

**ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO****ANALYSIS OF THE RISK OF FIRE IN VEGETATION IN AREAS CULTIVATED WITH SUGAR CANE IN THE TRIÂNGULO MINEIRO REGION**

Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos<sup>1</sup>, Daniel Pena Pereira<sup>1</sup>, Fausto Antônio Domingos Junior<sup>1</sup>, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva<sup>1</sup>

e2415311

<https://doi.org/10.33947/geociencias.v24i1.5311>

PUBLICADO: 5/2025

**RESUMO**

Um mapa de risco de ocorrências de incêndios florestais (ROIF) levanta as regiões mais susceptíveis às incidências do fogo, auxiliando a elaboração de um planejamento mais especializado e gerir medidas de prevenção a incêndios considerando as especificidades da área. O objetivo geral deste trabalho foi utilizar a lógica fuzzy para o mapeamento de risco de ocorrência de incêndios florestais em uma área com ampla distribuição de cultivo de cana-de-açúcar situada no Triângulo Mineiro. A área de estudo é caracterizada na forma de um quadrante, contemplando 433,778 hectares e englobando os municípios de Araxá, Conquista, Nova Ponte, Pedrinópolis, Perdizes, Santa Juliana, Tapira e Uberaba. Utilizou-se Sistemas de Informações Geográficas para desenvolver o mapa de risco de ocorrência de incêndios florestais (ROIF), no qual foram consideradas as variáveis de uso e cobertura do solo, altitude, declividade, orientação do relevo, temperatura, precipitação e proximidade de estradas. Dados informados de incêndios florestais que aconteceram na área de estudo e as imagens de satélite coletadas a partir dessas informações corroboram na validação das classes de risco apresentadas pelo ROIF. A área de estudo apresenta 29,16% de regiões categorizadas como de risco alto a muito alto, perfazendo 159,29 hectares. As variáveis de maior influência para a ocorrência de incêndios são a proximidade de estradas e o uso e cobertura do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Incêndio florestal. Sistema de informações geográficas. SIG. Fuzzy.

**ABSTRACT**

*A forest fire risk map (ROIF) raises the regions most susceptible to fire incidence, helping to develop more specialized planning and manage fire prevention measures considering the specificities of the area. The general objective of this work was to use fuzzy logic to map the risk of occurrence of forest fires in an area with wide distribution of sugarcane cultivation located in the Triângulo Mineiro. The study area is characterized in the form of a quadrant, contemplating 433,778 hectares and encompassing the municipalities of Araxá, Conquista, Nova Ponte, Pedrinópolis, Perdizes, Santa Juliana, Tapira and Uberaba. Two Geographic Information Systems were used to develop the forest fire risk map (ROIF), in which the variables of land use and cover, altitude, slope, relief orientation, temperature, precipitation and proximity to roads were considered. Reported data of forest fires that occurred in the study area and the satellite images collected from this information corroborate the validation of the risk classes presented by ROIF. The study area presents 29.16% of regions categorized as high to very high risk and the variables of greatest influence for the occurrence of fires are the proximity of roads and land use and cover.*

**KEYWORDS:** Forest fire. Geographic information system. GIS. Fuzzy.

**INTRODUÇÃO**

Os incêndios florestais têm um impacto significativo não apenas no meio ambiente, com a destruição da vegetação e alterações nos ecossistemas, mas também na economia e na sociedade, causando a destruição de recursos, bens materiais e até mesmo acometendo vidas humanas (Kala,

---

<sup>1</sup> Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Uberaba.

2023; Song *et al.*, 2022; Dimuccio *et al.*, 2008). A relação entre as condições meteorológicas e os incêndios em áreas agrícolas tem sido amplamente estudada em todo o mundo (Fonseca *et al.*, 2023; Juvanhol *et al.*, 2021), visando estabelecer medidas mais eficazes para prever e controlar esses eventos.

É fundamental controlar os focos de incêndio o mais rápido possível, pois a passagem do tempo dificulta o acesso e a disponibilidade de recursos para o controle do fogo, aumentando a sua proporção e força (Barbosa Soares Neto *et al.*, 2016). Portanto, é importante desenvolver medidas preventivas para prolongar a vida nos ecossistemas.

Dados do IBGE (2015) indicam uma relação entre a frequência de incêndios florestais no Brasil e o avanço das atividades agropecuárias sobre áreas nativas. Destaca-se a prática do uso do fogo no manejo agrícola, como na cultura da cana de açúcar, em que as queimadas facilitam a realização do corte manual, porém acabam que geram impactos negativos ao meio ambiente (Ferrante; Fearnside, 2018; Gonino *et al.*, 2019; Souto-Oliveira *et al.*, 2023). O Novo Código Florestal, instituído pela Lei federal nº 12.651/2012, estabeleceu novas diretrizes para minimizar o uso do fogo na agricultura, mas ainda o permite em condições específicas e sob autorização do órgão ambiental (Brasil, 2012).

Nas regiões como a do Cerrado, os incêndios florestais são particularmente mais agravantes devido ao longo período de estiagem associado ao aumento da temperatura e redução da umidade relativa do ar, que tornam as condições meteorológicas mais propícias para a proliferação dos focos de incêndios (Gomes; Miranda; Bustamante, 2018; IBGE, 2015). O Cerrado é o segundo bioma brasileiro mais afetado por incêndios florestais, sofrendo com redução e extinção da fauna e flora nativas, bem como a diminuição da qualidade do ar (Miranda; Silva; Juvanhol, 2022; Silva; Veras; Chaves, 2017).

O controle do fogo em incêndios florestais ainda enfrenta desafios devido à falta de dados consistentes e ao pouco entendimento científico da resposta ecológica ao fogo Juvanhol (2014). A gestão eficaz dos incêndios requer informações confiáveis sobre as dinâmicas que ocorrem no ambiente, levando em consideração as condições climáticas e suas alterações ao longo do tempo, a vegetação e seu histórico de sucessão, presença de animais e registro de ações antrópicas (Gomes *et al.*, 2020; Gomes; Miranda; Bustamante, 2018). São esses dados que compõem a avaliação de risco de incêndio, que por sua vez, é essencial para desenvolver planos de ação estratégicos e viáveis e que servem de modelo para apoiar a decisão de ações mais eficazes (Biazatti, 2019; Bar Massada *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2020; Fairbrother; Turnley, 2005). O desenvolvimento e uso de modelos de avaliação de riscos de incêndios ajudam o agricultor a ter um melhor manejo da sua área e meio ambiente como um todo no momento de tomar uma decisão ativa e/ou preventiva (Biazatti, 2019). Atualmente, a literatura já apresenta exemplos de análise de risco de incêndio em todo o mundo (Parajuli; Manzoor; Lukac, 2023; Sivrikaya; Küçük, 2022; Mota *et al.*, 2019; Atkinson *et al.*, 2010; Dlamini, 2010; Kaloudis *et al.*, 2010), proporcionando uma visualização espacial representativa da área de maior susceptibilidade ao incêndio florestal, deixando o proprietário alerta para adequar o ambiente para prevenção e controle do fogo de acordo com as características da região (Abedi, 2022; Juvanhol, 2014).

A geotecnologia, neste cenário, é uma forte aliada para o combate de incêndios em áreas cultivadas (Aragão *et al.*, 2023; Fonseca *et al.*, 2023), tais como os canaviais, pois permitem otimizar as técnicas e recursos usadas para minimizar os riscos ao longo do desenvolvimento da lavoura. As entidades nacionais encarregadas pela proteção e recuperação dos recursos naturais adotam medidas preventivas, como programas de conscientização popular, monitoramento de incêndios e desenvolvimento de mapas de risco de incêndios (Pivello *et al.*, 2021; Berlinck; Lima, 2021; Caetano, 2021; Batista, 2004), mas é importante que o ato de proteger o meio ambiente também tenha seu início através do produtor rural.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma ferramenta fundamental para o mapeamento de riscos de incêndios, uma vez que se pode obter informações a respeito das características especiais da área de estudo, como o uso do solo pelo homem, o material vegetal presente e a topografia (Eugenio *et al.*, 2016; Mota *et al.*, 2019) e fazer a sua compilação para encontrar as áreas que apresentam uma predisposição maior para o acontecimento de incêndios. Com isso, os interessados são capazes de adotar medidas técnicas preventivas específicas para cada região e preencher uma lacuna falha na gestão de risco de incêndios florestais e em vegetação por empresas e proprietários rurais (Juvanhol *et al.*, 2021; Mota *et al.*, 2019).

Dentre os métodos utilizados para modelagem de risco de incêndio florestal há a lógica fuzzy, que é um fundamento matemático usado em trabalhos que abordam variáveis e sistemas ambíguos no intuito de facilitar sua interpretação (Abedi Gheshlaghi; Feizizadeh; Blaschke, 2020; Juvanhol *et al.*, 2021; Toledo-Castro *et al.*, 2018). A lógica fuzzy indica o grau de influência de um valor dentro de um conjunto entre 0 e 1 (Abedi Gheshlaghi; Feizizadeh; Blaschke, 2020), permitindo a modelagem dos cenários incertos do mundo real.

O objetivo geral deste trabalho é realizar a aplicação da lógica fuzzy para o mapeamento de risco de ocorrência de incêndios em vegetações situadas no entorno de áreas de plantio comercial de cana-de-açúcar no Triângulo Mineiro. O objetivo específico deste trabalho é utilizar a lógica fuzzy para identificar as variáveis que tem maior influência no risco de incêndio florestal e quais classes de risco estão presentes nesta mesma região, bem como a extensão em hectares (ha) de cada uma.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado no Triângulo Mineiro, contemplando os municípios Araxá, Conquista, Nova Ponte, Pedrinópolis, Perdizes, Sacramento, Santa Juliana e Uberaba, sendo todos pertencentes ao estado de Minas Gerais. A área delimitada para o estudo compreende um grupo de fazendas sob cultivo de cana de açúcar da empresa sucroenergética BP Bunge Bioenergia, bem como uma região no entorno dessas fazendas. A empresa está localizada em Fazenda Rua Santa Bárbara, s/n, Zona Rural, no município de Santa Juliana/MG, CEP 38175-000 e com valores de latitude e longitude referentes a 19° 32' 49" S e 47° 25' 21" W, respectivamente. A altitude é de 914,19 metros.

A área de estudo conta com uma extensão de 433,778 hectares e, dentro da área estudo, estão localizadas sete fazendas sob o cultivo de cana de açúcar, sendo identificadas conforme a tabela 1 e ilustradas na figura 1. A escolha das fazendas foi baseada no quadro de reincidência de incêndios,

fornecido pela empresa ao autor, entre os anos de 2018 a 2019, com exceção das fazendas 20107 e 20627, que não haviam informações registradas. Além disso, o Brasil é o maior produtor de cana, sendo esta cultura considerada a segunda cultura mais plantada no país (CONAB, 2022; Thomaz; Marcatto; Antoneli, 2022), o que torna ainda mais importante o estabelecimento de formas de prevenção e combate de incêndios florestais em regiões produtoras de cana.

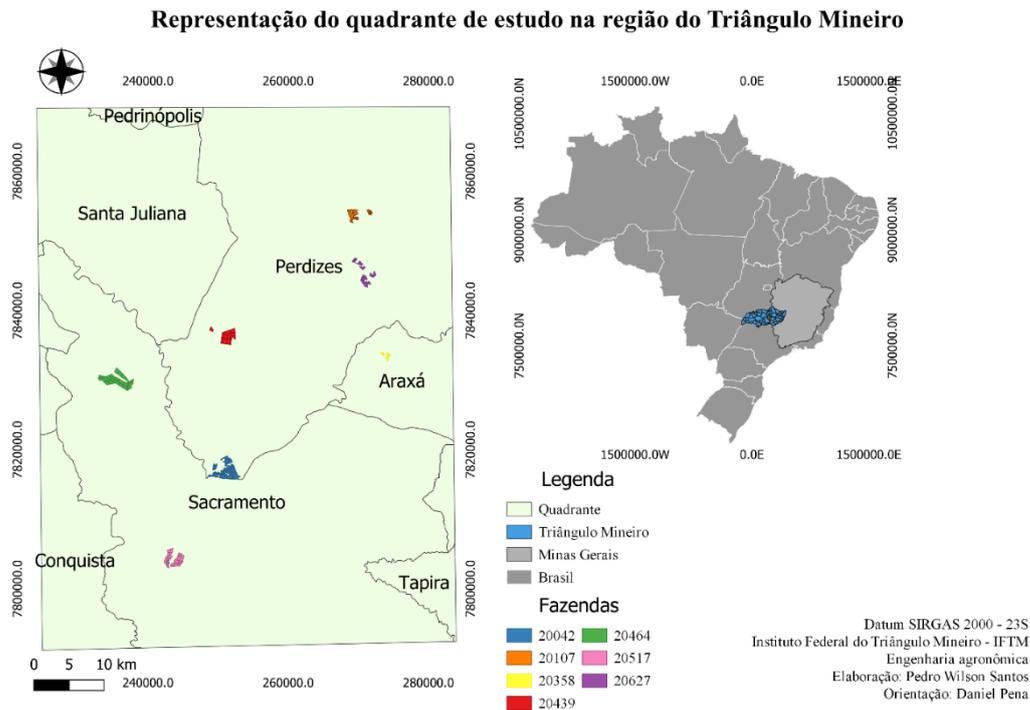
Tabela 1 - Informações coletadas sobre as fazendas escolhidas.  
*Table 1 – Information collected about the chosen farms.*

<b>CÓDIGO DA FAZENDA</b>	<b>ÁREA TOTAL (HA)</b>	<b>OCORRÊNCIA DE INCÊNDIO</b>	<b>ESTIMATIVA DE ÁREA QUEIMADA (HA)</b>
20042	542,74	8 de junho de 2018 e 18 de setembro de 2019	41,96
20107	181,33	Não informado	
20358	58,01	16 de maio de 2018, 13 de julho de 2018 e 17 de julho de 2019.	85,24
20439	334,87	12 de setembro de 2019.	143
20464	580,45	10 de setembro de 2018 e 17 de junho de 2019.	38,10
20517	320,06	3 de junho de 2018, 7 de julho de 2018, 6 de agosto de 2019, 3 e 4 de outubro de 2019.	237,4
20627	209,74	Não informado	

Fonte: Os autores.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 1 - Quadrante de estudo.  
Figure 1 – Study quadrant.



Fonte: Os autores.

De acordo com a escala de Köppen-Geiger, o clima da região é o Aw, caracterizado por ser tropical e temperado quente (Martins *et al.*, 2018). O verão da área é marcado por uma estação chuvosa, de novembro a abril, enquanto o inverno é definido por uma estação seca, de maio a outubro. A temperatura média varia entre 16° e 20°C e os valores pluviométrico vão de 1700 mm a 1900mm (Novais; Brito; Sanches, 2018). O bioma da região de estudo é constituído por Cerrado, aproximadamente 85% da área do Triângulo Mineiro, e uma pequena parcela de Mata Atlântica nas suas extremidades (Alvarenga, 2022).

A base de dados utilizada no desenvolvimento do estudo é proveniente de diversas fontes, uma vez que se fez uso de diferentes variáveis para a construção do mapa de risco de incêndio (Quadro 1). Com a base de dados estabelecida, foi aplicada a lógica fuzzy ou a teoria dos conjuntos fuzzy, uma metodologia que permite entender um valor faz parte ou não de um determinado conjunto, bem o grau de influência desse valor no resultado. O conjunto da lógica fuzzy varia de 0 a 1, o que faz com que seja necessário realizar a conversão dos dados geotecnológicos aplicados no estudo para um intervalo correspondente (Ramalho, 2021), sendo feita através dos algoritmos internos do SIG.

Tal conversão é denominada “fuzzyficação” e o resultado é uma variável geotecnológica com seus valores transformados para caber em um intervalo de 0 a 1, possibilitando sua associação a uma classe de risco de incêndio. A classificação de risco de incêndio adotada considera que, quanto mais próximo o resultado for de 1, maior será o risco, enquanto mais o resultado se aproximar de 0, menor será o risco. A elaboração do mapa de Risco de Ocorrência de Incêndio Florestal (ROIF) é feita através

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

da integração da lógica fuzzy das variáveis de grande influência para que o modelo final apresente características pautáveis com a realidade da área de estudo (Ramalho *et al.*, 2021). Cada variável constante na base de dados é trabalhada para formar um mapa temático correspondente aos dados obtidos. Neste trabalho, as variáveis de maior influência foram selecionadas em consonância às que Ramalho *et al.*, (2021) utilizaram em sua metodologia, sendo estas o uso e a ocupação do solo, a declividade, a altitude, a orientação do relevo, a proximidade de estradas, a temperatura e a precipitação.

Os mapas temáticos de cada variável, após concluídos, foram sobrepostos através da ferramenta de *overlay* do software de Sistema de Informações Geográficas (SIG). O resultado é um novo mapa, o ROIF, cujo cada pixel representa a soma dos valores do mesmo pixel presente nos mapas temáticos outrora desenvolvidos. Entretanto, para facilitar o entendimento do ROIF, é necessário reclassificá-lo em cinco classes de riscos: muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo (Santos, 2022).

Quadro 1 - Relação de fontes para obtenção do banco de dados para elaboração do ROIF.  
*Table 1 – List of sources for obtaining the database for preparing the ROIF.*

Dados	Utilizações	Fonte	Disponível em
Uso e ocupação do solo	Caracterização e classificação da cobertura do solo na área de estudo.	Google Earth Engine: Mapbiomas User toolkit	<a href="https://code.earthengine.google.com/62169792fab262802b9900c8acb0ae4f">https://code.earthengine.google.com/62169792fab262802b9900c8acb0ae4f</a>
Limites municipais	Localização da área de estudo	SISEMA 2020	<a href="https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis">https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis</a>
Malha viária	Determinar a proximidade das estradas em relação à área de estudo	SISEMA 2020	<a href="https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis">https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis</a>
Temperatura média anual	Mapear os índices de temperatura e correlacioná-los com o risco de incêndio florestal.	Google Earth Engine	<a href="https://code.earthengine.google.com/862ef6e74f7d0ed26318c09ac98b41e1">https://code.earthengine.google.com/862ef6e74f7d0ed26318c09ac98b41e1</a>
Precipitação acumulada anual	Identificar os valores de precipitação referentes à área para identificar locais mais susceptíveis.	INPE/2022	<a href="http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php#var_ind">http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php#var_ind</a>
Altitude	Mapear os pontos de maior e menor altitude para classificar os pontos mais vulneráveis.	SISEMA 2020	<a href="https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis">https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis</a>
Declividade	Conhecer e indicar as regiões de maior e menor inclinação do terreno	SISEMA 2020	<a href="https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis">https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis</a>

### Uso e ocupação da terra

O risco de ocorrência de incêndios florestais está diretamente relacionado com as características dos materiais combustíveis que compõem a cobertura da terra (Biazarri, 2019). De acordo com Soares (1985), material combustível é qualquer material orgânico, vivo ou morto, no solo, sobre o solo ou acima dele capaz de entrar em ignição e queimar. As características do material combustível influenciam positiva ou negativamente a propagação do fogo (Abreu *et al.*, 2022; Juvanhol *et al.*, 2021; Miranda; Silva; Juvanhol, 2022), o que torna essencial o seu conhecimento.

O mapa de uso e ocupação da terra considera as várias utilizações do solo presentes na área de estudo, sendo ele dividido em diferentes classes representativas do risco de ocorrência e propagação de incêndio florestais, levando em consideração o potencial de combustão de cada um dos materiais identificados. Os dados para elaboração do mapa temático foram obtidos por meio do *Google Earth Engine* e com a utilização da coleção de scripts disponibilizados pelo MapBiomias (Tabela 2).

Neste trabalho, as classes seguiram recomendações de Ramalho *et al.*, (2021), com adaptações pertinentes as características regionais. As classes são: Formação florestal, formação savânica, formação campestre, silvicultura, mosaico de agricultura, pastagem, cana de açúcar, soja, café, outras lavouras temperárias, campos alagados, rios e lagos, área não vegetada e área urbana. No mapa temático, a coloração de cada classe foi definida de acordo com as recomendações do MapBiomias.

Tabela 2 - Classes de risco de uso e cobertura da terra.  
*Table 2 – Land use and land cover risk classes.*

USO E COBERTURA DA TERRA	RISCO
RIOS E LAGOS	Muito baixo
ÁREA URBANA	Muito baixo
ÁREA NÃO VEGETADA	Muito baixo
CAMPOS ALAGADOS	Baixo
CAFÉ	Baixo
SOJA	Baixo
OUTRA LAVOURA TEMPORÁRIA	Baixo
FORMAÇÃO CAMPESTRE	Moderado
SILVICULTURA	Moderado
MOSAICO DE AGRICULTURA	Alto
FORMAÇÃO SAVÂNICA	Alto
CANA DE AÇÚCAR	Alto
PASTAGEM	Muito alto
FORMAÇÃO FLORESTAL	Muito alto

Fonte: adaptado de Ramalho *et al.* (2021).

### Malha viária

Áreas ao longo de rodovias, ferrovias e estradas são, segundo Juvanhol (2014), importantes no processo de início do fogo. O constante tráfego de pessoas corrobora para o início do processo de ignição por fatores diversos, como prática de pequenas fogueiras, incêndios criminosos e acidentais, entre outros (Juvanhol *et al.*, 2021; Mota *et al.*, 2019; Barbosa Soares Neto *et al.*, 2016). Para mapear a influência espacial de variáveis espaciais, como é o caso das estradas, é necessário utilizar uma modelagem com buffer (Juvanhol, 2014). Segundo Romero *et al.*, (2010), um buffer é uma zona ao redor de um recurso de mapa medido em distância, estabelecendo uma conexão entre locais, possibilitando uma análise de proximidade.

Desse modo, adaptando da metodologia de Ramalho *et al.*, (2021), foram determinados buffers de 12,5 a 50 metros como as áreas de influência nas proximidades de estradas, sendo as rodovias principais classificadas de alto risco e com buffer de 50 metros. As estradas secundárias, aqui consideradas como as referentes às entradas das fazendas selecionadas e as estradas terciárias, aquelas que conectam um talhão da fazenda a outro, tiveram os buffers estipulados de 25 e 12,5 metros, respectivamente.

### Declividade

O relevo é bastante influente sobre o clima e, em menor escala, sobre a vegetação e consequentemente sobre o material combustível presente nas superfícies terrestres, fazendo com que haja uma propensão do fogo de se espalhar mais rapidamente nos aclives e mais lentamente nos declives (Si *et al.*, 2022; Eugenio *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2008), dado que os aclives corroboram para uma transferência de calor mais intensa (Barbosa Soares Neto *et al.*, 2016). Dessa forma, torna-se essencial conhecer as regiões mais vulneráveis em relação ao relevo para a elaboração de um mapa de risco de ocorrência de incêndio florestal.

O mapa temático de declividade foi obtido por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE), disponibilizado pelo SISEMA. Com o MDE, é possível conhecer o relevo, as curvas de nível e outras informações relacionadas à geografia do local e, através do Topogride, que é um método de refinar o MDE, torna-se viável a utilização do SIG para o compilado de variáveis como a declividade (Oliveira *et al.*, 2015).

No SIG, para elaboração do mapa de declividade, é possível inserir tanto dados de coordenadas geográficas quanto coordenadas planas, desde que se faça a conversão desses dados para graus ou porcentagem através da função “*slope*” (Santos; Melo; Rovani, 2017). Feito isso, os dados de declividade podem ser classificados nas diferentes classes de risco de incêndio, como ilustra a tabela 03.

Tabela 3 - Classe de risco de proximidade de estradas.

*Table 3 – Road proximity risk class.*

DECLIVIDADE	RISCO
< 5°	MUITO BAIXO
5° - 10°	BAIXO
10,1° - 15°	MODERADO
15,1° - 20°	ALTO
> 20°	MUITO ALTO

### Altitude

Segundo Ribeiro *et al.* (2008), a altitude está conectada com a umidade relativa do ar, dado que, com o decréscimo da altitude, há aumento da temperatura. Sendo assim, valores baixos de altitude ocasionam na secagem do material combustível, o que aumenta o risco de ocorrência de incêndios florestais (Tagliarini *et al.*, 2020).

Assim como a declividade, para a altitude também se usa o MDE para elaboração do mapa temático. Entretanto, não se é necessário realizar conversões, uma vez que a unidade de medida utilizada para representar a altitude é metros (m). A classificação de riscos segue a metodologia sugerida por Ramalho *et al.*, (2021) e encontra-se na tabela 04.

Tabela 4 - Classe de risco de altitude.

*Table 4 – Altitude risk class.*

ALTITUDE (M)	RISCO
> 1500	MUITO BAIXO
1200 - 1500	BAIXO
900 - 1200	MODERADO
600 - 900	ALTO
< 600	MUITO ALTO

Fonte: Ramalho *et al.* (2021).

### Orientação do relevo

A orientação do relevo, devido às condições de iluminação pelo sol, influencia na umidade e tipo do material combustível. As faces de relevo de maior risco são aquelas de maior exposição do sol, contribuindo para a redução da umidade do material combustível (Camargo *et al.*, 2019; Barbosa Soares Neto *et al.*, 2016). No hemisfério sul, região onde se dá o atual estudo, os raios solares incidem intensamente sobre faces voltadas ao norte, emitindo uma maior quantidade de calor a esta face. A segunda maior receptora de incidência solar é a face oeste, seguida da face leste, enquanto a face sul é a que recebe a menor quantia de radiação solar (Prudente, 2010).

O mapa da orientação do relevo foi elaborado a partir do MDE, por meio da ferramenta “*aspect*” do SIG que, assim como a função “*slope*”, baseia-se na utilização de *pixels* de 3 x 3 m e na determinação da diferença de altitude entre a célula central e seus oito vizinhos, considerando as direções norte-sul e leste-oeste (Arcgis Online Resources, 2011). A classificação de risco para a variável de orientação do relevo levou em consideração as 10 diferentes faces e seus respectivos graus, estabelecendo um nível de risco para cada uma (Ramalho, 2021) (Tabela 5).

Tabela 5 - Classe de risco de orientação de relevo.  
*Table 5 – Relief orientation risk class.*

FACE	ORIENTAÇÃO DO RELEVO	RISCO
-1	PLANO	MUITO BAIXO
0° - 22,5°	NORTE	MUITO ALTO
22,5° - 67,5°	NORDESTE	ALTO
67,5° - 112,5°	LESTE	MODERADO
112,5° - 157°	SUDESTE	BAIXO
157° - 202,5°	SUL	BAIXO
202,5° - 247,5°	SUDESTE	BAIXO
247,5° - 292,5°	OESTE	MODERADO
292,5° - 337,5°	NOROESTE	ALTO
337,5° - 360°	NORTE	MUITO ALTO

Fonte: Ramalho *et al.* (2021).

### Temperatura

A maior suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais é diretamente proporcional à elevação da temperatura do ar, uma vez que essa situação propicia a evaporação da água e diminui o grau de umidade da serrapilheira e outros materiais combustíveis (Aragão *et al.*, 2023; Juvanhol *et al.*, 2021; Miranda; Silva; Juvanhol, 2022; Brandão; Miranda, 2012). Além disso, a temperatura influencia a velocidade e intensidade dos ventos, a umidade relativa do ar e a estabilidade atmosféricas (Ramalho *et al.*, 2021; Ribeiro *et al.*, 2008).

Para elaboração do mapa temático da temperatura foram obtidas as informações de média anual por meio do Google Earth Engine, sendo estes referentes ao ano de 2021 e exclusivos do estado de Minas Gerais. A classificação de risco de ocorrência de incêndios florestais foi adaptada de Ramalho *et al.*, (2021), estando apresentada na tabela 06.

Tabela 6 - Classe de risco de temperatura.

*Table 6 – Temperature risk class.*

TEMPERATURA DO AR	RISCO
12,9° - 21,1° C	MODERADO
21,2° - 29,4 °C	ALTO
> 29,4° C	MUITO ALTO

Fonte: Ramalho et al. (2021).

### Precipitação

O período de maior estresse hídrico, decorrente da seca e por má distribuição das chuvas, está constantemente relacionado à maior incidência de incêndios florestais (Abreu *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2020; Gomes; Miranda; Bustamante, 2018; Silveira; Vettorazzi; Valente, 2008). Segundo Carvalho *et al.*, (2023) e Soares e Batista (2007), longos períodos de estiagem influenciam a capacidade de propagação dos incêndios de várias formas, como pela secagem gradativa do material combustível morto e pela diminuição no teor de umidade da vegetação verde, ambos fatores contribuindo para o aumento da chance de combustão e propagação do fogo nas coberturas vegetais.

Para compor o mapa de precipitação faz-se uso dos dados de precipitação anual disponibilizados pelo AMBDATA, desenvolvidos por uma equipe do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A classificação de risco para precipitação segue a metodologia de Ramalho *et al.* (2021), com adaptações pertinentes a realidade da área de estudo.

Tabela 7 - Classe de risco de precipitação.

*Table 7 – Precipitation risk class.*

PRECIPITAÇÃO ANUAL (MM)	RISCO
> 1,400.00	MUITO BAIXO

Fonte: adaptado de Ramalho *et al.* (2021).

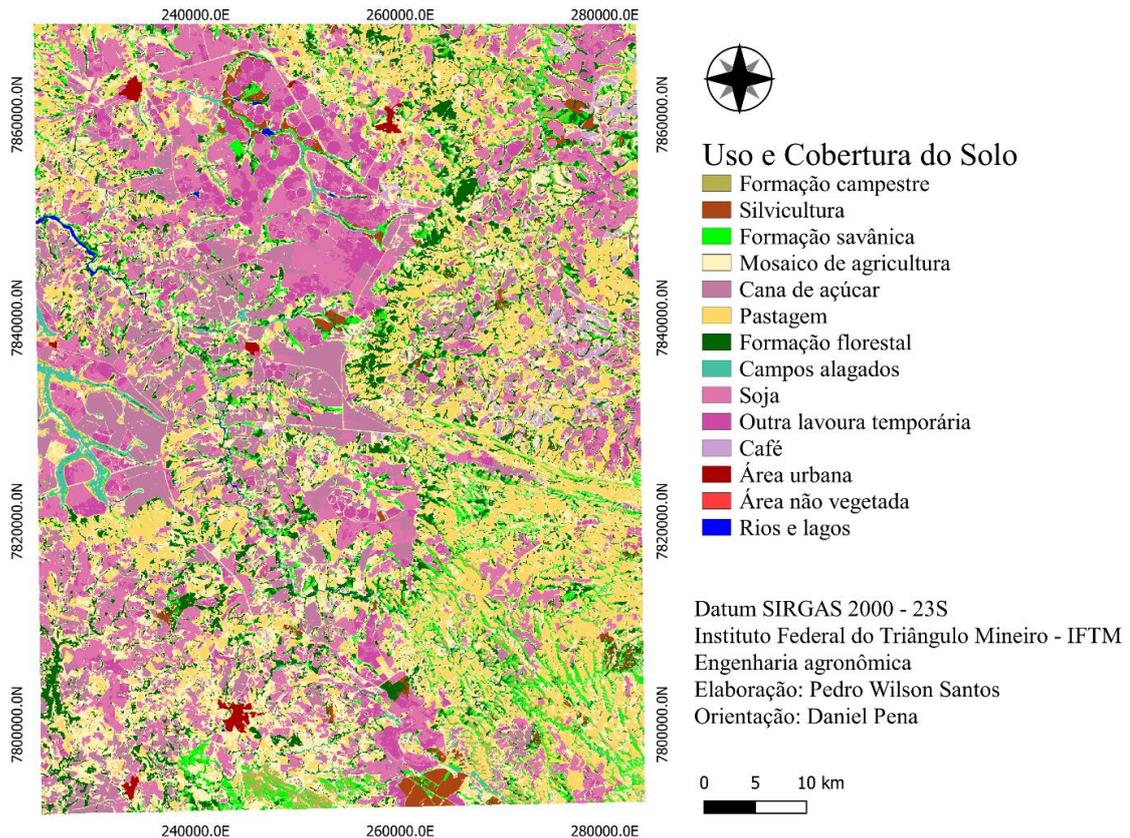
Cada variável levantada compõe um aspecto fundamental para a ocorrência e a propagação dos incêndios florestais. Com isso, a elaboração dos mapas temáticos de cada variável possibilita a visualização do risco de incêndio que ela pode apresentar dentro da área de estudo.

### Mapa de uso e ocupação da terra para risco de incêndio

O mapa de uso e ocupação da terra apresenta a organização vegetal da área de estudo, na qual pode-se organizar cada tipo de cobertura vegetal com o risco de incêndio que ela pode representar. Foram encontrados 14 diferentes tipos de cobertura na área, conforme a tabela 2, apresentando a predominância de mosaico de agricultura, cana-de-açúcar e pastagem, como ilustra a figura 2. Este resultado exemplifica o processo de degradação das paisagens nacionais, no qual as áreas nativas são desmatadas para o uso extensivo da agricultura e agropecuária, semelhante ao encontrado nos trabalhos de Silva *et al.*, (2023), Mullan, Caviglia-Harris; Sills (2021), Nunes *et al.*, (2017), Xavier; Araújo; Ledru (2022) e Juvanhol (2014).

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 2 - mapa de uso e ocupação da terra.  
Figure 2 – Map of land use and occupation.



Fonte: Os autores.

### Mapa de malha viária para risco de incêndio

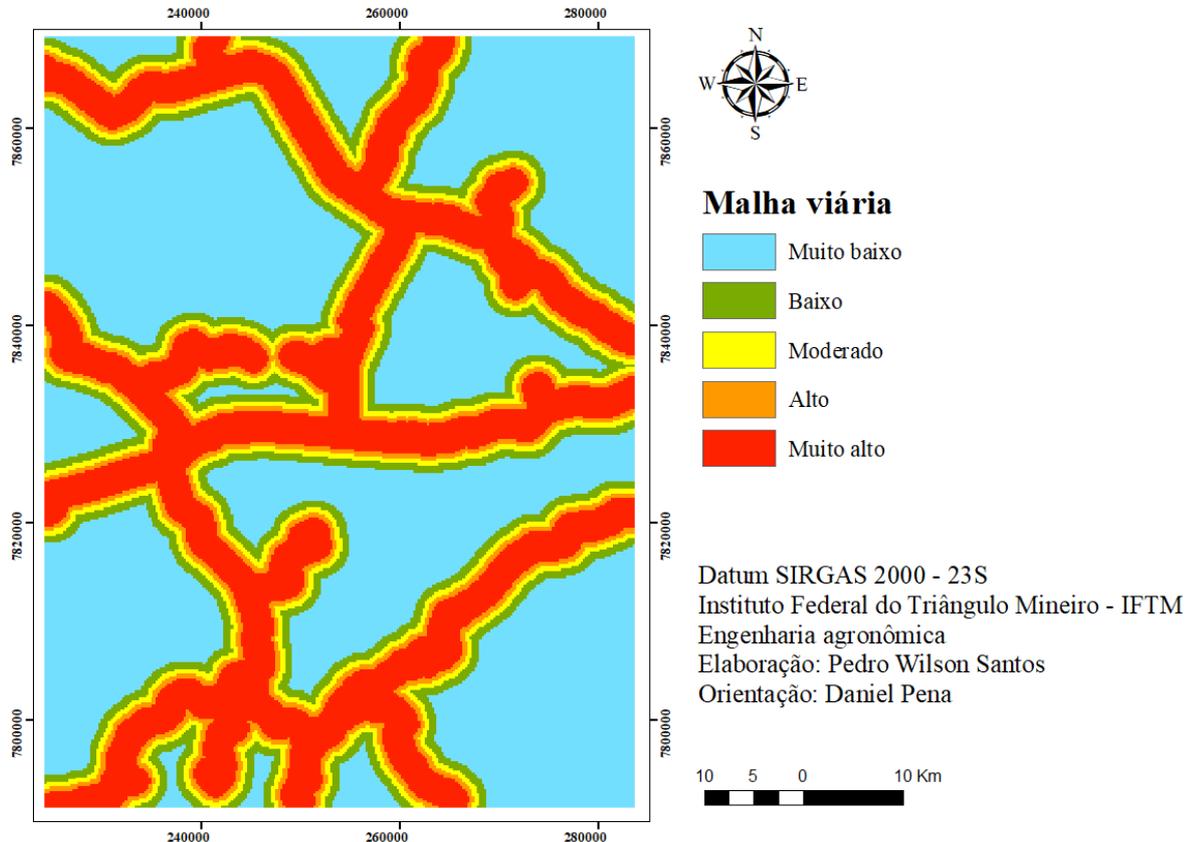
Áreas situadas perto de rodovias são mais susceptíveis à ocorrência de incêndios florestais, dado que a movimentação de pessoas e veículos está constantemente associado com as incêndias de fogo (Camelo; Sanches; Nakagomi, 2020; Silva *et al.*, 2011). Pensando assim, o mapa da malha viária foi elaborado por meio da vetorização manual das rodovias e estradas distribuídas ao longo do quadrante de estudo. Existem estrada municipais, estaduais e federais, sendo estas consideradas neste trabalho como estradas principais. As estradas secundárias são as que encaminham até às entradas das fazendas e as estradas terciárias são os caminhos entre talhões da mesma fazenda. Todos os trechos representam riscos de incêndios devido a locomoção de veículos e pessoas. O mapa, para ser gerado, contou com a aplicação de distância euclidiana, sendo considerado que, quanto mais próximo das estradas, mais o risco de incêndios florestais (Figura 3).

Soto e Correa (2012) afirmam que o risco de incêndio florestal não segue um padrão de propagação em todos os tipos de estradas, uma vez que a concentração do fogo engloba outros fatores, como a proximidade de aglomerações urbanas e atividades agrícolas, dentro dos arredores da área de influência. Rodrigues *et al.*, (2010) estudou a influência de diferentes tipos de estrada na propagação do fogo de incêndios e pôde constatar que o grau de influência está interligado à realidade da estrada

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

ou rodovia. Dessa forma, seguindo a metodologia de Ramalho *et al.*, (2021), foram estabelecidos os valores de 50 metros para o *buffer* de área de influência de estradas principais, 25 metros para estradas secundárias e 12,5 metros para as estradas terciárias.

Figura 3 - Mapa de malha viária.  
Figure 3 – Road network map.



Fonte: Os autores.

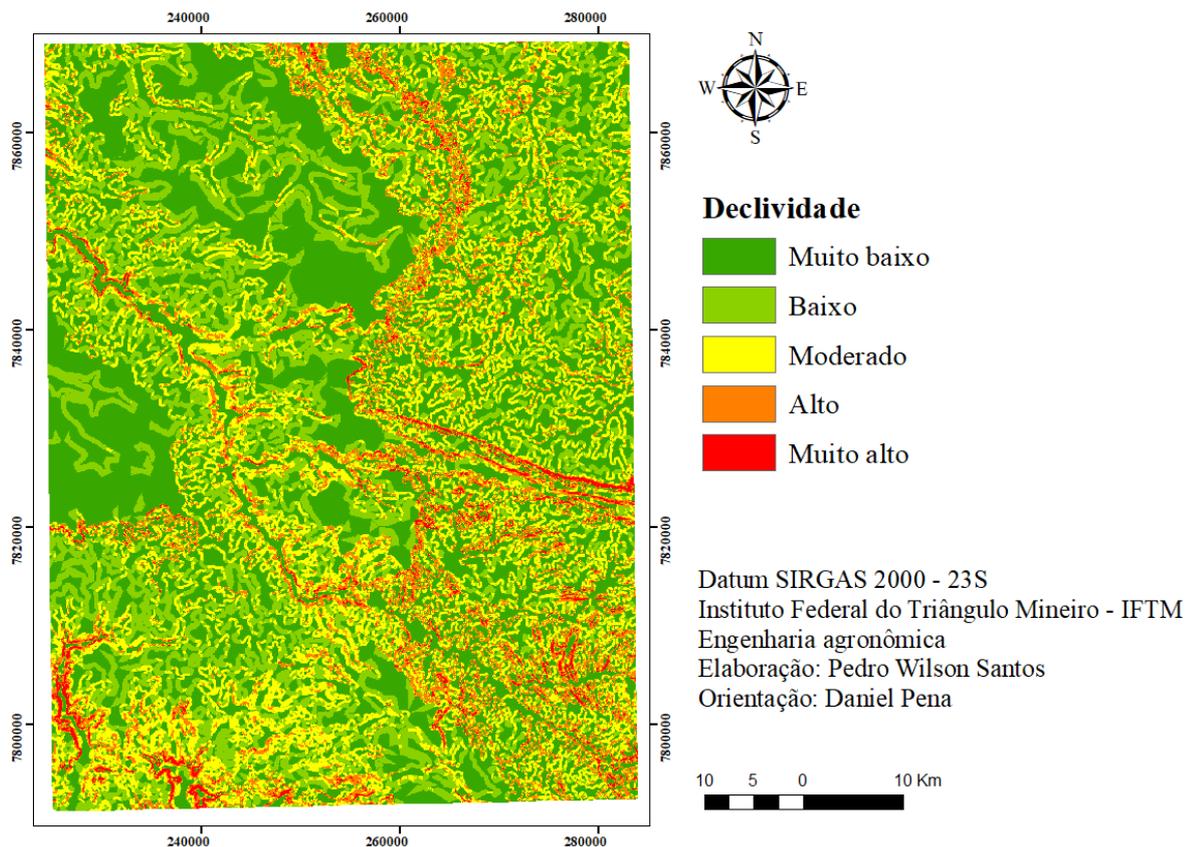
### Mapa de declividade para risco de incêndio

O aumento do risco de incêndio florestal está ligado à altos valores de declividade, uma vez que quanto maior os aclives, maior a disseminação dos incêndios (Pezzopane *et al.*, 2001), sendo assim considerada uma importante variedade de propagação do fogo. Na área de estudo, os níveis de declividade, em sua maioria, vão do muito baixo ao moderado, tendo poucas áreas com níveis de declividade categorizados como de risco alto ou muito alto (Figura 4).

Juvanhol (2014) disserta sobre a necessidade de estabelecer um manejo da vegetação de declive acentuado, uma vez que a declividade associada com material combustível pode facilitar a propagação do fogo, argumento este que é reforçado por Soares (1984), que confirma que, em aclives acima de 10° a velocidade do fogo pode dobrar, e em 20°, pode até mesmo quadruplicar. Dessa maneira, o mapa de declividade pode auxiliar no estabelecimento de medidas de prevenção de incêndios florestais e mitigação de danos nas regiões mais vulneráveis.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 4 - Mapa de declividade.  
Figure 4 – Slope map.



Fonte: Os autores.

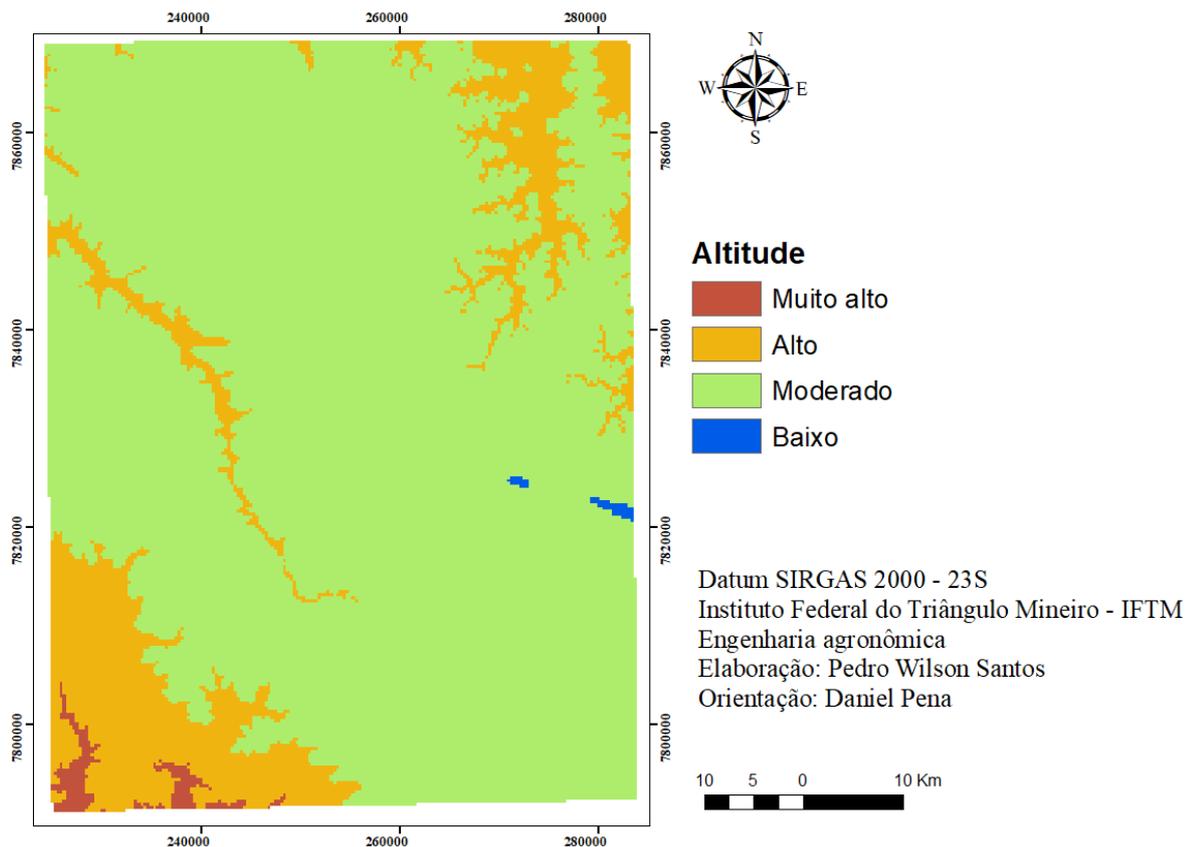
### Mapa de altitude para risco de incêndio

A altitude é uma variável ambiental com potencial de influenciar o risco de incêndio por causa da sua relação com a umidade relativa do ar (Santos, 2022). Valores altos de altitude estão correlacionados a valores menores de temperatura e maiores de umidade relativa do ar, o que acarreta interferindo na umidade do material combustível presente no solo (Si *et al.*, 2022; Eugenio *et al.*, 2016).

A faixa de altitude da área de estudo é bastante ampla, atingindo de 540m até 1258m, o que explica a distribuição das classes de risco da figura 5. Entretanto, seguindo a metodologia de Ramalho *et al.*, (2021), não há representação da classe de risco muito baixo para incêndios florestais, dado que nenhuma região apresenta valores superiores a 1500m de altitude. O mapa temático da altitude revela que a área de estudo é formada majoritariamente por zonas de risco moderado de incêndios florestais, porém há regiões com risco alto e muito alto que necessitam de cuidados especiais.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 5 - Mapa de altitude.  
Figure 5 - Altitude map.



Fonte: Os autores.

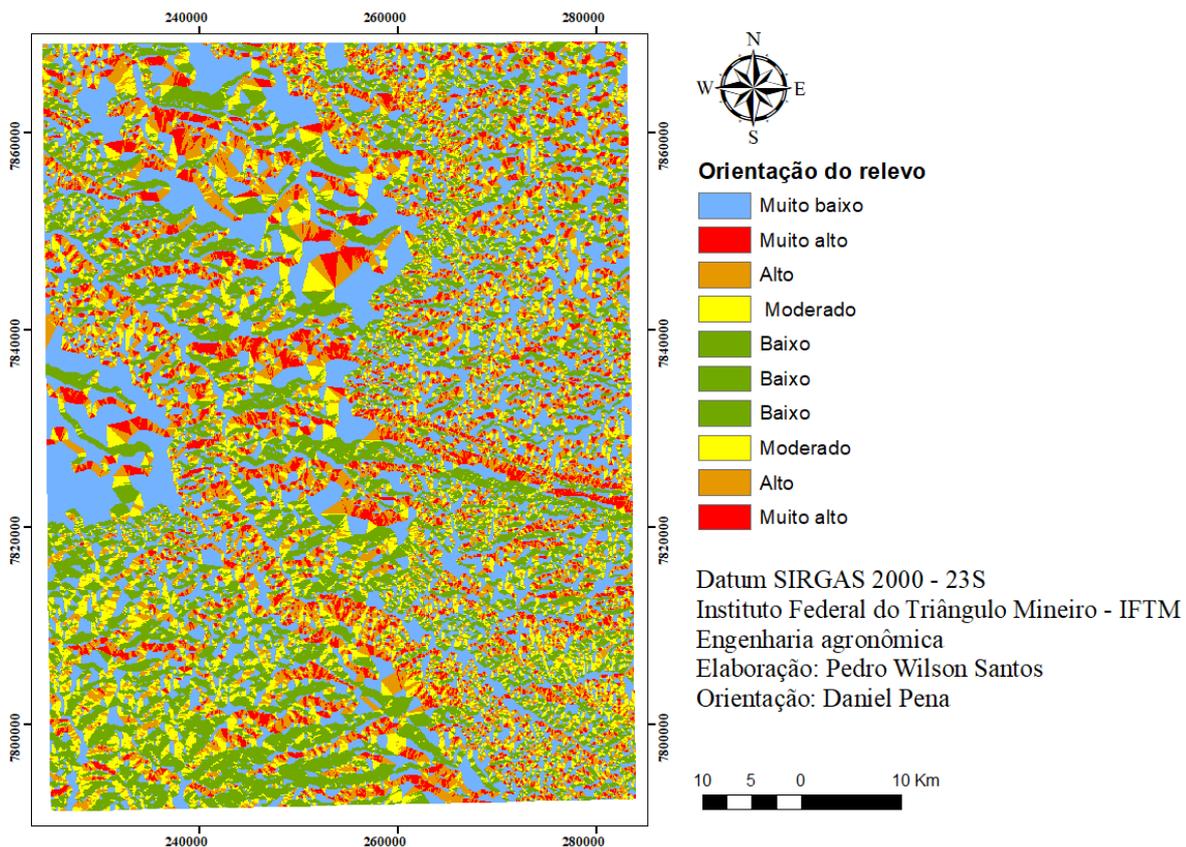
### Mapa de orientação do relevo para risco de incêndio

A orientação do relevo é determinada pela orientação da encosta (azimute) em que o terreno está situado, podendo apresentar variação de 0 a 360 graus, e indicando indiretamente a umidade do ar e, conseqüentemente, do material combustível por meio da exposição de radiação solar (Tagliarini *et al.*, 2020; Aguiar; Batista, 2015). O relevo voltado ao Norte está exposto ao sol durante todo o dia e as faces Noroeste e Oeste estão expostas durante o período da tarde, o que explica o maior risco de incêndio nos terrenos que se encontram sobre essas orientações.

No mapa temático de orientação do relevo observa-se que a área de estudo é composta, em sua maioria, por zonas de baixo risco e muito baixo de incêndios florestais (Figura 6).

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 6 - Mapa de orientação do relevo.  
Figure 6 - Relief orientation map.



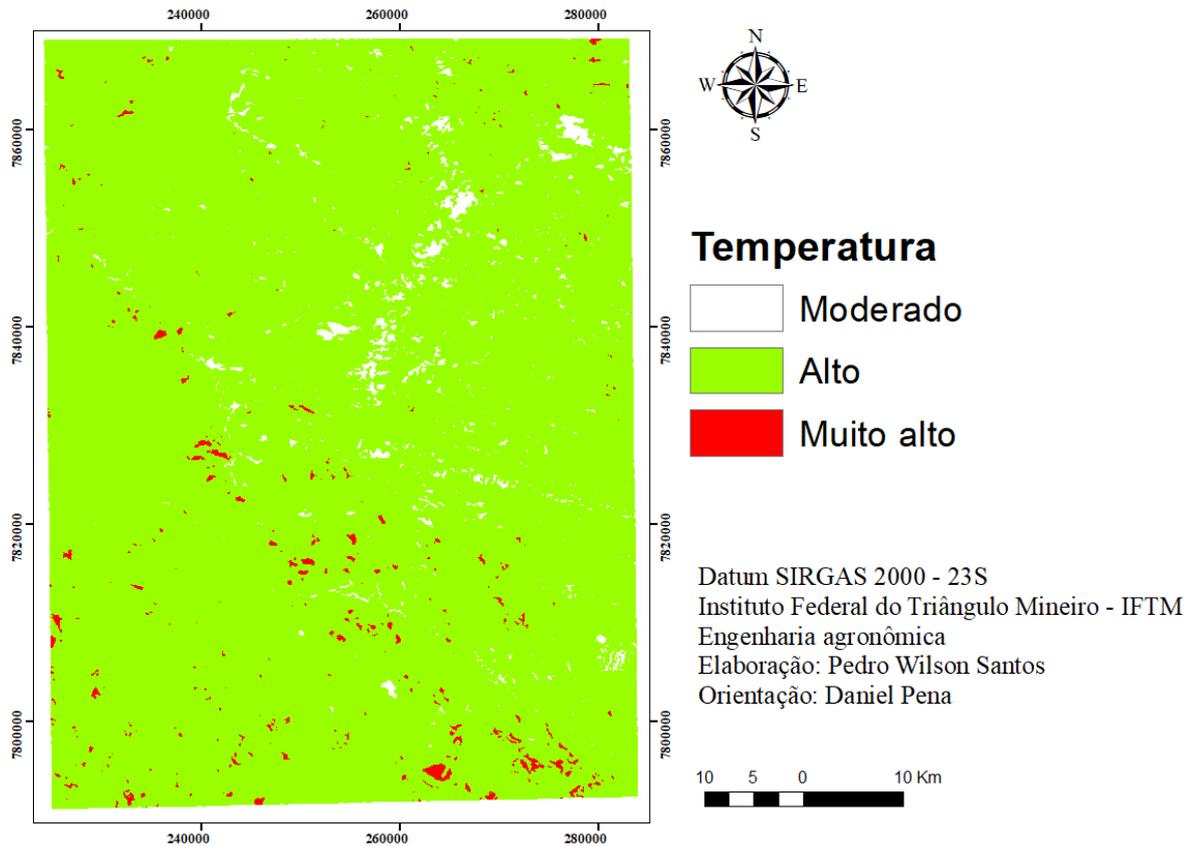
Fonte: Os autores.

### Mapa de temperatura para risco de incêndio

A temperatura média do ar interfere de forma indireta no combustão e propagação do fogo, dado que influencia a umidade relativa, associado ao grau de inflamabilidade do material combustível (Camargo *et al.*, 2019). Na área de estudo, a temperatura média anual corresponde a 24,7° C e atinge uma amplitude térmica de 13,6° C ao longo das estações do ano. O mapa temático ilustra as diferentes classes de risco de acordo com a metodologia adaptada de Ramalho *et al.*, (2021), onde é possível notar a ausência das classes de risco baixo e muito baixo e a grande representação da classe de risco alto. Resultados semelhantes foram encontrado por Oliveira *et al.*, (2020), o que ilustra a importância de conhecer a temperatura média da região para o desenvolvimento de um mapa de risco de incêndio florestal e corrobora para o entendimento de a maior proporção de incêndios florestais vão acontecer em maior magnitude e intensidade em cenários que mais o favorecem (Soares *et al.*, 2017), fazendo com que o monitoramento dessas áreas sejam objeto de grande importância para a sociedade (Figura 7).

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 7 - Mapa de temperatura.  
Figure 7 - Temperature map.



Fonte: Os autores.

### Mapa de precipitação para risco de incêndio

A quantidade de chuvas afeta a umidade do material combustível e a temperatura do ar e, segundo Eugenio *et al.*, (2016) e segundo Carvalho *et al.*, (2023), quanto menor a precipitação anual, maior o risco de incêndios florestais. De acordo com Kazmierczak (2015), 15 mm de chuvas distribuídas homogeneamente ao longo de 48 horas são o suficiente para saturar os materiais combustíveis mortos, minimizando o risco que estes representam para a ocorrência de incêndios.

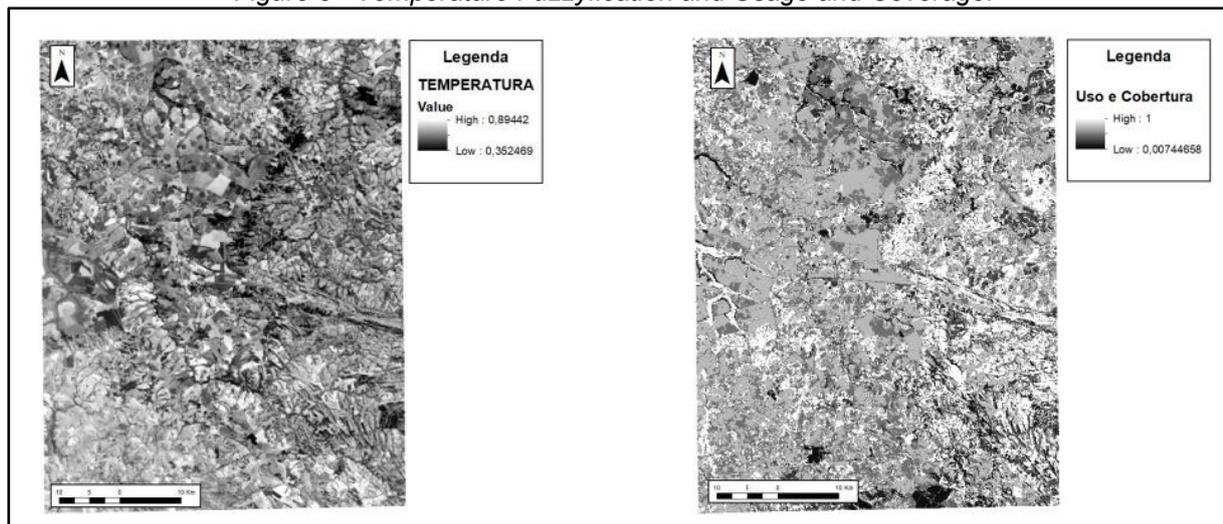
No quadrante de estudo, a média de precipitação anual varia entre 1476mm e 1671mm, o que representa uma média relativamente alta para a região do Triângulo Mineiro. A metodologia de Ramalho *et al.* (2021) estabelece que médias de precipitação superiores a 1300mm são classificadas como de risco muito baixo para incêndios florestais e, como a média de precipitação ultrapassa a marca dos 1300mm, a área do quadrante de estudo está toda enquadrada na classe de risco muito baixo para incêndios florestais. Respostas parecidas foram observadas por Santos (2022) na região do Triângulo Mineiro, o que indica que a precipitação não é o principal fator que implica na ocorrência de incêndios florestais na região.

## RESULTADOS

### Mapas temáticos fuzzyficados

Após o levantamento do mapa temático de todas as variáveis, fez-se a fuzzyficação de cada uma para determinar o peso de cada variável dentro do contexto de risco de incêndio florestal. O resultado da fuzzyficação é apresentado em uma escala de 0 a 1 e de coloração branca a preta, sendo que, quanto mais próximo o valor for a 1 ou mais próximo da coloração branca, maior será o risco de incêndio florestal na área correspondente (Figuras 8 e 9).

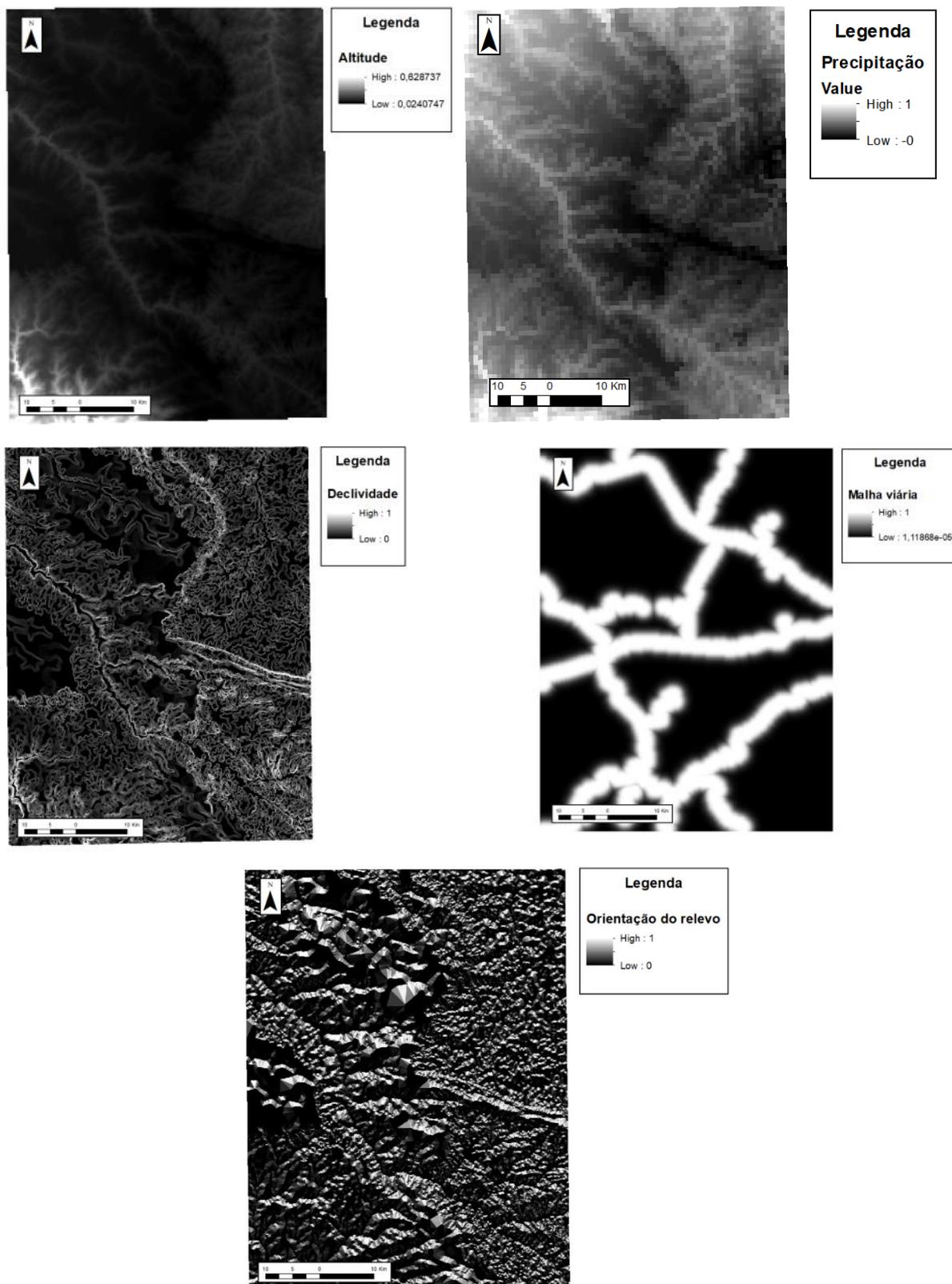
Figura 8 - Fuzzyficação de Temperatura e Uso e Cobertura.  
*Figure 8 - Temperature Fuzzyfication and Usage and Coverage.*



Fonte: Os autores.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 9 - Fuzzyficação das outras variáveis.  
*Figure 9 - Fuzzyfication of other variables.*



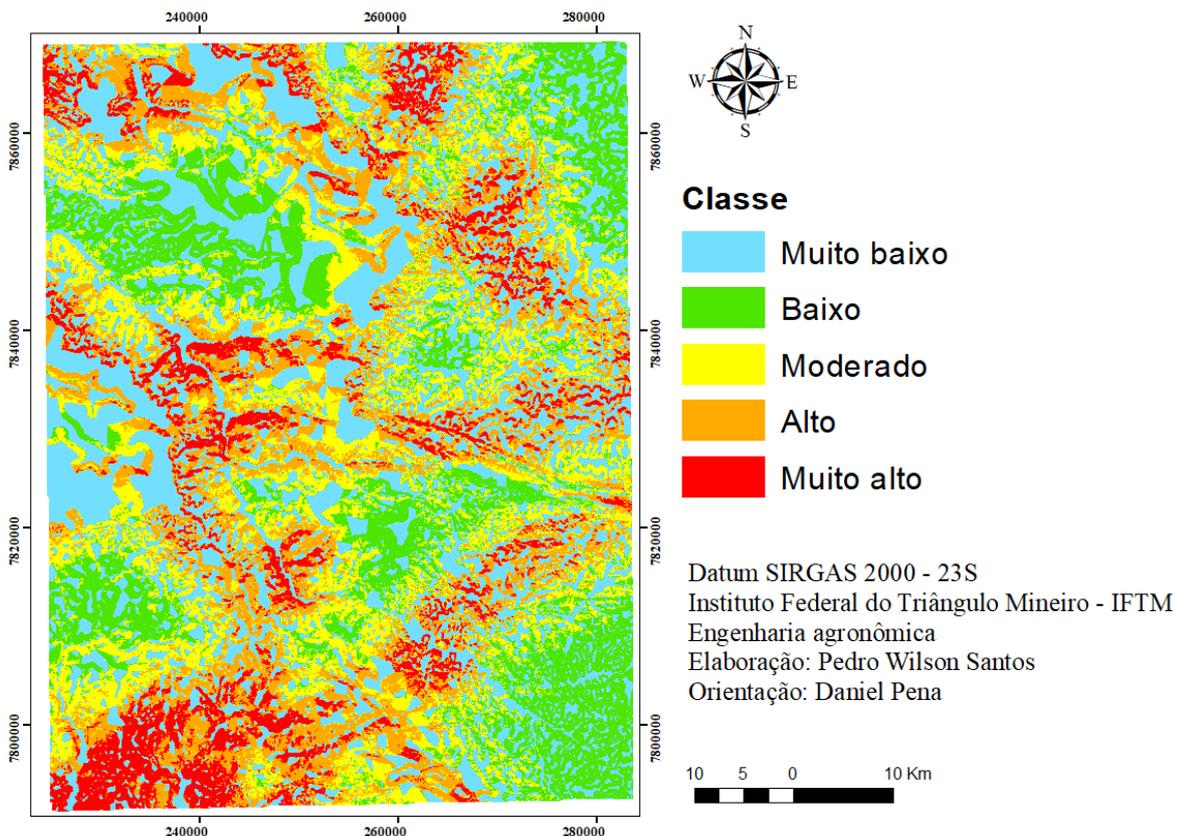
Fonte: Os autores.

### Mapa de risco de ocorrência de incêndio

Após a sobreposição de todos os mapas temáticos das diferentes variáveis, o resultado é o mapa de Risco de Ocorrência de Incêndio Florestal (ROIF), possibilitando o mapeamento em escala regional para os limites da área de estudo que abrange diferentes municípios do Triângulo Mineiro. Foram definidas cinco classes de risco de incêndios florestais: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. A figura 10 ilustra que a zona de risco muito baixo é a mais presente, com 32,62% do total, representando, aproximadamente, 141,50 hectares da área total. Em seguida, tem-se a área de risco moderado, com 88,66 hectares de dimensão e responsável por 20,44% da totalidade do mapa. A área de risco alto para incêndio florestal representa cerca de 18,94% do mapa e conta com 82,16 hectares. A classe de risco baixo para incêndio vem logo em seguida, sendo representada por 17,78% da área e 77,13 hectares. Por fim, tem-se a área de risco muito alto, contando com 43,48 hectares de dimensão e representa 10,22% do quadrante de estudo.

É possível observar que as classes estão bem dispersas ao longo de toda a área de estudo, entretanto, as áreas de risco alto e muito alto concentram-se nas porções próximas das rodovias e estradas existentes, o que também pode ser observado nos trabalhos de Oliveira *et al.*, (2020) e Oliveira *et al.*, (2017).

Figura 10 - Mapa de risco de ocorrência de incêndio florestal (ROIF).  
Figure 10 - Forest fire occurrence risk map (ROIF).



Fonte: Os autores.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

São diversas as características que podem influenciar na ocorrência de um incêndio florestal, como citam Soares (2007) e Pereira Júnior (2002): cobertura vegetal, topografia, incluindo declividade, altitude e orientação do relevo, proximidade de estradas e condições climáticas. Na área de estudo existe diversidade dentre os resultados obtidos dos mapas temáticos de declividade, orientação do relevo, altitude, malha viária, uso e cobertura do solo e temperatura, no qual há aspectos que podem influenciar positiva ou negativamente para a ocorrência de incêndios florestais.

A figura 11 apresenta o zoneamento de risco de incêndio para a área de estudo, elaborado através das variáveis utilizadas. Percebe-se nesta figura que as áreas de maior risco estão correlacionadas com os resultados de maior risco obtido nos mapas temáticos fuzzyficados, principalmente observando o mapa temático de malha viária, cuja semelhança é bastante clara ao comparar as representações de risco alto e muito alto no mapa fuzzyficado dessa variável com o ROIF. Isso pode estar relacionado a maior presença de ações antrópicas nessas localidades, em decorrência do trânsito de pessoas e facilitado pelas vias de acesso, ilustrando que a malha viária é uma variável essencial para entender as regiões mais vulneráveis e trazem à luz a importância de se estabelecer um monitoramento constante nas regiões situadas nas proximidades de estradas.

A área de estudo pôde ter a dimensão de cada classe de risco contabilizada por meio da metodologia de incêndio florestais, dado que a metodologia abrange incêndios que ocorreram também em outros tipos de vegetação e lavouras. No geral, o quadrante estudado apresenta um risco de ocorrência de incêndios florestais variando do muito baixo ao moderado, totalizando aproximadamente 70,84% da área total, o que representa 312,32 hectares. No entanto, essas regiões ainda podem ser acometidas de incêndios e serem responsáveis por espalhar o fogo para regiões ainda mais vulneráveis. As zonas de risco alto e muito alto, que somam os outros 29,16% da área e 120,61 hectares, estão razoavelmente dispostas ao longo de toda a área de estudo, o que exige um bom planejamento para controle e prevenção de incêndios florestais.

Em referência aos dados de incêndio florestais registrados na área de estudo, é possível comparar as informações expostas pelo mapa desenvolvido nesse estudo com as informações reais de ocorrência de incêndio nos anos de 2018 e 2019 que foram coletadas pela empresa BP Bunge Bioenergia. A usina sucroenergética mantém catalogadas as ocorrências de incêndios, guardando dados de quantidade de área queimada, data e horário da ocorrência, provável causa e providências tomadas para controle do fogo. Em 2018, as áreas arrendadas pela usina que sofreram com incêndios florestais dentro da área de estudo foram as fazendas 20042, 20358, 20464 e a 20517. Em 2019, houve reincidência de incêndio florestal nessas mesmas fazendas e ainda foi catalogada uma nova ocorrência na fazenda 20439. Ao se analisar as imagens de satélites coletadas pelo Google Earth Engine correspondentes a data de ocorrência de cada incêndio informado, pode-se constatar a coerência entre os dados obtidos pelo ROIF e os dados reais de ocorrência e reincidência de incêndios florestais. A tabela 08 apresenta o período utilizado para coletar as imagens de satélite, na qual observou-se os

indícios de cicatriz de fogo nos períodos correspondentes as ocorrências de incêndios registradas para cada fazenda.

Tabela 8 - Períodos utilizados para coleta de imagens de satélites.  
*Table 8 - Periods used to collect satellite images.*

PERÍODO	FAZENDAS
15 DE MAIO A 15 DE JUNHO DE 2018	20358 E 20517
6 DE JULHO A 6 DE AGOSTO DE 2018	20042
9 DE SETEMBRO A 9 DE OUTUBRO DE 2018	20464
16 DE JUNHO A 15 DE JULHO DE 2019	20464
16 DE JULHO A 16 DE AGOSTO DE 2019	20358 E 20517
11 DE SETEMBRO A 4 DE NOVEMBRO DE 2019	20042, 20439 E 20517

Fonte: Os autores.

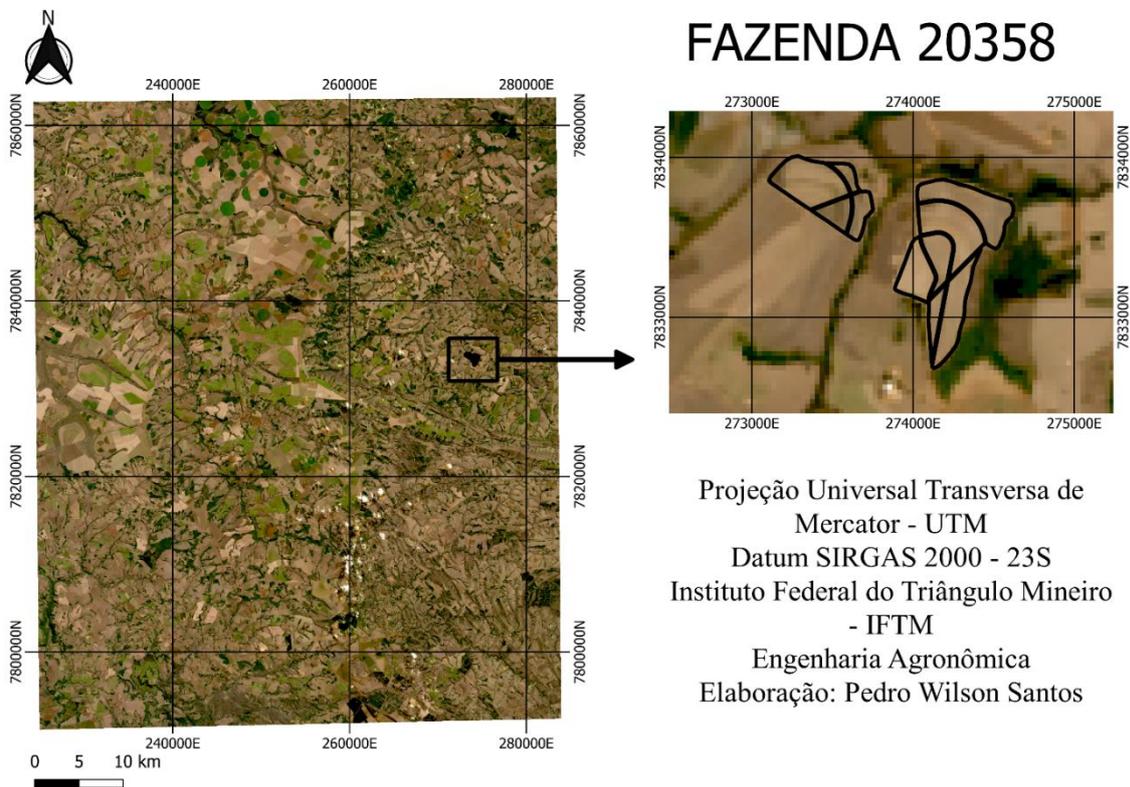
A fazenda 20358 sofreu dois incêndios florestais numa janela de tempo pouco maior que um ano. Analisando a figura 11, observa-se que há uma região com coloração mais acinzentada nos talhões que a empresa informou ter sofrido o primeiro incêndio, nos quais foram atingidos 33,97 hectares de cana- situados nos talhões do lado direito da fazenda. Além dos talhões da fazenda, uma área de preservação permanente também foi atingida, sendo esta ainda mais perceptível a cicatriz do fogo, conforme pode-se verificar nas extremidades dos talhões acometidos. O segundo incêndio atingiu os talhões do lado esquerdo, queimando cerca de 17,33 hectares e se espalhando para as mesmas áreas acometidos pelo incêndio, que são áreas de preservação permanente, de reserva legal e de florestas/mata nativa.

No mesmo período, a fazenda 20517 também sofreu com incêndio florestal, tendo 2,6 hectares de cana queimados, como se pode observar na figura 12 através das regiões com coloração acinzentada que indicam a cicatriz do incêndio florestal na cobertura vegetal do solo.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 11 - Imagem de satélite ampliada da fazenda 20358 no período de 15 de maio a 15 de junho de 2018.

Figure 11 - Enlarged satellite image of farm 20358 from May 15 to June 15, 2018.

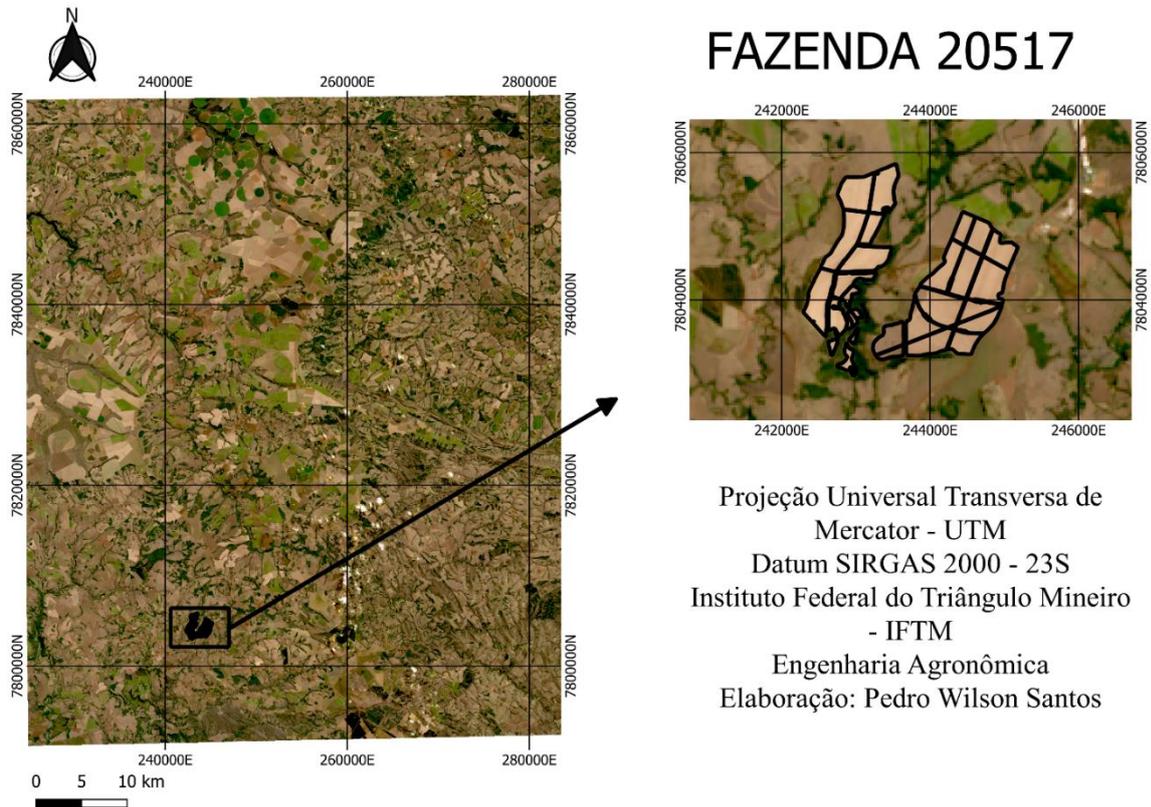


Fonte: Os autores.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 12 - Imagem de satélite ampliada da fazenda 20517 no período de 6 de julho a 6 de agosto de 2018.

Figure 12 - Enlarged satellite image of farm 20517 from July 6 to August 6, 2018.



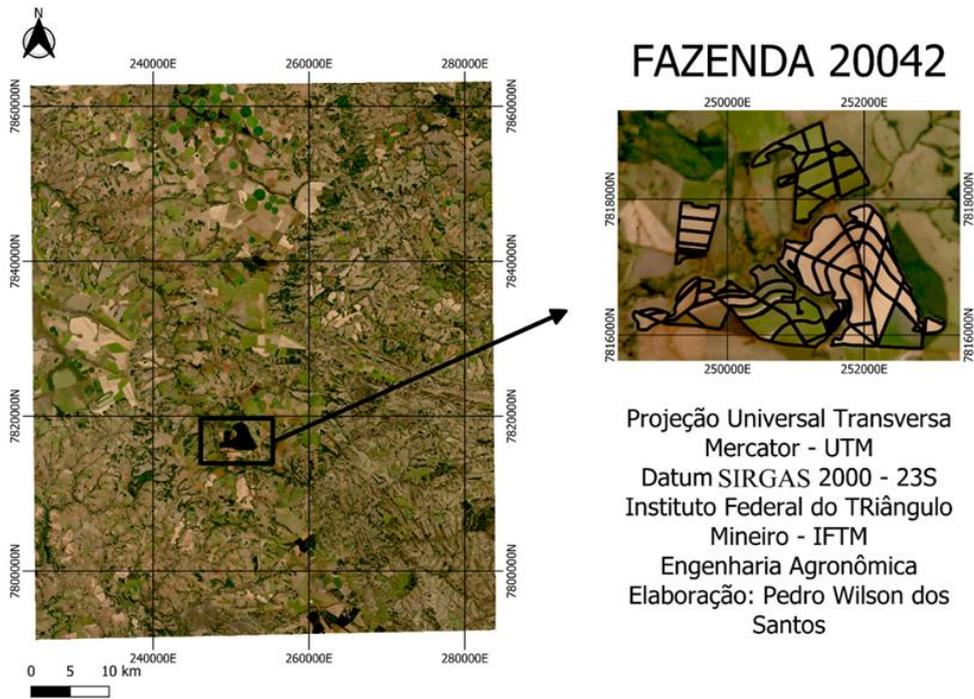
Fonte: Os autores.

A figura 13 representa a área de estudo na janela entre 6 de julho a 6 de agosto de 2018, na qual a fazenda 20042 sofreu com incêndios florestais. A quantidade de cobertura vegetal queimada foi de 0,45 hectares, como se pode ver pela pequena representação da cicatriz na figura 14, o que mostra que houveram medidas de combate eficientes ao fogo.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 13 - Imagem de satélite ampliada da fazenda 20042 no período de 6 de julho a 6 de agosto de 2018.

Figure 13 - Enlarged satellite image of farm 20042 from July 6th to August 6th, 2018.



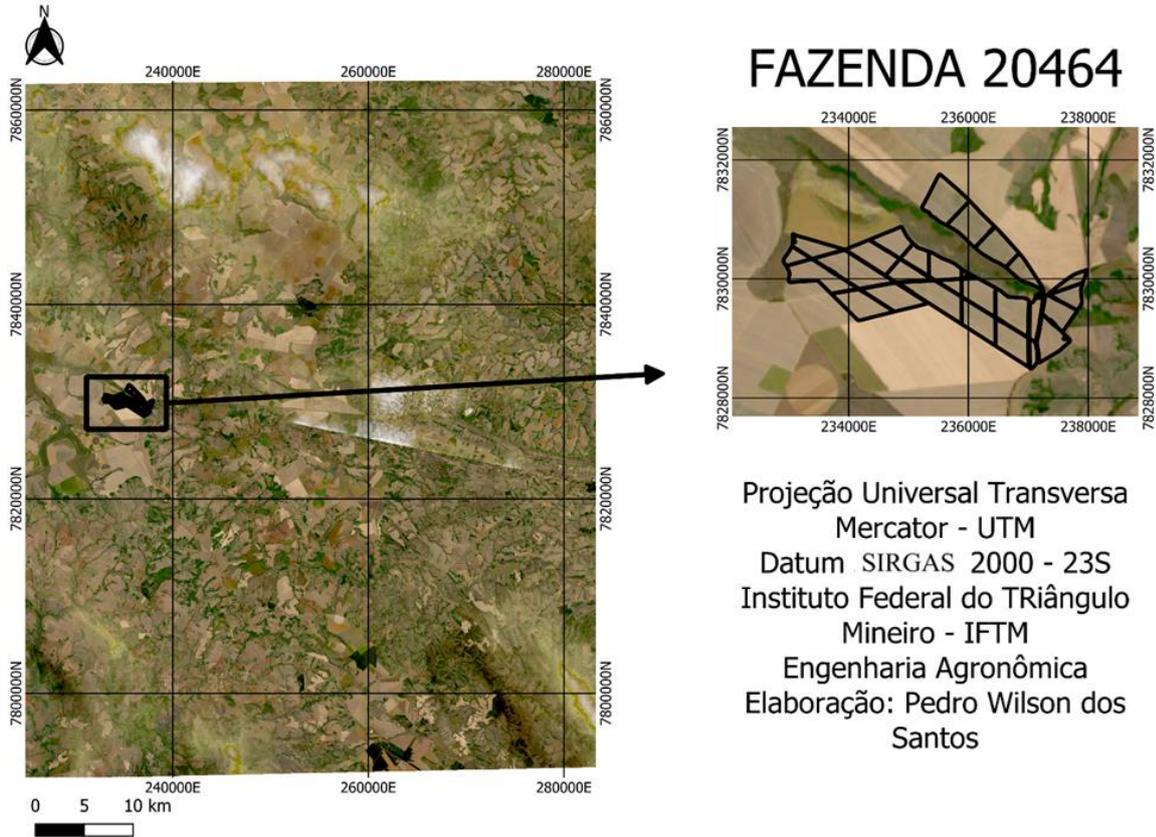
Fonte: Os autores.

O último incêndio florestal registrado na área de estudo no ano de 2018 aconteceu na área da fazenda 20464, no dia 10 de setembro (Figura 14). A imagem de satélite foi coletada a partir do período entre 9 de setembro a 9 de outubro de 2018. Assim como o caso anterior, aqui o incêndio florestal também atingiu uma área relativamente pequena de cobertura vegetal, limitando-se a 0,3 hectares, e tudo indica que foi contido rapidamente.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 14 - Imagem de satélite ampliada da fazenda 20464 no período de 9 de setembro a 9 de outubro de 2018.

Figure 14 - Enlarged satellite image of farm 20464 from September 9th to October 9th, 2018.



Fonte: Os autores.

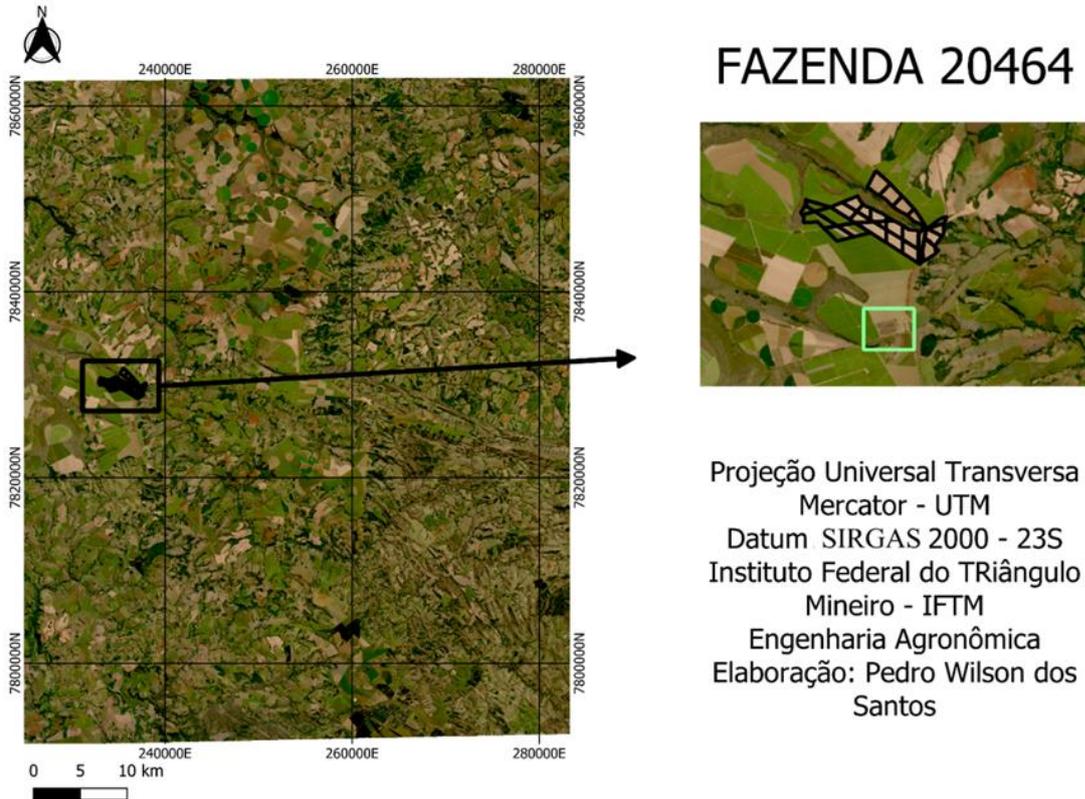
Em 2019, o primeiro incêndio registrado na área de estudo aconteceu na fazenda 20464 (Figura 15), no dia 17 de junho, confirmando o risco recorrente na região. Entretanto, as informações dos talhões fornecidas da fazenda 20464 não contempla a totalidade da fazenda. O incêndio florestal no ano de 2019 aconteceu em talhões não desenhados no SIG, visto que os dados fornecidos eram referentes a antiga conformação da fazenda, na qual os talhões atacados pelo fogo ainda não faziam parte da fazenda. Por causa disso, fez-se a ampliação na imagem para representar a área atacada pelo fogo, delimitada pelo retângulo de coloração verde claro. O fogo consumiu 37,80 hectares de cana cultivada e a cicatriz do fogo pode ser observada pela coloração acizentada que engloba um talhão quase por completo.

O próximo registro de incêndio florestal foi dado na fazenda 20358 (Figura 16), na qual, no dia 17 de julho, 33,97 hectares de cana cultivada foram acometidos pelo fogo. O incêndio se prolongou por toda a bordadura dos talhões situados na parte direita da fazenda, mas não foram registrados danos nas áreas vizinhas.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 15 - Imagem de satélite ampliada da fazenda 20464 no período de 16 de junho a 16 de julho de 2019.

*Figure 15 - Enlarged satellite image of farm 20464 from June 16 to July 16, 2019.*



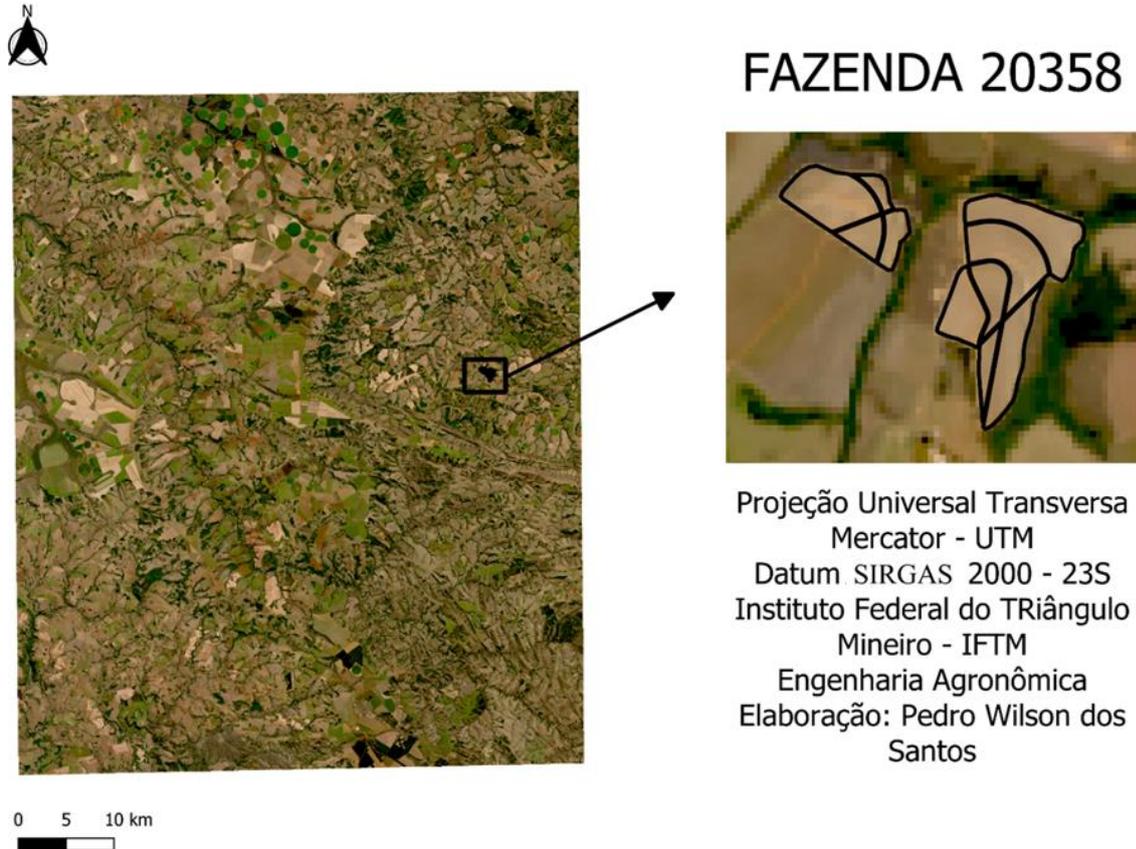
Projeção Universal Transversa  
Mercator - UTM  
Datum SIRGAS 2000 - 23S  
Instituto Federal do TRIângulo  
Mineiro - IFTM  
Engenharia Agrônoma  
Elaboração: Pedro Wilson dos  
Santos

Fonte: Os autores.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 16 - Imagem de satélite ampliada da fazenda 20358 no período de 16 de julho a 16 de agosto de 2019.

Figure 16 - Enlarged satellite image of farm 20358 from July 16 to August 16, 2019.



Fonte: Os autores.

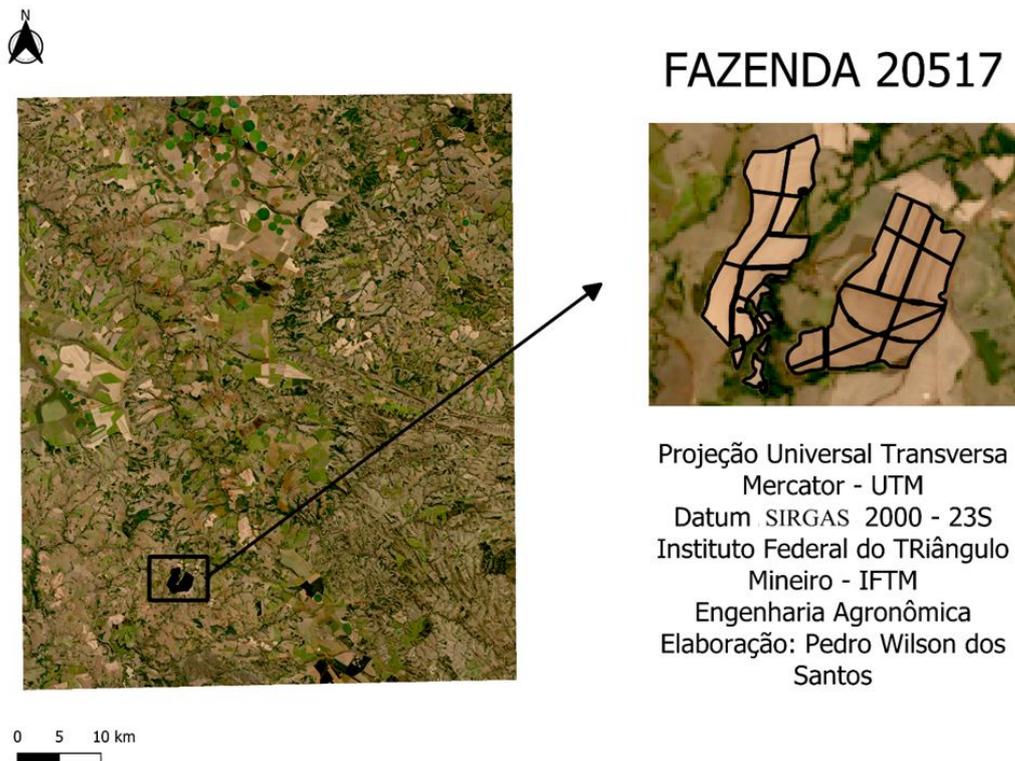
A próxima ocorrência de incêndio florestal aconteceu no dia 6 de agosto, onde a fazenda 20517 (Figura 17) teve 16,79 hectares de palhadas queimados e que se estendeu para as áreas vizinhas de pastagem e de reserva legal. Em casos assim, além do impacto ambiental, ainda há o risco de ressarcimento ao vizinho por multa pelos danos financeiros e ambientais causados na propriedade dele, se houvesse comprovação de que o incêndio florestal se iniciou na área sob responsabilidade da empresa. Assim, observa-se mais um ponto de grande influência para se estabelecer um bom sistema de combate e prevenção de incêndios florestais.

Na fazenda 20439, o incêndio florestal que ocorreu no dia 12 de setembro atingiu cerca de 143,77 hectares de cana de açúcar, como ilustra a figura 18. Apesar de ter atingido uma porção considerável da fazenda, o fogo, segundo os registros, não se alastrou para as áreas vizinhas. A cicatriz pode ser identificada ao longo de todos os talhões do terço médio e inferior da fazenda.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 17 - Imagem de satélite ampliada da fazenda 20358 no período de 16 de julho a 16 de agosto de 2019.

Figure 17 - Enlarged satellite image of farm 20358 from July 16 to August 16, 2019.

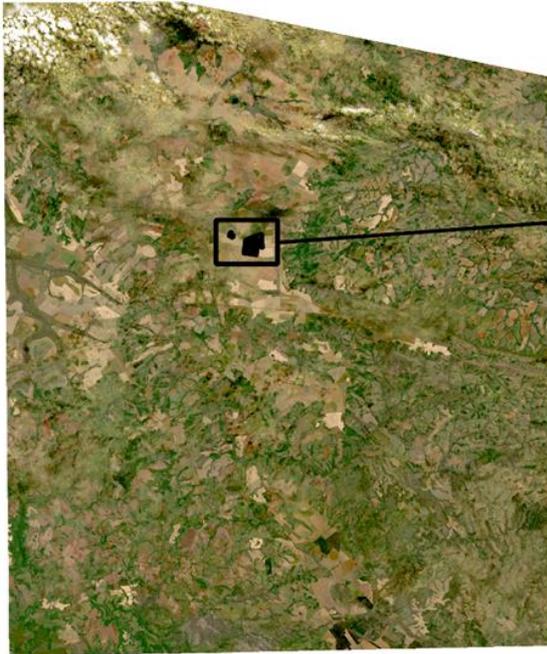


Fonte: Os autores.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 18 - Imagem de satélite ampliada da fazenda 20439 no período de 9 de setembro a 9 de outubro de 2019.

*Figure 18 - Enlarged satellite image of farm 20439 from September 9 to October 9, 2019.*



## FAZENDA 20439



Projeção Universal Transversa  
Mercator - UTM  
Datum SIRGAS 2000 - 23S  
Instituto Federal do TRIângulo  
Mineiro - IFTM  
Engenharia Agrônômica  
Elaboração: Pedro Wilson dos  
Santos

0 5 10 km

Fonte: Os autores.

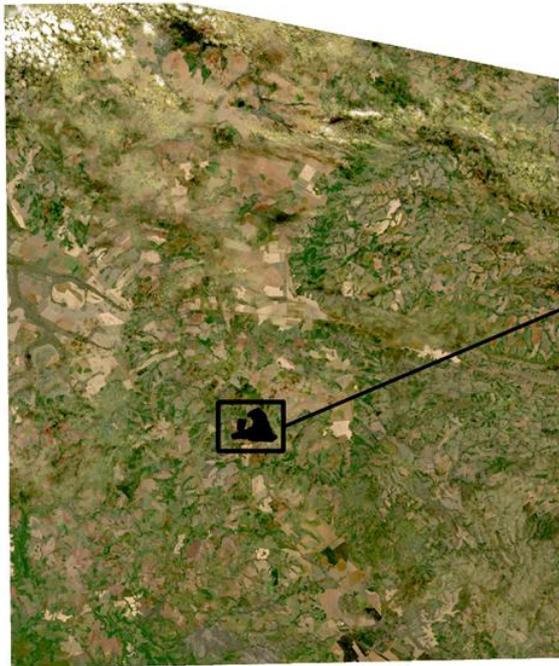
No dia 18 de setembro de 2019 foi registrado outro caso de incêndio florestal, tendo danificado 41,51 hectares de cana da fazenda 20042 (Figura 19). Nesse caso, a cicatriz do fogo encontra-se perto de uma estrada que dá a entrada da fazenda, podendo ser uma evidência que auxilia a identificar o ponto inicial do incêndio florestal e indicando que deve se dar bastante atenção às áreas que estão próximas a quaisquer estradas.

Por fim, os últimos incêndios florestais que se tem registros na área de estudo aconteceram na fazenda 20517, indicando a grande susceptibilidade da área ao fenômeno (Figura 20). O primeiro incêndio do mês de outubro aconteceu no dia 3 de outubro, no qual houve a queima de 130 hectares de palhada, e o último incêndio aconteceu no dia 4 de outubro, onde 85 hectares de palhada foram acometidos. Somados, os incêndios representam um dano de 215 hectares de área queimada. A cicatriz de ambos incêndios pode ser observada através da cicatriz de fogo presente ao longo de todos os talhões do direito da fazenda. Todavia, a cicatriz do fogo aparenta estar presente em áreas além dos dados fornecidos, o que indica ocorrência de incêndio em vegetações situadas nos arredores da fazenda e que podem ser sido a causa do incêndio na lavoura de cana de açúcar.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 19 - Imagem de satélite ampliada da fazenda 20042 no período de 9 de setembro a 9 de outubro de 2019.

Figure 19 - Enlarged satellite image of farm 20042 from September 9th to October 9th, 2019.



## FAZENDA 20042



Projeção Universal Transversa  
Mercator - UTM  
Datum SIRGAS 2000 - 23S  
Instituto Federal do TRIângulo  
Mineiro - IFTM  
Engenharia Agrônômica  
Elaboração: Pedro Wilson dos  
Santos

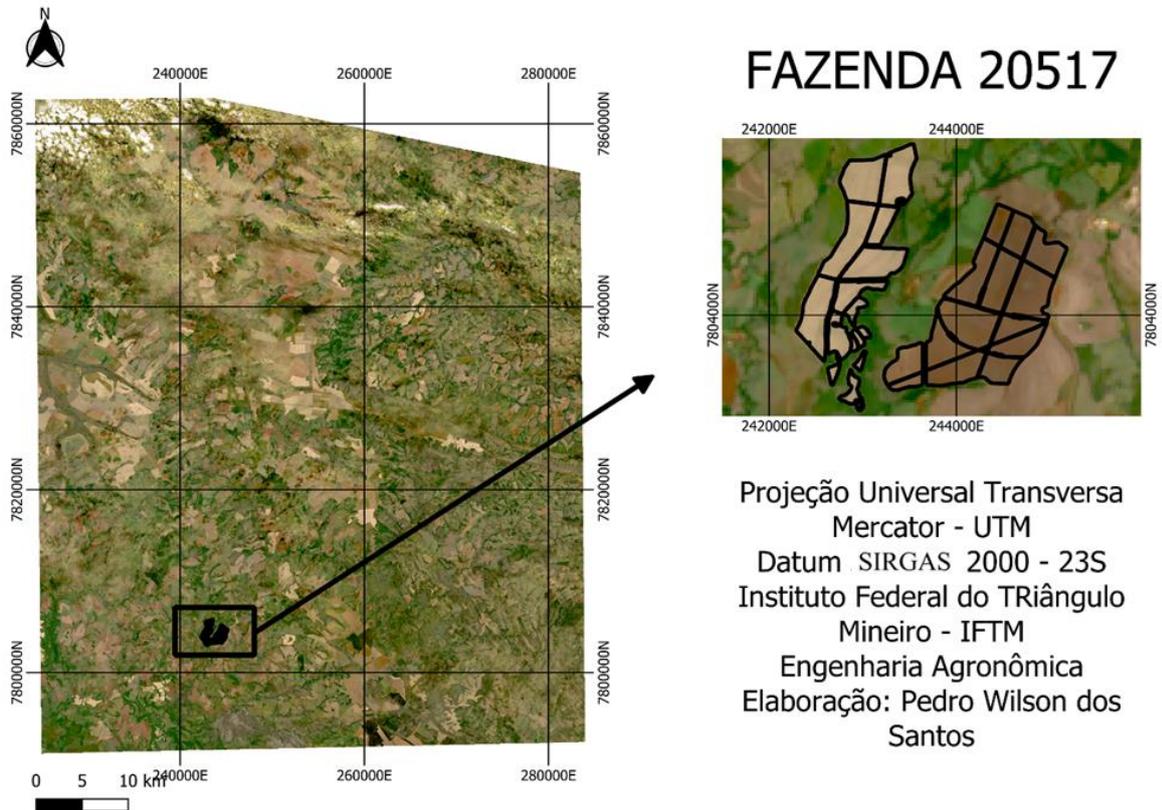
0 5 10 km

Fonte: Os autores.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 20 - Imagem de satélite ampliada da fazenda 20517 no período de 9 de setembro a 9 de outubro de 2019.

Figure 20 - Enlarged satellite image of farm 20517 from September 9 to October 9, 2019.



Fonte: Os autores.

Um importante dado a ser considerado é a causa dos incêndios, cuja todos os registros contam como desconhecida. Segundo o Ibama (2020), 95% dos incêndios florestais no Brasil são causados pela ação humana, seja de forma proposital ou acidental. Os motivos podem variar, como a queima controlada usada como forma de manejo de culturas agrícolas, rituais religiosos, vandalismo, fogueiras, queima de lixo, entre outros.

Santos (2022) encontrou resultados semelhantes ao observar que as causas de incêndios florestais no Parque Estadual do Pau Furado, situado em Uberlândia – MG, eram decorrentes da propagação do fogo que teve incío nas margens da rodovia municipal e se alastrou até à zona de amortecimento e, conseqüentemente, à área de preservação do parque, causando danos a fauna e a flora e trazendo consequência negativas ao meio ambiente.

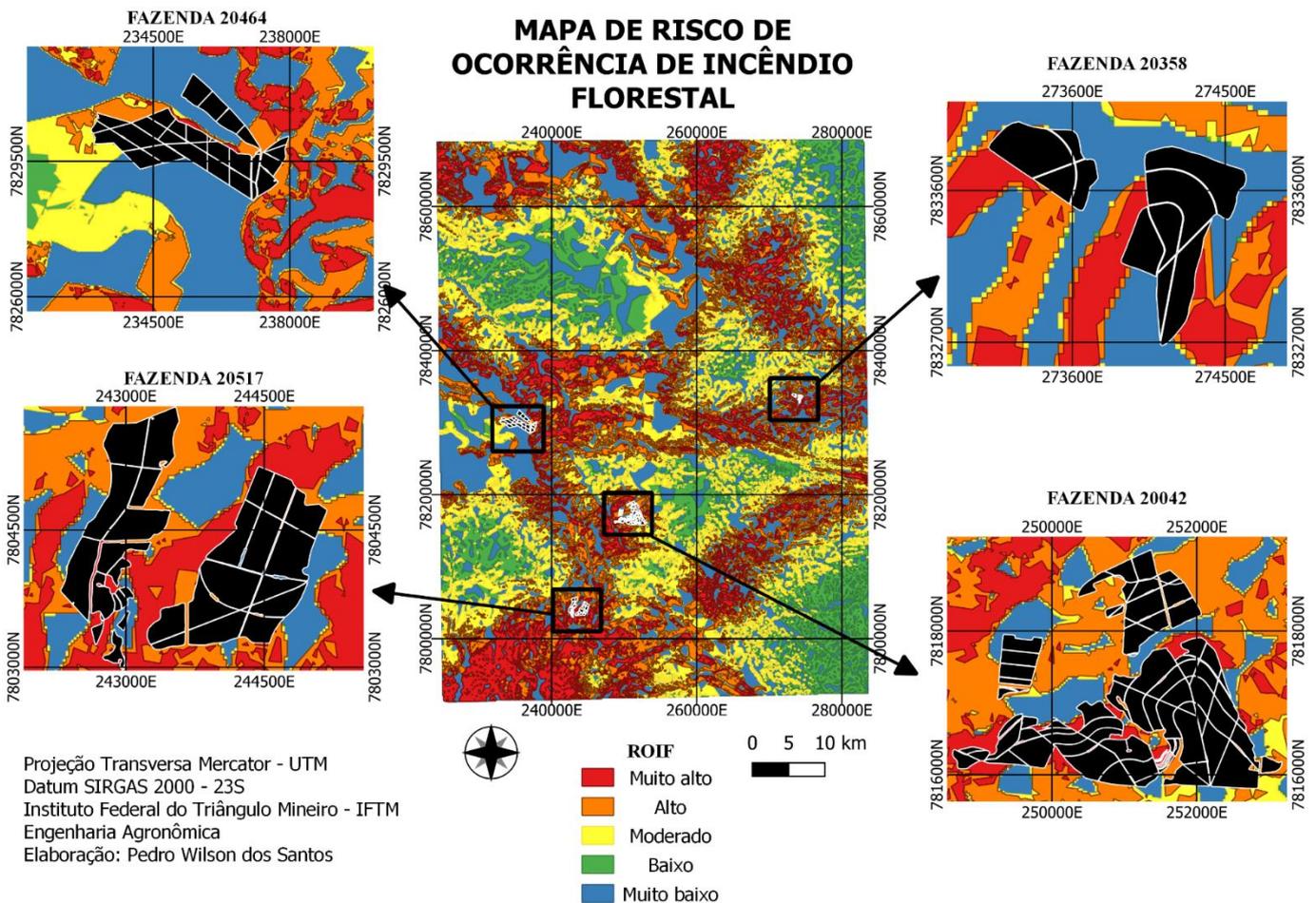
Em relação ao ROIF, é possível observar por meio das figuras 18 e 19 a localização das fazendas e em quais classes de risco elas estão enquadradas. Todas as fazendas estão parcialmente cercadas por regiões consideradas de risco alto ou alto, o que representa um perigo às lavouras de cana, visto que essas regiões vulneráveis podem ser acometidas por algum incêndio florestal com capacidade de propagar até as áreas de cultivo comercial.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Carvalho *et al.*, (2023), Pivello *et al.*, (2021) e Pereira, Fiedler e Medeiros (2004) recomendam que se faça o investimento em medidas de prevenção em antecedência ao período de estiagem, além de levantar ações de educação ambiental nas comunidades que vivem e/ou trabalham nas áreas, bem como nas rodovias. Os responsáveis legais pelo meio ambiente devem seguir um sistema bem estruturado de combate à incêndios, no qual se tenha sistemas de fiscalização, comunicação e ferramentas de combate e pessoas especializadas no controle do fogo. O ROIF elaborado neste trabalho é uma ferramenta que pode auxiliar na construção de estratégias, como apresentar regiões nas quais serão mais eficientes a presença de brigadas de incêndio e centrais de vigilâncias, bem como nortear as outras medidas de prevenção e combate ao fogo na área de estudo (Figuras 21 e 22).

Figura 21 - ROIF com fazendas.

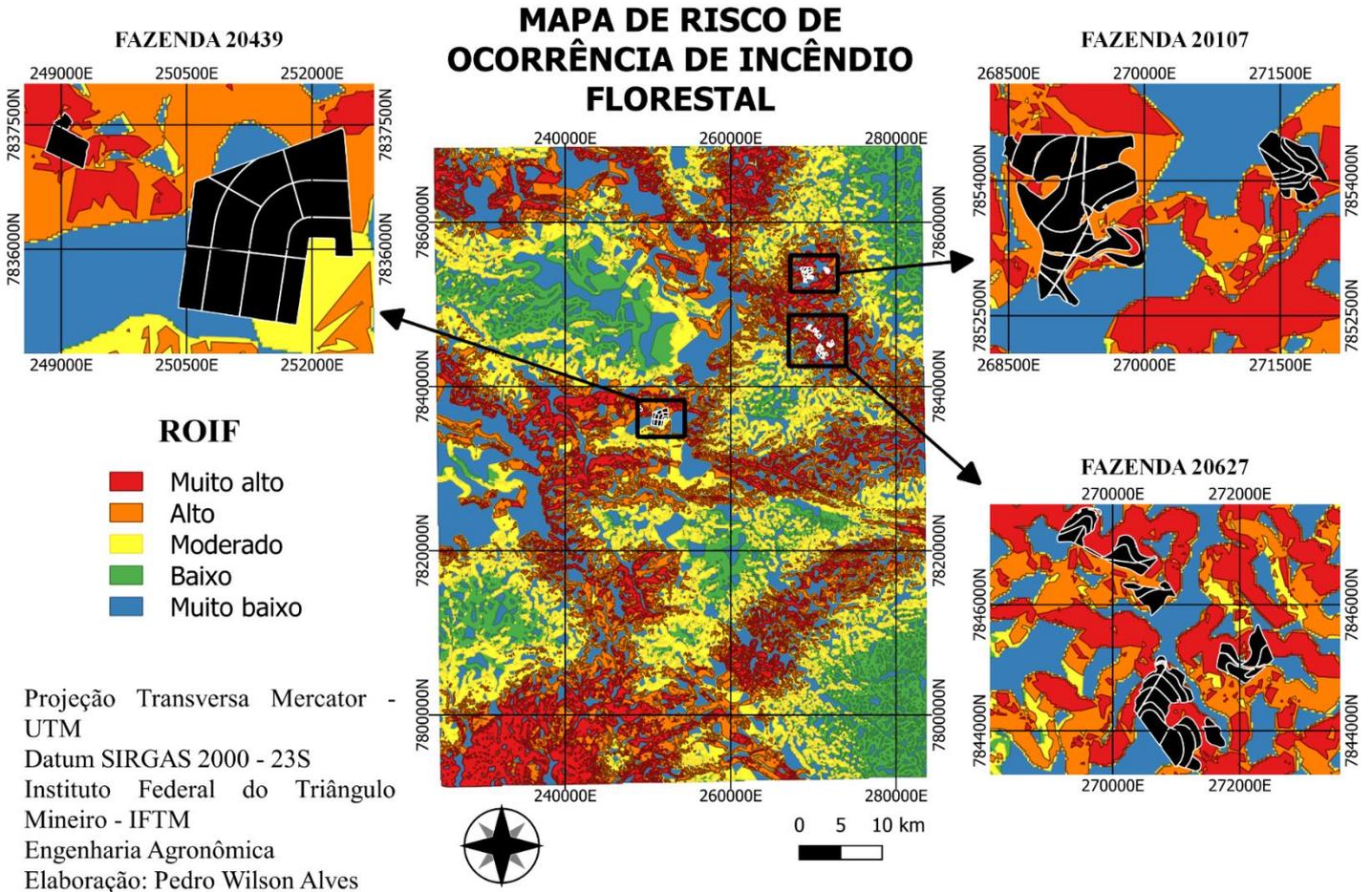
Figure 21 - ROIF with farms.



Fonte: Os autores.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Figura 22 - ROIF com fazendas restantes.  
Figure 22 - ROIF with remaining farms.



Fonte: Os autores.

## REFERÊNCIAS

- ABEDI GHESHLAGHI, H.; FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 63, n. 3, p. 481–499, 23 fev. 2020.
- ABEDI, R. Application of multi-criteria decision making models to forest fire management. **International Journal of Geoheritage and Parks**, v. 10, n. 1, p. 84–96, mar. 2022.
- ABREU, M. C.; LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. *et al.* Temporal and spatial patterns of fire activity in three biomes of Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 844, p. 157138, out. 2022.
- AGUIAR, R. D.; SANTOS, L. F. M.; MATRICARDI, E. A. T.; BATISTA, I. X. Zoneamento de risco de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros - GO. **Enciclopédia da Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 1943-.1957, 2015
- ALVARENGA, K. L. L. **Uso e ocupação do solo no triângulo mineiro e a relação com focos de queimadas de 2010 a 2020**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/35123/1/UsoEOcupa%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2023.
- ARAGÃO, M. D. A.; FIEDLER, N. C.; RAMALHO, A. H. C. *et al.* Risk of forest fires occurrence on a transition island Amazon-Cerrado: Where to act? **Forest Ecology and Management**, v. 536, p. 120858, maio 2023.
- ARCGIS ONLINE RESOURCES. **Welcome to ArcGIS Desktop Help 9.3, including 9.3.1**. [S. l.]: Arcgis Online Resources 2011. Disponível em: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/>. Acesso em: 25 mar. 2023.
- ATKINSON, D. *et al.* Implementation of quantitative bushfire risk analysis in a GIS environment. **International Journal of Wildland Fire**, v. 19, n. 5, p. 649, 2010.
- BAR MASSADA, A. *et al.* Wildfire risk in the wildland–urban interface: A simulation study in northwestern Wisconsin. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1990–1999, out. 2009.
- BARBOSA SOARES NETO, G. *et al.* Riscos de incêndios florestais no parque nacional de Brasília. Brasil. **Territorium**, n. 23, p. 161–170, 2016.
- BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta**, v. 34, n. 2, 31 ago. 2004.
- BERLINCK, C. N.; LIMA, L. H. A. Implementação do Manejo Integrado do Fogo em Unidades de Conservação Federais no Brasil: Resultados e Perspectivas. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, n. 2, p. 128–138, 6 maio 2021.
- BIAZATTI, L. D. **Zoneamento de risco de ocorrência de incêndios florestais na Floresta Nacional do Rio Preto e sua Zona de Amortecimento**. 2019. 56f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, 2019.
- BRANDÃO, C. B.; MIRANDA, R. A. C. Relações entre elementos climáticos e geográficos nas ocorrências de incêndio florestal no Parque Estadual Da Pedra Branca - RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 10, n. 1, 30 jun. 2012.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Instituiu o Novo Código Florestal Brasileiro. Brasília, DF, 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm). Acesso em: 12 mar. 2022.

CAETANO, M. A. L. Political activity in social media induces forest fires in the Brazilian Amazon. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 167, p. 120676, jun. 2021.

CAMARGO, L. S. *et al.* Map of Areas Susceptible to Forest Fires in the Municipality of Petrópolis- RJ. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, n. 1, p. 630–641, 13 maio 2019.

CAMARGO, L. S. *et al.* Map of Areas Susceptible to Forest Fires in the Municipality of Petrópolis- RJ. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, n. 1, p. 630–641, 13 maio 2019.

CAMELO, A. P. S.; SANCHES, K.; NAKAGOMI, B. Zoneamento de incêndios florestais na estação ecológica Águas Emendadas, Distrito Federal (Brasil). **Territorium**, n. 27(II), p. 67–79, 10 set. 2020.

CARVALHO, I. S.; ALVARADO, S. T.; SILVA, T. S. F. *et al.* How does the fire regime change after creating a protected area in the Brazilian Cerrado? **Journal for Nature Conservation**, v. 71, p. 126318, fev. 2023.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar: Safra 2021/2022 – Primeiro Levantamento, Boletim da Safra, Brasília, v. 11, n.1, p. 1-60, 2022. Disponível: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 04 jul. 2023.

DIMUCCIO, L. A. *et al.* Susceptibilidade aos incêndios florestais na Região Centro de Portugal: utilização de ferramentas SIG e de um Modelo de Redes Neurais para ponderar os factores condicionantes. **Cadernos de Geografia**, n. 26–27, p. 179–188, 2008.

DLAMINI, W. M. A Bayesian belief network analysis of factors influencing wildfire occurrence in Swaziland. **Environmental Modelling & Software**, v. 25, n. 2, p. 199–208, fev. 2010.

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

FAIRBROTHER, A.; TURNLEY, J. G. Predicting risks of uncharacteristic wildfires: Application of the risk assessment process. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 1–2, p. 28–35, jun. 2005.

FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. Amazon sugar cane: A threat to the forest. **Science**, v. 359, n. 6383, p. 1476–1476, 30 mar. 2018.

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

FONSECA, L. F. M.; ARAUJO, E. C. G.; FIEDLER, N. C. *et al.* Perspective: Scientific gaps on forest fires in Brazilian protected areas. **Forest Ecology and Management**, v. 529, p. 120739, fev. 2023.

GOMES, L.; MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. D. C. How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome? **Forest Ecology and Management**, v. 417, p. 281–290, maio 2018.

GOMES, L.; MIRANDA, H. S.; SILVÉRIO, D. V. *et al.* Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas, and forests of the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 117804, fev. 2020.

GONINO, G. M. R. *et al.* Fire increases the productivity of sugarcane, but it also generates ashes that negatively affect native fish species in aquatic systems. **Science of The Total Environment**, v. 664, p. 215–221, maio 2019.

IBAMA. **Confira medidas que podem ajudar a evitar incêndios florestais em período de seca.** Brasília: IBAMA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2020/confira-dicas-para-evitar-incendios-florestais-no-periodo-da-seca>. Acesso em: 22 maio 2023.

IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável:** Brasil 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

JUVANHOL, R. S. *et al.* Gis and fuzzy logic applied to modelling forest fire risk. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, p. e20190726, 23 ago. 2021.

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

KALA, C. P. Environmental and socioeconomic impacts of forest fires: A call for multilateral cooperation and management interventions. **Natural Hazards Research**, v. 3, n. 2, p. 286–294, jun. 2023.

KALLOUDIS, S. T. *et al.* Forest management planning expert system for wildfire damage reduction. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, n. 2, p. 285–291, mar. 2010.

KAZMIERCZAK, M. L. Sensoriamento Remoto para Incêndios Florestais. In: SAUSEN, T. S. e LACRUZ, M. S. P. (Orgs) **Sensoriamento Remoto para Desastres.** São Paulo: Oficina de textos, 2015. p. 140-170.

MARTINS, F. B. *et al.* Classificação climática de köppen e de thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018.

MIRANDA, J. D. R.; SILVA, R. G. D.; JUVANHOL, R. S. Forest fire action on vegetation from the perspective of trend analysis in future climate change scenarios for a Brazilian savanna region. **Ecological Engineering**, v. 175, p. 106488, fev. 2022.

MOTA, P. H. S. *et al.* Forest fire hazard zoning in Mato Grosso State, Brazil. **Land Use Policy**, v. 88, p. 104206, nov. 2019.

MULLAN, K.; CAVIGLIA-HARRIS, J. L.; SILLS, E. O. Sustainability of agricultural production following deforestation in the tropics: Evidence on the value of newly-deforested, long-deforested and forested land in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 108, p. 105660, set. 2021.

NOVAIS, G. T.; BRITO, J. L. S.; SANCHES, F. D. O. Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 23 out. 2018.

OLIVEIRA, A. L. S. *et al.* Comparação e validação da modelagem espacial de riscos de incêndios considerando diferentes métodos de predição. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, p. 556–577, dez. 2017.

OLIVEIRA, A. P. G.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. *et al.* Uso de geotecnologias para o estabelecimento de áreas para corredores de biodiversidade. **Revista Árvore**, v. 39, n. 4, p. 595–602, ago. 2015.

OLIVEIRA, S. N.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. *et al.* Deforestation analysis in protected areas and scenario simulation for structural corridors in the agricultural frontier of Western Bahia, Brazil. **Land Use Policy**, v. 61, p. 40–52, fev. 2017.

OLIVEIRA, V. F. R. *et al.* Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de risco a incêndios. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1194–1212, 1 jun. 2020.

PARAJULI, A.; MANZOOR, S. A.; LUKAC, M. Areas of the Terai Arc landscape in Nepal at risk of forest fire identified by fuzzy analytic hierarchy process. **Environmental Development**, v. 45, p. 100810, mar. 2023.

PEREIRA JÚNIOR, A. C. **Métodos de Geoprocessamento na Avaliação da Susceptibilidade do Cerrado ao Fogo**. 2002. 98f. Tese (Doutorado em Ciências da área de Concentração em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

PEREIRA, C. A.; FIEDLER, N. C.; DE MEDEIROS, M. B. Análise de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais em unidades de conservação do cerrado. **Floresta**, v. 34, n. 2, 31 ago. 2004.

PEZZOPANE, J. E. M. *et al.* Riscos de incêndio em função da característica do clima, relevo e cobertura do solo. **Revista Floresta e Ambiente - UFRRJ**, v. 8, n. 1, p. 161-166. 2001.

PIVELLO, V. R.; VIEIRA, I.; CHRISTIANINI, A. V. *et al.* Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 233–255, jul. 2021.

PRUDENTE, T. D. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno**. 2010. 116f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

RAMALHO, C. H. A. *et al.* **Zoneamento de risco de ocorrência de incêndios florestais- passo a passo – ArcGIS 10.3**. [S. l.: s. n.], 2021.

RIBEIRO, L. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 561–572, 2008.

RODRIGUES, M. T.; PENACHIO, S. M. Zoneamento do risco de incêndios florestais em bacia hidrográfica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28779–28790, 2020.

ROMERO, R. C. *et al.* Spatial modelling of socioeconomic data to understand patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (central Spain). **Ecological Modelling**, n. 221, n. 1, p. 34-45, 2010.

SANTOS, A. T. G. **Abordagem baseada em SIG aplicada ao estudo do risco de incêndio florestal em uma área de conservação na região do Triângulo Mineiro**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) - Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, 2022.

SANTOS, R. L. R.; MELO, D. H. C. T. B.; ROVANI, F. M. Decifrando a ferramenta SLOPE com arquivo raster (MDE) no ARCGIS. **Technical Report**, July 2017. 10.13140/RG.2.2.22073.47209.

SI, L.; SHU, L.; WANG, M. *et al.* Study on forest fire danger prediction in plateau mountainous forest area. **Natural Hazards Research**, v. 2, n. 1, p. 25–32, mar. 2022.

SILVA, C. F. A.; ANDRADE, M. O.; SANTOS, A. M. *et al.* Road network and deforestation of indigenous lands in the Brazilian Amazon. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 119, p. 103735, jun. 2023.

SILVA, I. D. B.; VALLE, M. E.; BARROS, L. C. *et al.* A wildfire warning system applied to the state of Acre in the Brazilian Amazon. **Applied Soft Computing**, v. 89, p. 106075, abr. 2020.

SILVA, J. S. V. *et al.* **Projeto GeoMS: Cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011.

ANÁLISE DO RISCO DE INCÊNDIO EM VEGETAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO  
Pedro Wilson Alves de Queiroz dos Santos, Daniel Pena Pereira, Fausto Antônio Domingos Junior, Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

SILVA, J.; NEVES, S. D. S.; BASOTTI, I. S. Cobertura vegetal e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Paraná no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. In: **Encuentro de Geografos de América Latina**, v. 16, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-depublicacoes/-/publicacao/1069074/cobertura-vegetal-e-uso-da-terra-na-bacia-hidrografica-do-rio-parana-no-estado-demato-grosso-do-sul-brasil>. Acesso em: 08 jun. 2023.

SILVA, L.; VERAS, D.; CHAVES, J. Levantamento bibliográfico: um estudo sobre as queimadas no cerrado brasileiro no período de 2010 a 2016. **Enciclopedia biosfera**, [S. l.], v. 14, n. 26, 2017. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/775>. Acesso em: 12 mar. 2023.

SILVEIRA, H. L. F.; VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. O. A. Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente sig, na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 259–268, abr. 2008.

SIVRIKAYA, F.; KÜÇÜK, Ö. Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. **Ecological Informatics**, v. 68, p. 101537, maio 2022.

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

SONG, R.; WANG, T.; HAN, J. *et al.* Spatial and temporal variation of air pollutant emissions from forest fires in China. **Atmospheric Environment**, v. 281, p. 119156, jul. 2022.

SOUTO-OLIVEIRA, C. E.; MARQUES, M. T. A.; NOGUEIRA, T. Impact of extreme wildfires from the Brazilian Forests and sugarcane burning on the air quality of the biggest megacity on South America. **Science of The Total Environment**, v. 888, p. 163439, ago. 2023.

TAGLIARINI, F. *et al.* Zoneamento do risco de incêndios florestais em bacia hidrográfica / Forest fire risk zoning in watershed. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 28779–28790, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/10253>. Acesso em: 8 jun. 2023.

THOMAZ, E. L.; MARCATTO, F. S.; ANTONELI, V. Soil erosion on the Brazilian sugarcane cropping system: An overview. **Geography and Sustainability**, v. 3, n. 2, p. 129–138, jun. 2022.

THOMPSON, M. P.; CALKIN, D. E. Uncertainty and risk in wildland fire management: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 8, p. 1895–1909, ago. 2011.

TOLEDO-CASTRO, J.; CABALLERO-GIL, P.; PÉREZ, N. R. *et al.* Forest Fire Prevention, Detection, and Fighting Based on Fuzzy Logic and Wireless Sensor Networks. **Complexity**, v. 2018, p. 1–17, 2 dez. 2018.

VICENTE DE ASSIS, F. R. *et al.* Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 133, 8 jan. 2014.

XAVIER, S. A. S.; DE ARAÚJO, F. S.; LEDRU, M. P. Changes in fire activity and biodiversity in a Northeast Brazilian Cerrado over the last 800 years. **Anthropocene**, v. 40, p. 100356, dez. 2022.