



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À QUEIMADAS NA BACIA DO RIO
PARAÚNA – MG**

ISABELA GOMES RIBEIRO

BELO HORIZONTE

2021

ISABELA GOMES RIBEIRO

**MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À QUEIMADAS NA BACIA DO RIO
PARAÚNA – MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner G Coelho

Co-Orientador: Prof. Dr. Daniel Brianezi

BELO HORIZONTE

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO DO TCC

Isabela Gomes Ribeiro

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À QUEIMADAS NA BACIA DO RIO PARAÚNA - MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 08 de Setembro de 2021

Banca examinadora:



Prof. Carlos Wagner G Andrade Coelho - Orientador



Prof. Daniel Brianezi – Co Orientador



Prof. Erlon Barbosa Valdetaro

Juan Luis Santos

Alex Mendes Santos

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho em primeiro lugar à minha mãe, Márcia Maria Gomes Ribeiro, ao meu pai, Eudaldo Cícero Ribeiro, que nos deixou faz pouco tempo, e ao meu irmão, Victor Gomes Ribeiro. Agradeço por todo o incentivo, paciência, persistência e por todo o amor e carinho que sempre tiveram comigo. Sem vocês eu não teria chegado tão longe, e tenho certeza que o meu pai aonde quer que ele esteja, estará presente comigo nesse momento tão especial e tão esperado por ele e por mim.

À minha amiga querida, Vera Rocha HuHn, que nunca mediu esforços para me ajudar e estar sempre ao meu lado em todos os momentos. Ao meu Tio Alex que esteve sempre disposto a me ajudar e acreditou no potencial deste trabalho.

Agradeço ao meu namorado, Felipe Magalhães Generoso, por todos esses anos de faculdade ter estado ao meu lado e por ter me apoiado em todas as minhas decisões. Aos meus amigos que estiveram me ajudando quando possível e por terem acreditado em mim.

Quero agradecer também ao meu orientador, Carlos Wagner G Coelho e meu co-orientador, Daniel Brianezi, por todo o conhecimento que me apresentaram, pela disponibilidade, paciência e por toda ajuda fornecida. Também gostaria de deixar um agradecimento especial à instituição Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET – MG e a todos os professores que passaram pela minha jornada, por possibilitar a execução deste trabalho científico.

RESUMO

RIBEIRO, ISABELA GOMES. **Mapeamento de áreas susceptíveis a queimadas na Bacia do Rio Paraúna – MG**. 2021. 72 pg. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

As queimadas são fenômenos que ocorrem devido a características físicas da cobertura vegetal ou de forma antrópica, por meio das atividades humanas. A queima controlada corresponde ao uso do fogo utilizando técnicas de forma correta, muitas vezes em atividades de pastagens e agropecuárias como uma limpeza do solo. Porém, quando as chamas se propagam de forma rápida e atingem áreas muito extensas, é chamado de incêndios florestais que podem causar consequências ambientais, sociais, econômicas e à saúde. Esses incêndios possuem fatores que influenciam na sua facilidade de propagação, e todos eles estão envolvidos dentro do “triângulo do fogo” que envolve três elementos: combustível, oxigênio e calor. O trabalho busca implementar um mapa de risco na região da bacia do Rio Paraúna em Minas Gerais com as áreas mais susceptíveis a queimadas na região. Esse objetivo foi alcançado identificando e georreferenciando as variáveis que influenciam na propagação do fogo, que são: cobertura vegetal, declividade, variáveis meteorológicas (precipitação, umidade relativa e temperatura), orientação das encostas, vias de acesso (estradas e rodovias) e altitude. Em seguida, junto à ferramenta de modelagem *Analytic Hierarchy Process (AHP)* foi encontrado uma escala de prioridade das variáveis utilizadas que influenciam o fogo. A partir dessa escala, foi gerado uma equação que com o auxílio da álgebra de mapas do *software ArcGis Desktop 10.8* foi possível obter um mapeamento das regiões susceptíveis a queimadas na Bacia do Rio Paraúna. Esse mapa foi dividido em 4 classes de risco: Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Após, foram comparados os resultados do mapa com os dados de focos de incêndio disponibilizados pelo INPE em um período de 10 anos (2011-2020). A metodologia proposta foi capaz de fazer uma associação entre os focos detectados e as variáveis que influenciam o fogo. Dessa forma, foi verificado quais áreas são mais susceptíveis à queimadas e que geram maior risco na Bacia do Rio Paraúna, além de colaborar para a adoção de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais na região.

Palavras-chave: incêndio florestal, Gouveia, Conceição do Mato Dentro, Datas, SIG, AHP, risco.

ABSTRACT

RIBEIRO, ISABELA GOMES. **Mapping of fire susceptible areas in the Paraúna River Basin – MG**. 2021. 72 pg. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais. Belo Horizonte, 2021.

Wildfires are phenomena that occur naturally, due to the physical characteristics of the vegetation cover, or anthropically, through human activities. Controlled burning corresponds to the use of fire using techniques correctly, often in pasture and agricultural activities such as cleaning the soil. However, when the flames spread quickly and reach very large areas, it is called forest fires that can cause environmental, social, economic and health consequences. These fires have factors that influence their ease of propagation, and all of them are involved within the "fire triangle" that involves three elements: fuel, oxygen and heat. The work seeks to implement a risk map in the region of the hydrografic badin Paraúna River in Minas Gerais with the areas most susceptible to fires in the region. This objective was achieved by identifying and georeferencing the variables that influence the spread of fire, which are: vegetation cover, slope, meteorological variables (precipitation, relative humidity and temperature), slope orientation, access routes (roads and highways) and altitude. All these variables were hierarchized and weights were assigned according to 5 risk classes (minimum, low, moderate, high and high risk). Next, with the modeling tool Analytic Hierarchy Process (AHP) a priority scale of the variables used that influence fire was found. From this scale, an equation was generated that with the help of the algebra of maps of the ArcGis Desktop 10.8 software was possible to obtain a map of the regions susceptible to fires in the Paraúna River Basin. This map was divided into four risk classes: Low, Medium, High and Very High. Then, the results of the map were compared with the data of fire outbreaks made available by INPE in a period of 10 years (2011-2020). The proposed methodology was able to make an association between the detected outbreaks and the variables that influence fire. In this way, it was verified which areas are more susceptible to fire and that generate greater risk in the Paraúna River Basin, in addition to collaborating in the adoption of actions to prevent and fight forest fires in the region

Key-words: wildfire, Gouveia, Conceição do Mato Dentro, SIG , AHP, risk

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Queima Controlada e Incêndio Florestal	15
3.2 Fatores que influenciam a propagação do fogo	16
3.3 Impactos das Queimadas	20
3.4 Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	24
3.5 Sensoriamento Remoto na detecção de queimadas	25
3.6 Características Espectrais das Queimadas	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 Área de Estudo	27
4.2 Coleta de Dados e Processamento	33
4.3 Método AHP - <i>Analytic Hierarchy Process</i>	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
6 CONCLUSÕES	65
7 RECOMENDAÇÕES	66
REFERÊNCIAS	67

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da Bacia do Rio Paraúna - MG.....	12
Figura 2 - Caracterização dos municípios da Bacia do Rio Paraúna.....	28
Figura 3 - Biomas Brasileiros na Bacia do Rio Paraúna	30
Figura 4 - Inventário Florestal IEF 2009 – Mata Atlântica.....	31
Figura 5 - Inventário Florestal IEF 2009 – Cerrado.....	32
Figura 6 - Hipsometria da Bacia do Rio Paraúna - MG	38
Figura 7 - Classificação das Vias de Acesso na Bacia do Rio Paraúna - MG.....	41
Figura 8 - Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Paraúna - MG	43
Figura 9 - Contagem por quadrícula de focos de queimadas no período de 10 anos (2011 - 2020).....	47
Figura 10 - Precipitação Média no Período Seco na Bacia do Rio Paraúna.....	48
Figura 11 - Temperatura Máxima no Período Seco na Bacia do Rio Paraúna.....	49
Figura 12 - Umidade Relativa do ar no Período Seco na Bacia do Rio Paraúna	50
Figura 13 - Declividade da Bacia do Rio Paraúna - MG.....	51
Figura 14 - Orientação das Encostas - Bacia Hidrográfica do Rio Paraúna - MG.....	52
Figura 15 - Mapa de risco para as condições climáticas.	53
Figura 16 - Mapa de risco para a Altitude e Declividade.....	54
Figura 17 - Mapa de risco para a Orientação das Encostas.....	55
Figura 18 - Mapa de risco das Vias de acesso.....	56

Figura 19 - Mapa de risco para a Cobertura Vegetal.....	57
Figura 20 - Histograma da classificação de riscos	60
Figura 21 - Áreas susceptíveis a queimadas na Bacia do Rio Paraúna - MG	61
Figura 22 - Mapa do Risco Muito Alto na região da Bacia do Rio Paraúna- MG	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Estações do INMET	35
Tabela 2 - Precipitações no período seco e suas classificações.....	36
Tabela 3 - Temperatura Máxima no período seco e suas classificações	36
Tabela 4 - Umidade Relativa do ar no período seco e suas classificações	37
Tabela 5 - Altitude e classificações ao risco do fogo	39
Tabela 6 - Declividade e classificações ao risco do fogo	39
Tabela 7 - Classificação da Orientação das Encostas.....	40
Tabela 8 - Vias de acesso e classificação.	41
Tabela 9 - Uso e ocupação do solo e suas classificações	44
Tabela 10 - Escala Fundamental de Saaty (1980).	45
Tabela 11 - Posição dos parâmetros	58
Tabela 12 - Resultado de prioridade dos parâmetros do AHP.....	59

1 INTRODUÇÃO

A ação do fogo sobre as florestas podem atingir à coberturas vegetais, como também causar consequências às características do solo, à fauna silvestre e à atmosfera, além de causar prejuízos econômicos e sociais. Por isso, os incêndios florestais constituem como uma ameaça à florestas, à humanidade e ao meio ambiente (OLIVEIRA,2002).

É considerado queima controlada quando se utilizam o fogo para atividades agropastoris ou florestais, e para fins de pesquisa científica e tecnológica, em áreas cujo o limite físico é pré-estabelecido (IBAMA, 2016). Quando a chama já não possui o controle, e atinge áreas extensas de forma mais rápida, é chamado de incêndio florestal.

Um dos fatores que tornam o incêndio florestal a ser mais propício de se alastrar são as características físicas da vegetação. Vegetações mais secas, por exemplo, possuem menos umidade, dessa forma podem atingir uma temperatura mais elevada de forma rápida, assim o fogo se propaga mais facilmente. Além disso, vegetações mais densas acumulam mais umidade, ao contrário de regiões mais abertas, portanto essas regiões possuem maior vulnerabilidade em ter o fogo alastrado mais facilmente (OLIVEIRA,2002).

Além das características físicas da vegetação existem outros fatores que tornam determinadas regiões a terem uma maior susceptibilidade ao fogo, e uma delas é o clima e as precipitações. O ano hidrológico no Brasil tem início em outubro e finaliza no ano seguinte no mês de setembro.

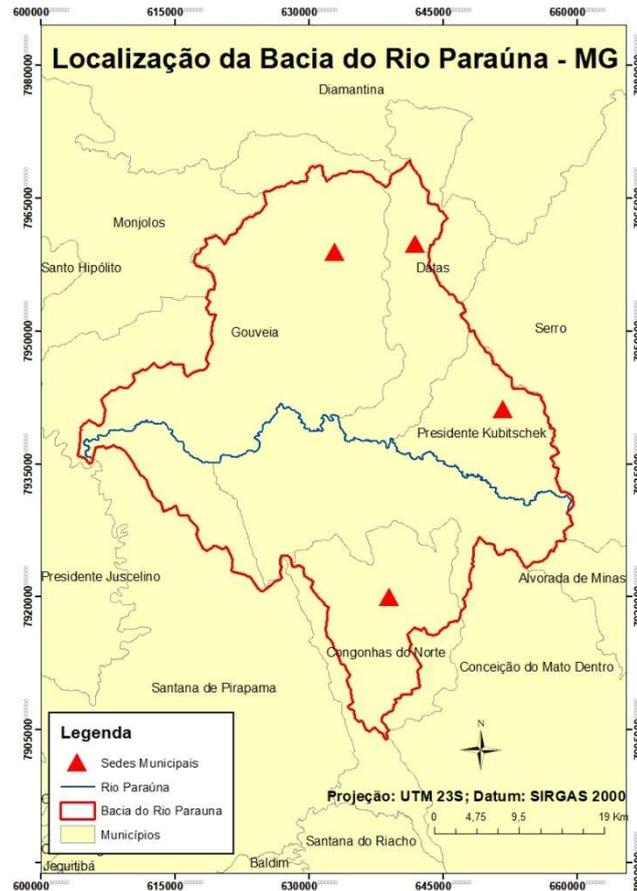
Segundo o INPE (2020), entre os anos de 1998 e 2020 a média de focos de queimadas no período com maiores precipitações (janeiro a março) foi de 7.682 e no período de maior seca (junho a setembro) foi de 135.420.

O material combustível também é um fator de extrema importância para o alastre do fogo, já que sem ele a combustão não consegue ser feita. Dessa forma, regiões com maiores quantidades de material combustível serão áreas com maior risco de expansão do fogo em incêndios florestais.

Na Bacia do Rio Paraúna, região em estudo, como mostrado na Figura 1, as queimadas têm papel ainda mais importante quando observado que as áreas comumente atingidas se localizam em áreas de nascentes e onde predominam a flora e a fauna com alto índice de endemismo e de

difícil recuperação (SANTOS et al.,2017). No caso da área em estudo, foi delimitada a região que contribui em termos de drenagem para o Rio Paraúna, desde suas nascentes e afluentes até a confluência com o Rio Cipó.

Figura 1 - Localização da Bacia do Rio Paraúna - MG



Fonte: Dados – IBGE (2020)

Desenvolvido por: Autora (2021).

A região da bacia não possui propriedades e atividades em que são desenvolvidas as queimas controladas. Em maior parte dos incêndios florestais que ocorrem na região são relacionados aos incêndios criminosos, como exploração de madeira, fazendeiros (criadores de cavalos e burros), conflitos entre moradores, e alguns caçadores (SANTOS, 2017).

Segundo o INPE (2020) o número de focos de queimadas da região entre os anos de 2013 e 2016 teve aumento de 73 para 301 focos. Sendo que, segundo Santos (2017), as áreas com maior número de focos e ocorrência do fogo se encontram nas regiões onde se cria gado de forma extensiva em pastagens naturais, tendo uma maior quantidade de fogo nos meses de julho

a outubro.

Para evitar os incêndios, melhor controlar as queimadas, e facilitar o monitorar das áreas afetadas, é necessário dispor de uma forma rápida e eficiente de detecção desses incêndios florestais. Existem diferentes maneiras de detecção como: postos de vigilância, patrulhamento aéreo e monitoramento por imagens de satélites (BATISTA, 2004).

A região da Bacia do Rio Paraúna possui uma quantidade de estudos escassa sobre as queimadas e a susceptibilidade da região ao fogo. Diante disso, estudos e monitoramentos acerca das queimadas e das suas áreas susceptíveis são de extrema importância, já que os incêndios florestais têm se tornado cada vez mais comuns no território brasileiro.

Portanto, as queimadas têm se tornado um fenômeno muito comum no Brasil e presente cada vez mais nos biomas brasileiros, inclusive no cerrado e na mata atlântica, onde está localizada a área em estudo.

A problemática dos incêndios florestais envolvem impactos não somente ambientais, mas sociais e de saúde pública e por isso devem ser tomadas medidas de prevenção e controle desse fenômeno. Dessa maneira, o conhecimento das áreas onde ocorrem as queimadas com mais frequência, as regiões que contêm mais riscos e as épocas do ano são de vital importância.

2 OBJETIVOS

O objetivo central do trabalho é estudar e implementar o mapeamento da região da Bacia do Rio Paraúna em Minas Gerais das áreas que são mais susceptíveis às queimadas e conseqüentemente aos incêndios florestais, para então contribuir com a adoção de ações na prevenção e combate aos incêndios.

Para subsidiar o objetivo central do trabalho, temos os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar e georreferenciar as principais variáveis que contribuem para o surgimento e proliferação do fogo na bacia do rio Paraúna;
2. Utilizar técnicas estatísticas de análise e hierarquização de variáveis para a correlação entre as variáveis;
3. Utilizar técnicas de álgebra de mapas para a identificação das áreas mais susceptíveis ao fogo na bacia do rio Paraúna;
4. Correlacionar os resultados com possíveis focos de tensão dentro da bacia do rio Paraúna através de estatística dos dados temporais e espaciais nos últimos 10 anos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Queima Controlada e Incêndio Florestal

Segundo Soares, Batista e Tetto (2017) o fogo corresponde a um fenômeno físico que resulta do envolvimento de três elementos: combustível, oxigênio e calor. Essa inter-relação desses três elementos da combustão formam o conhecido “triângulo do fogo”. Para qualquer incêndio florestal é necessário ter material combustível para queimar, o oxigênio para que a chama se mantenha e o calor para poder aquecer e iniciar o processo de queima.

As queimadas podem acontecer de maneira natural ou antrópica. A queimada natural não é o principal motivo do grande alastre do fogo nos biomas brasileiros. As queimadas pela ação antrópica são bastante utilizadas como uma prática de limpeza e renovação das áreas e, portanto, muito utilizadas na zona rural.

Uma das técnicas é denominada de queima controlada e conforme Araújo e Ribeiro (2005) a utilização do fogo é permitida dentro dos limites pré- estabelecidos de intensidade e com o objetivo somente de renovação da vegetação. O uso do fogo de forma controlada, conhecido como queima controlada, é permitido pela portaria 231/88, do Ibama, e se enquadra dentro do Código Florestal Brasileiro da Lei 12.651/2012, e é regulamentada pela Resolução Conjunta SEMAD/IEF nº 2.988, de 24 de julho de 2020 no estado de Minas Gerais.

O cidadão que deseja fazer o uso do fogo em sua propriedade deve procurar o órgão ambiental mais próximo ou diretamente o Ibama. Porém, as queimas controladas têm sido uma técnica preocupante, principalmente nos biomas brasileiros do cerrado, amazônia, pantanal e mata atlântica, já que esse uso do fogo fora do controle pode prejudicar diversos sistemas ecológicos gerando impactos ambientais regionais e mundiais.

Segundo Araújo e Ribeiro (2005) é considerado incêndio florestal quando ocorrem queimadas, e esse fogo já não possui mais um controle das chamas e estas se propagam de forma rápida. Esse fogo se alastra de acordo com as condições climáticas, topográficas e de material combustível, liberando grandes quantidades de energia e alcançando altas temperaturas.

O incêndio se alastra de forma mais rápida quando se situa em um ambiente em estado vulnerável e também por ser exposto a algum fator como a combinação de combustíveis inflamáveis quando são expostos a uma fonte de calor (OLIVEIRA, 2002). Dessa maneira,

várias são as razões para o início desse incêndio e uma das mais frequentes é a ação antrópica descontrolada principalmente nas atividades do meio rural.

3.2 Fatores que influenciam a propagação do fogo

3.2.1 Características da Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal possui variação em comportamentos relacionados a propagação do fogo principalmente devido a presença de combustíveis e condições climáticas. Os materiais combustíveis possuem uma composição química que podem influenciar na velocidade e na quantidade de calor em um incêndio florestal.

Cada floresta possui um tipo de material combustível e ele pode estar relacionado com o adensamento da região e características de espécies. Florestas que são mais densas possuem uma maior umidade e, portanto, torna o clima mais ameno, ao contrário de regiões com florestas mais abertas e com a vegetação mais espaçada que propiciam a diminuição da umidade.

Além disso, florestas mais abertas possuem uma maior circulação de vento, assim o fogo pode se propagar de forma mais rápida e com mais facilidade, diferentemente da vegetação mais densa e fechada. As espécies de plantas também são um ponto importante para a propagação do fogo já que em vegetação com espécies mais secas o incêndio acontece com mais facilidade (OLIVEIRA, 2002) (ICMBIO, 2010).

A capacidade de algumas espécies possuírem mais propensão na propagação do fogo se deve ao fato de poderem atingir uma temperatura mais elevada rapidamente, assim fornecem combustível tornando o ambiente mais vulnerável a propagação do fogo (OLIVEIRA, 2002) (ICMBIO, 2010).

As áreas de pastagens e plantios estão mais sujeitas aos incêndios florestais em comparação com florestas nativas pelo fato de terem passado por um processo de desmatamento, tendo uma vegetação mais rasteira e menos densa, porém com maior inflamabilidade. Portanto, com a menor densidade das espécies vegetais, a circulação do vento se torna maior o que facilita o processo de propagação do fogo (OLIVEIRA, 2002).

3.2.2 Material Combustível

O material combustível é um dos elementos principais para ocorrência e propagação do fogo,

esse combustível corresponde à cobertura vegetal e pode ser definido como qualquer material orgânico, vivo ou morto no solo, podendo estar sob dele sendo capaz de entrar em ignição e queimar. Portanto, não há possibilidade de incêndio sem a ocorrência do combustível para queimar (OLIVEIRA, 2002) (ICMBIO, 2010).

Os combustíveis podem ser classificados em função do seu tipo, da sua localização, da rapidez em arder, da condição orgânica e da sua disponibilidade. Quanto ao tipo podem denominados perigosos (apresentam fácil e rápida combustão), semi-perigosos (não são capazes de queimar rapidamente) e verde (vegetação viva). Por sua localização podem ser considerados subterrâneos (raízes, sobre o solo), superficial (até 1,80 metros do solo) ou aéreo (acima de 1,80 metros) (OLIVEIRA, 2002).

Quanto à rapidez em arder podem ser lentos ou ligeiros, e da condição orgânica classificam-se como vivo (umidade elevada) ou morto (menos umidade). E por último quanto à disponibilidade podendo ser um combustível total (todo o material existente no local do incêndio), combustível disponível (todo aquele que está em condições de queimar e consumir-se durante o incêndio), combustível restante (não queimou e permaneceu após o incêndio) (OLIVEIRA, 2002).

Segundo Oliveira (2002) outros fatores que levam os combustíveis a terem mais facilidade em se propagar é o seu tamanho, pois quanto maior o tamanho do seu diâmetro maior é a capacidade de se reter umidade, dessa maneira plantas com diâmetros menores retêm menos umidade e, portanto, ardem mais rapidamente e são mais propícias a queima.

3.2.3 Características Topográficas

O relevo de um terreno compreende uma forma física, e sua topografia é um elemento fixo que pode ser uma influência para a propagação de fogo na região. O relevo influencia diretamente no clima e nas características do vento, dessa forma como o clima é fator importante para a propagação do fogo é possível dizer que o relevo também influi diretamente nesse comportamento.

Em terrenos acidentados, ambos os fatores controlam as condições iniciais de ignição e propagação. Imediatamente após a ignição o fator mais importante é o vento. Entretanto, com o desenvolvimento do fogo em intensidade, a topografia se torna mais dominante, principalmente nas inclinações mais acentuadas (OLIVEIRA, 2002).

Existem características que tornam mais fácil a compreensão sobre a influência das características topográficas na propagação do fogo, são elas: configuração, exposição, altitude e grau de inclinação. A configuração do terreno diz respeito ao seu relevo, que possui efeitos no microclima, na umidade e nos ventos (direção e intensidade). Um dos fatores é a posição das encostas em relação à radiação solar que pode afetar o desenvolvimento da vegetação e sua condição como combustível (ICMBIO,2010).

A altitude tem efeito inversamente proporcional ao desenvolvimento da vegetação, ou seja, quanto mais baixo for o terreno mais umidade estará presente. E por último a inclinação das encostas que é considerado o fator mais importante para a incidência de fogo já que ela influencia no pré- aquecimento dos combustíveis e modifica a rapidez de propagação (SOARES; BATISTA; TETTO,2017). Dessa maneira, quanto mais íngreme o relevo mais rápido será a taxa de propagação sobre os combustíveis não queimados.

3.2.4 Vias de acesso

As estradas podem ser analisadas com relação à ocorrência do fogo segundo Prudente (2010) de duas formas: podem ser consideradas como ruptura ao fogo ou percursos para supressão ao fogo. Dessa forma, as estradas podem ser consideradas como um fator que evita a propagação do fogo, ou seja, rompendo esse alastre. Além disso, também são importantes como vias principais para chegada de brigadistas, porém em algumas situações as influências meteorológicas como o vento podem facilitar a ocorrência do fogo.

As estradas também são rotas de pessoas e moradores locais, o que pode levar a intervenção humana e atividades cotidianas que levam a fatores de risco para incêndio, como incêndios criminosos, fogueiras e cigarros. Além disso, as rodovias possuem um trânsito intenso de caminhões, o que muitas vezes pode eliminar faíscas no cano de descarga na subida da serra, que conseqüentemente pode alastrar pela vegetação.

3.2.5 Condições Climáticas

As condições climáticas estão relacionadas aos elementos de temperatura, umidade relativa, vento e precipitação, e esses podem ter efeito direto com a ignição e comportamento do fogo na sua propagação.

A precipitação é a quantidade de umidade que cai na atmosfera e se deposita no solo, podendo

ser na forma de chuva, de orvalho, de névoa ou neblina. Dessa maneira, a precipitação possui uma importância por ser capaz de aumentar o conteúdo de umidade da região. Já a umidade relativa se relaciona à quantidade de água existente no ar, portanto a baixa umidade relativa provoca efeitos de ressecamento na vegetação facilitando a reação de combustão (OLIVEIRA, 2002).

A temperatura é outro fator das condições climáticas que podem se relacionar com o fogo porque diz respeito ao grau de calor de um lugar, ou seja, o calor acaba ressecando a vegetação, tirando a sua umidade, tornando-a mais propícia a propagação do fogo. Porém, temperaturas muito baixas também provocam o ressecamento da vegetação e podem sim serem motivos de incêndios.

Já o vento é um dos fatores que influenciam a taxa de secagem do material combustível. O vento fornece mais oxigênio (ar) e facilita a dessecação (perda de umidade) da vegetação, além de interagir com a coluna de convecção, espalhando fagulhas e brasas, causando outros focos de incêndio (ICMBIO, 2010).

3.2.6 Desmatamento e Uso do fogo

O desmatamento é um fator que pode ser considerado o motivo para a ocorrência do fogo e também um fator para a susceptibilidade das áreas de risco. Segundo Ferreira, Venticinque e Almeida (2005) no Brasil, estudos demonstram que o desmatamento vem sendo propagado principalmente por atividades de pecuária, agricultura de corte ou associada à exploração madeireira.

O desmatamento provoca a remoção da vegetação o que reduz o processo de evapotranspiração aumentando a temperatura da superfície e conseqüentemente diminui a reciclagem de vapor d'água para a atmosfera, dessa maneira a vegetação fica mais seca e a umidade específica diminui tendo uma queda na quantidade de precipitação regional, o que facilita a proliferação do fogo e torna a região mais suscetível e vulnerável às queimadas (OLIVEIRA, 2002).

Segundo o Kreter e Junior (2020), as exportações brasileiras relacionadas ao agronegócio cresceram 6% em 2020 comparado ao ano anterior, e os produtos que mais tiveram aumento foram: Açúcar (63%), carne suína (49%), soja (21%), algodão (21%) e carne bovina (20%). Dessa maneira, devido a pressão por crescimento econômico e de exportações é necessário, muitas vezes, aumentar a quantidade de terras para a produção e, portanto, aumentar o

desmatamento, causando assim uma degradação ambiental em alguns biomas brasileiros.

A utilização do fogo nas atividades no meio rural está intimamente relacionada à limpeza de áreas tanto agrícolas como florestais, na renovação de pastagens, para abrir novas fronteiras agrícolas, melhorar o manejo de pré-colheita da cultura da cana-de-açúcar e controlar pragas e doenças em culturas (anuais e perenes), em manejo pós-colheita, entre outras (REDIN et al.,2011).

Para a preparação de terras para a expansão agrícola e para a pecuária é usada, muitas vezes, a queima controlada, porém essa técnica acaba se tornando um incêndio florestal e vêm destruindo e impactando a cada ano que passa os biomas brasileiros.

3.3 Impactos das Queimadas

3.3.1 Ambiental

As queimadas causam alguns impactos negativos tanto para o meio ambiente como para a sociedade. Durante o fogo há a combustão de material lenhoso e vegetal, e conseqüentemente formação de fumaça, o que traz a poluição do ar e aumento de gases de efeito estufa e de material particulado.

As queimada também pode impactar a fauna e a flora da região, tendo efeitos sobre os organismos vivos do solo como fungos, bactérias, além de ter impactos diretos em animais, principalmente silvestres que podem se intoxicar com os gases emitidos, se ferir com o fogo e até mesmo serem levados a óbito. Isso tudo pode desencadear um desequilíbrio da cadeia alimentar causando impactos nas interações interespecíficas e intraespecíficas da fauna e flora regional.

O desmatamento provocado pela queimada também expõe o solo à ação da chuva e do sol, o que pode causar o aumento da erosão hídrica e eólica (FRANÇA,2000). Segundo Soares, Batista e Tetto (2017) o transporte de cinzas para lagos e rios podem alterar a dinâmica química da água causando a mortandade de peixes.

Existem ecossistemas que são independentes do fogo em que o fogo exerce um pequeno papel ou quase nenhum. Dessa forma, as espécies ao longo dos anos não desenvolveram adaptações à resistência ao fogo, tendo então a mortalidade de fauna e flora maior. Um exemplo seria o bioma da caatinga, tundra, deserto e florestas tropicais (como Floresta Amazônica e Mata

Atlântica) (SOARES;BATISTA; TETTO,2017).

Porém, existem também ecossistemas dependentes do fogo, ou seja, possuem espécies que se adaptaram para desenvolver de forma positiva aos incêndios que ocorrem em certas épocas do ano. O cerrado é um deles e pode ser definido como “clímax do fogo”. Segundo Soares, Batista e Tetto (2017) caso o regime de fogo seja eliminado, o bioma entraria em uma sucessão de estágios mais avançados, podendo chegar a uma vegetação semelhante a florestas de galeria, onde o fogo possui uma maior resistência em penetrar. Nesses biomas, caso o regime e intensidade de fogo foram alterados pode também causar uma perda de hábitat e de espécies.

Outro problema comum a longo prazo das queimadas e do desmatamento é o processo de desertificação ambiental. À medida que as ações antrópicas como o desmatamento, as queimadas, uso inadequado dos solos e seu uso intensivo vão se tornando cada vez maior e frequentes, a região em que ocorre esses processos vai se tornando seca, o solo se torna infértil e empobrecido, dessa forma podem começar a formação de desertos. Dessa maneira, o uso desse solo se torna inviável e impossibilitado de desenvolver algumas espécies de fauna e flora (FRANÇA,2000).

Além dos impactos na fauna e na flora, o processo de desertificação também desencadeia a erosão, já que o solo se torna desprotegido e assim é atingido por agentes erosivos tanto naturais como antrópicos de forma mais rápida e fácil. As consequências econômicas desse processo se relacionam principalmente com a infertilidade das terras para o futuro, e consequências para as populações no entorno, já que perdem a terra para a plantação de alimentos. O processo de desertificação atinge não só o solo, mas o clima, os processos hídricos, os ciclos hidrológicos, alterando todo o processo natural da região.

Os ciclos hidrológicos das regiões que ocorrem as queimadas também podem ser alterados pontualmente ou ao longo do tempo. A mudança destes, causam impactos em todas as regiões do entorno e até mesmo em regiões mais afastadas, pois o aumento da temperatura e a diminuição da umidade de uma região possui correlação direta com a redução das chuvas locais e regionais e da evapotranspiração das florestas.

Segundo Santos et al. (2017) a redução da evapotranspiração e da umidade das matas são consequências graves, já que os ciclos hidrológicos são interligados, assim afetando uma região, outras serão afetadas a curto ou longo prazo. Isso pode ser visto quando há um número maior

de queimadas, e é possível perceber a diferença tanto na qualidade do ar como também nas temperaturas médias diárias, na quantidade de chuvas e na quantidade de águas presentes nos rios.

O aumento desenfreado dos incêndios florestais libera gases poluentes, como o óxido de nitrogênio (NOX), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarbonetos (HC) e material particulado, além de outras substâncias que são consideradas tóxicas. Os gases poluentes emitidos, em principal, o dióxido de carbono são importantes para o efeito estufa, porém em excesso podem causar o aumento desse fenômeno que traz consequências para o meio ambiente e para a sociedade (SANTOS et al.,2017).

O efeito estufa é um mecanismo natural do planeta para garantir a temperatura adequada para a vida na Terra, porém quando há o excesso de gases na atmosfera a dispersão da radiação solar se torna mais difícil, dificultando a saída e retendo mais calor. Assim, há um aumento da temperatura global que pode causar inúmeros desequilíbrios como derretimento das calotas polares, maior frequência de desastres naturais pelas mudanças climáticas bruscas, desertificação, desequilíbrios na fauna e na flora, alterações dos ciclos hidrológicos (SANTOS et al.,2017).

3.3.2 Saúde

Nas queimadas são emitidos vários poluentes clássicos, entre eles óxido de nitrogênio (Nox), monóxido de carbono (CO), HC e material particulado, além de substâncias altamente tóxicas. O efeito agudo à saúde da população em geral fica restrito àquelas pessoas mais próximas à área da queimada, em especial as que estejam atuando no seu combate. Esse efeito pode estar associado à morte por asfixia já que durante a intoxicação há a redução de oxigênio e uma elevação de monóxido de carbono que acabam por competir na sua ligação com a hemoglobina (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002), além disso, pode causar problemas respiratórios a longo ou curto prazo.

Todos os estudos sobre emissões atmosféricas produzidas por queimadas têm indicado o material particulado como um dos mais impactantes, sobretudo o particulado inalável (PM₁₀). Para se ter uma correlação entre os efeitos deve-se atentar à sua origem, composição química e tamanho. As partículas maiores (5 a 30µm de diâmetro) são capazes de se depositarem no nariz, na boca, na faringe e na traquéia. Já as partículas de 1 a 5µm de diâmetro, podem permanecer

na traquéia, nos brônquios e nos bronquíolos.

As partículas menores, que podem ter menos de 1µm de diâmetro, se depositam por difusão nos bronquíolos e alvéolos. As partículas que conseguem chegar aos alvéolos são mais danosas, pois a última fase da respiração acontece nessa estrutura, e é a partir dele que é possível estabelecer a troca gasosa, assim, as partículas atingindo essa região é possível que elas possam se dispersar no sistema linfático ou sanguíneo e circular por todo o corpo (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

A alta concentração de material particulado tem causado o aumento da internação de pacientes por doenças respiratórias, maior uso de broncodilatadores, aumento da tosse, diminuição do fluxo expiratório, aumento de processos alérgicos, piora nos ataques de asma e diminuição da função pulmonar em crianças.

O dióxido de enxofre é uma substância também produzida durante as queimadas, porém não é um poluente tão emitido em concentrações maiores que o recomendado. Esse poluente quando em grande quantidade pode causar aumento da produção de catarro e maior resistência das vias aéreas, além de interferir na eliminação de bactérias e partículas inertes aos pulmões (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

Os óxidos de nitrogênio (NOx) podem ter efeitos diretos quanto ser precursores da poluição fotoquímica (ozônio). Além disso, NOx são importantes contribuintes para a formação de chuvas ácidas, assim como o SO₂ (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002). Estudos indicam que pessoas com asma e doenças pulmonares obstrutivas crônicas, são muito sensíveis aos impactos do NOx.

No entanto, medições feitas em Brunei durante queimada florestal nas imediações registraram concentrações de óxidos de nitrogênio (NO₂) de 1,5µg/m³ a 27µg/m³, bem abaixo das recomendações feitas pela Organização Mundial da SAÚDE e dos padrões brasileiros de qualidade do ar (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

Segundo Ribeiro e Assunção (2002) o monóxido de carbono (CO) é o poluente mais clássico e conhecido nas emissões das queimadas, já que ele é um gás tóxico, sem cor e sem odor, e resulta de uma combustão incompleta do carbono em incêndios, ou queima. A intoxicação por CO é uma das causas frequentes em incêndios florestais principalmente naqueles que estão na linha

de frente do combate ao fogo.

O CO combina-se preferencialmente com a hemoglobina para produzir carboxihemoglobina (COHb), deslocando e reduzindo o oxigênio (O₂) sistêmico arterial. Consequentemente, concentrações relativamente pequenas no ambiente podem causar concentrações tóxicas no sangue humano, resultando em uma molécula de hemoglobina mal equipada para liberar oxigênio aos tecidos. A menor liberação de oxigênio é detectada pelo sistema nervoso central, que estimula os esforços ventilatórios e acelera a respiração, por sua vez aumentando a inalação de monóxido de carbono e elevando os níveis de carboxihemoglobina (VARON et al., 1999).

Dessa forma, a intoxicação por CO pode deixar sequelas e causar danos severos. O aumento da carboxihemoglobina em pacientes com doenças cardiovasculares pode causar a diminuição da tolerância à exercícios físicos e cansaço. Além disso, em altas concentrações podem ter efeitos tóxicos, que é o que pode ocorrer durante os incêndios, que inclui lesões neurológicas que podem deixar sequelas ou até causar a morte.

3.4 Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Os sistemas de informações são utilizados para manipular, sintetizar, pesquisar, editar e visualizar informações, geralmente armazenadas em bases de dados computacionais. As grandes aplicações de Sistemas de Informações Geográficas requerem a montagem de uma equipe multidisciplinar, envolvendo profissionais de informática, bancos de dados, cartografia (cartografia, sensoriamento remoto, fotogrametria, geodésia, etc.) e os outros profissionais das áreas de aplicações do SIG. (FERREIRA, 2006).

O SIG possui uma base de dados geográficos que é integrado por dados espaciais (pontos, linhas, polígonos e pixels) que podem ser utilizados para representar de forma gráfica alguns elementos como: drenagem, relevo, vegetação etc. E também é composto por dados tabulares que possuem como função descrever e caracterizar cada elemento geográfico. Portanto, os dados geográficos são produzidos através da relação entre os dados espaciais e os dados tabulares, e tem como função representar graficamente, fisicamente, quantitativamente e qualitativamente os elementos existentes na superfície terrestre (FERREIRA, 2006).

Portanto, para aplicar essa técnica de SIG podem ser utilizados programas computacionais que possuem ferramentas capazes de manipular esses dados geográficos como objetivo de produzir informações geográficas. Por meio desses programas é possível exibir os dados e as

informações, editar, alterar, transformar, ferramentas matemáticas, combinar mapas etc.

Segundo Ferreira (2006) por meio dessas ferramentas é possível atender diversas demandas, como: manutenção de inventários, gerenciamento de infraestruturas, julgamento de susceptibilidade de áreas para diferentes propósitos, auxílio a usuários na tomada de decisões em processos de planejamento, análises preditivas, estudos de solo e imagens de satélite, estudos ambientais etc.

As técnicas de sensoriamento remoto (SR) se tornam úteis principalmente em regiões remotas e de difícil acesso como em Unidades de Conservação e áreas rurais, já que os monitoramentos nessas áreas não existem e o registro dos focos é feito somente por denúncias ou moradores locais. Dessa forma, o sensoriamento remoto entra como uma ferramentas importantes, porque por meio dele é possível obter informações sem que haja contato físico, somente por meio de radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos.

Por meio do SR é possível explorar as classes de uso do solo, pois essa técnica permite a identificação de classes temáticas na superfície terrestre e da área de ocorrência. Além disso, o SR possui um domínio temporal por meio das características espectrais e espaciais e assim é possível extrair informações relacionadas a uma única data ou poucas datas e isso se torna importante principalmente para o planejamento ambiental já que assim é possível identificar alterações de objetos da superfície (FERREIRA, 2006).

Dessa maneira, as técnicas de sensoriamento remoto aliadas às técnicas de sistemas de informações geográficas podem ser úteis nos estudos para o entendimento do fenômeno através de estudos temporais históricos e para o monitoramento das ocorrências do fogo e seus diversos impactos.

3.5 Sensoriamento Remoto na detecção de queimadas

O Programa Queimadas surgiu oficialmente em 1998, ampliando o monitoramento da Amazônia brasileira que o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) começou a realizar, porém com olhar atento apenas ao desflorestamento da região. Com o programa se passou a identificar também ações de queima na floresta, bem como incêndios em qualquer parte do país. Com a melhoria das tecnologias, satélites mais precisos e acesso a dados em tempo real, o programa vem sendo constantemente aprimorado (INPE, 2018).

O sensoriamento remoto para detecção de queimadas é usado por meio de focos de calor que são extraídos de imagens de satélites, e por meio deles é possível identificar as áreas com ocorrência de fogo, dessa maneira é possível acompanhar as áreas afetadas ou áreas com mais susceptibilidade à queima.

Os focos de calor detectados pelo INPE são através de sensores embarcados em satélites de um ponto da superfície terrestre que apresentam uma determinada temperatura de brilho. Quando os corpos estão em chamas, esses satélites conseguem detectar os focos de incêndio já que atuam na faixa do infravermelho-médio. Diversos desses satélites são da categoria de geoestacionários e os focos são representados por esses sensores no formato de imagem digital chamadas de pixel (INPE,2018).

Segundo INPE (2018) Os focos de calor podem ser localizados em tempo real e em imagens de até 3 anos após a ocorrência do fogo. Porém, a relação entre as queimadas e os focos de calor não são diretas, assim os focos podem detectar uma única queimada ou várias dentro de um mesmo pixel. Além disso, algumas chamas não conseguem ser identificadas devido a obstáculos no momento, como nuvens cobrindo a área, fogo no chão sem afetar copas.

3.6 Características Espectrais das Queimadas

As características espectrais são um dos fatores que ajudam na identificação das marcas de queimadas, que podem permanecer identificáveis por dias. Quando estão na região do visível (0,4-0,7 mm) dependendo da quantidade de clorofila, fogo e tipo de vegetação presente, os resultados nas imagens de satélite podem ser cinzas brancas quando a combustão da biomassa é completa, ou cinza negra, quando a combustão é incompleta pela falta de oxigênio (FRANÇA,2000).

Segundo França (2000) a vegetação apresenta alta reflectância na região do infravermelho (0,7-1,1, mm), quando ocorre a queimada essa reflectância decai, dessa forma a faixa espectral se torna bastante útil para identificação das mesmas. Quando é olhado na faixa termal do espectro eletromagnético, a região em que ocorreu o fogo é apresentada como uma área mais quente do que aquelas que o fogo não conseguiu atingir. Isso acontece pelo fato do solo exposto absorver mais radiação solar, e com a ausência de evapotranspiração, o calor é transferido para a atmosfera.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Por meio do uso de ferramentas de análise espacial foi feita uma análise utilizando parâmetros e fatores que levam a essa susceptibilidade do risco do fogo dentro da bacia do rio Paraúna. Os resultados desse mapeamento tem por finalidade subsidiar os municípios pertencentes à bacia a uma melhor gestão do território. A bacia em estudo é denominada Bacia do Rio Paraúna e pertence ao estado de Minas Gerais.

Para o cálculo das áreas susceptíveis a queimadas foram levantados dados sobre a bacia em questão que contribuem para o surgimento e alastramento do fogo como: cobertura vegetal, condições climáticas (precipitação, umidade e temperatura), declividade, altitude, vias de acesso e orientação das encostas.

Os dados foram cruzados por meio de álgebra de mapas em software de geoprocessamento com o intuito de identificar as áreas mais vulneráveis ao fogo. Para tanto, essas variáveis foram identificadas quanto a sua real contribuição, ou seja, quanto uma variável possa ser mais importante do que a outra, e o quão ela contribui mais que seus pares para a queimada.

Desta forma, foi utilizado o método *AHP – Analytical Hierarchy Process* que consiste em um método de modelagem que para esse presente estudo quantifique atributos relacionados à vulnerabilidade ao risco de queimadas.

4.1 Área de Estudo

A área ocupada pela bacia é de 1.757,01 km² como é mostrado na Figura 1, e em conjunto com todos os municípios totalizam 50.378 habitantes. O rio Paraúna possui uma extensão de 150,23 km e em escala de importância é considerado segundo Santos (2017) um dos principais afluentes do Rio das Velhas, pois recebe água limpa do seu afluente Rio Cipó, e leva essas águas ao Rio das Velhas, que por estar perto da cidade metropolitana de Belo Horizonte recebe uma grande carga de poluição da região, dessa maneira a água vinda do Rio Paraúna ajuda a manter a fonte de vida e peixes.

A bacia é composta por seis municípios: Conceição do Mato Dentro, Datas, Gouveia, Presidente Kubitschek, Congonhas do Norte e Santana de Pirapama como segue na Figura 2.

A bacia do Rio Paraúna considerada nesse estudo envolve o Rio Paraúna com a confluência a

montante do Rio Cipó. Portanto, será considerado somente seis municípios.

Figura 2 - Caracterização dos municípios da Bacia do Rio Paraúna

Município	População (hab)	Área do município (km ²)	Porcentagem do município na bacia (%)
Conceição do Mato Dentro	17.503	1720,04	23,2
Congonhas do Norte	5.421	310,01	62,2
Datas	5.046	405,67	60,33
Gouveia	11.818	866,60	71,46
Presidente Kubitschek	3.001	189,24	98,47
Santana do Pirapama	7.589	1255,83	9,04

Fonte: IBGE (2020).

4.1.1 Histórico de uso do solo na Bacia do Rio Paraúna

A bacia do Rio Paraúna - MG tem histórico de ocupação no extrativismo: agropecuária e mineração. A região possui uma grande diversidade geológica e por esse motivo produziu condições econômicas para a exploração desses minerais presentes nas rochas e nos solos. Dessa forma, o motivo para o início da urbanização da bacia foi pela atividade minerária, porém com o passar dos anos os minerais foram ficando escassos e lavras foram abandonadas.

A pecuária é uma atividade bastante presente na bacia em estudo e é responsável por grande parte da retirada da cobertura vegetal, floresta ou cerrado para a criação de pastos para gados. A região possui uma grande susceptibilidade erosiva, nas áreas onde a declividade é superior, associada aos solos propensos à erosão, seria esperado que existissem números maiores de focos erosivos, porém, ao contrário, as áreas mais impactadas pelas grandes voçorocas são aquelas localizadas no centro da bacia onde as declividades dos terrenos são mais amenas (SANTOS, 2017).

O desflorestamento em função da atividade pecuária, junto ao pisoteio do solo e às queimadas antrópicas contribuíram para a maior parte das voçorocas existentes, e também para a destruição das nascentes. Nas áreas onde as atividades humanas não ocorreram devido ao fato do solo ser

pouco fértil, pedregoso ou de ter declividade acentuada, os ambientes naturais permaneceram preservados e tornaram-se um refúgio da fauna. Nessas áreas também ocorrem a preservação das nascentes e a conservação dos mosaicos da vegetação natural (SANTOS, 2017).

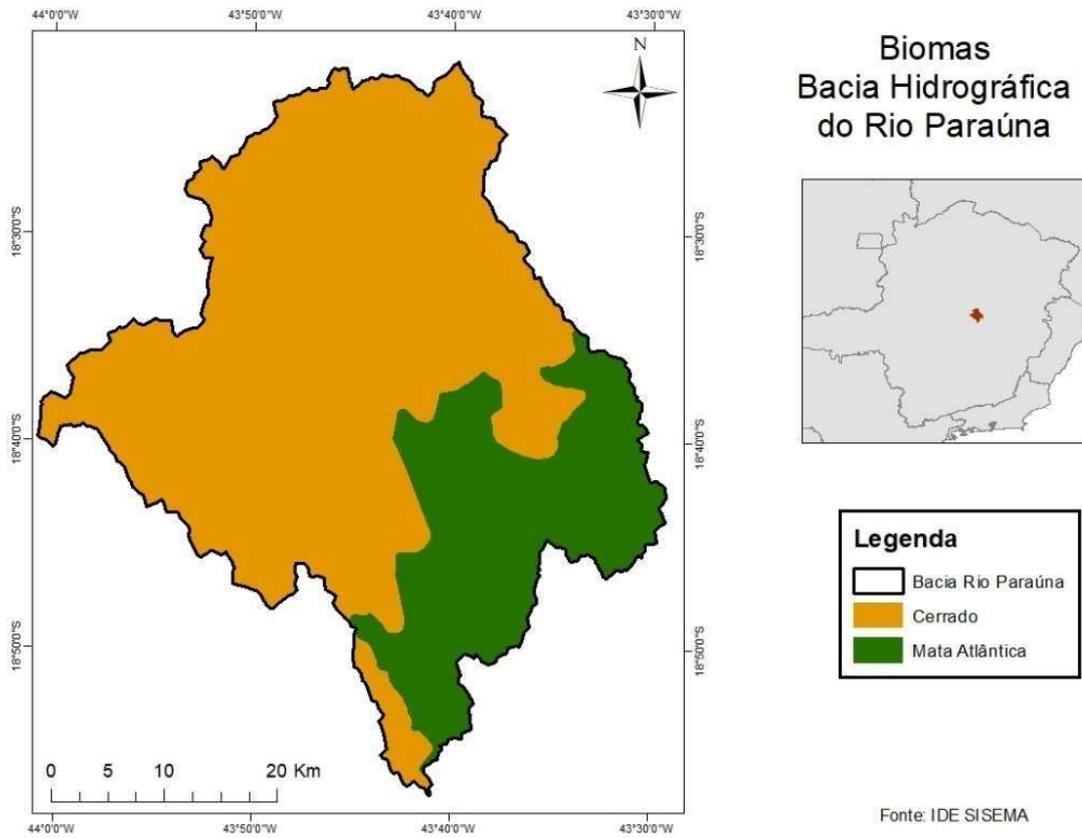
Com relação à atividade relacionada a agricultura, podem ser classificadas na bacia em: Pequenos proprietários que realizam plantio de subsistência e os grandes agricultores que possuem lavras associadas aos processos de irrigação. Um dos grandes impactos da agricultura da região além do desmatamento, segundo Santos (2017) é a retirada das matas ciliares, e o uso de corretivos químicos, fertilizantes e defensivos agrícolas que podem atingir os solos e a hidrografia por escoamento superficial, e contaminar o lençol freático devido ao processo de lixiviação.

O plantio de Eucalipto, é presente na porção Sul bacia e possui pontos negativos ao meio ambiente. Porém, indiretamente, podem apresentar ganhos ambientais como a cobertura dos solos anteriormente degradados, a diminuição do corte de vegetação nativa para lenha e mourão de cerca, além de contribuir para a diminuição das queimadas, uma vez que os produtores evitam essa prática nas proximidades das plantações (SANTOS, 2017).

4.1.2 Biomass

A bacia do Rio Paraúna é composta por dois biomas: cerrado e mata atlântica. Toda a bacia é composta por biomas que evidenciam faixas visíveis de uma transição como é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Biomas Brasileiros na Bacia do Rio Paraúna



Fonte: Dados – IDE SISEMA (2021)

Desenvolvido por: Autora (2021).

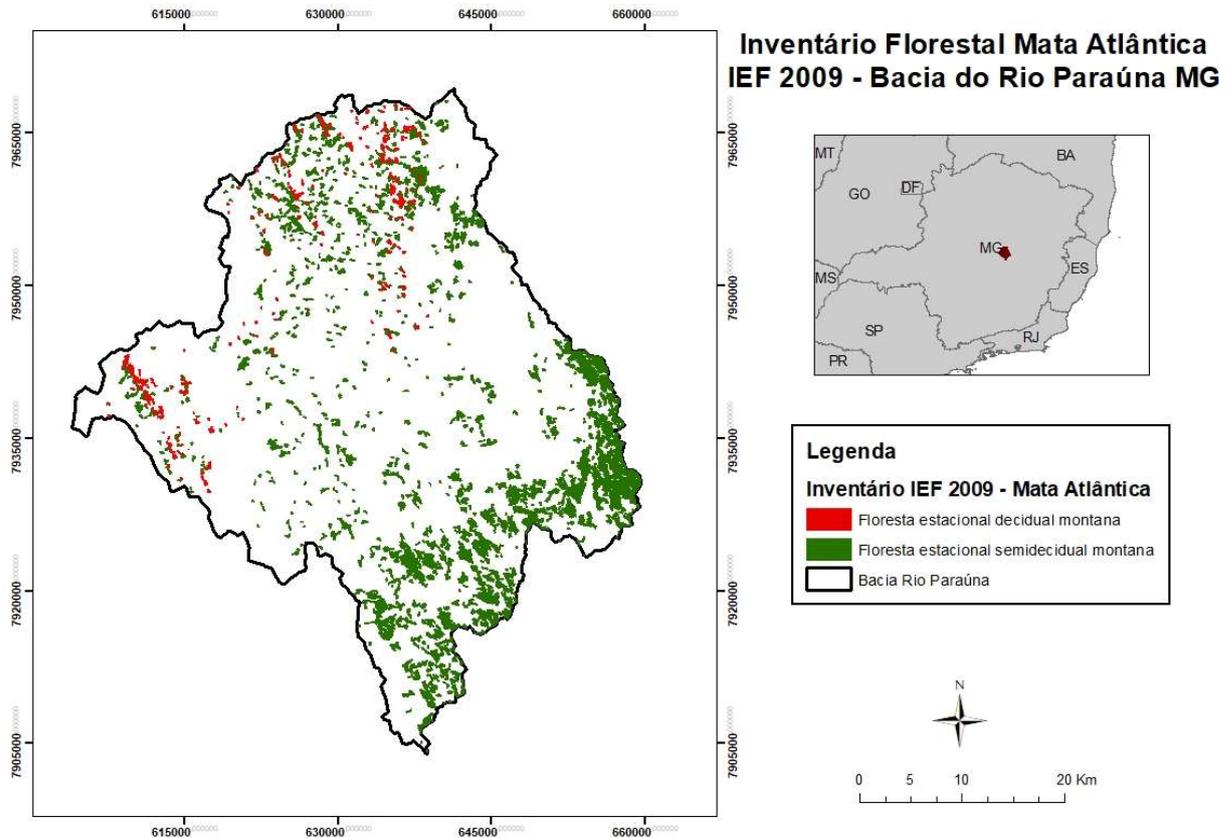
Esses biomas coexistem e formam um mosaico de vegetação que é definido de acordo com fatores: altitude, tipo de solo, declividade do terreno, umidade, presença de matéria orgânica e afloramento de rochas (SANTOS, 2017).

Mata Atlântica

A Mata Atlântica é o segundo maior bioma em Minas Gerais e se localiza na porção oriental do estado. O seu domínio é de 40% dentro da área do estado de Minas Gerais e possui uma vegetação densa e verde, com um alto índice pluviométrico.

De acordo com o Inventário Florestal do IEF de 2009 encontrado na plataforma IDE SISEMA, o bioma da região é constituído por formações florestais chamadas Floresta Estacional Semidecidual Montana e Floresta Estacional Decidual Montana.

Figura 4 - Inventário Florestal IEF 2009 – Mata Atlântica



Fonte: Dados – IDE SISEMA (2021)

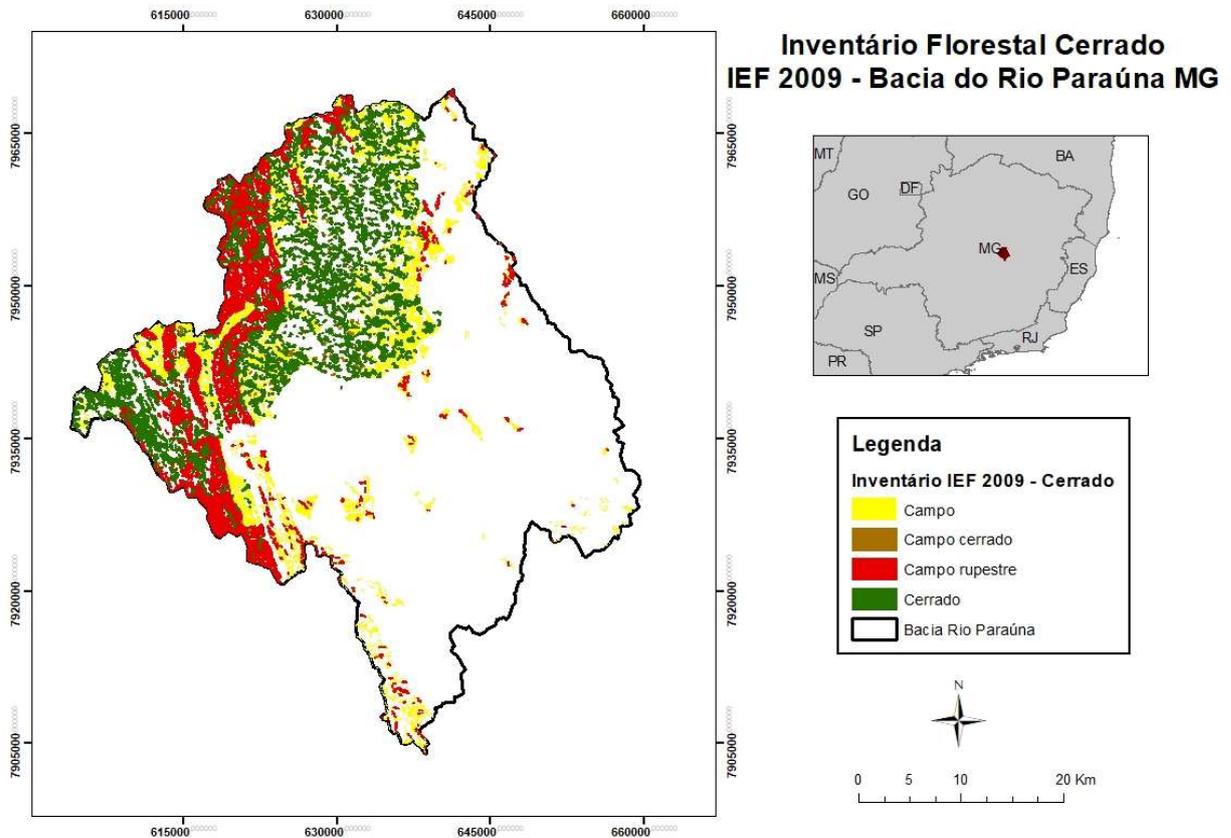
Desenvolvido por: Autora (2021).

Cerrado

A vegetação do cerrado representa 50% do estado de Minas Gérias, e apresenta grande diversidade de fisionomias que podem ser incluídas em três grupos: florestas, savanas e campos. A vegetação predominante no bioma, ao menos originalmente, é de cerrado no sentido amplo em suas várias manifestações fisionômicas: floresta (cerradão), savana (cerrado sentido restrito e Parque de Cerrado) e campestre (Campo limpo e campo sujo) (FRANÇA, 2000).

Na região em estudo, de acordo com o Inventário Florestal do IEF 2009, a região se constitui de Campos e Cerradão como é mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Inventário Florestal IEF 2009 – Cerrado



Fonte: Dados – IDE SISEMA (2021)

Desenvolvido por: Autora (2021).

Os campos possuem uma vegetação predominantemente herbácea e gramínea, com poucos arbustos e ausência de indivíduos arbóreos. A região é marcada também por campos rupestres cuja fisionomia é considerada atualmente como risco de extinção por possuir espécies endêmicas. Essas formações se localizam em regiões de solos litólicos e afloramento de rocha. A vegetação possui predomínio de arbustos variando de porte de acordo com a localização, profundidade do solo e disponibilidade de água (SANTOS, 2017).

Já cerradão é a variação do bioma que apresenta árvores que podem conter de 2 a 15 metros de altura. É uma região marcada por pequenos arbustos e ervas, com poucas gramíneas. As espécies presentes no local correspondem às da Mata Seca Semidecídua e da Mata de Galeria não-Inundável. Do ponto de vista fisionômico é uma floresta, mas floristicamente assemelha-se mais ao Cerrado sentido restrito (EMBRAPA, 2021?).

O cerrado possui em sua maioria vegetações mais secas e separadas, com arbustos ou indivíduos arbóreos não muito altos. Por essas características, o cerrado é considerado propício ao surgimento do fogo de forma natural através das descargas elétricas atmosféricas, da combustão espontânea e até mesmo pelo atrito entre rochas. De acordo com algumas características físicas, o fogo no cerrado é considerado um distúrbio natural fazendo parte da sua dinâmica comum, sendo as queimadas naturais importantes para a manutenção dos processos ecológicos e da biodiversidade, inclusive nas Unidades de Conservação (UC). (FRANÇA,2000).

No cerrado o total anual de chuvas varia de 600 a 2.200 mm, mas em 65% da área, a precipitação oscila entre 1.200 e 1.800 mm (FRANÇA,2000). No entanto, mesmo a média possuindo valores mais altos de precipitação, as chuvas se concentram mais no verão (entre dezembro e março) e se tornam quase nulas no Inverno (entre junho e setembro), definindo, dessa forma, duas estações distintas: chuvosa e seca.

Na estação chuvosa há um acúmulo de fitomassa combustível, enquanto que no período de seca o material presente tem características mais inflamáveis, podendo assim ser um sinal de propagação para incêndios florestais.

4.2 Coleta de Dados e Processamento

4.2.1 Focos de Queimadas

Foram coletados os focos de queimadas em todo o estado de Minas Gerais e posteriormente filtrado os dados somente dentro da Bacia do Rio Paraúna. Os focos foram obtidos pelo portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que detectam por meio de satélites frente de fogo com no mínimo 30 m de extensão por 1 m de largura, sendo cada elemento de imagem (pixel) que possui 1km², terá o foco registrado com 1km².

Quando se trata de satélites geoestacionários, a queima deve ser o dobro do tamanho, com o pixel de 4km x 4km, tendo então o foco registrado em 16 km² (CARVALHO; CARDOSO; ALMEIDA,2016). Por meio desse processo é gerado um modelo vetorial expresso por pontos, que são disponibilizados pelo site do INPE - INFOQUEIMA <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas> .

Os focos de queimada coletados constituem dos anos de janeiro de 2011 a dezembro de 2020.

Foi feita uma análise dentro desses 10 anos, e para cada ano de 2011 a 2020 separou-se em: Ano Civil contendo os dados do ano inteiro, depois dividiu-se em período seco (maio e setembro) e período úmido (outubro a abril).

Além disso, foi feito no software *ArcGis Desktop 10.8* um buffer de 2 km na bacia do Rio Paraúna para que pudessem ser observados as queimadas nesse entorno, já que as atividades antrópicas exercidas e os focos nas proximidades da bacia podem ter influência direta nos incêndios dentro da área em estudo. Para todos os parâmetros utilizados neste presente estudo foram considerados a bacia com o buffer de 2km.

Por meio dos três períodos destacados foi possível iniciar a análise espacial desenvolvido no software *ArcGis Desktop 10.8*. Inicialmente, para uma melhor visualização dos dados foi produzida uma malha de grade composta por 4950 quadrículas de 1x1 km dentro da bacia do Rio Paraúna, para que então fosse contabilizado quantos focos de queimadas existem em cada polígono criado. Esse processo foi repetido para os três períodos separados e foram calculados os totais de focos durante os 10 anos de cada quadrícula gerada.

O software *ArcGis Desktop 10.8* possui uma ferramenta de interpolação chamada Inverso da Distância Ponderada (IDW). E neste estudo foi utilizada para se obter uma interpolação do total e da média de focos de queimadas contabilizados em cada quadrícula durante os 10 anos acumulados. Por meio desse resultado foi obtido contornos ao redor dos pontos de amostragem, neste caso dos focos de queimada.

Esse método possui essa característica já que cada ponto possui uma influência, e dessa forma tendem a ter um raio de ação de forma igual em todas as direções, possibilitando então a formação de círculos, o que torna visualmente mais didática e representativo (RIGHI; BASSO, 2016). Para isso, foram interpolados o total de focos durante o Período Seco e o Período Úmido da região da Bacia do Rio Paraúna por meio da ferramenta *IDW*.

4.2.2 Condições Climáticas

Para este estudo, foram selecionadas variáveis meteorológicas que podem ser diretamente relacionadas ao processo de incêndio florestal e susceptibilidade do ambiente ao fogo na vegetação. Para isso, foram selecionados os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) relacionados à Precipitação (P), Temperatura Máxima (TM) e Umidade Relativa (UR).

A bacia em estudo não possui estações meteorológicas, portanto foram utilizadas quatro estações próximas à bacia que possuem uma influência sobre ela. Essas estações são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estações do INMET

Código	Nome da Estação	UF	Longitude	Latitude
83589	Conceição do Mato Dentro	MG	-43,4333	-19,003
83536	Curvelo	MG	-44,433	-18,766
83538	Diamantina	MG	-43,6	-18,25
83586	Sete Lagoas	MG	-44,25	-19,4666

Fonte: Autora (2021).

Os dados das variáveis foram obtidos para cada mês do ano do período estipulado e inseridos em formato shapefile com as devidas tabelas de atributo no *software ArcGis Desktop 10.8*. A partir dessa tabela foram calculados a média de precipitação, temperatura máxima e umidade relativa para o período seco (maio e setembro).

Foi realizada uma interpolação para essas três variáveis meteorológicas (chuva média, temperatura máxima média e umidade relativa média) para o período seco. Essa modelagem é interessante para esse caso pelo fato da Bacia do Rio Paraúna não apresentar nenhuma estação dentro da sua região.

Precipitação

A precipitação é uma variável que possui ligação direta com o risco de queimadas, já que com a diminuição dela, o ambiente se torna mais seco e com menos umidade, causando um ambiente propício para a ignição do fogo. Portanto, a sua influência quanto ao risco do fogo é diretamente proporcional(SOARES, BATISTA E TETTO,2017).

Dessa forma foram estabelecidos coeficientes de pesos de acordo com a precipitação. As reclassificações foram feitas para o período seco e úmido. As classificações foram feitas para o período seco utilizando 5 classes de riscos. A Tabela 2 apresenta a classificação dos riscos e os coeficientes correspondentes.

Tabela 2 - Precipitações no período seco e suas classificações

Precipitação (mm)	Risco	Coefficiente
129,96 – 135,0	Elevado	5
135,01 – 140,05	Alto	4
140,051 – 145,09	Moderado	3
145,091 – 150,14	Baixo	2
150,141 – 155,18	Risco Mínimo	1

Fonte: Adaptado de Soares, Batista e Tetto (2017).

Temperatura

A temperatura é um parâmetro que possui influência direta nas queimadas, já que com as temperaturas locais mais elevadas há uma diminuição na umidade do material combustível, tornando-o mais vulnerável ao fogo (SOARES, BATISTA E TETTO, 2017).

Foram utilizadas as temperaturas máximas médias interpoladas para a bacia do Rio Paraúna para o período seco. As classificações foram feitas para o período seco utilizando 5 classes de riscos. A Tabela 3 apresenta a classificação dos riscos e os coeficientes correspondentes.

Tabela 3 - Temperatura Máxima no período seco e suas classificações

Temperatura Máxima (°C)	Risco	Coefficiente
26,741 – 27,61	Elevado	5
25,871 – 26,74	Alto	4
25,011 – 25,87	Moderado	3
24,151- 25,01	Baixo	2
23,28 – 24,15	Risco Mínimo	1

Fonte: Adaptado de Soares, Batista e Tetto (2017).

Umidade Relativa do ar

A umidade é um parâmetro com influência direta já que quando essa variável se encontra baixa em determinadas regiões, ela pode ser um fator alto para a ignição do fogo, já que causam ressecamento no material combustível (SOARES, BATISTA E TETTO, 2017).

A umidade relativa foi modelada pela interpolação e as classificações foram feitas para o

período seco utilizando 5 classes de riscos. A Tabela 4 apresenta a classificação dos riscos e os coeficientes correspondentes.

Tabela 4 - Umidade Relativa do ar no período seco e suas classificações

Umidade Relativa (%)	Risco	Coefficiente
67,96 – 69,26	Elevado	5
69,261 – 70,55	Alto	4
70,551 – 71,84	Moderado	3
71,841 – 73,14	Baixo	2
73,141 – 74,43	Risco Mínimo	1

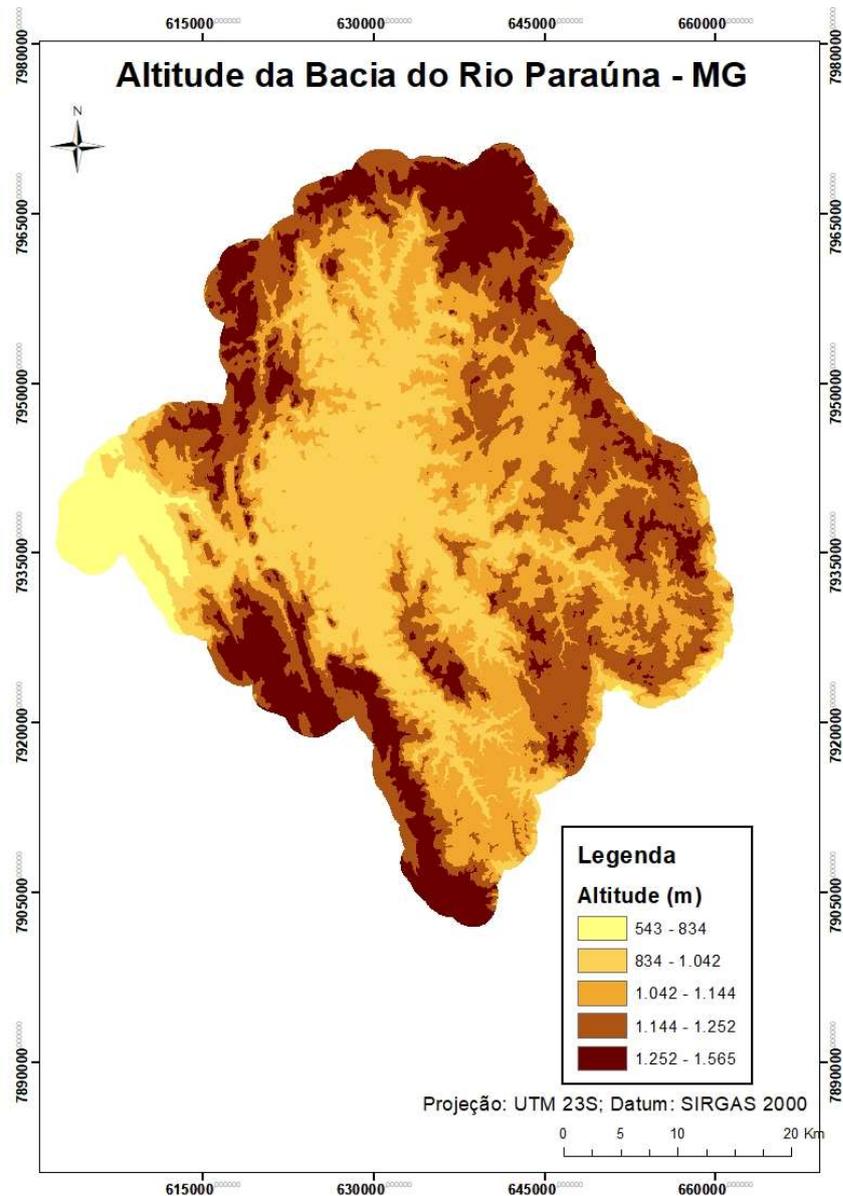
Fonte: Adaptado de Soares, Batista e Tetto (2017).

4.2.3 *Altitude e Declividade*

Os dados foram obtidos por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão da Nasa do ano de 2000 denominado SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) com resolução espacial de 12,5 metros. Esse MDE é oriundo do satélite ALOS e do seu sensor PALSAR. Esse dado foi obtido no site da ASF (Alaska Satellite Facility) em <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Nessa estrutura raster será possível a identificação das faixas de altitude e declividade.

Bacia Hidrográfica do Rio Paraúna encontra-se na formação da Serra do Espinhaço, o que a confere características de relevo acidentado e altitudes acentuadas. Tendo sua altitude mínima de 543,0 metros mais próximo da sua confluência do Rio Cipó, e sua maior altitude se encontra no entorno da bacia com 1565,0 metros, como é mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Hipsometria da Bacia do Rio Paraúna - MG



Fonte: Modelo Digital de Elevação – ASF- Alos Palsar, Res, 12,5 metros.

Desenvolvido por: Autora (2021)

Para encontrar a declividade foi utilizado o Modelo Digital de Elevação do satélite ALOS PALSAR o qual foi integrado no *software ArcGis Desktop 10.8*.

Segundo Soares e Batista (2004) citado por Assis et al. (2014) relata que existe uma correlação entre a altitude e a taxa de variação da temperatura. A altitude mais baixa é mais propícia para o desenvolvimento de vegetação, porém com o aumento da altitude há uma diminuição da umidade o que leva ao decréscimo de vegetação.

Dessa forma, altitudes mais elevadas possuem menos quantidade de material combustível, sendo então menos vulnerável ao risco de fogo. A partir da ferramenta de reclassificação do *ArcGis Desktop 10.8* foram estabelecidas 5 classes e cada uma com seu respectivo coeficiente na Tabela 5.

Tabela 5 - Altitude e classificações ao risco do fogo

Altitude (metros)	Risco	Coeficiente
543,75 – 747,40	Elevado	5
747,41 – 951,80	Alto	4
951,81 – 1156,20	Moderado	3
1156,21 – 1360,60	Baixo	2
1360,61 – 1565,00	Risco Mínimo	1

Fonte: Adaptado de Soares, Batista e Tetto (2017).

Para a variável declividade foram estabelecidos os seguintes coeficientes de acordo com o autor Soares, Batista e Tetto (2017).

Tabela 6 - Declividade e classificações ao risco do fogo

Inclinação (%)	Risco	Coeficiente
≥ 46	Elevado	5
36-45	Alto	4
26-35	Moderado	3
16-25	Baixo	2
Até 15	Risco Mínimo	1

Fonte: Adaptado de Soares, Batista e Tetto (2017).

4.2.4 Orientação das encostas

A exposição à incidência solar é outra variável importante como influência dos focos de queimadas e segundo Assis et al. (2014) o risco de incêndio florestal é diretamente proporcional à incidência solar local que quando alta leva ao aquecimento mais rápido do material combustível presente na vegetação e no solo da região.

O cálculo da exposição solar local foi realizado utilizando o Modelo Digital de Elevação do satélite ALOS PALSAR o qual foi integrado no *software ArcGis Desktop 10.8*.

A orientação das encostas e a exposição solar foram distribuídas em cinco classes, de acordo com o proposto para o hemisfério Sul, segundo Ventorazzi e Ferraz (1998).

Tabela 7 - Classificação da Orientação das Encostas

Ângulo de Orientação	Exposição	Risco	Coefficiente
337,5° a 22,5°	N	Muito Alto	5
247,5° a 337,5°	NW/W	Alto	4
22,5° a 67,5°	NE	Moderado	3
67,5° a 112,5°	E	Baixo	2
112,5° a 247,5°	SE/S/SW	Risco Mínimo	1
-1 a 0	Plana	Risco Mínimo	1

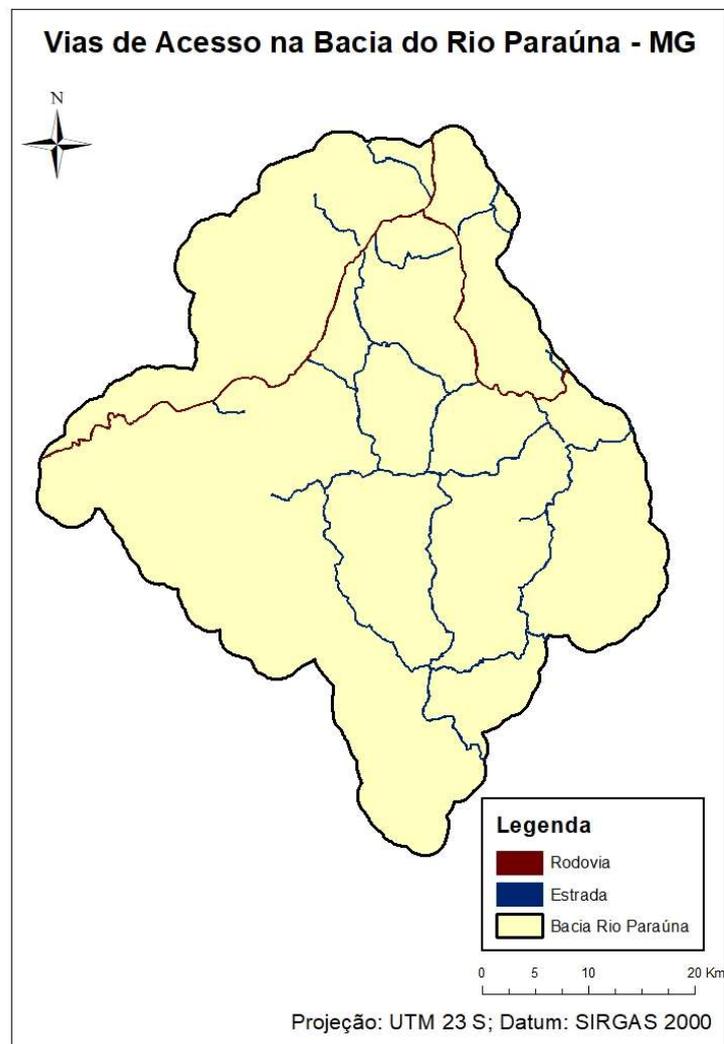
Fonte: Adaptado Ventorazzi e Ferraz (1998).

4.2.5 Vias de Acesso

Foram consideradas nesse estudo as vias acesso relacionadas às rodovias do âmbito nacional e estadual. Pelo fato da região ser consideravelmente extensa, abrangendo uma área de 1.757,01 km², não foi possível obter todos os dados relacionados às estradas rurais da região.

Para a elaboração do mapa de proximidade de estradas, foram criadas áreas de influência utilizando um *buffer* de 30 metros em volta das principais rodovias e estradas da região. As rodovias possuem um nível de perigo inferior às estradas pelo fato de serem mais movimentadas e não há com frequência o movimento de pessoas que caminham, ao contrário das estradas que adentram os municípios. As vias são apresentadas na Figura 7.

Figura 7 - Classificação das Vias de Acesso na Bacia do Rio Paraúna - MG



Fonte: Dados - IDE-SISEMA (2021)

Desenvolvido por: Autora (2021)

Foram classificadas de acordo com Chuvieco e Congalton (1989) e adaptado ao presente estudo:

Tabela 8 - Vias de acesso e classificação.

Vias de Acesso	Risco	Coefficiente
Estrada (buffer 30 metros)	Muito Alto	5
Rodovia (buffer 30 metros)	Alto	4
Fora da área de influência	Risco Mínimo	1

Fonte: Adaptado Chuvieco e Congalton (1989).

4.2.6 *Uso e Ocupação do Solo*

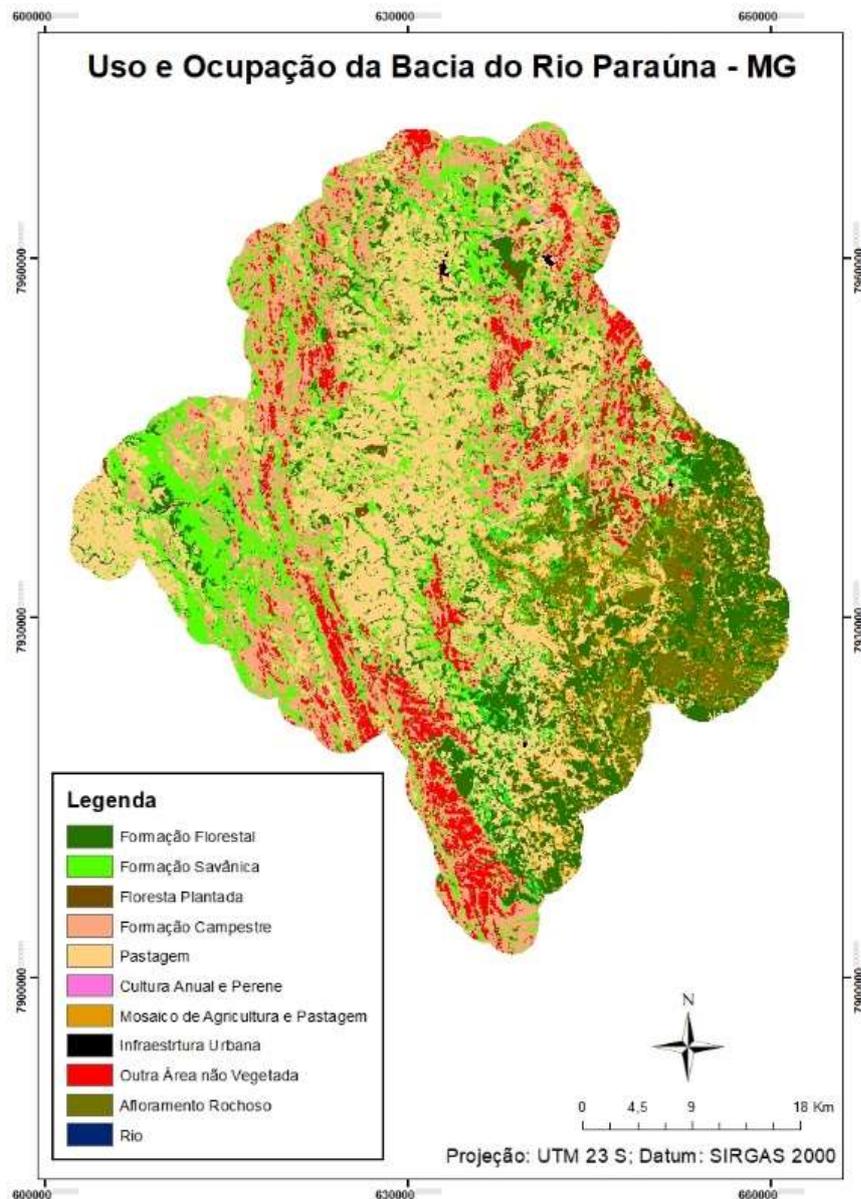
O uso e ocupação do solo é um importante instrumento para a visualização sobre os processos de desenvolvimento da sociedade ao longo dos anos em determinadas regiões. Essa análise, atualmente, pode ser feita por meio de interpretação de produtos de sensoriamento remoto obtidos por sensores de imagem de satélites artificiais.

Por meio destes satélites, é possível obter o uso e cobertura do solo de forma atualizada sendo importante como ferramenta e subsídio para tomadas de decisões e estudos. Esse uso e ocupação do solo pode ser ilustrado em forma de mapas onde indicam a distribuição de cada atividade desenvolvida na região pelo uso antrópico (LEITE; ROSA,2012).

Para este estudo, foi utilizado os dados de Uso e Ocupação da plataforma MapBiomas. Essa plataforma é inteiramente ligada ao Mapeamento Anual de Uso e Cobertura de Terra em todo o território brasileiro. Junto a uma rede colaborativa de especialistas, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação são utilizados processamento em nuvem e classificadores desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine. Dessa forma, é gerado uma série histórica de mapas anuais de uso e cobertura da terra no Brasil.

A plataforma possui uso do solo dos anos de 1985 a 2018, e para o presente estudo foi utilizado os dados mais recentes do ano de 2018. Foram retirados separadamente o uso e cobertura do solo para os dois biomas presentes na bacia: cerrado e mata atlântica. Esses dados foram retirados a partir do seguinte site: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Os dados são retirados em formato raster, e com a adequação de cores proposta pela plataforma foram encontradas as seguintes atividades e cobertura vegetal na bacia como é mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Paraúna - MG



Fonte: Dados – MapBiomias (2018)

Desenvolvido por: Autora (2021)

É importante ressaltar que a região possui uma Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal Barão e Capivara e a Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal Serra do Intendente. As unidades de APA possuem sua funcionalidade como unidades de uso sustentável, porém não possuem restrições como as áreas de Proteção Integral.

As APAs conciliam a presença do uso sustentável com a presença humana. Por isso, para este estudo as APAs não serão utilizadas como parte de susceptibilidade ao fogo. As classificações

foram feitas de forma adaptada ao presente trabalho segundo Oliveira et al. (2004) e Koproski et al. (2011).

Tabela 9 - Uso e ocupação do solo e suas classificações

Uso do solo	Risco	Coefficiente
Floresta Plantada	Muito Alto	5
Formação Savânica	Muito Alto	5
Formação Florestal	Alto	4
Formação Campestre	Alto	4
Pastagem	Alto	4
Cultura Anual e Perene	Alto	4
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Alto	4
Outra área não vegetada	Moderado	3
Infraestrutura Urbana	Risco Mínimo	1
Afloramento Rochoso	Risco Mínimo	1
Rio	Risco Mínimo	1

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2004) e Koproski et al. (2011).

4.3 Método AHP - *Analytic Hierarchy Process*

Analytic Hierarchy Process (AHP) vem sendo utilizada para vários segmentos pois apresentam várias possibilidades de incorporar dados quantitativos e informações científicas. Dessa maneira, o uso do AHP junto ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) vêm crescendo em principal para uso de avaliação de qualidade e vulnerabilidade ambiental, pois há a combinação da análise espacial do SIG com as possíveis análises de multicamadas que são feitas pelo método AHP.

Esse método AHP têm se destacado o êxito do algoritmo para o método geossistêmico por permitir hierarquizações que são consideradas características do geossistema (DIAS E SILVA, 2014). O AHP foi utilizado como método de determinação de pesos, como julgamento para o relacionamento entre os diferentes critérios pareados, com base no conhecimento do comportamento dos atributos da área de estudo e ser capaz de ponderar a partir do seu grau de importância relativa.

Para as análises ambientais o AHP possibilita a hierarquização das variáveis sobre categorias que direcionam a um determinado valor, permitindo um tratamento quantitativo levando a uma estimativa de importância para variável informada (DIAS E SILVA, 2014).

As técnicas de hierarquização *Analytic Hierarchy Process* (AHP) geram um ranking das variáveis para sua correlação em álgebra de mapas dentro de um software de geoprocessamento. O AHP é um método para auxiliar o mais correto processo de atribuir importância a uma lista de variáveis, e procura auxiliar na tomada de decisões complexas e por vezes subjetivas.

Uma vez trabalhada essa questão, foi possível cruzar as camadas com todas as variáveis, procurando identificar as principais áreas sujeitas ao fogo levando-se em conta a contribuição, mais real, de cada variável participante.

Segundo Saaty (1980) citado por Ben (2006) os parâmetros utilizados são comparados e identificados de acordo com a Tabela 12. Esses parâmetros seguem uma escala geométrica, porém a percepção dos indivíduos obedece uma escala linear. Portanto, o tomador de decisão mesmo que deseje prever ou controlar, ele enfrentará um complexo sistema de componentes que se correlacionam. Assim, quanto melhor entenderem o sistema, mais eficaz e seguro será sua previsão e sua decisão (BEN,2006).

Para o presente estudo inicialmente para facilitar a comparação de importância de acordo com a Tabela 10, foi feito um ranqueamento entre os oito parâmetros. Após esse ranqueamento, os parâmetros foram introduzidos no AHP calculator que é encontrado pelo site <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>, e partir dele foram feitas análises comparativas par a par utilizando a Tabela 10 como referência para cada parâmetro.

Tabela 10 - Escala Fundamental de Saaty (1980).

Valor	Definição
1	Igual importância entre as variáveis
3	Importância pequena de uma sobre a outra
5	Importância grande ou essencial
7	Importância muito grande ou demonstrada
9	Importância absoluta de uma sobre a outra
2,4,6 e 8	Valores intermediários de importância

Fonte: Segundo Saaty (1980) citado por Ben (2006)

A partir dos resultados da AHP foi gerado o mapa de zoneamento de risco da Bacia do Rio Paraúna – MG.

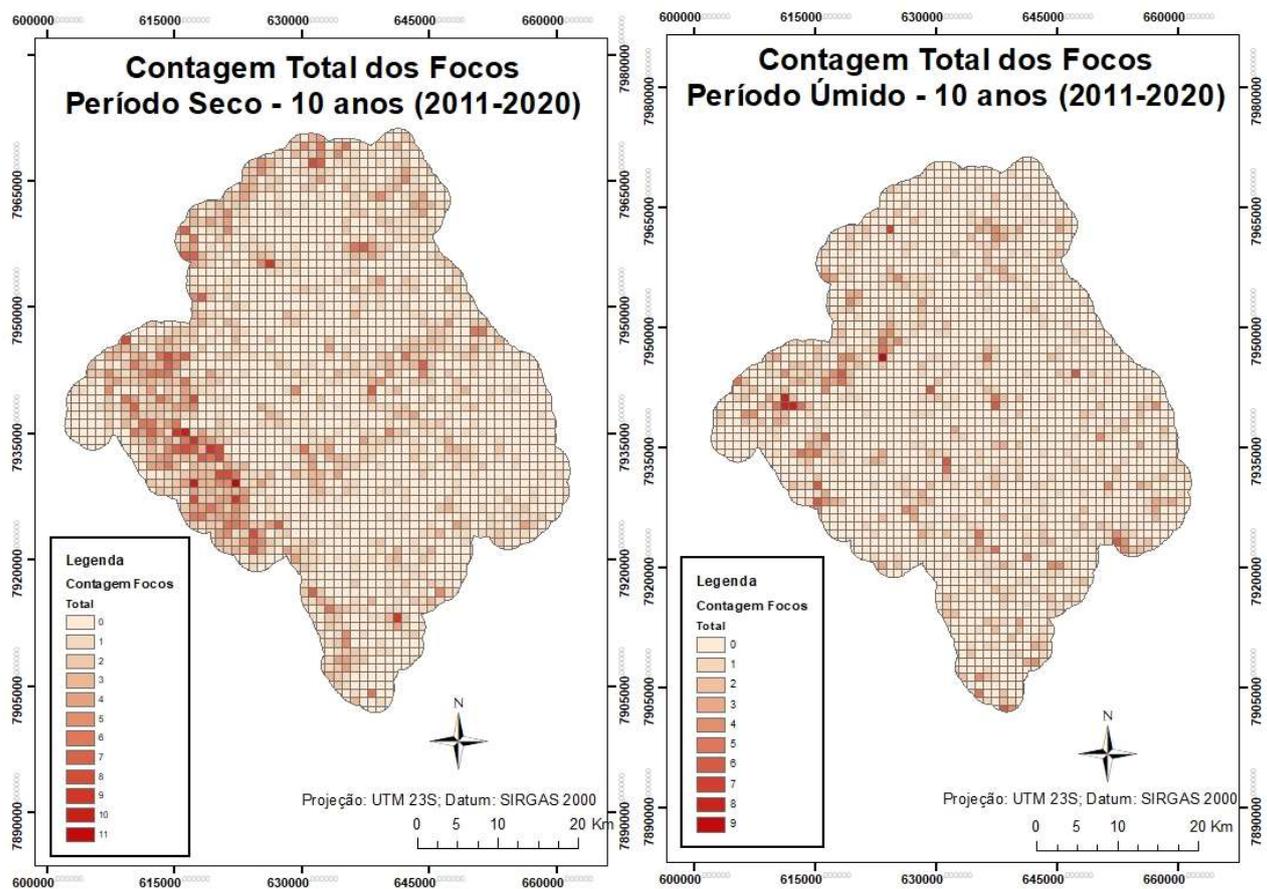
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados do gradeamento de focos dectados em 10 anos (20211-2020) pelo INPE

Analisando os resultados de gradeamento dos focos no período seco e úmido é possível observar que os focos no período seco são maiores e possuem um adensamento maior de dados. Portanto, foram utilizados somente os parâmetros de condições climáticas dos meses de maio a setembro.

A maior parte dos focos no período seco se localizam na porção Oeste, variando de sete a onze focos no espaço de tempo estudado. Alguns focos entre esses números também se localizam na porção Norte da bacia do Rio Paraúna. A porção mais ao sul possui uma quantidade de focos menores se comparado com as outras regiões.

Figura 9 - Contagem por quadrícula de focos de queimadas no período de 10 anos (2011 - 2020)



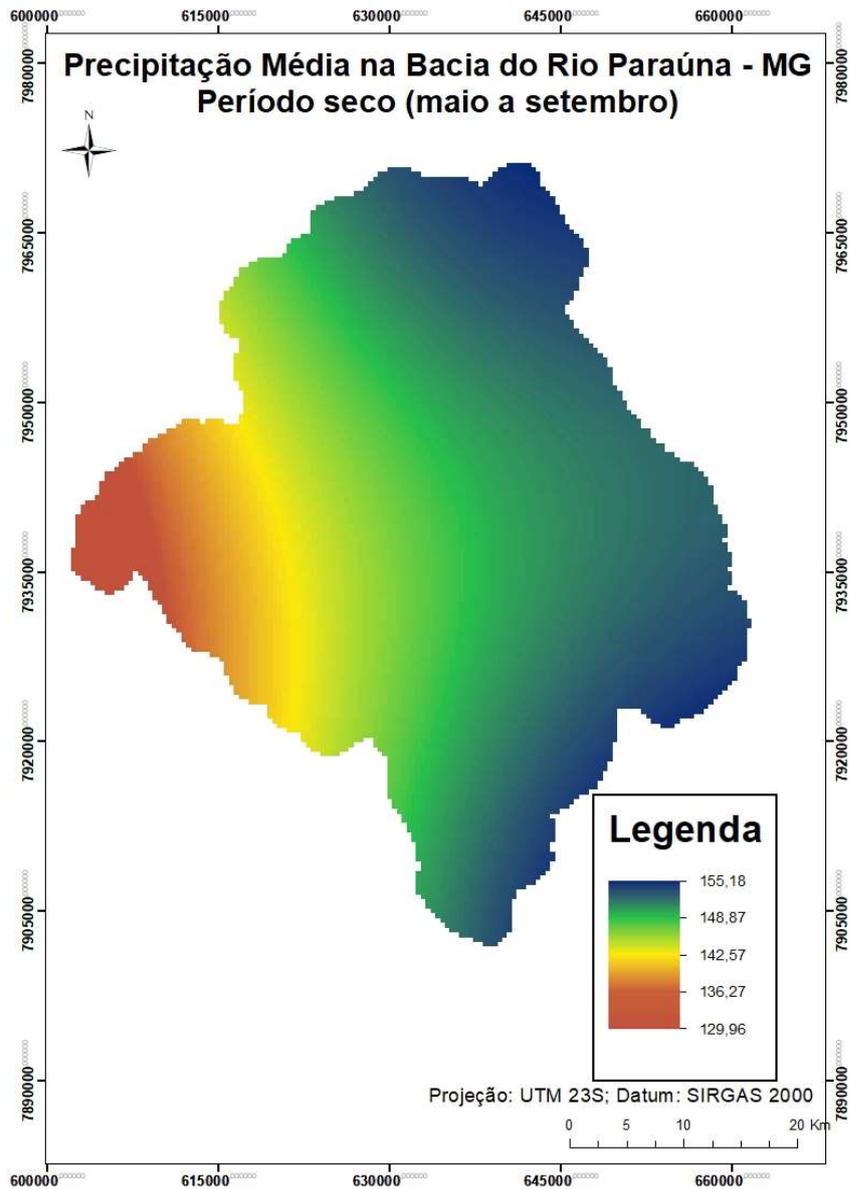
Fonte: Dados – INPE – INFOQUEIMA (2011-2020)

Desenvolvido por: Autora (2021).

Resultados das interpolações das condições climáticas

As figuras 10,11 e 12 apresentam os resultados das interpolações feitas na bacia, a partir das quatro estações meteorológicas utilizadas no presente estudo.

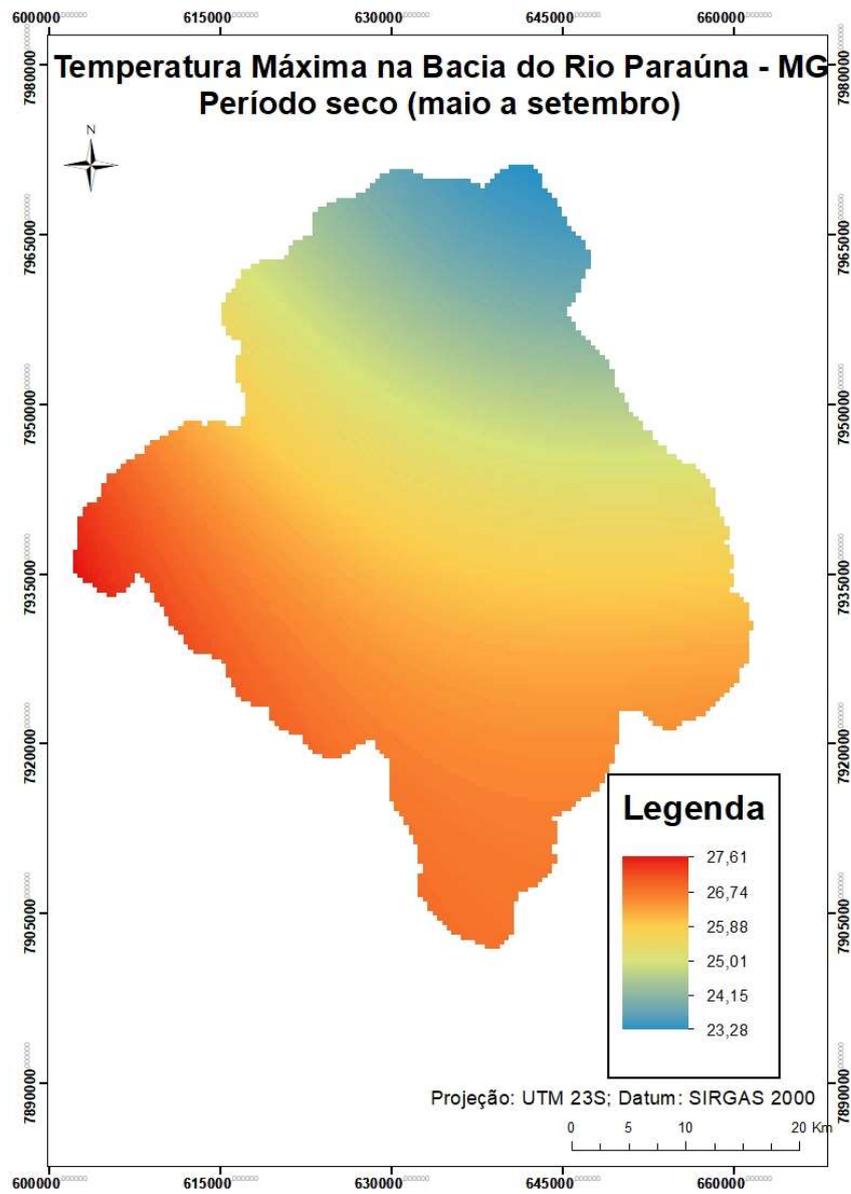
Figura 10 - Precipitação Média no Período Seco na Bacia do Rio Paraúna



Fonte: Dados – Normais Climatológicas INMET (1981 – 2010).

Desenvolvido por: Autora (2021)

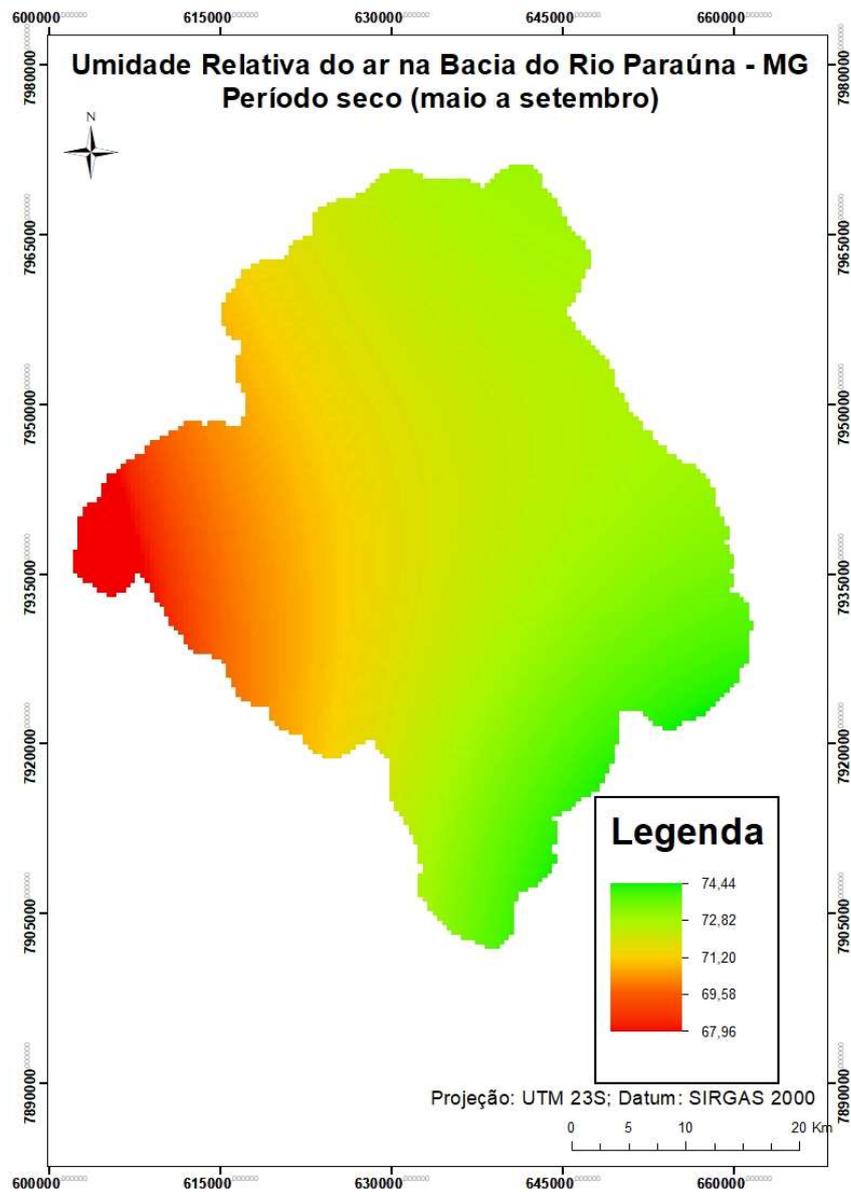
Figura 11 - Temperatura Máxima no Período Seco na Bacia do Rio Paraúna



Fonte: Dados – Normais Climatológicas INMET (1981 – 2010).

Desenvolvido por: Autora (2021)

Figura 12 - Umidade Relativa do ar no Período Seco na Bacia do Rio Paraúna



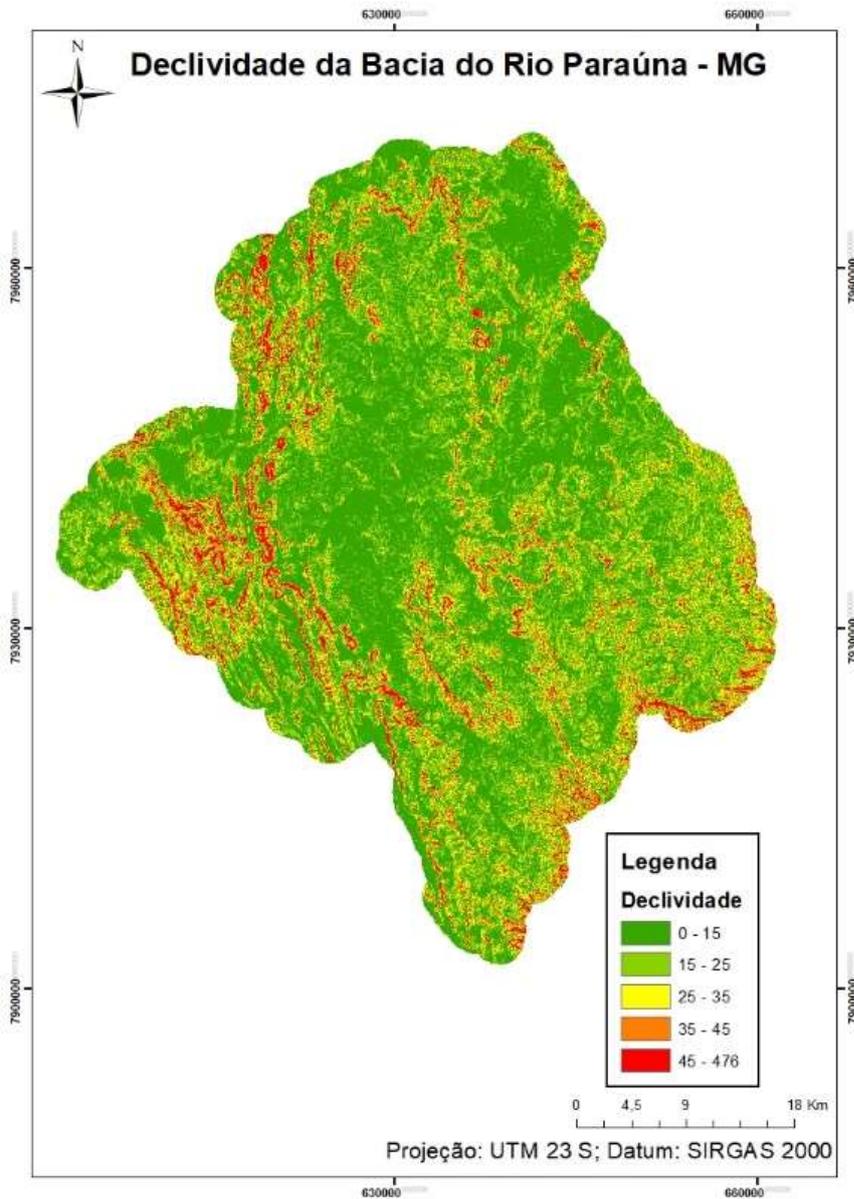
Fonte: Dados – Normais Climatológicas INMET (1981 – 2010).

Desenvolvido por: Autora (2021)

Resultado da Declividade calculada pelo *ArcGis Desktop 10.8*

A declividade foi calculada utilizando uma ferramenta do ArcGis Desktop 10.8 junto ao MDE utilizado do sensor ALOS PALSAR. Dessa forma, a Figura 13 apresenta o resultado.

Figura 13 - Declividade da Bacia do Rio Paraúna - MG



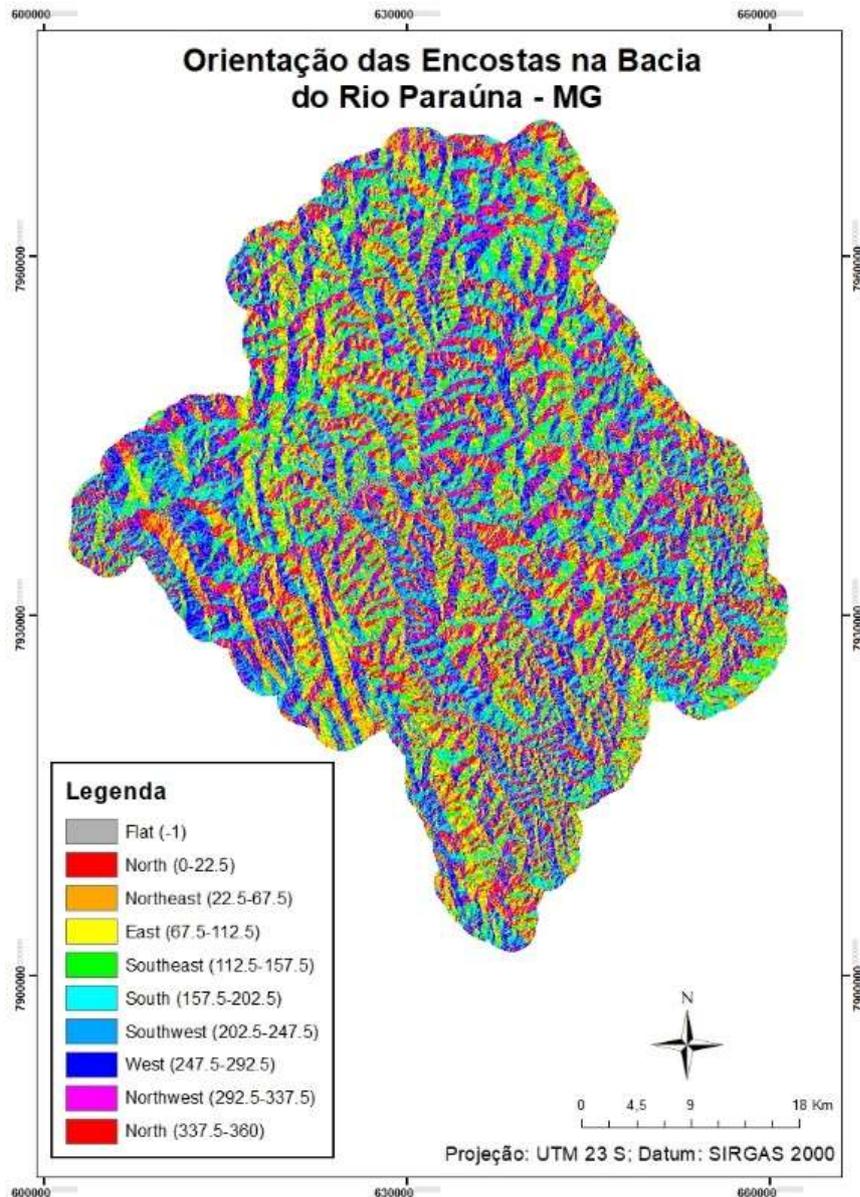
Fonte: Modelo Digital de Elevação – ASF - Alos Palsar, Res, 12,5 metros.

Desenvolvido por: Autora (2021)

Resultado da Orientação das Encostas calculado pelo ArcGis Desktop 10.8

O resultado da orientação das encostas foi obtido por meio de uma ferramenta utilizada no software ArcGis Desktop 10.8 e foi encontrado o resultado na Figura 14.

Figura 14 - Orientação das Encostas - Bacia Hidrográfica do Rio Paraúna - MG



Fonte: Modelo Digital de Elevação Alos Palsar, Res, 12,5 metros.

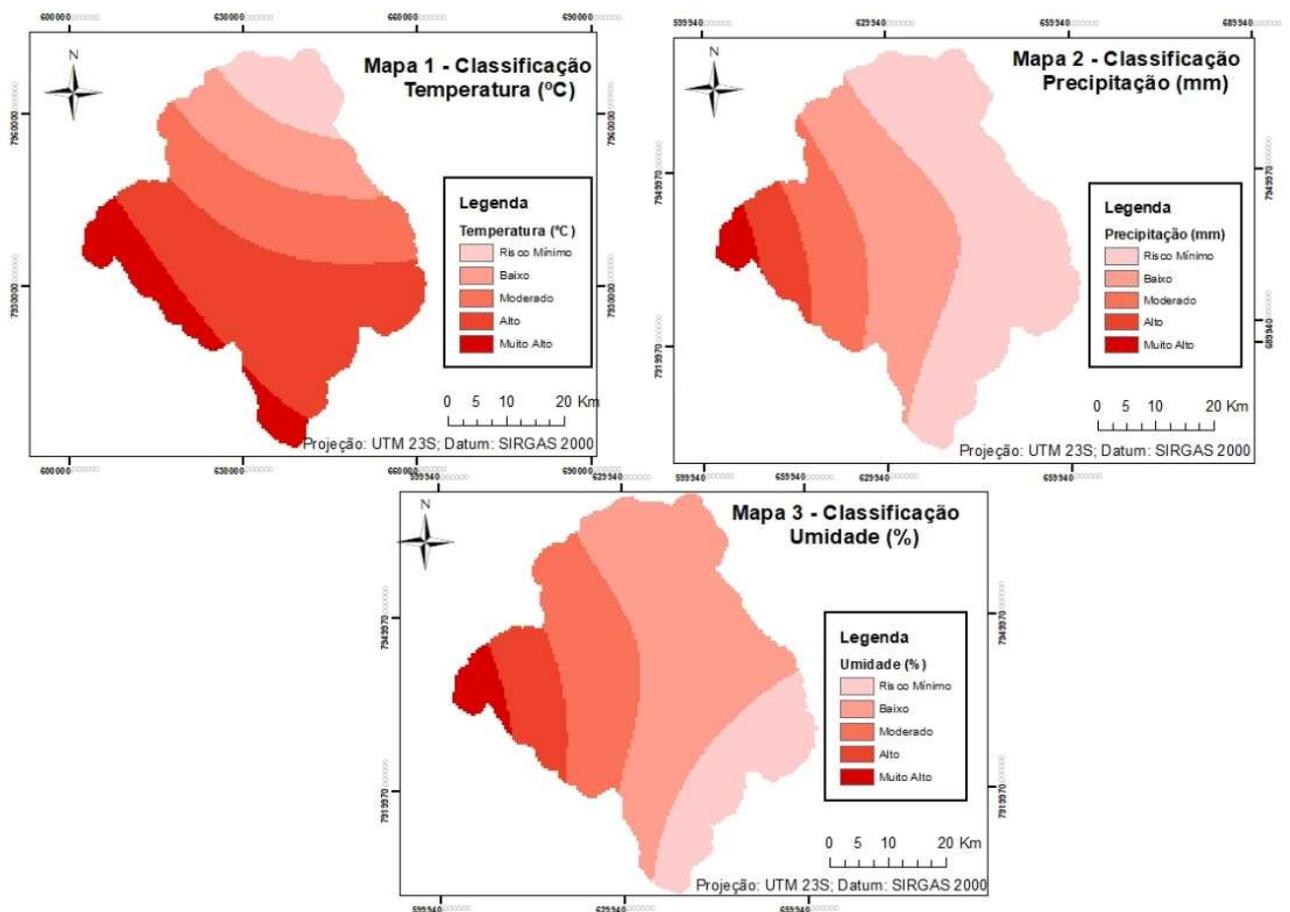
Desenvolvido por: Autora (2021)

Resultados dos mapas de risco relacionados às variáveis utilizadas (Condições Climáticas, Altitude e Declividade, Orientação das Encostas, Vias de Acesso e Cobertura Vegetal)

Condições Climáticas

As condições climáticas relacionadas a temperatura, precipitação e umidade de acordo com a classificação de riscos, possuem risco alto e muito alto em grande parte da região oeste da bacia do Rio Paraúna. Analisando comparativamente essa classificação com o gradeamento dos focos (Figura 9), as regiões com risco alto e muito alto das condições meteorológicas estão na mesma localidade com o maior número de focos em 10 anos. A Figura 15 mostra a classificação quanto ao risco para cada parâmetro climatológico.

Figura 15 - Mapa de risco para as condições climáticas.

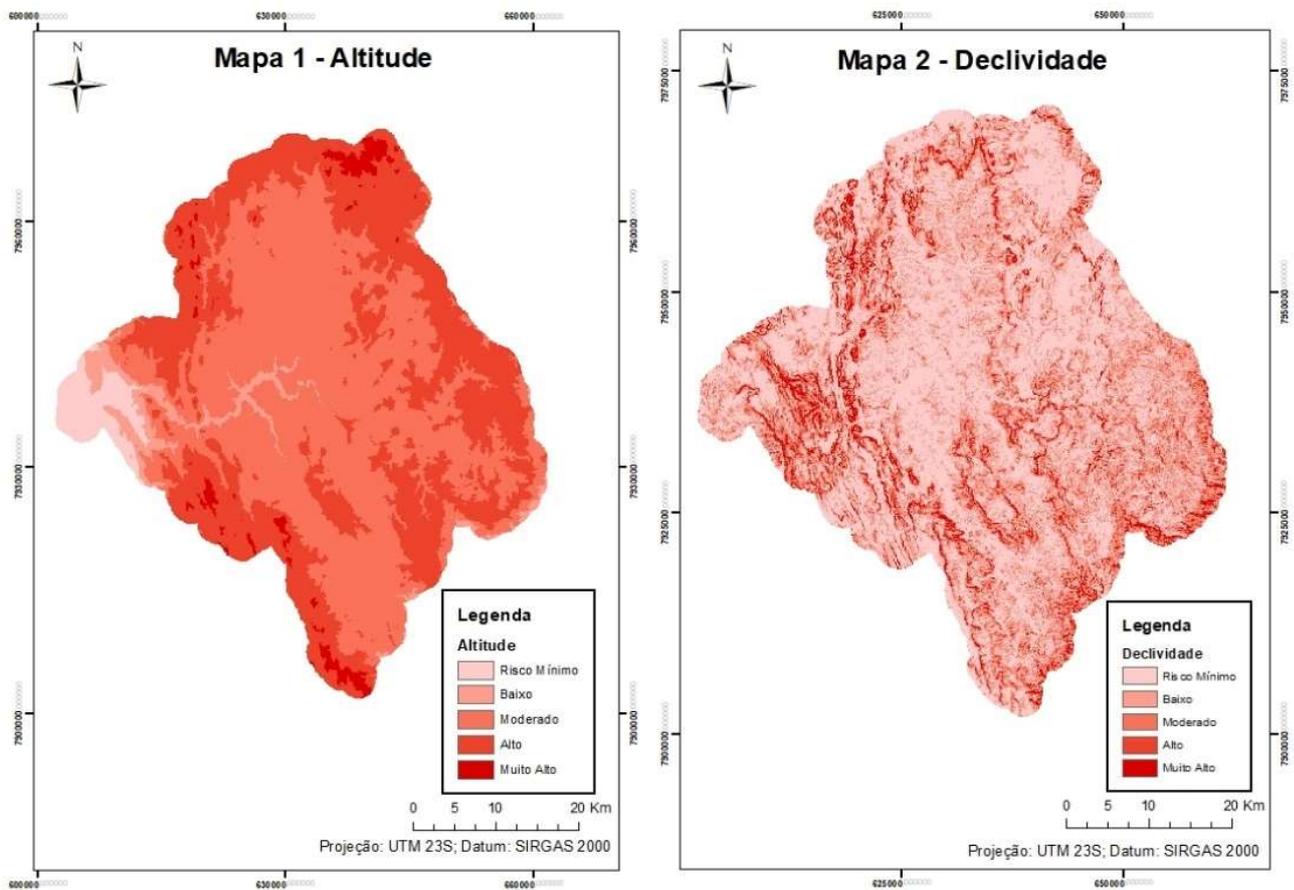


Fonte: Autora (2021).

Altitude e Declividade

A Altitude com relação às classificações de risco se mostrou bastante variada ao longo da bacia, não tendo um padrão em determinadas regiões. O risco muito alto do parâmetro Declividade se mostrou presente em toda a bacia, e principalmente na região oeste da bacia onde o número de focos em 10 anos (Figura 6), está mais presente e mais denso. A Figura 16 mostra os resultados.

Figura 16 - Mapa de risco para a Altitude e Declividade

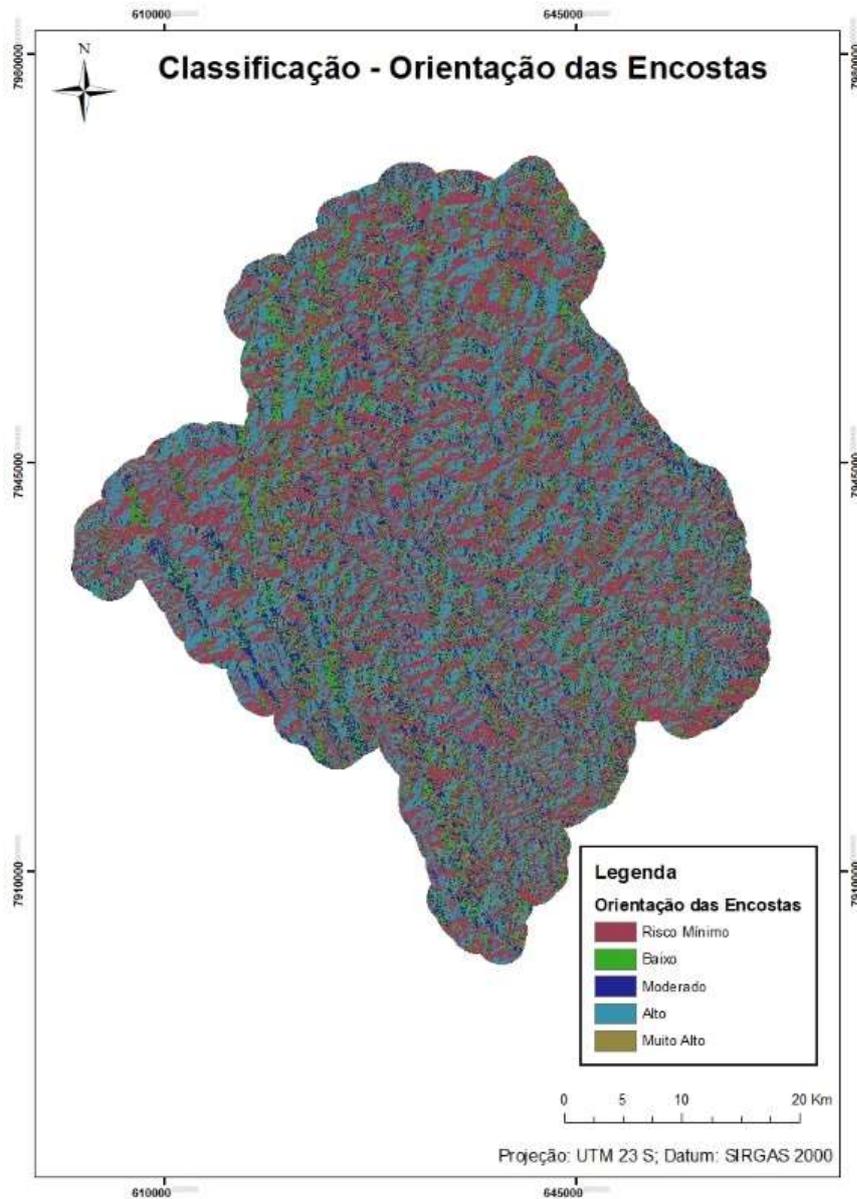


Fonte: Autora (2021).

Orientação das Encostas

O parâmetro de orientação das encostas e suas classificações de risco se mostraram bastante difusos ao longo da bacia. Na região Oeste com o maior número de focos pelo INPE (Figura 6), a orientação das encostas possui todos os riscos, desde o risco mínimo ao risco alto como é mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Mapa de risco para a Orientação das Encostas

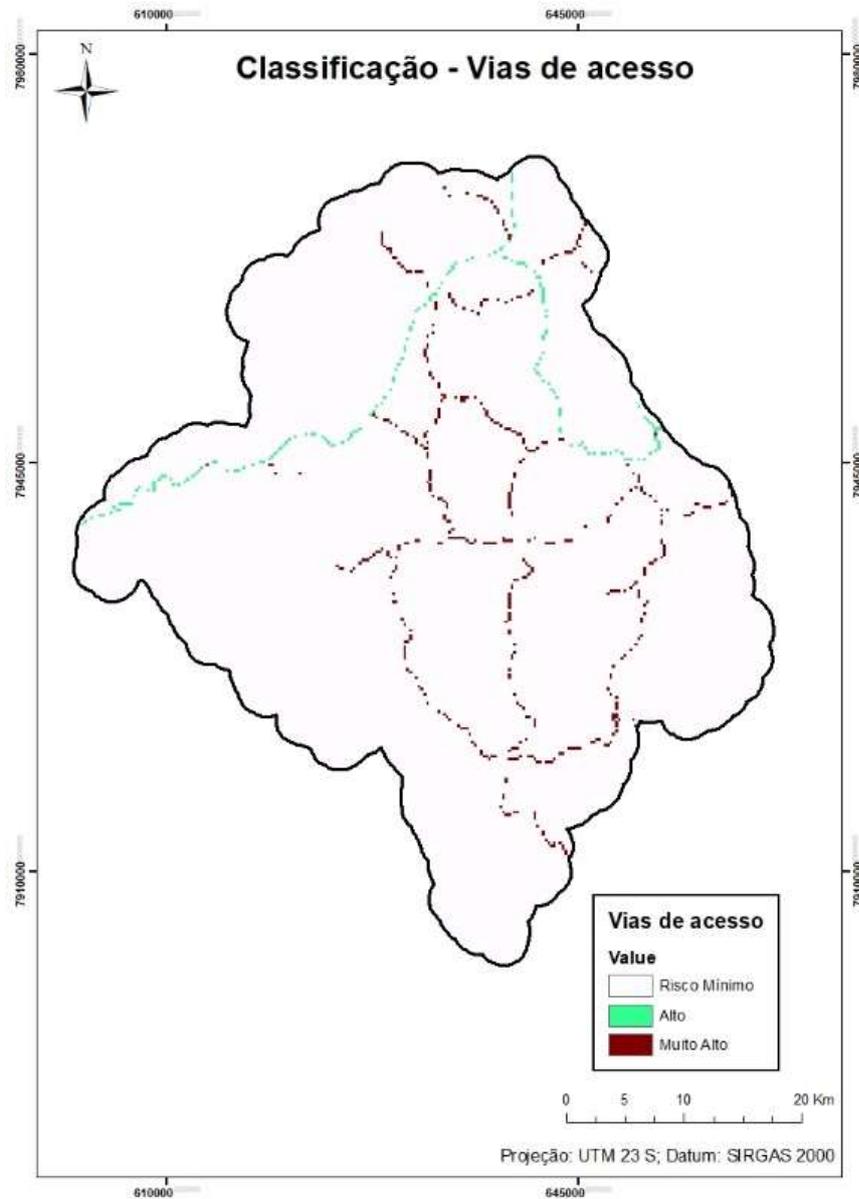


Fonte: Autora (2021).

Vias acesso

As vias de acesso são parâmetros que foram divididos em rodovias e estradas. A análise foi feita utilizando o método comparativo com os focos do período de 10 anos (Figura 9). A rodovia principal BR 259/ BR 367 possui uma parte dentro dos maiores focos de incêndio detectados pelo INPE (na região Oeste da bacia). As estradas possuem focos isolados em algumas regiões, porém não é contínuo.

Figura 18 - Mapa de risco das Vias de acesso.

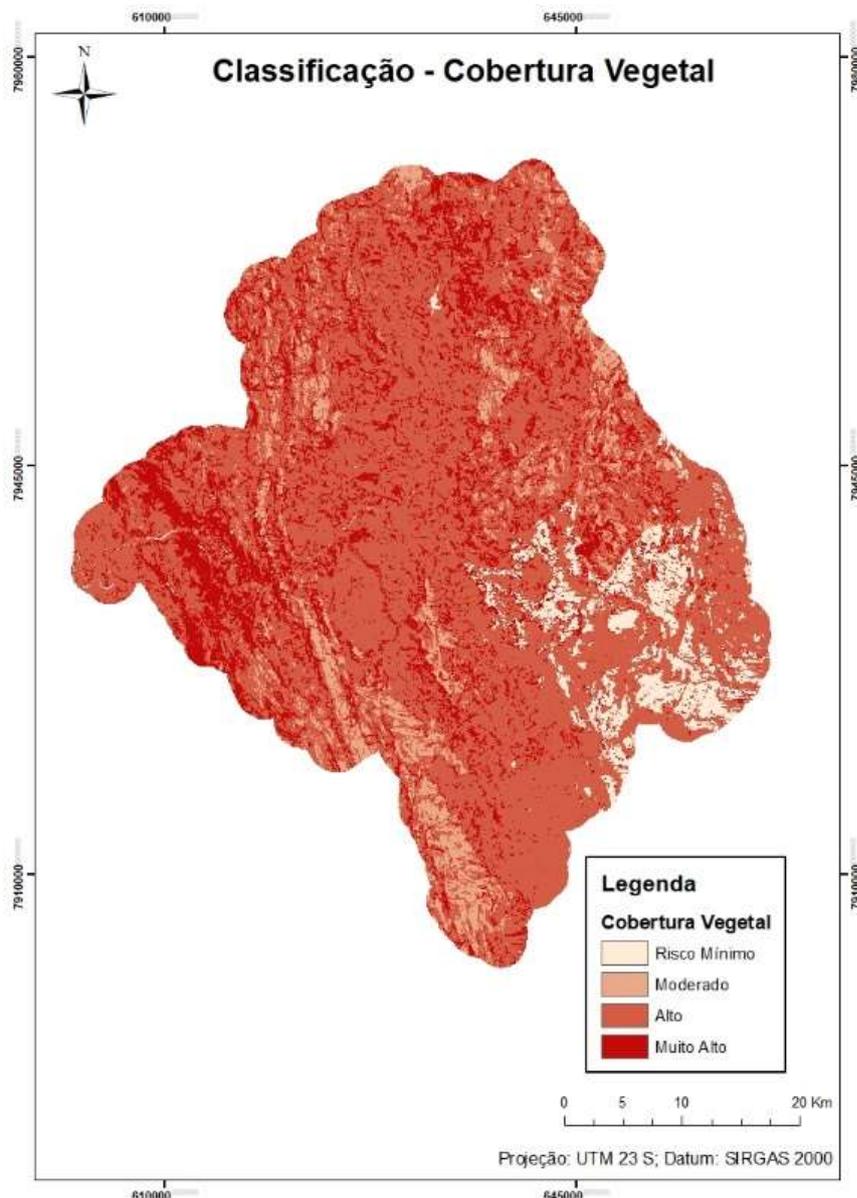


Fonte: Autora (2021).

Cobertura Vegetal

Com relação a cobertura vegetal e uso do solo, a partir do mapa de risco como é mostrado na Figura 18, a bacia possui quase todo o seu preenchimento por áreas de risco Moderado, Alto e Muito Alto. Comparando com os focos detectados no INPE no período analisado do presente estudo (Figura 9), as regiões com risco alto e muito alto convergem para a mesma região do maior número de focos. Sendo regiões de atividades de pecuária, e cobertura vegetal de Formação Savânica, Campestre e Florestal.

Figura 19 - Mapa de risco para a Cobertura Vegetal



Fonte: Autora (2021).

Resultados do método AHP

A posição dos parâmetros foi feita analisando os mapas de riscos gerados e comparando com as áreas em que os focos no período de 10 anos se concentram.

A cobertura vegetal foi posicionada como primeira posição pelo fato desta variável conter o material combustível responsável pela ignição do fogo. Após, foram ranqueados as variáveis com relação a condições climáticas. A umidade se encontra na segunda posição, pois é uma

variável que influencia diretamente na ignição do material combustível. Isso é fato, já que quando a umidade relativa do ar se encontra baixa, o material combustível se torna mais seco e assim passível de propagação rápida do fogo.

A precipitação foi ranqueada logo após a umidade, pois uma é dependente da outra. Se a umidade está baixa, a chance de precipitação também é baixa, e se, a precipitação é escassa a região possui uma umidade relativa menor. Já a temperatura é interligada em ambas as variáveis anteriores.

A declividade foi ranqueada na posição 5, já que pelo mapa de riscos e comparando com o gradeamento de 10 anos (2011-2020) é uma variável que possui uma influência direta com a propagação do fogo. Por isso, ela foi inserida após as variáveis climáticas, pois a declividade favorece a propagação, já a condições do clima favorecem a ignição.

A orientação das encostas, vias de acesso e altitude foram ranqueadas como últimas já que analisando os mapas de risco com o gradeamento dos focos dectados, foi possível observar que essas variáveis não dispuseram de uma relação direta e padronizada nas regiões com maiores focos.

Tabela 11 - Posição dos parâmetros

Parâmetro	Posição
Cobertura Vegetal	1
Umidade	2
Precipitação	3
Temperatura	4
Declividade	5
Orientação das encostas	6
Vias de acesso	7
Altitude	8

Fonte: Autora (2021).

O resultado deve conter o *Consistency Ratio* (CR) ≤ 10 %. Para esse estudo, o CR resultou em 9,3 % e houve 28 comparações para esses oito parâmetros. Assim, o resultado da modelagem AHP é mostrado na Tabela 12. Cada valor de prioridade foi inserido em uma equação para que o por meio da álgebra de mapas, o software *ArcGis Desktop 10.8* possa fornecer um resultado

final que esteja dentro dos pesos estabelecidos para cada parâmetro analisado.

Tabela 12 - Resultado de prioridade dos parâmetros do AHP

Parâmetro	Prioridade (%)
Cobertura Vegetal	37,4
Umidade	24,7
Precipitação	15,8
Temperatura	8,0
Declividade	6,2
Orientação das encostas	4,0
Vias de acesso	2,4
Altitude	1,5

Fonte: Autora (2021)

Portanto o as prioridades podem ser expressas com a seguinte equação de risco:

$$\text{RISCO} = 0,374 * CV + 0,247 * U + 0,158 * P + 0,08 * T + 0,062 * D + 0,040 * OE + 0,024 * VA + 0,015 * A$$

Em que:

CV = Cobertura Vegetal

D = Declividade

U = Umidade

P = Precipitação

T = Temperatura

OE = Orientação das encostas

VA = Vias de Acesso

A = Altitude

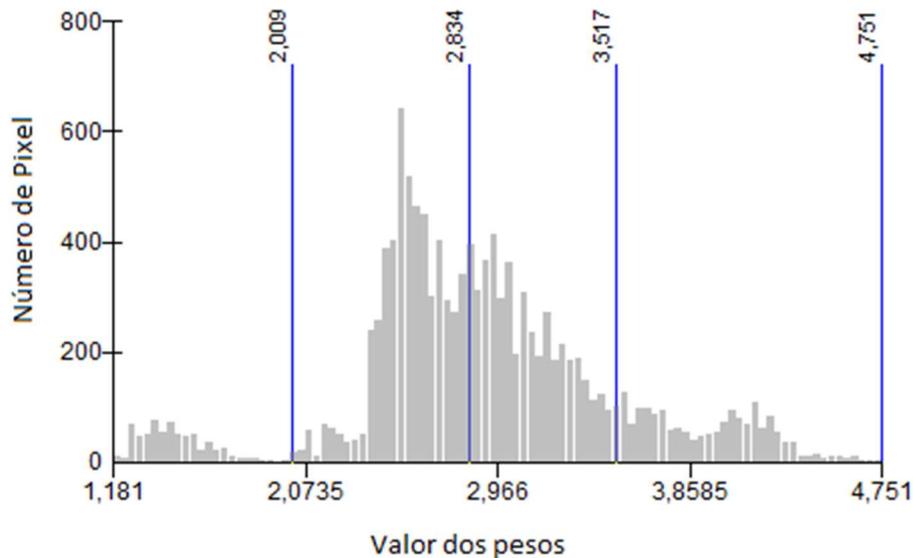
A partir dessa equação o risco foi calculado por meio das somatórias dos mapas preliminares de risco utilizando a álgebra de mapas do *software ArcGis Desktop 10.8*.

Zoneamento de riscos de incêndio

O processo de integração de todos os mapas de risco com a equação de risco obtida pela

modelagem da AHP permite a visualização global de todos os fatores de risco analisados. O somatório dos mapas de risco geraram valores que variam de 1,18 a 4,75 como é mostrado no histograma da Figura 20.

Figura 20 - Histograma da classificação de riscos

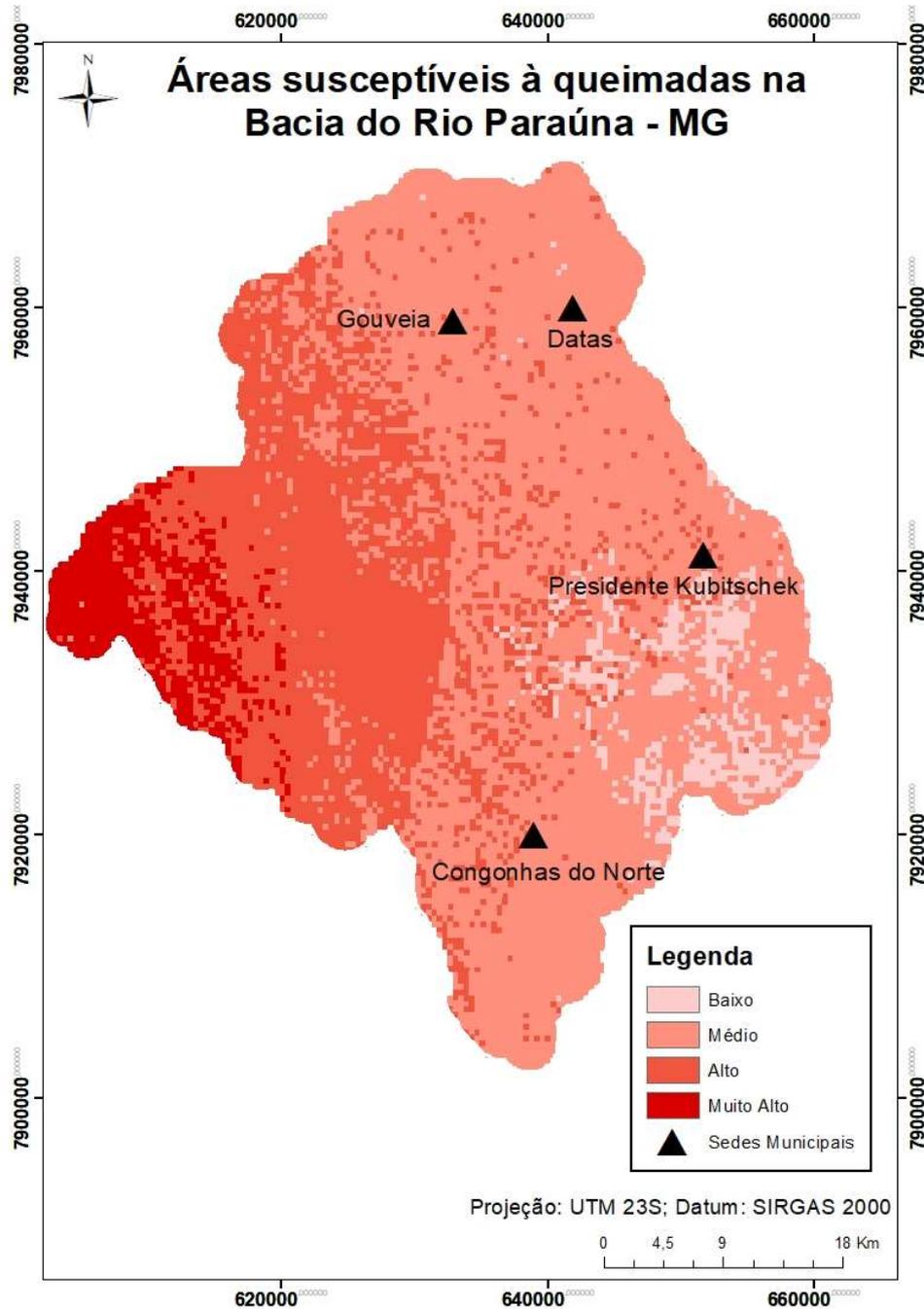


Fonte: Autora (2021).

Esse histograma representa o resultado da equação de risco quando combinada com os mapas de risco no *software ArcGis Desktop 10.8*, e dele é possível retirar informações com relação ao resultado dos valores que representam os pesos da classificação da susceptibilidade ao fogo. O resultado demonstra que a maior parte dos pixels se encontra na faixa de 2,50 a 3,50.

Não houveram resultados com o peso 5 utilizado como risco Muito Alto em cada parâmetro separadamente, sendo o valor mais próximo desse peso o de 4,75. Portanto, para reclassificar o mapa de susceptibilidade foi considerado somente 4 classes, divididas em risco: Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. O mapa de susceptibilidade gerado é apresentado na figura 21.

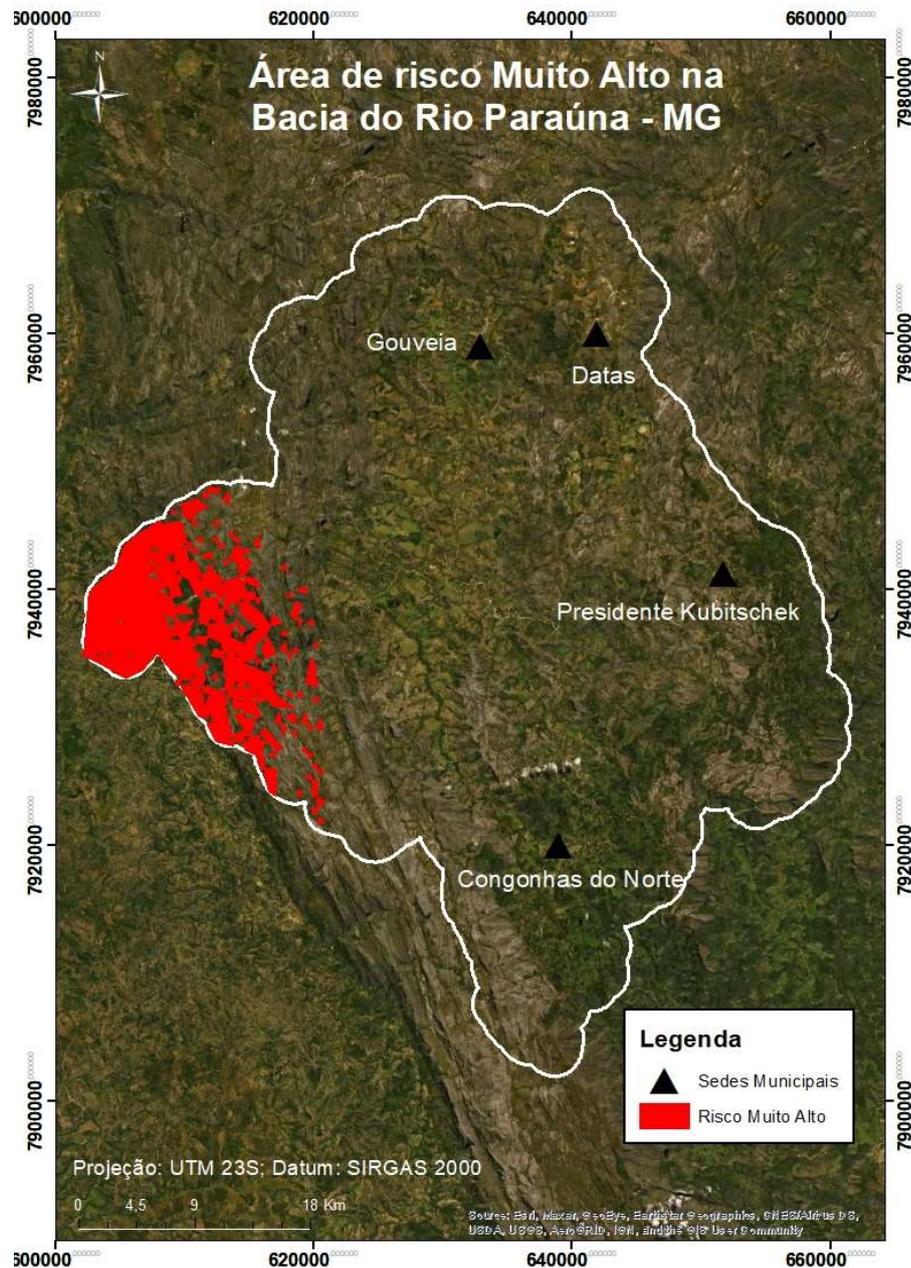
Figura 21 - Áreas susceptíveis a queimadas na Bacia do Rio Paraúna - MG



Fonte: Autora (2021).

A classe de risco médio ao fogo abrangeu a maior parte da bacia do Rio Paraúna, representando 58,14 % da área. O risco alto ao fogo representou 30,32 % da área da bacia. As áreas que foram menos observadas correspondem à susceptibilidade de risco muito alto e baixo, e correspondem a 6,26 % e 5,27%, respectivamente. A região que possui um risco Muito Alto é mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Mapa do Risco Muito Alto na região da Bacia do Rio Paraúna- MG



Fonte: Autora (2021).

Comparando as áreas de risco com o gradeamento dos focos de queimada da Figura 9 foi possível identificar que o maior número de focos do período seco de 10 anos é adjacente a região de risco Alto e Muito Alto, mostrando que os parâmetros utilizados podem possuir essa hierarquização imposta pelo estudo e que o uso de álgebras de mapas foi capaz de fazer uma associação com os parâmetros e finalizar com um resultado mais próximo do real.

Além disso, em contato com um membro da ONG Ambiental denominada ONG Caminhos da

Serra no município de Gouveia, foi discutido as regiões com predominância de serviços por parte dos brigadistas na época seca do ano, e a região em que teve o maior número de combate aos incêndios se iguala a região de risco Alto e Muito Alto.

A porção Oeste onde o INPE detectou durante esses 10 anos (2011-2020) o maior número de focos tem sua cobertura vegetal constituída por Formação Savânica, Formação Campestre e atividades de Pastagem. As atividades de pastagem podem estar associadas com a queima controlada, e isso pode ser também um dos principais motivos do incêndio florestal na região.

Os incêndios criminosos também são uma prática comum em determinadas regiões, principalmente em fazendas para atividades de pastagem. Esses incêndios, além de crimes ambientais são perigosos para os locais, principalmente onde possuem fatores que influenciam, acelerando o processo de propagação desse fogo. A região possui um grande índice de incêndios criminosos principalmente com relação a extração de madeira, conflitos entre moradores, caçadores e criadores de cavalos, burros e gados.

Portanto, tanto as atividades antrópicas associadas a incêndios criminosos possuem riscos a determinadas regiões com fatores de susceptibilidade maiores. Em razão disso, esse fogo na região da Bacia do Rio Paraúna pode acabar se alastrando principalmente por estarem em regiões próximas de Formação Savânica e Campestre que naturalmente são coberturas vegetais mais secas (maior quantidade de material combustível), com umidade e precipitações mais baixas no período seco.

É importante ressaltar que a análise dos focos de 10 anos e as condições climáticas tiveram uma influência, principalmente com relação a precipitação e umidade relativa. Essas variáveis climáticas são dependentes uma da outra já que, se não há precipitação, a umidade relativa do ar diminui, e se a umidade relativa é baixa, a ocorrência de chuvas também reduz. Como todos os fenômenos da natureza são interligados, o aumento das queimadas favorecem a emissão de gases de efeito estufa que a longo prazo causam alterações climáticas.

Essas mudanças climáticas têm efeito direto no ciclo hidrológico da chuva, sendo que a emissão de gases de efeito estufa favorecem o aquecimento global, assim o ciclo das águas se torna prejudicado. Dessa forma, com as alterações do clima, as precipitações e umidades baixam e as queimadas voltam a aumentar devido a diminuição do vapor d'água e aumento do material combustível seco. Portanto, é um ciclo vicioso que precisa ser interrompido antes que

cheguemos a um colapso.

O uso das queimas controladas para atividades humanas como pecuária e agricultura precisam ter um limite para que não entremos em um ciclo vicioso com alterações climáticas devastosas. Portanto, é necessário uma fiscalização das regiões onde possuem essas atividades para que possam utilizar da queima controlada de forma correta e com técnicas adequadas.

Dessa forma, todas regiões devem estar em alerta, porém a região com risco alto e muito alto devem ser realizadas atividades de combate principalmente na época mais seca do ano entre os meses de maio a setembro. É importante também salientar sobre as campanhas de prevenção, fiscalização e instrução da população junto a educação ambiental para que todos tenham conhecimento das consequências ambientais, sociais e econômicas de uma queimada.

6 CONCLUSÕES

A metodologia proposta, com a utilização de sistemas de informações geográficas junto a modelagem *Analytic Hierarchy Process (AHP)* para mapeamento de riscos poderá ser útil para as ações de prevenção e tomadas de decisões com relação a brigada de incêndio, principalmente nas áreas em que o risco Alto e Muito Alto prevaleceram.

O mapa de susceptibilidade de risco se torna prático e importante porque corresponde à integração de todas as variáveis em um único mapa-base, permitindo assim uma visão mais completa e global de todos os fatores.

Além disso, essa metodologia pode ser alterada de acordo com as necessidades do local e dos parâmetros que podem variar ao longo do tempo, como variações nas condições climáticas e uso e ocupação do solo. Assim, os pesos e os planos de aplicação podem ser alterados de acordo com cada aplicação.

Com relação aos incêndios criminosos podem ocorrer na região como já foi discutido, é necessário que a população fique alerta e procure a prefeitura local, ou a ONG Ambiental Caminhos da Serra para denunciar esses atos de crimes ambientais.

O estudo pode ser utilizado também para uma melhor gestão do território da bacia do Rio Paraúna. Por meio deste resultado é possível apresentar para a população, para as prefeituras e para ONG Caminhos da Serra esse zoneamento de risco, para que juntos possam gerenciar de maneira organizada e com um período de tempo mais longo sobre quais ações serão tomadas nas regiões que possuem risco, principalmente Alto e Muito Alto.

7 RECOMENDAÇÕES

O zoneamento de risco da região devem ser atualizados em frequência de 5 ou 10 anos, pois as condições ambientais estão em frequente mudança, e com a atualização dos dados e do modelo podem acontecer de novas áreas surgirem como risco de incêndios e outras podem não fazer parte mais desse risco.

Deve-se todo ano organizar uma brigada de incêndio para que as regiões destacadas de risco crítico no período seco sejam atendidas e tenham mínimos impactos pelo fogo. Poderiam também ser implantadas pontos de observação como com câmeras ou por meio de utilização de celulares para emissão de sinais nas regiões de risco alto e muito alto, para assim facilitar e agilizar a chegada da brigada de incêndio.

A instalação de uma estação meteorológica seria interessante também para os estudos mais precisos no local, pois para esse trabalho foram utilizadas estações fora da bacia por falta de dados dentro da região. A partir do momento em que se tem uma estação dentro da bacia, os dados proporcionados se tornam mais próximos do real.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E.A.; RIBEIRO, G.A. **Impactos do fogo sobre a entomofauna do solo em ecossistemas florestais**. *Natureza & Desenvolvimento*, 2005.

ASF- ALASKA SATELLITE FACILITY. **Modelo Digital de Elevação Alos Palsar, Res, 12,5 metros**. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/> . Acesso em: 05 de Julho de 2021.

ASSIS, Fellipe Ragner; MENDOÇA, Izaque Francisco Candeia; SILVA, José Evanaldo Rangel; LIMA, Joedla Rodrigues. **Uso de Geotecnologias na Locação Espacial de Torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino**. *Revista Floresta*. Curitiba; PR; v. 44; n. 1;p. 133 – 142 ; 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/32618> Acesso em: 21 de Julho de 2021.

BATISTA, A. C. **Deteccção de Incêndios Florestais por Satélites**. Curitiba; Paraná;2004; *Revista Floresta*; v. 34 (2); p 237-241; 2004; Curitiba – Paraná.

BEN, Fernando. Utilização do método AHP em decisões de investimento ambiental. UFRGS; XXVI ENEGEP; Fortaleza, Ceará; Brasil; 9 a 11 de outubro de 2006. Disponível em: http://abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR520346_6799.pdf . Acesso em: 21 de Agosto de 2021.

BRASIL. **Código Florestal Brasileiro da Lei 12.651 de 25 de Maio de 2021**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm> Acesso em: 12 de Março de 2021.

CARVALHO, Marcos Felipe Oliveira; CARDOSO, Manoel Ferreira; ALMEIDA, Bruno Natali. **Estimativa do Risco de Incêndios Florestais com Base em Fitofisionomias e Fatores Climáticos. Biodiversidade Brasileira**. 6(2): 187-204; 2016. Disponível em: <https://revistaeletronica.icmbio.gov.br/index.php/BioBR/article/download/520/491> Acesso em 01 de Julho de 2021.

CHUVIECO, Emilio; CONGALTON, Russel G. **Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping**. *Remote Sens Environ*;

vol 29; p.147-159;1989. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425789900230> Acesso em: 18 de Agosto de 2021.

DIAS, Valdirene Silva Brito; DA SILVA, Aldemário de Barros. **AHP na modelagem de vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA)**; UEFS; Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciência da Terra e do Ambiente – PPGM; Feira de Santana. Bahia; 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44719>> Acesso em: 18 de Março de 2021.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cerradão**. Brasília; 2021?. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado/cerradao#:~:text=O%20Cerrad%C3%A3o%20%C3%A9%20a%20forma%C3%A7%C3%A3o,conceito%20de%20cerrado%20sentido%20amplo.>> Acesso em: 14 de Março de 2021.

FERREIRA, Leandro Valle; VENTICINQUE, Eduardo; ALMEIDA, Samuel. **O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas**. Estudos Avançados; n. 19, p. 53; 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142005000100010&script=sci_arttext&tlng=pt> Acesso em: 14 de Fevereiro de 2021.

FERREIRA, Prof. Dr. Nilson Clementino. **Apostila de Sistema de Informações Geográficas**; Goiânia ;CEFET- Goiás; 2006. Disponível em: <http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/1414/apostila_sig.pdf> Acesso em: 25 de Março de 2021.

FRANÇA, Helena. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. São Paulo; 2000. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-11032008-140113/pt-br.php>>

Acesso em: 12 de Fevereiro de 2021.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Queima Controlada**; Publicado em 13 de Dezembro de 2016. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/incendios-florestais/queima-controlada> Acesso em 11 de Setembro de 2021.

IBAMA. **Portaria nº 231-P, de 08 de Agosto de 1988. Disciplina do uso do fogo sob forma de queima controlada**. Disponível em: < http://www.seduh.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/10/portaria_231_08081988.pdf> Acessado em 11 de Setembro de 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**; 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em: 19 de Março de 2021.

IDE-SISEMA- Web-Gis. 2021. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>> Acesso em: 14 de Março de 2021.

ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Manual para formação de brigadistas de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Brasília; 2010. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/servicos/sejaumbrigadista.pdf>> Acesso em 11 de Março de 2021.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas – dados históricos (1981-2010)**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos> Acesso em: 02 de Julho de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **INPE aprimora sistema de monitoramento de queimadas na Amazônia**. 2018. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4814> Acesso em: 13 de Março de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **INFOQUEIMA. Focos de Queimadas – 2011 a 2020**. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/outros->

[produtos/infoqueima/home](#)> Acesso em: 14 de Fevereiro de 2021.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento dos Focos Ativos por Países**. 2020. Disponível em:

<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portalstatic/estatisticas_paises/> Acesso em: 14 de Fevereiro 2021.

KRETER, Ana Cecília; JUNIOR, José Ronaldo de C. Souza. **Economia Agrícola**. Carta de Conjuntura – Número 49 – Nota de Conjuntura 21 – 4º Trimestre de 2020; Instituto de Pesquisa de Economia Aplicada (IPEA); 2020. Disponível em:

<https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/conjuntura/201124_cc_49_nota_21_agropecuaria.pdf> Acesso em: 16 de Fevereiro de 2021.

KOPROSKI, Leticia; FERREIRA, Matheus Pinheiro; GOLDAMMER, Johann Georg; BATISTA, Antonio Carlos. **Modelo de zoneamento de risco de incêndios para Unidades de Conservação Brasileiras: O caso do Parque Estadual do Cerrado**. Revista Floresta; Curitiba; PR; v. 41; n. 3; p. 551-562; 2011. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/24049> Acesso em: 10 de Agosto de 2021.

LEITE, Emerson Figueiredo; ROSA, Roberto. **Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins**. OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia; v.4; n.12. p. 90-106; 2012. Disponível em:

<http://www.observatorium.ig.ufu.br/pdfs/4edicao/n12/05.pdf> Acesso em 01 de Julho de 2021.

MAPBIOMAS. Coleção 4.1 MapBiomas – Uso e Ocupação do Solo. 2018. Disponível em:

https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR Acesso em: 05 de Julho de 2021.

OLIVEIRA, Danielle dos Santos. **Zoneamento de risco de incêndios em povoamentos florestais no norte de Santa Catarina**. UFPR, Curitiba, 2002. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25217/D%20-%20OLIVEIRA,%20DANIELLE%20DOS%20SANTOS%20DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

> Acesso em: 11 de Março de 2021.

OLIVEIRA, Danielle dos Santos; BATISTA, Antonio Carlos; SOARES, Ronaldo Viana; GRODZKI, Leocádio; VOSGERAU, Jackson. **Zoneamento de risco de incêndios florestais para o Estado do Paraná**. Revista Floresta. vol 34 (2), p. 217-221, 2004, Curitiba.

Disponível em:

https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2004_Oliveira_etal_Zoneamento_Floresta_DE3os.pdf Acesso em 26 de Julho de 2021.

PRUDENTE, Tatiana Diniz. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no parque nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno**.

Instituto de Geografia; Uberlândia; 2010. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/16084/1/Diss%20Tatiana.pdf> . Acesso em: 29 de Jul. 2021.

REDIN, Marciel; SANTOS, Gabriel de Franceschi; MIGUEL, Pablo; DENEGA, Genuir Luís; LUPATINI, Manoeli; DONEDA, Alexandre; SOUZA, Eduardo Lorensi. **Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo**. Ciência Florestal; Santa Maria; v. 21; n. 2; p. 381-392; 2011. Disponível em: <

<https://www.scielo.br/pdf/cflo/v21n2/1980-5098-cflo-21-02-00381.pdf>> Acesso em: 17 de Março de 2021.

RIBEIRO, Helena; ASSUNÇÃO, João Vicente. **Efeitos das queimadas na saúde humana**. São Paulo. 2002. Disponível em:

<https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142002000100008> Acesso em: 15 de Fevereiro de 2021.

RIGHI, Eléia; BASSO, Luís Alberto. **Aplicação e Análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas**. Ambiência Guarapuava (PR); v.12 n.1 p. 101 – 117; 2016.

Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3531> Acesso em 30 de Junho de 2021.

SANTOS, Leandro Durães Avila. **Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paraúna**. ONG Caminhos da Serra; Gouveia; 2017.

SANTOS, Thiago Oliveria; FILHO, Valdir Soares de Andrade; ROCHA, Vinícius Machado; MENEZES, Janaína de Souza. **Os impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: Um estudo de revisão.** Rev. Geogr. Acadêmica v.11; n.2; 2017.

SECRETÁRIO DO ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL. **Resolução Conjunta Semad/IEF nº 2.988, de 24 de Julho de 2020.**
Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52251> Acessado em 11 de Setembro de 2021.

SOARES, Ronaldo Viana; BATISTA, Antônio Carlos; TETTO, Alexandre França. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo.** Curitiba;2017.

VARON, J.; MARIK, P.E.; FROMM, R.E. & GUELER, A. **Carbon monoxide poisoning: a review for clinicians.** *The Journal of Emergency Medicine.* v. 17; n. 1; p. 87-93; Elsevier, USA, 1999. Disponível em: <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736467998001280>> Acesso em: 23 de Março de 2021.

VETTORAZZI, A Carlos, FERRAZ, Silvio F.B. **Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais.** Série Técnica IPEF; Piracicaba; v. 12; n. 32; p. 111 – 115; 1998. Disponível em: < [Biblioteca Florestal - Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais \(ufv.br\)](#)> Acesso em 13 de Agosto de 2021.