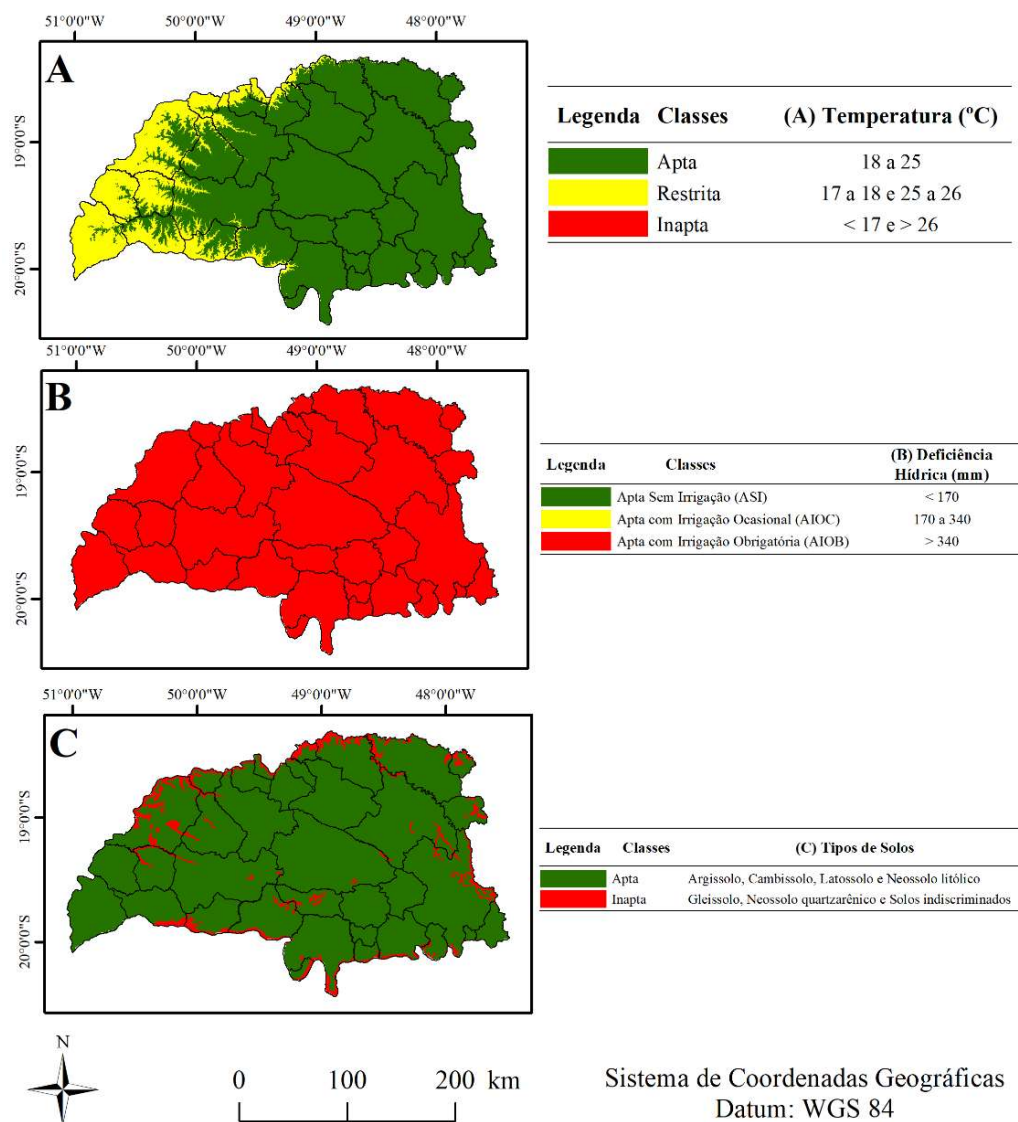
A região do Triângulo Mineiro apresentou áreas aptas para plantio de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* onde a variação da temperatura foi de 18°C a 25°C. As áreas restritas apresentaram temperatura entre 17°C a 18°C e 25°C a 26°C e para as áreas inaptas a temperatura é menor que 17°C e maior do que



26°C. A deficiência hídrica acima dos 340 mm torna a irrigação obrigatória em toda a área que for realizado plantio com essa espécie.

Quanto aos tipos de solo, aproximadamente 93% são aptos para o plantio dessa espécie sendo que as áreas inaptas encontram-se nas regiões de extremidades, ou seja, divisa com a região do Alto Paranaíba e os estados de São Paulo e Góias (Figura 10).

Figura 10 - Aptidão para plantio de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* na região do Triângulo Mineiro, com base em temperatura média anual (°C), deficiência hídrica anual (mm) e tipos de solos.



Fonte: O autor (2021).

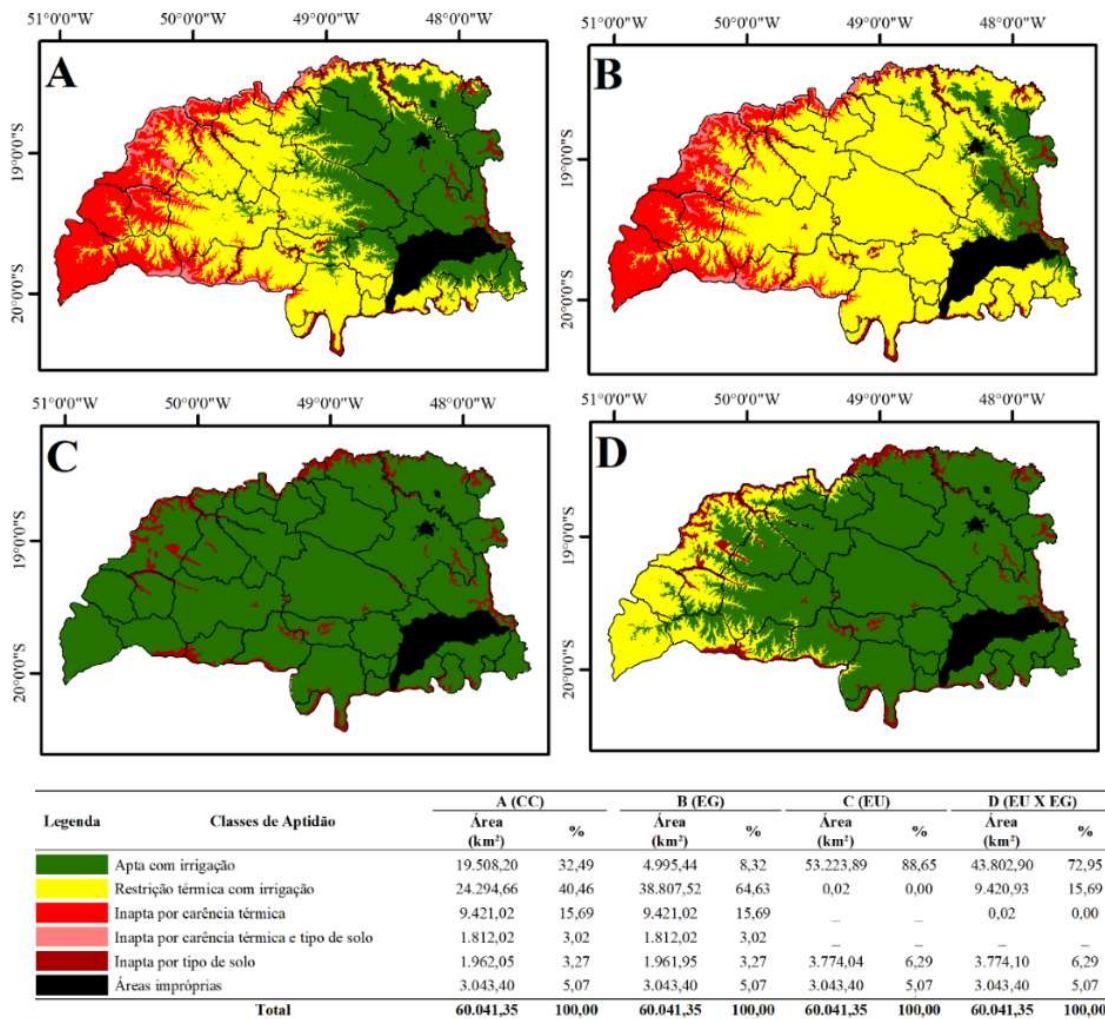
A região apresentou áreas potenciais em todo o seu território para o plantio das espécies florestais selecionadas, desde que, este seja realizado obrigatoriamente com irrigação (Figura 9). O *Corymbia citriodora* juntamente com o *Eucalyptus grandis* apresentaram as menores áreas aptas (32,49% e 8,32%, respectivamente) para plantio, enquanto que, o *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* apresentaram maiores áreas de aptidão (88,65% e 72,95%, respectivamente) para o plantio (Figura 11).

O *Eucalyptus urophylla* foi o único que não apresentou restrição térmica com irrigação, enquanto o *Eucalyptus grandis* teve a maior restrição apresentando 64,63% da área. O *Corymbia citriodora* juntamente com o *Eucalyptus grandis* apresentaram, 15,69% de sua área inapta por carência térmica e 3,02% de sua área inapta por carência térmica e também pelo tipo de solo enquanto o *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* não possuem esta última restrição (Figura 11).

As áreas impróprias são constituídas pela Bacia e APA do Rio Uberaba, Unidade de Conservação da Bacia do Rio Tijuco e Rio da Prata, Parque Estadual Pau Furado, Parque Natural Municipal do Sabiá, as RPPN's: Arizona, Cachoeira da Sucupira, Fazenda Ecológica, Reserva Britagem São Salvador, Vale Encantado, Fazenda Gana, Reserva Ecológica do Panga e áreas urbanas de Uberlândia, Uberaba e Araguari. As áreas impróprias são idênticas para todos, totalizando 5,07% da área de interesse (Figura 11).

O *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* apresentaram maiores áreas aptas para plantio sendo seguidos pelo *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis*.

Figura 11 - Aptidão para plantio de três espécies florestais e um híbrido de eucalipto na região do triângulo mineiro, com base em temperatura, deficiência hídrica e tipos de solo.



0 100 200 km

Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: WGS 84

Fonte: O autor (2021).

## 6.2. Modelo de risco de incêndios florestais

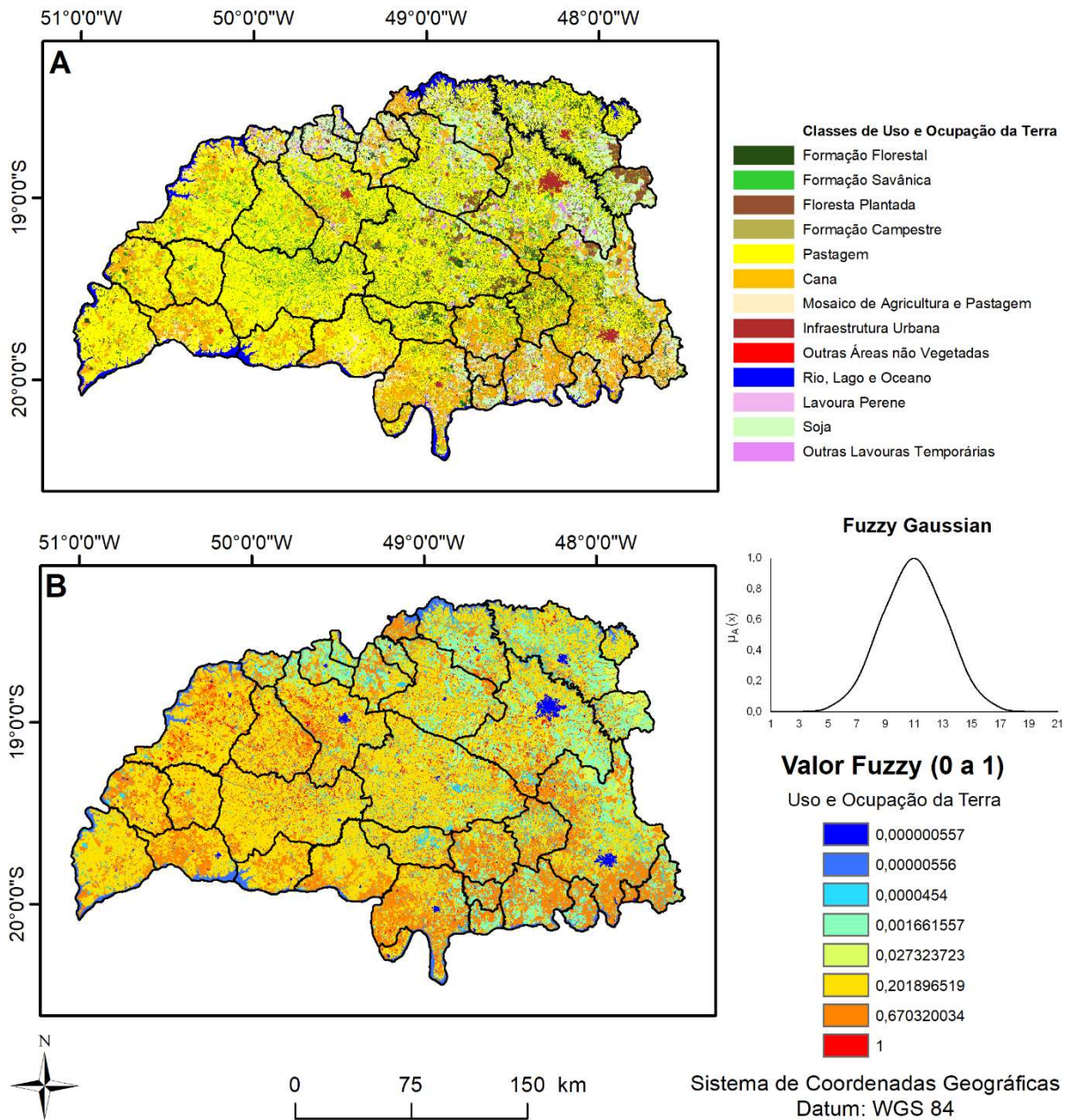
### 6.2.1. Uso e ocupação da terra

Tabela 5 – Área, em Km<sup>2</sup>, e percentagem relativa ao total da área de estudo das classes de uso e ocupação do solo

<b>Classes de uso e ocupação do solo</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>% relativa ao total da área de estudo</b>
Formação Florestal	5.467	9,11
Formação Savânica	3.408	5,68
Floresta Plantada	1.009	1,68
Formação Campestre	795	1,32
Pastagem	28.759	47,90
Cana	8.396	13,98
Mosaico de Agricultura e Pastagem	2.241	3,73
Infraestrutura Urbana	432	0,72
Outras Áreas não Vegetadas	49	0,08
Rio, Lago e Oceano	2.010	3,35
Lavoura Perene	201	0,34
Soja	5.399	8,99
Outras Lavouras Temporárias	1.876	3,12
<b>TOTAL</b>	<b>60.041</b>	<b>100,00</b>

Fonte: O autor (2021)

Figura 12 - Mapa de uso e ocupação da terra na área de estudo.



Fonte: O autor (2021).

Na figura 12, o mapa de uso e ocupação da terra possibilitou a identificação e compreensão dos espaços e das atividades desenvolvidas no Triângulo Mineiro. As áreas ocupadas por infraestrutura urbana correspondem a apenas 0,72% (432 km<sup>2</sup>) e as ocupadas por rios, represas e lagos 3,35% (2.010 km<sup>2</sup>) da região estudada.

As áreas com vegetação natural (formação florestal, formação savânica e formação campestre) correspondem a 16,11% da área de estudo, comprovando o quanto a região vem sendo utilizada para a inserção de pastagens e culturas agrícolas. A formação florestal possui área de 5.467 km<sup>2</sup>, sendo a fisionomia florestal de maior representatividade, correspondendo a 9,11% da área de estudo. As outras duas áreas que compõe a vegetação natural são a formação savânica com 5,68% (3.408 km<sup>2</sup>) e formação campestre com 1,32% (795 km<sup>2</sup>). A classe composta por outras áreas não vegetadas sendo representadas por afloramentos rochosos, dunas ou mineração ocupam 0,08% (49 km<sup>2</sup>).

A região é líder no setor do agronegócio em Minas Gerais com extensas áreas onde predominam os plantios agrícolas e pastagens. Os números são relevantes, pois 78,06% das terras são compostas por pastagens 47,90% (28.759 km<sup>2</sup>), cana-de-açúcar 13,98% (8.396 km<sup>2</sup>), soja 8,99% (5.399 km<sup>2</sup>), áreas com agricultura e pastagem 3,73% (2.241 km<sup>2</sup>), outras lavouras temporárias 3,12% (1.876 km<sup>2</sup>) e lavouras perenes com 0,34% (201 km<sup>2</sup>).

As florestas plantadas ocupam somente 1,68% (1.009 km<sup>2</sup>) de todo o território do Triângulo Mineiro, demonstrando dessa forma o grande potencial para implantação de novas áreas com povoamentos florestais pela região.

A função de pertinência *Fuzzy Gaussian* foi utilizada para classificar os valores referentes ao uso e ocupação da terra. As áreas de rios, represas e lagos e infraestrutura urbana são as que obtiveram os menores valores de risco de incêndios assumindo os valores de 0,000000557 e 0,00000556, representando dessa forma 3,35% e 0,72% de toda a região. Em sequência, as áreas classificadas como risco baixo de incêndios são representadas por aquelas compostas com formação florestal e lavoura perene assumindo o valor de 0,0000454 e outras áreas não vegetadas e as cultivadas com soja assumindo o valor de 0,001661557 representando dessa forma 9,45% e 9,07%, respectivamente de todo o território.

As áreas compostas pelas florestas plantadas juntamente com as de formação campestre assumiram valor de 0,027323723 representando 3,0% da área de estudo. As áreas com alto risco de incêndios são formadas por pastagens e áreas com outras lavouras temporárias, recebendo valor de 0,201896519 representando 51,02% e também daquelas compostas por cana-de-açúcar e mosaico de agricultura

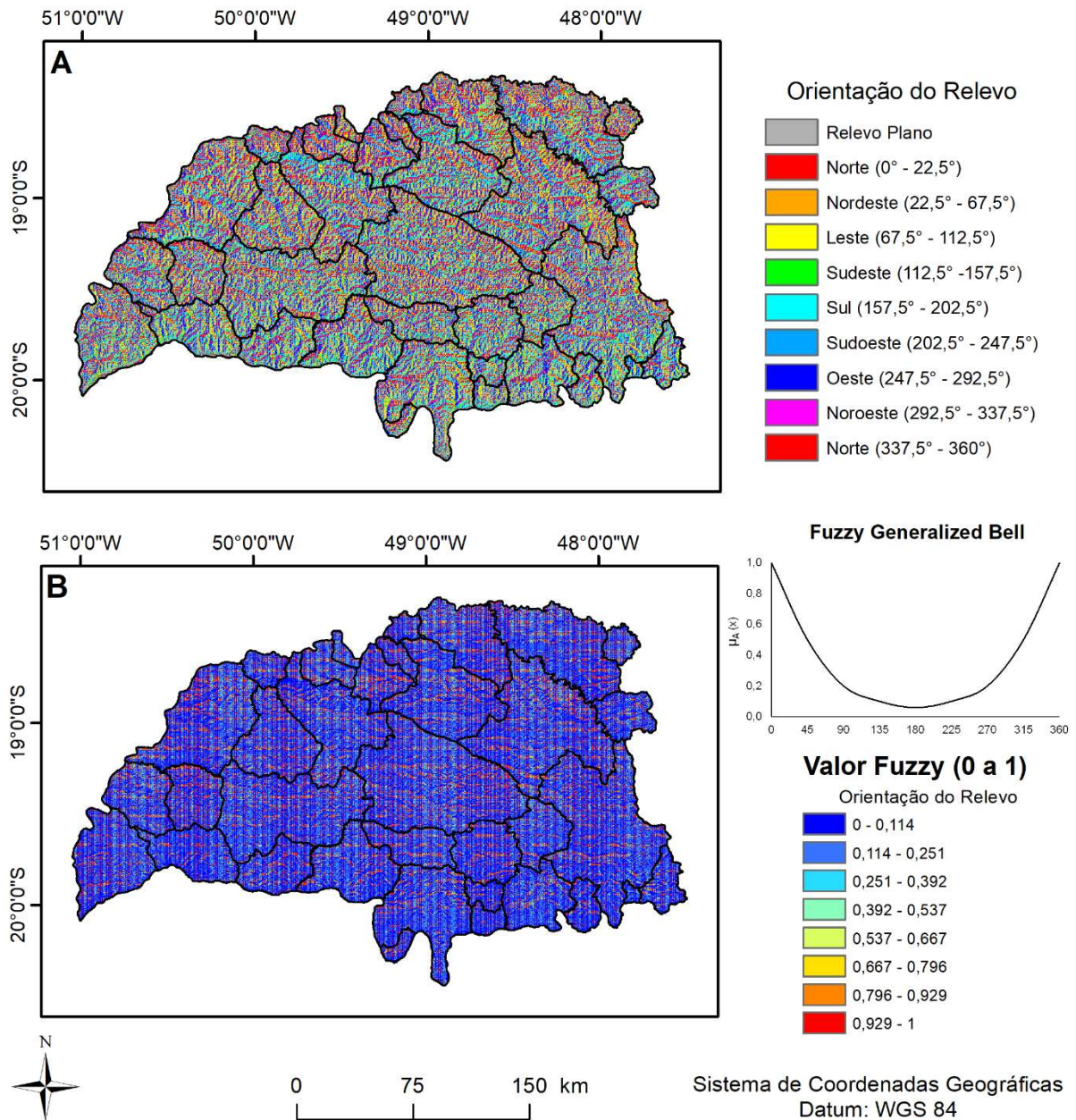
que assumiram valor de 0,670320034 representando 17,71% da região do estudo. Finalmente, a formação savânica foi considerada de maior risco ao incêndio com valor de 1 no conjunto *Fuzzy*, representando 5,68% do Triângulo Mineiro.

#### 6.2.2. Orientação do relevo

Na figura 13, as terras do Triângulo Mineiro são compostas por 19,81% de áreas com relevo plano, 24,49% para as faces voltadas para Norte, Nordeste e Noroeste, 15,08% e 16,72%, respectivamente, para as faces Leste e Oeste e 23,90% para as faces voltadas para Sul, Sudeste e Sudoeste.

Pela função de pertinência *Fuzzy Generalized Bell*, selecionada para a variável orientação do relevo no modelo do RIF, encontrou-se uma maior concentração de pixels nos menores valores do conjunto com 73,28% da frequência de pixels para valor *Fuzzy* de 0 - 0,251. Ainda que a área de estudo manifeste 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 (0,929 - 1) correspondendo a 12,79% da frequência de pixels, principalmente associado à face Norte. As áreas com valor intermediário (0,537 - 0,667) contribuem apenas com 1,62% da área de estudo.

Figura 13 - Mapa de orientação do relevo da área de estudo.



Fonte: O autor (2021).

### 6.2.3. Declividade

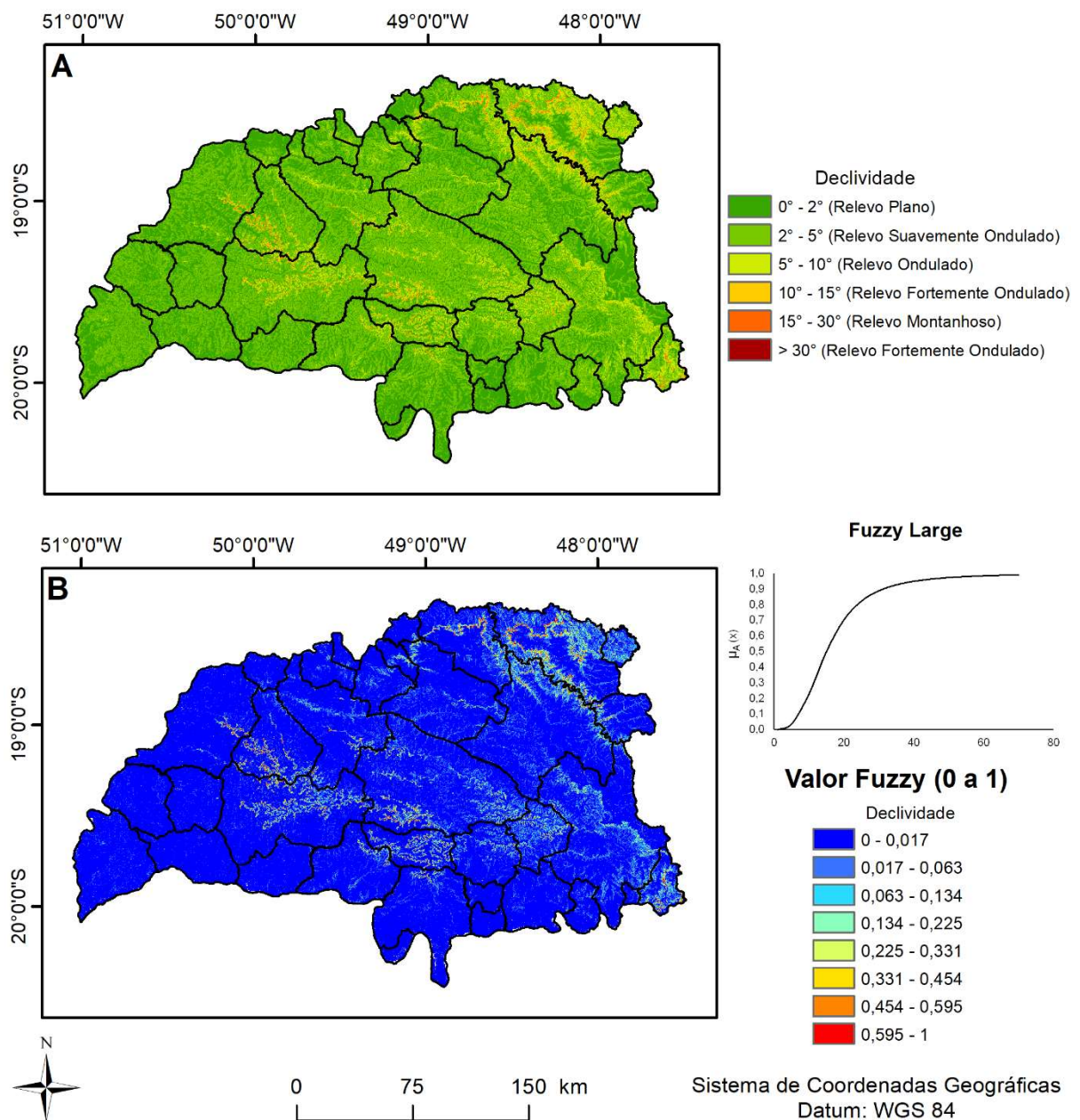
A declividade exerce grande influência na orientação do fogo e também no aumento da velocidade de propagação das chamas durante um incêndio. No Triângulo Mineiro a inclinação do terreno (Figura 14) apresenta 97,63% como relevo plano



a ondulado ( $<10^\circ$ ). As áreas de relevo fortemente ondulado ( $10 - 15^\circ$ ) representam 1,83%, e áreas de acentuado ( $> 15^\circ$ ) representam apenas 0,54% da área.

Utilizou-se a função de pertinência *Fuzzy Large* e com ela observou-se que 96,07% da área se concentra na frequência de pixels nos menores valores do conjunto que é de 0 - 0,134. Os maiores valores do conjunto apresentaram menores frequências de pixels e com isso o valor *Fuzzy* para os conjuntos de 0,331 - 1, representam apenas 1,42% da área.

Figura 14 - Mapa de declividade da área de estudo.



Fonte: O autor (2021).

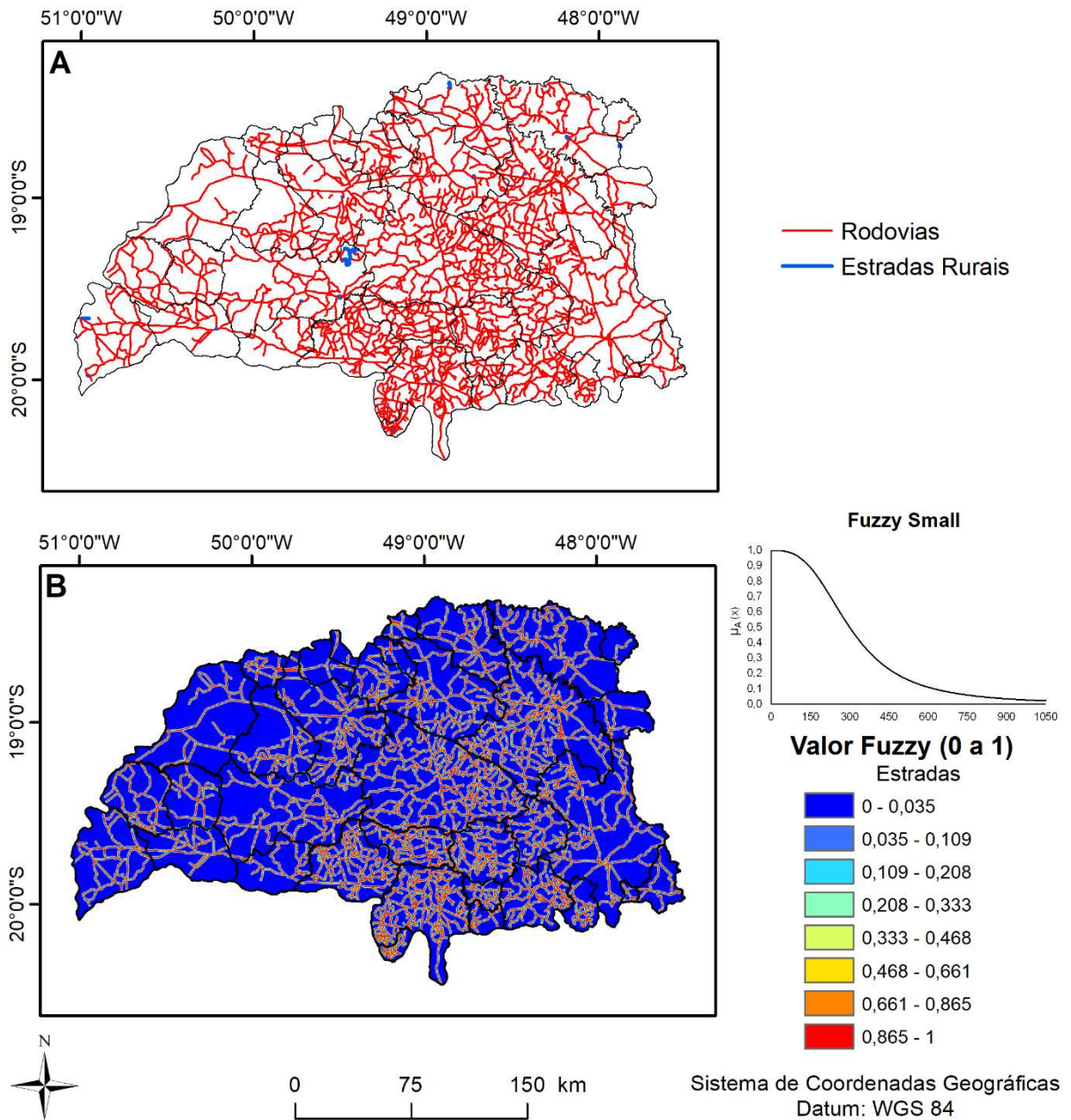
#### 6.2.4. Proximidade a estradas

Na figura 15, as estradas presentes em todo o território representaram risco de incêndios devido a locomoção de diversos veículos e pessoas. As rodovias possuem 13.947,07 Km de extensão seguida pelas estradas não pavimentadas com 46,17 Km.

As principais BR's que cortam o Triângulo são, a BR 262 que faz a ligação da região com o porto de Vitória, a BR 153 que liga Frutal à cidade de Prata e auxilia no transporte de cargas, a BR 365 que liga a região ao estado de Goiás e finalmente a BR 050 que faz a ligação entre Uberaba, Araguari e Uberlândia além de dar acesso aos estados de Goiás e São Paulo.

A função de pertinência *Fuzzy Small* foi utilizada e obteve-se valores de 71,63% para as classes de menor risco (0 - 0,035 e 0,035 - 0,109) indicando que a área de estudo apresentou baixo risco de incêndio para a variável proximidade a estradas, e para as classes com maior risco (0,661 - 0,865 e 0,865 - 1), os valores encontrados foram de 13,74% para a região do Triângulo Mineiro.

Figura 15 - Presença de estradas dentro da área de estudo.

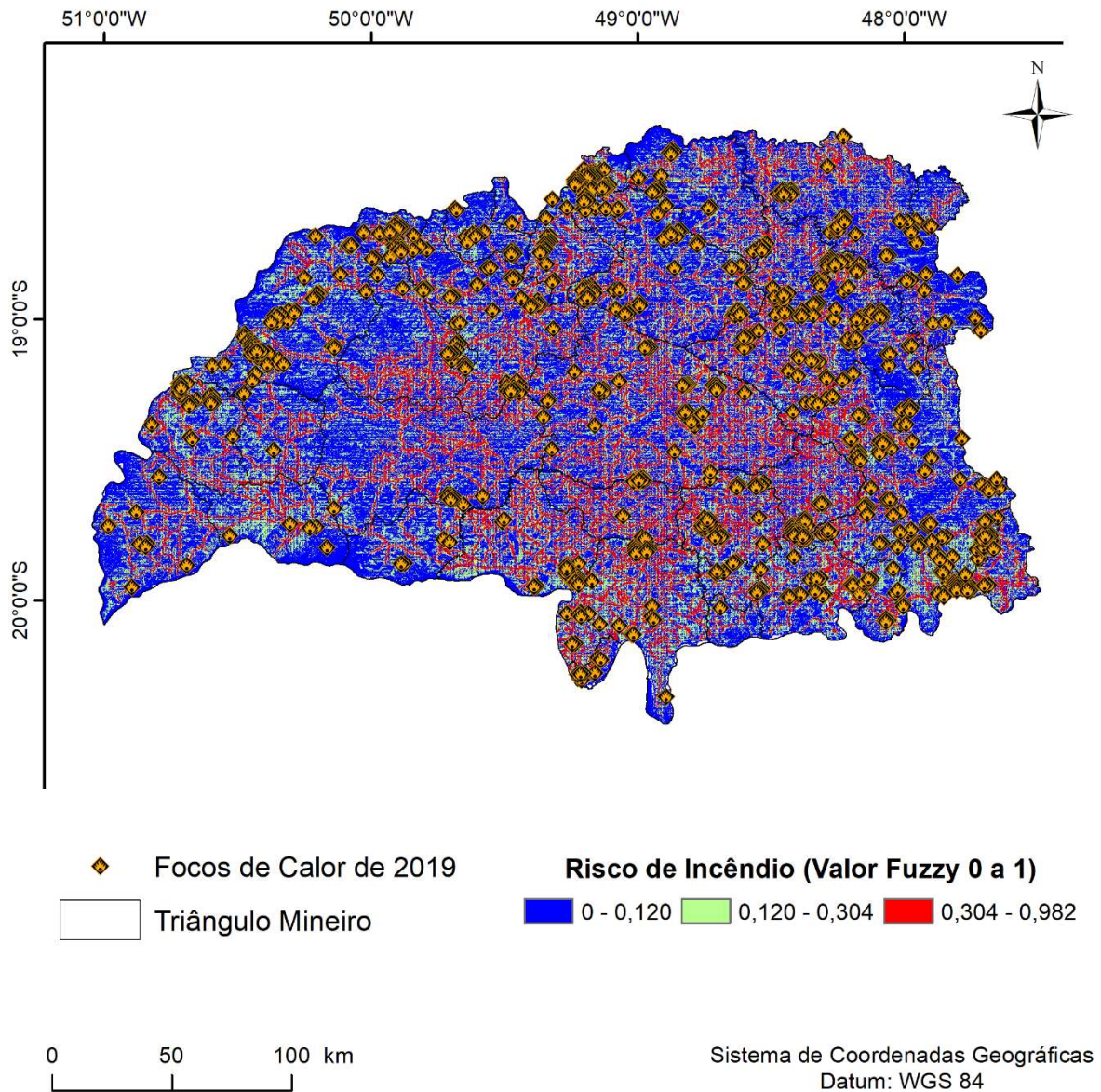


Fonte: O autor (2021).

### 6.3. Risco de ocorrências de incêndios

Na figura 16, o mapa gerado foi obtido após a compilação dos resultados das funções de pertinência *Fuzzy* de todas as quatro variáveis calculadas (uso e ocupação da terra, orientação do relevo, declividade e proximidade a estradas). Em 2019 ocorreram 917 focos de calor conforme o banco de dados do INPE.

Figura 16 – Focos de calor e risco de incêndios na área de estudo.



Fonte: O autor (2021).

Ao analisar o mapa, observou-se que o Triângulo Mineiro apresentou maior área em hectares nos valores do conjunto *Fuzzy* de 0 - 0,120 com soma de 3.1152,738 km<sup>2</sup> representando 51,89% da área total originada pela frequência de pixels da imagem matricial. A primeira classe apresentou 433 focos de queima sendo este o maior número de focos entre as classes, o que equivale a 0,0139 focos/km<sup>2</sup> ou a cada 71,94 km<sup>2</sup> temos 1 foco de queima. O intervalo no conjunto de 0,120 - 0,304 apresentou segunda maior área com 1.8316,855 km<sup>2</sup> representando 30,51%. A segunda classe

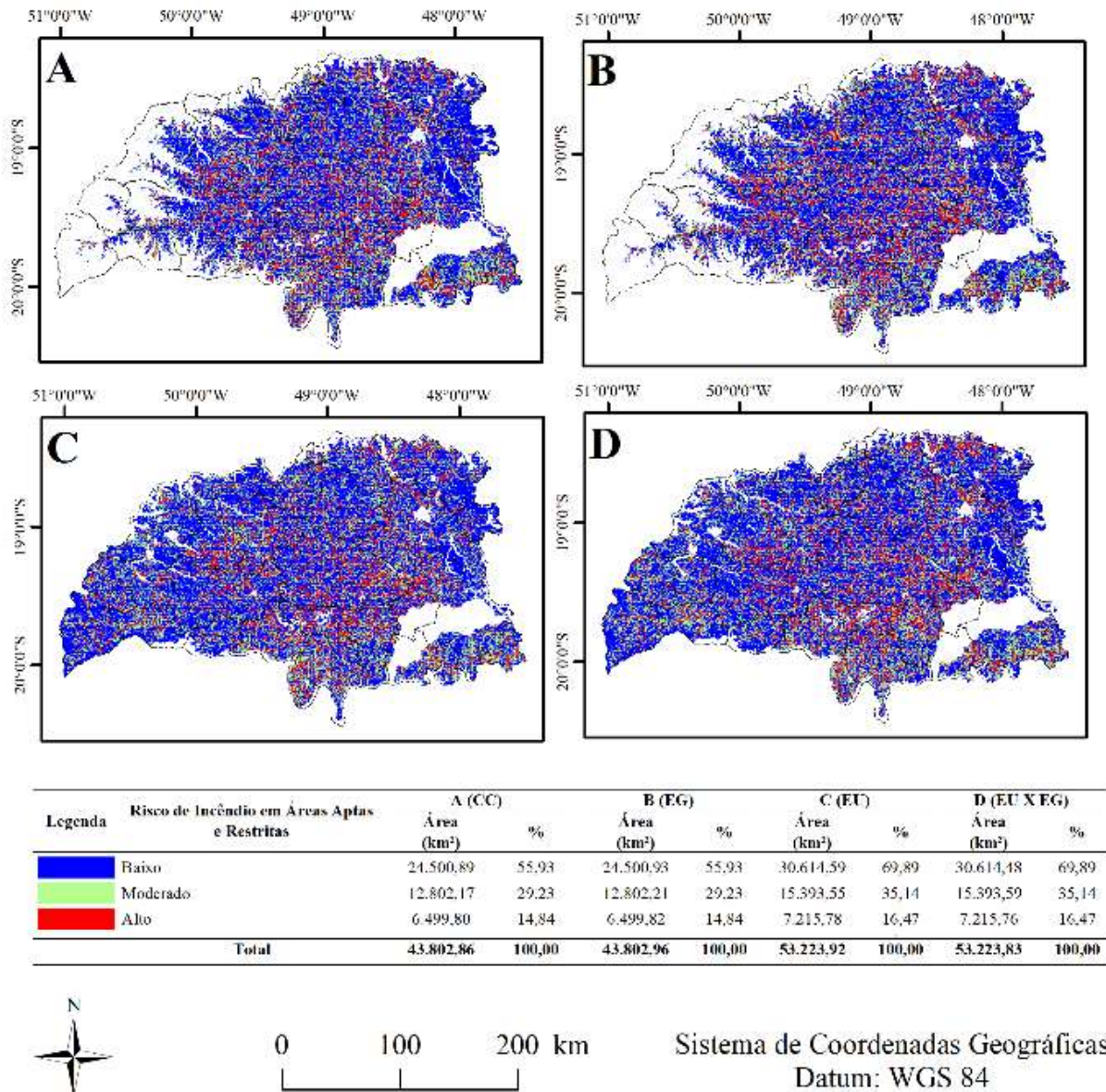
apresentou 300 focos de queima, o equivale a 0,0164 focos/km<sup>2</sup> ou a cada 61,06 km<sup>2</sup> temos 1 foco de queima. Por fim, o intervalo de 0,304 - 0,982 apresentou a menor quantidade de focos de calor, com um total de 184 focos, porém é a que possui maior concentração com 0,0174 focos/km<sup>2</sup> ou a cada 57,46 km<sup>2</sup> temos 1 foco de queima em uma área que representa 17,61%, ou seja, 1.0571,757 km<sup>2</sup>.

Diante dos resultados obtidos, nota-se que a região de estudo apresenta risco aos incêndios variando de baixo a médio e que as áreas com menos focos de queima encontram-se próximo aos corpos d'água e também daquelas mais distantes das rodovias enquanto que as áreas com mais focos de queima estão próximas às rodovias, pastagens e plantios de cana-de-açúcar.

#### 6.4. Risco de ocorrências de incêndios em áreas aptas para as espécies florestais e um híbrido de eucalipto

Na figura17, o *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, dentre as espécies estudadas, são os que apresentam maior área de aptidão e áreas com restrição térmica com irrigação para plantio, na classe com baixo risco de incêndio com 30.614,48 km<sup>2</sup> equivalente a 69,89% da região. As classes de risco moderado e alto, são representadas por 15.393,55 km<sup>2</sup> (35,14%) e 7.215,56 km<sup>2</sup> (16,47%), respectivamente.

Figura 17 – Risco de incêndios em áreas aptas e restritas na área de estudo.



Fonte: O autor (2021).

O *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis* apresentaram restrições de plantio nas divisas com os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás além da região Oeste do Triângulo Mineiro. As áreas aptas e com restrição térmica com irrigação para plantio na classe com baixo, médio e alto risco são representadas respectivamente por 24.500,89 km<sup>2</sup> (55,93%), 12.802,17 km<sup>2</sup> (29,23%) e 6.499,80 km<sup>2</sup> (14,84%).

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1. Zoneamento edafoclimático de *Eucalyptus* e *Corymbia*

O *E. urophylla* possui a maior área de aptidão para implantação na região do triângulo mineiro. Isso se deve principalmente à sua maior faixa térmica, abrangendo desta forma todo o território do estudo e também por suportar maior déficit hídrico quando comparado aos demais. Em estudos realizados por Sperandio et al. (2010), com o *E. urophylla* no Espírito Santo e Carneiro, (2006) na bacia do rio Dourados no Mato Grosso do Sul, esta espécie também foi a que apresentou maior área apta.

O híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* foi o segundo em abrangência de áreas com aptidão para a sua implantação no triângulo mineiro corroborando com o resultado encontrado no trabalho realizado por Sperandio et al. (2010). Já no estudo realizado por Marcolini, (2014) para o estado do Tocantins, o híbrido apresentou áreas com restrição para sua implantação, tendo como limitação o déficit hídrico e principalmente a temperatura que foi classificada como “inapta” em todo o estado.

O *Corymbia citriodora* foi o terceiro em áreas com aptidão. No trabalho realizado por Araujo, Matricardi e Nappo, (2012) a espécie foi a que obteve menor área apta para o Distrito Federal corroborando com o mesmo resultado encontrado no trabalho de Sperandio et al. (2010) onde a espécie ocupava somente 7% do estado do ES.

O *E. grandis*, apresentou a menor área apta para a região, sendo a temperatura, o fator limitante para sua implantação. Em estudos realizados por Sperandio et al. (2010) também não foram obtidos bons resultados, sendo a área apta apenas de 22% do Espírito Santo. Porém em outros estudos realizados por Carneiro, (2006) na bacia do rio Dourados - MS e Paiva, (2007) na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim - ES, os resultados foram de 88,67% e 89,7%, respectivamente de áreas aptas ao plantio da espécie.

Diante de todas as variáveis edafoclimáticas e das espécies florestais citadas acima, é notório a importância de se realizar o zoneamento edafoclimático antes de iniciar um projeto de prospecção para aquisição de novos ativos ou arrendamentos, pois com as áreas de interesse delimitadas torna-se mais rápido e efetivo a busca por

áreas aptas para implantação visando assim o melhor desenvolvimento das espécies selecionadas para as áreas dentro do Triângulo Mineiro.

## 7.2. Modelagem dos riscos de incêndios florestais

### 7.2.1. Uso e ocupação do solo

O Triângulo Mineiro possui características no uso e ocupação de seu território que exercem influência direta no início, propagação ou intensidade dos incêndios florestais. De acordo com Soares; Batista; Nunes (2008); Pereira Júnior (2002), os elementos que possuem maior ligação com os incêndios são as condições climáticas, a topografia e o tipo de cobertura vegetal da região. Além desses elementos citados anteriormente, Soares; Batista; Tetto (2017) levam em consideração a umidade do material combustível e tipos de floresta. Os corpos d'água apresentaram baixo risco a incêndios, são pouco representativos quando comparados à ocupação de áreas na região, e são barreiras naturais contra a propagação de incêndios.

Das áreas com vegetação natural, a formação florestal é a que possui maior presença na região, porém com o menor risco de incêndios florestais, pois de acordo com estudos de Soares; Batista; Tetto (2017) existe uma dependência relacionada a quantidade de combustível disponível nessas áreas além de depender do tipo, idade e nível de degradação da vegetação existente.

Já a formação savânica (Cerrado) sofre constantes queimadas para a renovação de pastagens e limpeza de área para implantação de espécies agrícolas principalmente de soja e cana-de-açúcar, assumindo o maior risco de incêndios dentro das áreas de uso e ocupação do solo. De acordo com Pereira Júnior (2002), as duas atividades econômicas que causam maior impacto ao Cerrado em âmbito nacional são a pecuária extensiva que ocupa 60% das áreas e as culturas agrícolas, onde a soja, que é a cultura mais plantada, sendo responsável por 6% da ocupação das terras. As áreas do Cerrado no Triângulo Mineiro sofrem intervenções constantes, existem na região 24.910 propriedades com mais de 4 milhões de bovinos, o que mantém a região como a maior produtora de gado do estado (SEAPA, 2020).



A cultura da soja apresenta risco baixo a incêndios, fato que ocorre devido o manejo aplicado em sua implantação, colheita e pós-colheita onde adotou-se o sistema de plantio direto que atua na proteção e conservação do solo, evitando erosões, queimadas e perda de nutrientes. Em estudos realizados por Ribeiro et al. (2015), a expansão de áreas para cultivo de soja no Cerrado em Tocantins não utilizou fogo em seu manejo, pois eles realizaram o plantio em áreas de pastagens degradadas ou abandonadas.

Outra cultura agrícola presente na região, a cana-de-açúcar, possui risco muito alto de incêndios, devido ao uso do fogo em seu manejo. A queima da palha da cana-de-açúcar é um dos principais responsáveis pelos focos de calor observados no Cerrado na região Centro Sul do Brasil (FRANÇA et al., 2012). Lopes; Ribeiro (2006) também encontraram maior concentração de focos de calor relacionados a áreas com cana-de-açúcar no município de Bauru - SP.

As florestas plantadas presentes na região apresentaram risco moderado aos incêndios, porém devido à grande quantidade de material combustível depositado sobre o solo como galhos, folhas e cascas, este acúmulo facilita a propagação e ocorrência de incêndios florestais de alta intensidade que são mais complexos e onerosos de serem combatidos (WHITE; RIBEIRO; SOUZA, 2014). Em um trabalho realizado por Juvanhol (2014) foram encontrados valores de risco de incêndios semelhantes em áreas com plantios florestais no Espírito Santo. Porém, em outro estudo realizado por Oliveira (2019), os plantios florestais apresentaram baixo risco aos incêndios.

Logo, o uso e ocupação da terra permite compreender quais áreas da região são mais propícias a inserção das culturas sejam elas agrícolas ou florestais e o risco de ocorrência de incêndios em cada uma delas.

### 7.2.2. Orientação do relevo

As diferentes orientações do relevo recebem quantidades diferenciadas de radiação solar quando comparadas com uma área com superfície plana que está em um mesmo local e época do ano (TORRES; MACHADO, 2008). Quanto mais plano,

maior o potencial acúmulo de água na superfície do solo, dificultando o início e propagação dos incêndios florestais.

O Triângulo Mineiro possui praticamente 1/5 de suas áreas compostos por relevos planos o que explica sua aptidão para o agronegócio e junto a isso as faces voltadas para o Norte exercem menor influência no modelo de risco de incêndio florestal, quando comparadas com as demais feições. A função *Fuzzy Generalized Bell* mostrou que mais de 70% das áreas do Triângulo Mineiro têm baixo risco a incêndios, ou seja, essa variável não apresenta grande influência aos riscos de incêndios. Apesar disso é importante salientar que os maiores valores no conjunto Fuzzy estão nas classes de maior risco (0,7961 - 0,9299 e 0,9299 - 1) que possuem boa associação à face Norte. Se a vertente do terreno tem orientação norte, a temperatura média do ar e do solo é maior que em outras direções influenciando diretamente nas características físicas do material combustível e na umidade do ar, como visto em trabalhos de Oliveira et al. (1995); Torres et al. (2016). Por isso, a importância de se conhecer a respeito da orientação do relevo uma vez que exerce influência direta na disponibilidade de radiação solar que é a responsável pela produção de matéria vegetal na área.

### 7.2.3. Declividade

A declividade do relevo tem efeito direto ao risco de incêndio pois ela tem forte influência sobre o clima da região, atua na vegetação predominante e por fim no material combustível presente na área, propagando de forma mais rápida o fogo nos aclives e mais lentamente nos declives (OLIVEIRA, 2002; RIBEIRO et al., 2008; SANT'ANNA; FIEDLER; MINETTE, 2007).

A região de estudo levando-se em consideração a declividade apresentou mais de 97% das áreas com relevo plano a ondulado, o que confirma a aptidão das áreas ao agronegócio e produção de algumas culturas agrícolas em Minas Gerais. Outro fator relevante é que a umidade sofre variação conforme a declividade do terreno, uma vez que em encostas mais acentuadas nota-se que a água da chuva escorre com maior velocidade, fazendo com que a retenção no solo seja menor, tornando o local mais seco (VALERIANO, 2008).

A função *Fuzzy Large* explicitou que as áreas estão dentro das três classes ( $0^\circ - 2^\circ$ ;  $2^\circ - 5^\circ$  e  $5^\circ - 10^\circ$ ) com risco muito baixo a ocorrência de incêndios corroborando com o resultado encontrado em outros trabalhos realizados por Ribeiro; Soares; Beppler (2012) e Biazatti, (2019). Logo é importante avaliar a declividade dos terrenos para prever onde os incêndios podem causar maiores danos devido a dificuldades de acesso e combate. Todas essas averiguações podem minimizar os possíveis prejuízos causados pelos incêndios à saúde da população, fauna, flora e na economia local.

#### 7.2.4. Proximidade a estradas

As estradas são fundamentais para o transporte de cargas, desde os insumos até o produto final entre os centros urbanos e as zonas industriais, produtoras de alimentos, madeireira e outros bens de consumo. Elas estão presentes por todo o território e as áreas do seu entorno representaram um alto risco de incêndios (Figura13) pois estudos indicam que a locomoção diária de diversos veículos, de pessoas que podem de forma acidental ou não iniciar um incêndio, pelo acúmulo de material combustível em suas margens, vilarejos em seu entorno, fumantes, práticas religiosas, linhas de alta tensão, oleodutos e tantos outros, são fatores que podem dar origem aos incêndios (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998; SILVA et al., 2003; MEDEIROS; FIEDLER, 2003; RIBEIRO et al., 2008; PRUDENTE, 2010).

A função *Fuzzy Small* identificou as áreas onde as estradas influenciaram a ocorrência de incêndios. O Triângulo Mineiro apresentou mais de 70% das áreas classificadas como baixo risco, porém é importante um monitoramento constante, afim de evitar o início dos incêndios, uma vez que a grande maioria deles se iniciam próximos as estradas (SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006; RIBEIRO; SOARES; BEPLER, 2012).

### 7.3. Risco de ocorrências de incêndios

Nos últimos anos, com o avanço da tecnologia é possível o monitoramento dos focos de queima e incêndios utilizando-se satélites específicos, o que torna a aquisição dos dados eficaz além de ter um custo mais baixo quando comparado a outros métodos de obtenção destas informações no Brasil (BATISTA, 2004; MUSINSKY et al., 2018). Com a quantidade de focos de calor distribuídos por km<sup>2</sup>, pode-se classificar as áreas em baixo, médio e alto risco de ocorrências de incêndios. Os municípios da região com maior quantidade de focos de queima em 2019 foram Uberlândia, Uberaba e Prata além da APA do Rio Uberaba que está entre as Unidades de Conservação Estadual com mais focos de queima em Minas Gerais (CPTEC, 2020).

Assim, as áreas que tem alto risco de incêndios são aquelas que, além de estarem próximas às regiões com intensa concentração de rodovias dispõem das atividades de uso e ocupação da terra de alto risco como pastagens e cana-de-açúcar e tem orientação de suas vertentes para o norte. Muitos produtores ligados a estas duas atividades ainda utilizam o fogo como uma etapa do manejo de produção (FRANÇA et al, 2012; CAÚLA et al, 2015). Ao observar as maiores concentrações de focos de calor no Triângulo Mineiro, nota-se que estes se encontraram em áreas próximas as rodovias, sendo a variável de maior influência na ocorrência de focos de calor, resultado também encontrado em trabalhos de Silva et al. (2003); Prudente, (2010); Ribeiro; Soares; Beppler (2012) seguidos das áreas pertencentes as duas atividades agrícolas citadas anteriormente.

As de baixo risco são aquelas que tem menor influência das rodovias e também do seu uso e ocupação da terra, como por exemplo a soja, cultura com grandes aportes financeiros em tecnologia e manejo da cultura. Durante a estação seca o número de focos de queima aumenta de forma significativa quando comparada aos meses com estação chuvosa (NEVES et al., 2018; CARVALHO; CARDOSO; ALMEIDA et al., 2016).

As áreas com plantios florestais, (Figura 14), apresentou poucos focos de queima em 2019, o que demonstra investimentos das empresas do setor em proteção e combate aos incêndios. Atualmente, os monitoramentos dos focos de incêndios são realizados por câmeras de alta resolução substituindo as torres de vigilância, o que

permite maior agilidade na detecção dos eventos (RODRIGUES; TUPAN, 2018). A conscientização ambiental das comunidades e vilarejos, manutenção de aceiros, rodovias e estradas vicinais próximas aos plantios, brigadas de incêndios de plantão durante todo o período de seca além de pick-ups com kit de combate a incêndios contribuem para minimizar as ocorrências e impactos causados pelos incêndios nas áreas florestais da região.

#### 7.4. Risco de ocorrências de incêndios em áreas aptas para as espécies florestais e um híbrido de eucalipto

Após as análises das variáveis utilizadas no trabalho e dos resultados obtidos com o zoneamento edafoclimático e risco de incêndios para as três espécies florestais e um híbrido de eucalipto, a gestão e o planejamento dentro das empresas florestais torna-se mais dinâmico e eficaz, pois com o conhecimento de quais áreas são aptas, restritas e inaptas dentro da região de interesse, estabelece onde deve-se ocorrer a implantação de novas áreas favorecendo o crescimento e desenvolvimento de cada uma das espécies. O risco de ocorrer incêndios dentro das áreas e de seu entorno devido a quantidade de focos/km<sup>2</sup> e as classes de risco (baixo, médio e alto), torna o planejamento para prevenção e combate mais alinhado com a realidade de cada região pertencente as empresas e suas áreas vizinhas (vilarejos, comunidades, rodovias, estradas vicinais, áreas de Cerrado, culturas agrícolas). São poucos os municípios (8) que possuem plantios de eucalipto no Triângulo Mineiro, desta maneira, esse estudo oferece informações de quais regiões são aptas a receber novos plantios e também em quais regiões são necessárias maior atenção em prevenção dos incêndios.

Logo, essas informações se tornam importantes para se construir um bom planejamento das atividades florestais e através delas obter melhores resultados em produtividade com maior segurança contra possíveis incêndios.

## 8. CONCLUSÕES

O *E. urophylla* possui a maior área de aptidão para implantação na região do Triângulo Mineiro, seguido pelo híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, *Corymbia citriodora* e *E. grandis*. Dessa forma, as espécies florestais e o híbrido de eucalipto demonstraram potencial para se desenvolverem no Triângulo Mineiro a partir da análise das variáveis edafoclimáticas e do risco de incêndio florestal.

A área de estudo apresenta risco de incêndio variando de baixo a médio. As áreas de maior risco de incêndios no conjunto *Fuzzy* são aquelas próximas a rodovias, pastagens e plantios de cana-de-açúcar;

A modelagem *Fuzzy* foi adequada para avaliar a influência das diferentes variáveis sobre o risco de incêndio florestal na área de estudo.

Portanto, é importante a realização de novos estudos nos municípios que estão dentro das áreas com aptidão para a implantação das espécies, visando melhorias na alocação dos investimentos em prevenção e combate aos incêndios florestais tornando o processo mais seguro para os envolvidos.

## 9. REFERÊNCIAS

- ABDI, O.; KAMKAR, B.; SHIRVANI, Z.; SILVA, J. A. T.; BUCHROITHNER, M. F. Spatial-statistical analysis of factors determining forest fires: a case study from Golestan, Northeast Iran. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 9, p. 267-280, 2018. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1206629>
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AMARAL, E. F. **Estratificação de ambiente para gestão ambiental e transferência de conhecimento no Estado do Acre, Amazônia Ocidental**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- ARAÚJO, D. F. C.; ARAÚJO SOBRINHO, F. L. A. Dinâmica do setor sucroenergético no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Cerrados**, v. 18, n. 1, p. 248-277, 2020. <https://doi.org/10.46551/rc24482692202001>
- ARAUJO, R. F.; MATRICARDI, E. A. T.; NAPPO, M. E. Zoneamento eco-lógico de pequena escala para espécies florestais tradicionais no Distrito Federal. *Revista Floresta*, v. 42, n. 2, p. 421-430, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i2.19570>
- BAIN, R. L.; AMOS, W. A.; DOWNING, M.; PERLACK, R. L. Biopower technical assessment: state of the industry and the technology. NREL. Golden, CO: **National Renewable Energy Laboratory**, p. 277, 2003. <https://doi.org/10.2172/15003604>
- BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática**. Campinas: Coleção IMECC-UNICAMP. 2006. 354p.
- BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Revista Floresta**, v. 34, n. 2, p. 237-241, 2004. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v34i2.2402>
- BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; DEPPE, F.; GRODZKI, L.; GRASSI, J. T. Análise dos impactos das mudanças climáticas sobre o risco de incêndios florestais no estado do Paraná. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 491-501, 2014.
- BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Sci Data**, v. 5, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A.; DIAS, P.; FERREIRA-LEITE, F.; LOURENÇO, L.; NUNES, A.; SALGADO, J. Os grandes incêndios florestais de 2010 no Parque Nacional da Peneda-Gerês (Portugal) - A importância das cartas de severidade na identificação de áreas críticas. *In: Coloquio Ibérico de Geografia*, 12., Respuestas de la Geografía Ibérica a la crisis actual, 2012, Santiago de Compostela, Chile. **Actas[...]** Santiago de Compostela, USC, 2012. p. 1027-1037.

- BLAZATTI, L. D. **Zoneamento de risco de ocorrência de incêndios florestais na Floresta Nacional do Rio Preto e sua Zona de Amortecimento**. 2019. 56 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.
- BOGNOLA, I. A.; GAVA, J. L.; FASOLO, P. J.; STOLLE, L. Proposição de uma metodologia para identificação de unidades de manejo produtivas em plantios de *Eucalyptus*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 27-36, 2009.
- BOGNOLA, I. A.; GOMES, J. B. V.; HOLLER, W. A.; CURCIO, G. R.; RAUEN, M. J.; CARVALHO, A. P.; PÖTTER, R. O.; CARDOSO, A. Atualização do levantamento de reconhecimento de solos dos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina. In: GOMES, J. B. V.; WREGGE, M. S. Municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e Palotina: estudos de clima, solos e aptidão das terras para o cultivo do eucalipto. Colombo: Embrapa Florestas, 2020. p. 41-72.
- BOLDRINI, I. I. **Biodiversidade dos campos do Planalto das Araucárias**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2009. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/publicacoes/biodiversidade/category/142-serie-biodiversidade.html?download=921:serie-biodiversidade-biodiversidade-0&start=20>. Acesso em 5 dez 2019.
- BOLOURCHI, P.; UYSAL, S. Forest Fire Detection in Wireless Sensor Network Using *Fuzzy Logic*. **5th International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks**, p. 83-87, 2013. <https://doi.org/10.1109/CICSYN.2013.32>
- BORGES, M. G.; LEITE, M. E.; LEITE, M. R. Mapeamento do eucalipto no estado de Minas Gerais utilizando o sensor Modis. **Revista Espaço Aberto**, v. 8, n. 1, p. 53-70, 2018. <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2018.14364>
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press Oxford, 2005.
- CARDOSO, M. F.; NOBRE, C. A.; LAPOLA, D. M.; OYAMA, M. D.; SAMPAIO, G. Long-term potential for fires in estimates of the occurrence of savannas in the tropics. **Global Ecology and Biogeography**, v. 17, n. 2, p. 222-235, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00356.x>
- CARNEIRO, M. A.; DANIEL, O.; VITORINO, A. T.; COMUNELLO, E. Aptidão da bacia do rio Dourados para o cultivo de algumas espécies de eucaliptos. **Floresta**, v. 36, n. 3, p. 331-342, 2006. <http://dx.doi.org/10.5380/ff.v36i3.7513>
- CARVALHO, M. F. O.; CARDOSO, M. F.; ALMEIDA, B. N. Estimativa da flamabilidade da vegetação com base em fitofisionomias e fatores climáticos. **Bio Brasil**, v. 6, n. 2, p. 187-204, 2016. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.520>
- CASTRO, J. T.; GIL, P. C.; PEREZ, N. R.; GONZALES, I. S.; GOYA, C. H.; COLOMO, R. A. Forest fire prevention, detection, and fighting based on *Fuzzy logic* and wireless sensor networks. **Hindawi Complexity**, p. 1-17, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1639715>



CAÚLA, R. H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LYRA, G. B.; DELGADO R. C.; HEILBRON FILHO, P. F. L. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. **Environ Earth Sciences**. v. 74, p. 1497-1508, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4142-z>

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.

CHELOTTI, M. C.; ROSOLEN, V. Dinâmica da agropecuária e uso da terra na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG). **CAMPO - TERRITÓRIO: REVISTA DE GEOGRAFIA AGRÁRIA**, v. 9, n. 18, 2014.

CHENG, C.; CHAN, C. H.; LIN, K. Intelligent agents for e-marketplace: Negotiation with issue trade-offs by *Fuzzy* inference systems. **Decision Support Systems**, v. 42, p. 626–638, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2005.02.009>

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. Application of remote sensing and geographic information systems to fire hazard mapping. **Remote Sensing of Environment**, v. 29, p. 147-159, 1989. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90023-0)

COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; SILVA, E. F.; AGLIO, M. L. D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JR., E.; PERES, J. R. R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, p. 1-11. 2002.

COSTA, E. P.; FIEDLER, N. C.; MEDEIROS, M. B.; WANDERLEY, F. B. Incêndios florestais no entorno de unidades de conservação - Estudo de caso na estação ecológica de Águas Emendadas, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 195-206, 2009. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098410>

COSTA, F. R. **Modelo de aptidão e de localização-alocação de usinas bioenergéticas utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. 2014. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2014.

**CPTEC** - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Banco de Dados de Queimadas. INPE – Programa Queimadas. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/#>. Acesso: 21 jan 2020.

CUNHA, A. B.; LONGO, B. L.; RODRIGUES, A. A.; BREHMER, D. D. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 259-267, 2014.

**DER/MG** – DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS. Resumo do Sistema Rodoviário Estadual. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <http://www.deer.mg.gov.br/transportes/rodovias#malha-do-estado>. Acesso em 20 jan. 2020.

**Duratex**. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.duratex.com.br/pt/noticias/duratex-e-lenzing-anunciam-joint-venture-para-construcao-da-maior-linha-industrial-de-celulose-soluvel-do-mundo>. Acesso em 18 out. 2019.

**EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Campinas, 2005. Disponível em: <https://www.cnpq.embrapa.br/projetos/relevobr>. Acesso em 14 jan 2020.

**EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA, 2006. p. 306.

**EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Soja, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/ferrugem/vaziosanitariocalendarizacaoemeadura>. Acesso em 19 jan 2020.

**EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Boletim de Pesquisa, 1. Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA, 1982. p. 526.

EUGENIO, F. C.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C.; RIBEIRO, G. A.; SILVA, A. G.; SANTOS, Á. B.; PANETO, G.G.; SCHETTINO, V. R. Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 173, p. 65–71, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.021>

FARIA, A. L. L.; SILVA, J. X.; GOES, M. H. B. Análise ambiental por geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 9, p. 50-65, 2003.

**FEAM** - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Mapa de Solos de Minas Gerais. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010, 49p. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>. Acesso em: 11 de out. de 2019.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG). **Scientia Forestalis**, n. 53, p. 39-48, 1998.

FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais**. 1997. 158 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

FERREIRA, M. O.; VINHA, J. F. S. C. Expressões do agronegócio no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas**, v. 1, n. 31, p. 495-522, 2020.

FIEDLER, N. C.; RODRIGUES, T. O.; MEDEIROS, M. B. Avaliação das condições de trabalho, treinamento, saúde e segurança de brigadistas de combate a incêndios florestais em unidades de conservação do Distrito Federal: estudo de caso. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 55-63, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000100008>

- FISCHER, A.; ZYLBERSZTAJN, D. O fomento florestal como alternativa de suprimento de matéria-prima na indústria brasileira de celulose. **REAd**, v. 18, n. 2, p. 494-520, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-23112012000200008>
- FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; GARRASTAZÚ, M. C. **Zoneamento edáfico para o eucalipto na região do Corede Sul**. Embrapa Clima Temperado, 2009. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_2/eucalipto/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/eucalipto/index.htm). Acesso em: 5 nov. 2019.
- FRAGA, M. S.; ULIANA, E. M.; SILVA, D. D.; CAMPOS, F. B.; CALIJURI, M. L.; SANTOS, D. M. S. Climatic zoning for eucalyptus cultivation through strategic decision analysis. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2018. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- FRANÇA, D. A.; LONGO, K. M.; NETO, T. G. S.; SANTOS, J. C.; FREITAS, S. R.; RUDORFF, B. F. T.; CORTEZ, E. V.; ANSELMO, E.; CARVALHO JR., J. A. Pre-harvest sugarcane burning: determination of emission factors through laboratory measurements. **Atmosphere**, v. 3, n. 1, p. 164-180, 2012. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos3010164>
- FRANCELINO, M. R.; REZENDE, E. M. C.; SILVA, L. D. B. Proposta para zoneamento ambiental de plantio de eucalipto. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 275-283, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000200012>
- GENG, Q.; WU, P.; ZHAO, X.; WANG, Y. A framework of indicator system for zoning of agricultural water and land resources utilization: A case study of Bayan Nur, Inner Mongolia. **Ecological Indicators**, v. 40, p. 43-50, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.01.003>
- GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R.; TANSCHKEIT, R. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos *Fuzzy*, lógica *Fuzzy* e aplicações. *In: Proceedings International Fuzzy Systems Association World Congress*, 6., 1995. **Tutorials** [...] São Paulo, USP, 1995. p. 1-38.
- GONZÁLEZ, J. R.; PALAHÍ, M.; TRASOBARES, A.; PUKKALA, T. A fire probability model for forest stands in Catalonia (north-east Spain). **Annals of Forest Science**, v. 63, n. 2, p. 169-176, 2006. <https://doi.org/10.1051/forest:2005109>
- HORA, A. B. **Análise da formação da base florestal plantada para fins industriais no Brasil sob uma perspectiva histórica**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 42, p 383-426, 2015. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9615>. Acesso em 4 dez 2019.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2019**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/ibarelatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2019.
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sítio Eletrônico. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg.html>. Acesso em: 05 fev. 2021.

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sítio Eletrônico. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>. Acesso em: 05 fev. 2021.

IBGE. **Censo Agro, 2017**. Disponível em: [https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo\\_agro/resultadosagro/pdf/mg.pdf](https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/pdf/mg.pdf). Acesso em: 25 nov. 2019.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura, 2018**. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs\\_2018\\_v33\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2018_v33_informativo.pdf). Acesso em: 23 nov. 2019.

IEF – **Instituto Estadual de Florestas**. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/florestas>. Acesso em: 8 out. 2019.

ILIADIS, L. A decision support system applying an integrated *Fuzzy* model for long term forest fire risk estimation. **Environmental Modelling & Software**, v. 20, p. 613-621, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.03.006>

IRLAND, L. C. Extreme value analysis of forest fires from New York to Nova Scotia, 1950-2010. **Forest Ecology and Management**, v. 294, n. 13, p. 150-157, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.004>

JANTÁLIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, v.95, p. 97–109, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.11.005>

JUVANHOL, R. S. **Modelagem da vulnerabilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2014.

KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECILIO, R. A.; CASTRO, F. S.; PIMENTA, L. R. Zoneamento climático para Teca, Cedro australiano, Nim indiano e Pupunha no Estado do Espírito Santo. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 671-680, 2013. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i4.30914>

KNELMAN, J. E.; GRAHAM, E. B.; FERRENBURG, S.; LECOEVRE, A.; LABRADO, A.; D, J.L.; NEMERGUT, D. R.; SCHMIDT, S. K. Rapid Shifts in Soil Nutrients and Decomposition Enzyme Activity in Early Succession Following Forest Fire. **Forests**, v. 8, n. 347, p. 1-12, 2017. <https://doi.org/10.3390/f8090347>

LEAL, F. A.; SOUZA, F. F. B.; LEAL, G. S. A. Zoneamento de riscos de incêndios florestais em regiões hot spot de focos de calor no estado do Acre. **Nativa**, v. 7, n. 3, p. 274-283, 2019. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i3.6768>

LOPES, F. S.; RIBEIRO, H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 9, n. 2, p. 215-225, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2006000200008>

MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. 534 p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas**. 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/outras-publicacoes/plano-nacional-de-desenvolvimento-de-florestas-plantadas.pdf>. Acesso em: 4 dez 2019.

MARCOLINI, M. P. **Efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para cultura de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) no estado do Tocantins**. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 2014.

MARIN, A. I.; ANDREO, B.; MUDARRA, M. Vulnerability mapping and protection zoning of karst springs. Validation by multitracer tests. **Science of The Total Environment**, v. 532, p. 435-446, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.029>

MARINHO, A. A.; GOIS, G.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; FILHO, W. L.; SANTIAGO, D. D.; JUNIOR, C. A.; TEODORO, P. E.; SOUZA, A. D.; CAPRISTO-SILVA, G. F.; FREITAS, W. K.; ROGÉRIO, J. P. Temporal record and spatial distribution of fire foci in State of Minas Gerais, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 280, n. 15, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111707>

MARTINS, C. R.; LEITE, L. L.; HARIDASAN, M. Capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.), uma gramínea exótica que compromete a recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 739-747, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000500014>

MARTINS, F.B. **Desenvolvimento e estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith)**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

MATAVELI, G. A. V.; CHAVES, M. E. D. Análise da distribuição espacial dos focos de calor no estado de Minas Gerais entre 2009 e 2012. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA, 1., 2014, Alfenas, MG. **Anais** [...] Alfenas, MG, UNIFAL, 2014. p. 1657.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios Florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p.157-168, 2003. <https://doi.org/10.5902/198050981815>

MENDES, L.; TREICHEL, M.; BELING R. **Anuário Brasileiro de Silvicultura 2016 da ABRAF** (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas). Disponível em: <http://www.abaf.org.br/wp-content/uploads/2016/04/anuario-de-silvicultura-2016.pdf>. Acesso em: 15 out 2019.

MENG, Y.; DENG, Y.; SHI, P. Mapping Forest Wildfire Risk of the World. **World Atlas of Natural Disaster Risk**, p. 261-275, 2015. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45430-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45430-5_14)

- MOHAMMADI, F.; BAVAGHAR, M. P.; SHABANIAN, N. Forest Fire Risk Zone Modeling Using Logistic Regression and GIS: An Iranian Case Study. **Small-scale Forestry**, v. 13, n. 1, p. 117-125, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11842-013-9244-4>
- MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; CECILIO, R. A.; MAFIA, R. G.; MORAES, W. B.; COSMI, F. C. Potential impact of the global climate changes on the spatial distribution of areas of risk for the occurrence of eucalyptus rust in Brazil. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 2, p. 114-122, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/1945>
- MOREIRA, T. R.; SANTOS, A. R.; DALFI, R. L.; CAMPOS, R. F.; SANTOS, G. M. A. D. A.; EUGENIO, F. C. Land Use and Occupation Analysis of Permanent Preservation Areas in the Municipality of Muqui, Espírito Santo State, Brazil. **Floram**, v. 22, n. 2, p. 141-152, 2015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.019012>
- MUSINSKY, J.; TABOR, K.; CANO, C. A.; LEDEZMA, J. C.; MENDOZA, E.; R. RA-SOLOHERY, A.; SAJUDIN, E. R. Conservation impacts of a near real-time forest monitoring and alert system for the tropics. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v. 4, n. 3, p. 189 – 196, 2018. <https://doi.org/10.1002/rse2.78>
- NEVES, L. F. S.; MARIMON, B. S.; ANDERSON, L. O.; NEVES, S. M. A. S. Dinâmica de fogo no Parque Estadual do Araguaia, zona de transição Amazônia-Cerrado. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 85-103, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.47926>
- NICOLETE, D. A. P.; ZIMBACK, C. R. L. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental Edgardia – Botucatu (SP), através de sistemas de informações geográficas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 3, p. 55-62, 2013. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v5n32013518>
- OLIVEIRA, D. S. **Zoneamento de risco de incêndios florestais no norte de Santa Catarina**. 2002. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2002.
- OLIVEIRA, D. S.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; GRODZKI, L.; VOSGERAU, J. Zoneamento de risco de incêndios florestais para o Estado do Paraná. **Floresta**, v. 34, n. 2, p. 217-221, 2004. <http://dx.doi.org/10.5380/uf.v34i2.2399>
- OLIVEIRA, R. R.; ZAÚ, A. S.; LIMA, D. F.; SILVA, M. B. R.; VIANNA, M. C.; SODRÉ, D. O.; SAMPAIO, P. D. Significado ecológico da orientação de encostas no Maciço da Tijuca. **Oecologia Brasiliensis**, v. 1, p. 523-541, 1995. <https://doi.org/10.4257/oeco.1995.0101.28>
- OLIVEIRA, T. M. **Monitoramento dos focos de calor e do risco de incêndios florestais no município de Ituiutaba-MG**. 2019. 126 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- ORLANDINI, D.; SILVA, E. N.; VALVERDE, S. R.; GOMES, J. M. Potencialidades das regiões brasileiras para instalação de uma fábrica de celulose. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1053–1060, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000600011>

- PAIVA, Y. G.; MENDONÇA, G. S.; SILVA, K. R.; NAPPO, M. E.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M. Zoneamento agroecológico de pequena escala para *Toona ciliata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim ES, utilizando dados SRTM. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13, 2007, Florianópolis, SC. **Anais [...]** Florianópolis, SC, INPE, 2007. p. 1785-1792.
- PALMA, V. H.; ARCO-VERDE, M. F.; CURCIO, G. R.; MATTOS, L. M.; EWERT, M.; GALVÃO, F. Avaliação da eficiência de sistemas agroflorestais por meio de análises financeiras. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 5, n. 2, p. 203-213. 2020.  
<https://dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i2.71188>
- PAULA, E. M. S.; SOUZA, M. J. N. Lógica *Fuzzy* como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13, 2007, Florianópolis, SC. **Anais [...]** Florianópolis, SC, INPE, 2007. p. 2979-2984.
- PAULO, H.; AZCUE, X.; BARBOSA-PÓVOA, A. P.; RELVAS, S. Supply chain optimization of residual forestry biomass for bioenergy production: The case study of Portugal. **Biomass and Bioenergy**. v. 83, p. 245-256, 2015.  
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.09.020>
- PAZ, S.; CARMEL, Y.; JAHSHAN, F.; SHOSHANY, M. Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: a recent case study from Mt. Carmel (Israel). **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 1184-1188, 2011.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.011>
- PELUZIO, T. M. O. **Lógica *Fuzzy* na determinação de fragmentos florestais para coleta de sementes**. 2017. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2017.
- PEREIRA JÚNIOR, A. C. **Métodos de geoprocessamento na avaliação da susceptibilidade do cerrado ao fogo**. 2002. 112 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- PEREIRA, A. A.; BARROS, D. A.; PEREIRA, J. A. A.; ACERBI JR., F. W.; MORELLI, F.; SCOLFORO, J. R. S. 2014. Frequência espaço-temporal dos focos ativos em Minas Gerais durante o período de 1999 a 2009. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 459-469, 2014. <https://doi.org/10.1590/01047760201420031518>
- 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, p. 1-18, 2001.  
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00271-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00271-1)
- 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) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

- RAMOS, P. C. M. Sistema nacional de prevenção e combate aos incêndios florestais. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 1.; Reunião conjunta IPEF-FUPEF-SIF, 3., Piracicaba, SP. **Anais** [...] Piracicaba, IPEF, 1995, p. 29 - 38.
- REBOITA, M. S; GAN, M. A; ROCHA, R. P; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.
- REIS, L. S.; REIS, R. J.; GUIMARÃES, D. P.; SILVA, C. H. F. Zoneamento agroclimático de cultivos com potencial energético no estado de Minas Gerais. **Revista Espinhaço**, v. 6, n. 1, p. 50-63, 2017.
- RIBEIRO JR, J. I. **Análises estatísticas no Excel: guia prático**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013. 311 p.
- RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Zoneamento de Riscos de Incêndios Florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 561-572, 2008.  
<https://doi.org/10.5380/rf.v38i3.12430>
- RIBEIRO, L.; SOARES, R. V.; BEPLLER, M. Mapeamento do risco de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso, Brasil. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 117-126, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000100014>
- RIBEIRO, V. S.; FINCO, M. V. A.; RIBEIRO, J. B.; NUNES, J. F. Cadeia produtiva da soja e a produção de biodiesel no Tocantins: uma análise do uso da terra pela agricultura familiar. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. ½, p. 167-183, 2015.  
<http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2015.v32.23310>
- ROCHA, S. M. G.; VIDAURRE, G. B.; PEZZOPANE, J. E. M.; ALMEIDA, M. N. F.; CARNEIRO, R. L.; CAMPOE, O. C.; SCOLFORO, H. F.; ALVARES, C. A.; NEVES, J. C. L.; XAVIER, A. C.; FIGURA, M. A. Influence of climatic variations on production, biomass and density of wood in eucalyptus clones of different species. *Forest Ecology and Management*, v. 473, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118290>
- RODE, R., LEITE, H. G., OLIVEIRA, M. L. R., BINOTI, D. H. B., RIBEIRO, C. A. A. S., SOUZA, A. L., SILVA, M. L., COSENZA, D. N. Comparação da regulação florestal de projetos de fomento com áreas próprias de empresas florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 81, p. 11-19, 2015.  
<https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.81.760>
- RODRIGUES, L. R.; TUPAN, L. F. S. Sistemas de videomonitoramento aplicados na otimização da gestão agrícola. **Revista Uningá Review**, v. 33, n. 1, p. 95 - 110, 2018.
- RODRÍGUEZ SILVA, J. G.; CASTILLO, M.; MOLINA, J.; HERRERA, M. Aplicación y adaptación del modelo SEVEIF para la evaluación socioeconómica del impacto de incendios forestales em la Provincia de Valparaíso, Chile. **Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)**, 2010, 52 p.



- RODRÍGUEZ, M. P. R.; RODRÍGUEZ, Y. C.; SIERRA, C. A. M.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. Relación entre variables meteorológicas e incendios forestales em la provincia Pinar Del Río, Cuba. **Floresta**, v. 47, n. 3, p. 343-352, 2017. <https://doi.org/10.5380/rf.v47i1.50900>
- RODRÍGUEZ, M. P. R.; SOARES, R. V.; BATISTA, A.C.;TETTO, A. F.; BECERRA, L. W. M. Comparação entre o Perfil dos Incêndios Florestais de Monte Alegre, Brasil, e de Pinar Del Río, Cuba. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 231-240, 2013. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i2.27650>
- ROMERO CALCERRADA P, BARRIO PARRA F, MILLINGTON JDA, NOVILLO CJ. 2010. Spatial modelling of socioeconomic data to understand patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (central Spain). *Ecol Model* 221 (1): 34–45.
- ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 964-971, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000700013>
- ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C. S.; TOMASELLA, J. Variação espaço-temporal da umidade do solo no Brasil: análise das condições médias para o período de 1971 – 1990. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 113-122, 2004.
- SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2009.
- SAATY, T. L. Decision making – The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 13, n. 1, p. 1 - 34, 2004. <https://doi.org/10.1007/s11518-006-0151-5>
- SANT'ANNA, C. M.; FIEDLER, N. C.; MINETTE, L. J. **Controle de incêndios florestais**. Alegre, ES, Editora Suprema, 2007. 152 p.
- SANTOS, A. R.; RIBEIRO, A. A. S.; PELUZIO, T. M. O.; PELUZIO, J. B. E.; QUEIROZ, V. T.; BRANCO, E. R. F.; LORENZON, A. S.; DOMINGUES, G. F.; MARCATTI, G. E.; CASTRO, N. L. M.; TEIXEIRA, T. R.; SANTOS, G. M. A. D. A.; MOTA, P.H S.; SILVA, S. F.; VARGAS, R.; CARVALHO, J. R.; MACEDO, L. L.; ARÁUJO, C. S.; ALMEIDA, S. L. H. Geotechnology and landscape ecology applied to the selection of potential forest fragments for seed harvesting. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 1050-1063, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.073>
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRE-RAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5 ed. rev e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.
- SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Floresta**, v. 36, n. 1, p. 93-100, 2006. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v36i1.5510>

SANTOS, P. R.; PEREIRA, G.; ROCHA, L. C. 2014. Análise da distribuição espacial dos focos de queimadas para o bioma cerrado. *In: SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA*, 1., 2014, Alfenas, MG. **Anais [...]** Alfenas, MG, UNIFAL, 2014. p. 1740. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2014v24nespp133>

SCOLFORO, J. R. *et al.* **Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais**. 1. ed. Lavras, MG: Editora UFLA, 2008. 161 p.

SEAPA - Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. **Bovinocultura, Leite e Corte**. Novembro, 2020. Disponível em: [http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/bovinocultura\\_leite\\_corte\\_nov\\_2020\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/bovinocultura_leite_corte_nov_2020[1].pdf). Acesso em 12 dez 2020.

SEAPA - Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. **Cana de Açúcar**. Novembro, 2020. Disponível em: [http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil\\_cana\\_dezembro\\_2020\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_cana_dezembro_2020[1].pdf). Acesso em 13 dez 2020.

SEAPA - Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. **Soja**. Novembro, 2020. Disponível em: [http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil\\_soja\\_dezembro\\_2020\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_soja_dezembro_2020[1].pdf). Acesso em 18 dez 2020.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; SILVA, F. B.; PEREIRA, D. C. A.; BEZERRA, V. L. A. R. Uso de lógica *Fuzzy* e processo analítico hierárquico – AHP no zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamento utilizando o operador *Fuzzy* média ponderada AHP o caso da bacia hidrográfica do Rio Anil em São Luís – MA. **Revista de Geografia**, v. 3, n. 2, p. 1-7, 2013.

SILVA, I. D. B.; PONTES JR, A. C. F. Elaboração de um Fator de Risco de Incêndios Florestais utilizando Lógica *Fuzzy*. **Revista Biomatemática** v. 21, p. 113-128, 2011.

SILVA, J. C.; FIEDLER, N. C.; RIBEIRO, G. A.; SILVA JUNIOR, M. C. Avaliação de brigadas de incêndios florestais em unidades de conservação. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 95-101, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000100013>

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. 178 p.

SILVA, R. G. Manual de prevenção e combate aos incêndios florestais. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. Brasília, 1998. Disponível em: <http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-de-prevencao-e-combate-aos-incendios-florestais.pdf>. Acesso em 8 dez 2019.

SOARES, R. V. **Prevenção e controle de incêndios florestais**. Curitiba: FUPEF, 1984. 160 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Incêndios florestais no Brasil - o estado da arte**. Curitiba, PR: Editora. UFPR, 2009. 246 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. (2017). **Incêndios florestais – controle, efeitos e uso do fogo**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. 255 p.

SOARES, R.V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. 2. ed. Curitiba: FUPEF, 2008. 55p.

SOTO, M. E. C. The identification and assessment of areas at risk of forest fire using *Fuzzy methodology*. **Applied Geography**, v. 35, p. 199-207, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.07.001>

SPAROVEK, G.; VAN LIER, Q. J.; DOURADO NETO, D. Computer assisted Köppen climate classification: a case study for Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 2, p. 257-266, 2007. <https://doi.org/10.1002/joc.1384>

SPERANDIO, H. V.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A.; NAPPO, M. E. Zoneamento Agroecológico Para Espécies De Eucalipto No Estado Do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 34, p. 203–216, 2010.

SULTANA, A.; KUMAR, A. Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system. **Applied Energy**, v. 94, p. 192-201, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.052>

SYPHARD, A. D.; RADELOFT, V.; KEULER, N. S.; TAYLOR, R. S.; HAWBAKER, T. J.; STEWART, S. I.; CLAYTON, M. K. Predicting spatial patterns of fire on a southern California landscape. **International Journal of Wildland Fire**, n. 17, p. 602–613, 2008. <http://dx.doi.org/10.1071/WF07087>

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F.; PENCHEL, R. M. Desempenho de clones de eucalipto em resposta a disponibilidade de água no substrato. *Revista Engenharia na agricultura*, v. 17, n. 3, p. 179-189, 2009.  
<https://doi.org/10.13083/reveng.v17i3.134>

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology, New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.

TIAN, X.; ZHAO, F.; SHU, L.; WANG, M. Distribution characteristics and the influence factors of forest fires in China. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 460-467, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.025>

TORRES, F. T. P.; LIMA, G. S.; COSTA, A. G.; FÉLIX, G. A.; SILVA JÚNIOR, M. R. Perfil dos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras no período de 2008 à 2012. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 531-542, 2016.  
<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v46i4.44199>

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. (2011) *Introdução à Climatologia*. Ubá: Ed. Geographica, 2008. – (Série Textos Básicos de Geografia) 234p.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA G. S. Influência do relevo nos incêndios em vegetação em Juiz de Fora (MG). **Geographia**, v. 18, n. 36, p.170-182, 2016. <https://doi.org/10.22409/GEoGraphia2016.1836.a13748>

VALERIANO, M. M. **Dados topográficos**. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. 1. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008. 320 p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2004. 449 p.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. Caracterização do material combustível e simulação do comportamento do fogo em eucaliptais no litoral norte

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. Caracterização do material combustível e simulação do comportamento do fogo em eucaliptais no litoral norte da Bahia, Brasil. **Revista Floresta**, v. 44, n. 1, p. 33-42, 2014. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v44i1.32977>

WHITE, L. A. S.; WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T. Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 41, 2016. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.85.850>

WREGGE, M. S.; GARRASTAZU, M. C.; FLORES, C. A.; STEINMETZ, S.; JÚNIOR, C. R. Zoneamento edafoclimático da acácia-negra para o extremo sul do Brasil. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 59-69, 2017.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2015. <https://doi.org/10.1002/joc.4518>

XAVIER, T. M. T.; PEZZOPANE, J. E. M.; PENCHEL, R. M.; CALDEIRA, M. V. W.; REIS, E. F. Influence of water deficit and season on biomass yield from clonal stands of eucalyptus. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 473-479, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000300015>