

FLÁVIA SILVA DE FREITAS

**COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA O MAPEAMENTO DO RISCO DE
INCÊNDIO FLORESTAL NO MUNICÍPIO DE BRAGA, PORTUGAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Gumercindo Souza Lima

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - câmpus Viçosa**

T

F866c Freitas, Flávia Silva de, 1995-
2021 Comparação de metodologias para o mapeamento do risco
de incêndio florestal no município de Braga, Portugal / Flávia
Silva de Freitas. – Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (36 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Gumercindo Souza Lima.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2021.

Referências bibliográficas: f. 32-36.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.073>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Fogo. 2. Incêndios florestais - Avaliação de riscos.
3. Sistemas de informação geográfica. I. Lima, Gumercindo
Souza, 1962-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em
Ciência Florestal. III. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.9431

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto CRB6 2523

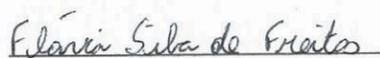
FLÁVIA SILVA DE FREITAS

**COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA O MAPEAMENTO DO RISCO DE
INCÊNDIO FLORESTAL NO MUNICÍPIO DE BRAGA, PORTUGAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 03 de dezembro de 2021.

Assentimento:



Flávia Silva de Freitas

Autora



Gumercindo Souza Lima

Orientador

Dedico esta obra à minha família pelo amor e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar do meu lado, me protegendo e me guiando.

Aos meus pais Ernesto e Luciana, que me criaram com todo o amor deste mundo. Me dando todas as oportunidades de estudo e me apoiando em todas as decisões.

Ao meu irmão Ernesto, que esteve sempre comigo, pelo carinho e cuidado.

Ao meu namorado, Gustavo, que me acolheu com seu amor, sempre ao meu lado, cuidando de mim, me ajudando e me apoiando.

Aos meus amigos de longa data Luís, Ingrid, Raul, Tamara, Lucas, Lira, Amanda, Laura e Lívia, que sempre me acompanharam nesta jornada.

À Universidade Federal de Viçosa, por me proporcionar muitas experiências e aprendizados.

Ao meu orientador Gumercindo, pelo apoio e confiança.

A todos que me ajudaram na realização deste trabalho.

Menciono, também, que o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

FREITAS, Flávia Silva de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2021. **Comparação de metodologias para o mapeamento do risco de incêndio florestal no município de Braga, Portugal.** Orientador: Gumercindo Souza Lima.

O aumento da ocorrência de incêndios florestais nas últimas décadas levou a uma crescente preocupação em relação à preservação dos recursos naturais. Embora grande parte desses incêndios não sejam originários de causas naturais, ainda é necessário desenvolver um mecanismo de alerta eficaz para prevenir os incêndios florestais, e a forma mais eficiente para essa prevenção é conhecer os seus riscos. Para isso, são utilizados mapas de risco de incêndios, sendo possível fazer uma análise da situação e propor tomadas de decisões importantes em relação ao combate e prevenção dos mesmos. O objetivo deste estudo é comparar a combinação entre três metodologias distintas de atribuição de notas às variáveis para o mapeamento do risco de incêndio florestal para o município de Braga (Portugal), por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG). A elaboração dos mapas de risco foi realizada no software ArcGIS 10.5 utilizando os dados das variáveis de uso e cobertura do solo, proximidades, exposição das vertentes, declividade e radiação solar. Para gerar os mapas de riscos de incêndios, cada variável foi reclassificada de acordo com três metodologias distintas de atribuição de notas às variáveis. Os dados de ocorrência de incêndio em Braga (PT) entre 2010 e 2001 foram cruzados com cada mapa de risco que foram gerados para testar a eficiência dos modelos na predição de incêndios. De acordo com os resultados, a atribuição das notas em conformidade com a área queimada da variável em relação ao total da variável, utilizando a exposição das vertentes, refletiu como a mais satisfatória.

Palavras-chave: Fogo. Risco. Sistema de Informação Geográfica.

ABSTRACT

FREITAS, Flávia Silva de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2021. **Comparison of methodologies for mapping forest fire risk in the municipality of Braga, Portugal.** Advisor: Gumercindo Souza Lima.

The increase in the occurrence of forest fires in recent decades has led to a growing concern for the preservation of natural resources. Although large fires are not originally from natural causes, it is still necessary to develop an effective warning mechanism to prevent wildfires. The most efficient way to prevent a fire is to know the risks. For this, fire risks are used, making it possible to analyze the situation and propose important decisions in relation to their combat and prevention. The aim of this study is between three different identification methodologies (of variables such as the fire risk objective for the municipality of Braga), through the Geographic Information System (GIS). The elaboration of risk maps was carried out in ArcGIS 0.5 software through the use and land cover, exposure, slopes, slope, and solar radiation. To generate the reclassified fire variable maps with three distinct fire error methodologies variable as each variable. The fire occurrence data in Braga (PT) between 2010 and 2001 were crossed risk maps that were generated to test a fire risk of models that were generated to test. according to the results, reflecting an area of the grades according to the variable results, reflecting the area of the grades according to the variable results, reflecting as the grades according to the variable results, reflecting as the grades according to the variable results.

Keywords: Fire. Risk. Geographic Information System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização da área de estudo.....	13
Figura 2. Normal climatológica (1971-2000) do distrito de Braga.	14
Figura 3. Metodologias de combinação entre variáveis. Em parênteses estão os pesos utilizados durante cada passo das combinações.....	18
Figura 4. Mapa gerado pelo Modelo 1 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).	22
Figura 5. Mapa gerado pelo Modelo 2 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).	23
Figura 6. Mapa gerado pelo Modelo 3 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).	24
Figura 7. Mapa gerado pelo Modelo 4 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).	25
Figura 8. Mapa gerado pelo Modelo 5 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).	26
Figura 9. Mapa gerado pelo Modelo 6 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Notas atribuídas às classes das variáveis por meio das três metodologias utilizada.	17
Tabela 2. Áreas de cada classe de risco e áreas queimadas em cada classe.....	28
Tabela 3. Resultado da validação dos mapas de risco de incêndio	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
2.1 Área de estudo.....	13
2.2 Base de dados e variáveis	14
2.3 Atribuição de notas às variáveis	15
2.4 Mapeamento de risco	18
2.5 Validação dos Mapas de Risco	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
3.1 Mapeamento de risco	22
3.2 Validação dos Mapas de Risco	30
4. CONCLUSÕES	31
5. REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são reconhecidos como um dos principais eventos críticos nas mudanças globais (TEODORO e DUARTE, 2013). O aumento da ocorrência desses incêndios florestais nas últimas décadas levou a uma crescente preocupação em relação à preservação dos recursos naturais (MELO e DURIGAN, 2010). Com os anos de interação entre a sociedade e os ecossistemas naturais, houve muitas alterações que influenciaram o processo de distribuição das formações vegetais (FERREIRA, 2015).

Algumas dessas alterações foram causadas pela introdução de plantações florestais uniformes e inflamáveis, pelo êxodo rural e pelo aumento das áreas degradadas e de pastagem, o que resultou na homogeneidade da paisagem e conseqüentemente na ampliação da probabilidade de ocorrências de incêndios (TORRES et al., 2017).

As características dos incêndios florestais são afetadas por complexas interações entre clima, vegetação, atividades antrópicas e topografia ao longo do tempo (CHANG et al., 2015). Regionalmente, o clima é o fator controlador principal das características predominantes dos incêndios, assim como do tipo de vegetação encontrada, pois determina a quantidade de biomassa e o teor de umidade do combustível. Os fatores: o uso do solo e a topografia afetam a velocidade, a frequência de propagação e o tamanho das áreas queimadas. As características dos incêndios são influenciadas diretamente pelas atividades humanas, que também altera a frequência, a área queimada e o padrão de distribuição das ocorrências (CHANG et al., 2015). Assim, incêndios florestais podem acarretar desastres ecológicos de grandes proporções, independentemente de serem causados por atividades humanas ou por eventos naturais (RAJABIFARD et al., 2002). Por causa dessas complexas interações é difícil fazer previsões do comportamento do fogo, que ocorrem em uma longa escala espacial e temporal (LINN et al., 2012). Para Barlow et al., 2012, a previsão do risco de incêndio pode ser muito trabalhosa, pois depende de interações entre fatores ambientais e antrópicos.

Diante desse contexto, os incêndios florestais são considerados um dos maiores responsáveis pela degradação da cobertura florestal (MELO e DURIGAN, 2010), principalmente em fragmentos isolados, culturas agrícolas e em ecossistemas muito sensíveis (MEDEIROS e FIEDLER, 2004).

Portugal é um dos países Europeus mais afetados por incêndios florestais nos últimos anos, apresentando, por várias vezes, uma das maiores percentagens de áreas queimadas. De acordo com a Direção-Geral das Florestas, entre 1996 e 2000, mais de 500.000 ha de áreas

florestais portuguesas foram afetadas por incêndio, e cerca de 36.500 ocorrências florestais foram registradas nesse período, a maioria são de origem antrópica (FREIRE et al., 2002).

Não é possível prever quando os incêndios florestais irão ocorrer, mas é possível mapear os locais com maior probabilidade e, com isso, diminuir os seus danos. As zonas de risco dos incêndios florestais são os locais mais prováveis do início do incêndio, e também é onde se têm a maior probabilidade de alastramento para outras áreas (RAJABIFARD et al., 2002).

A compreensão do comportamento do fogo e a antecipação dos fatores que influenciam a sua ocorrência são aspectos muito importantes para o seu manejo. Uma avaliação precisa dos problemas que causam os incêndios florestais e as decisões sobre os métodos de solução só pode ser feita de forma satisfatória quando um mapa da zona de risco de incêndio é elaborado (RAJABIFARD et al., 2002). Em Portugal, assim como em alguns outros países, é obrigatório que os municípios realizem anualmente mapas de risco de incêndios florestais, de acordo com as normas da Autoridade Florestal Portuguesa (TEODORO e DUARTE, 2013).

A forma mais eficiente de prevenção a um incêndio é conhecer os seus riscos (BORGES et al., 2011). Para isso, são utilizados mapas de risco de incêndios, que permite uma análise da situação e propõe tomadas de decisões importantes em relação ao combate e à prevenção dos mesmos (DALCUMUNE e SANTOS, 2005).

Os mapas de risco apresentam informações necessárias para a criação de projetos de prevenção de incêndios, como a determinação de áreas de maior e menor risco. Com isso, algumas medidas preventivas podem ser adotadas, como uma maior fiscalização das áreas, restrição do acesso aos locais de risco e construção de aceiros (DALCUMUNE e SANTOS, 2005). Os mapas também auxiliam no correto planejamento e disponibilização de recursos para o combate dos incêndios (BORGES et al., 2011).

O uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser uma das maneiras de detectar as áreas de maior e menor risco de incêndios florestais. O SIG tem a capacidade de sobrepor, coletar, visualizar e manipular um grande volume de dados, que podem ser advindos da análise da possibilidade de risco de um incêndio florestal e do potencial de propagação. O SIG é uma ferramenta utilizada para auxiliar o processo de tomada de decisão, principalmente em relação às medidas adotadas para minimizar os impactos ambientais causados pelos incêndios florestais (VAKALIS et al., 2004). Analisando a sua contribuição para o mapeamento do risco de incêndios a partir do SIG, observamos as informações sobre a distribuição espacial que auxiliam no planejamento, de forma estratégica, das atividades de prevenção a longo prazo e das informações que são utilizadas para minimizar os riscos (PAZ et al., 2011; YANG et al., 2007).

Desta forma, o objetivo deste estudo é comparar a combinação entre três metodologias distintas de atribuição de notas às variáveis para o mapeamento do risco de incêndio florestal para o município de Braga (Portugal), utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O distrito de Braga está localizado no norte de Portugal, entre os meridianos 7°48' W e 8°48' W e os paralelos 41°48' N e 41°18' N (Figura 1), apresenta uma área de aproximadamente 270.643,37 hectares e uma altimetria variando entre 0 a 1.530 metros, desde os relevos acidentados junto à fronteira com a Espanha e o distrito de Vila Real até o litoral junto ao oceano Atlântico.

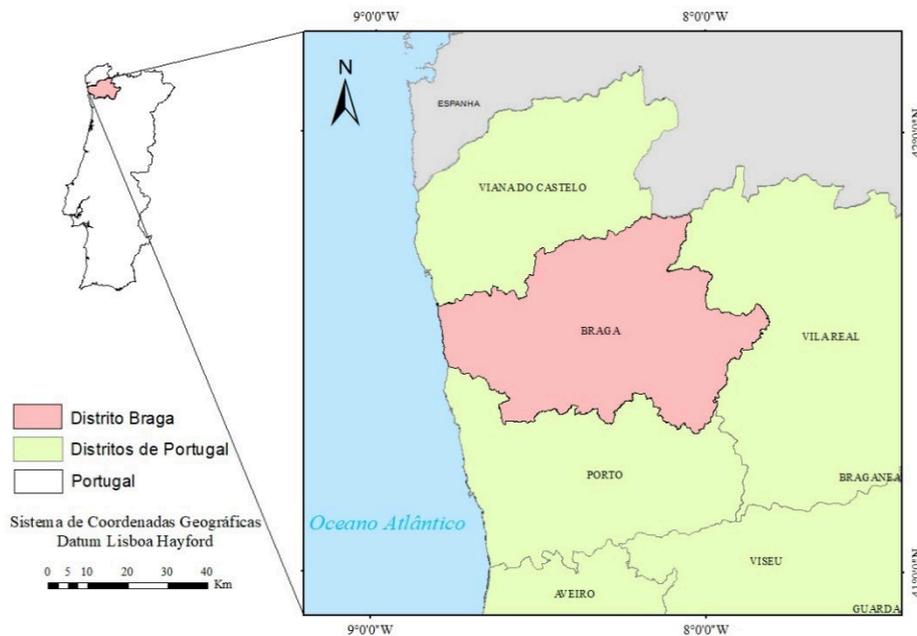


Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: AMA, 2018.

O clima do distrito de Braga se caracteriza como quente e temperado, classificado como Csb, segundo o Koppen. A temperatura média é de 14,2 °C e a precipitação média anual é de 1.252 mm, com a maior concentração das chuvas no mês de dezembro (231,4 mm) e a menor no mês de julho (24,1 mm) (IPMA, 2010) (Figura 2).

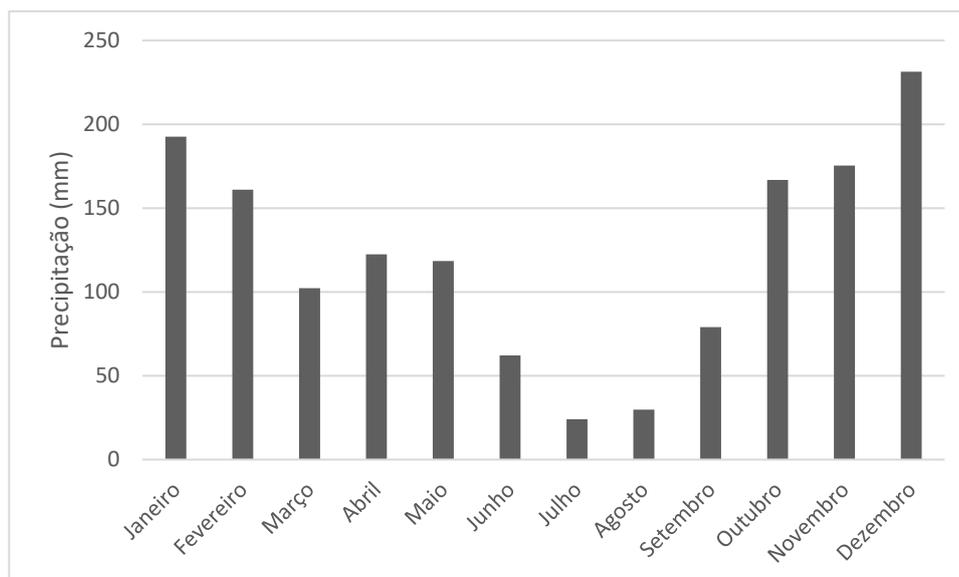


Figura 2. Normal climatológica (1971-2000) do distrito de Braga.
 Fonte: Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA, 2000).

2.2 Base de dados e variáveis

A elaboração do cartograma de suscetibilidade a incêndios para o distrito de Braga foi realizada no *software ArcGIS 10.5*, por meio da geração de mapas para as variáveis Uso e Cobertura do Solo, Proximidade da Rede Viária, Exposição das Vertentes, Declividade e Radiação Solar. Esses mapas foram intercruzados para possibilitar a determinação das áreas mais suscetíveis às ocorrências de incêndio.

Para a elaboração do mapa Uso e Cobertura do Solo, inicialmente foram obtidas as informações por meio da cartografia temática de ocupação e uso do solo, denominada Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para o Ano de 2010 (COS2010), referente aos meses de agosto, setembro e outubro, sendo produzida pela Direção-Geral do Território. A COS2010 foi produzida com base na interpretação visual de imagens aéreas ortorretificadas de grande resolução espacial (50 cm) e nas quatro bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo).

Para o distrito de Braga (PT), foram identificadas 225 classes de uso do solo ao nível mais detalhado, por fim, essas classes identificadas foram agrupadas em nove níveis conforme as especificações técnicas da Direção-Geral do Território (2016): Agricultura, Florestas, Matos, Espaços Descobertos ou com Vegetação Esparsa, Pastagem, Sistemas Agroflorestais (SAF), Corpos d'água, Zonas úmidas e Territórios Artificiais.

O mapeamento das proximidades foi realizado por meio de zonas, considerando as seguintes classes: 0 a 100 metros das vias, 100 a 200 metros, 200 a 300 metros e de 300 a 400 metros das vias, assim gerando o mapa Proximidade da Rede Viária.

A confecção dos mapas de Declividade, Exposição das Vertentes e Radiação Solar foi a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), que foi gerado por meio da interpolação dos dados de altimetria da área de estudo extraídos do Instituto Geográfico Português (IGP), com a eliminação das depressões espúrias para refinar e diminuir os erros do MDE. A resolução espacial usada no modelo foi de 20 metros.

A partir da cartografia disponibilizada pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), foi possível gerar o mapa das ocorrências de incêndio acima de 1 hectare entre os anos de 2001 a 2010 para o distrito de Braga (PT).

Esses dados foram utilizados em três metodologias de atribuição de notas para as variáveis e para a validação de todos os modelos estudados.

2.3 Atribuição de notas às variáveis

A partir de cada mapa gerado para as variáveis, foi possível obter as informações: área das variáveis, em hectare, e área das variáveis, em porcentagem, para cada classe. Por meio do cruzamento das variáveis (Uso e Cobertura do Solo, Proximidade da Rede Viária, Exposição das Vertentes, Declividade e Radiação Solar) com o mapa das ocorrências de incêndios foi possível obter o número de ocorrências em cada uma das variáveis, em hectare e porcentagem. A atribuição de notas para as classes de cada uma das variáveis se deu apenas depois da obtenção desses dados.

Para o mapeamento da suscetibilidade ao fogo, três metodologias foram testadas a fim de estabelecer aquela com maior eficiência para a área de estudo. As notas de acordo com cada metodologia foram atribuídas e as classes das variáveis foram analisadas de acordo com o favorecimento à ocorrência de incêndio, as que receberam nota 0 apresentam risco baixíssimo e as que receberam nota 10 risco altíssimo.

A Metodologia 1 atribui as notas às classes das variáveis de acordo com a literatura, baseada na influência que cada classe das variáveis tem sobre o risco de incêndio (TORRES et al., 2010). As notas utilizadas foram embasadas nas conclusões dos estudos dos perfis dos incêndios sobre a vegetação (TORRES et al., 2008 e TORRES et al., 2010a).

As Metodologias 2 e 3 atribuem notas às classes das variáveis baseadas no número de ocorrência de incêndios historicamente registrados para os anos de 2001 a 2010 no local do estudo, assumindo que existe uma relação espacial.

A Metodologia 2 atribui notas de acordo com a porcentagem que aquela classe de variável representa em relação à área total queimada, ou seja, é o número de ocorrência (ha) para cada classe dividido pelo número de ocorrência total (ha) para todas as classes (TORRES et al., 2017). A classe com maior porcentagem recebeu nota 10 e para as demais classes as notas foram atribuídas proporcionalmente de acordo com a classe que recebeu nota 10.

Na Metodologia 3, as notas foram atribuídas de acordo com o número de ocorrências para cada classe da variável em hectare em relação à área total da sua classe, de modo que o maior valor recebeu nota 10 e as demais foram proporcionais.

Os resultados das notas de cada variável, que foram obtidos por meio da reclassificação de acordo com as três metodologias distintas de atribuição de notas, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Notas atribuídas às classes das variáveis por meio das três metodologias utilizadas

Variáveis	Notas das classes das variáveis		
	Metodologia 1	Metodologia 2	Metodologia 3
Uso e Cobertura do Solo			
Agricultura	5,00	1,44	0,86
Corpos de água	0,00	0,08	1,60
Espaços descobertos ou com vegetação esparsa	4,00	4,59	10,00
Florestas	9,00	10,00	3,97
Matos	10,00	7,41	9,25
Pastagem	7,00	0,04	1,91
SAF	6,00	0,00	0,10
Territórios Artificiais	3,00	0,72	0,77
Zonas húmidas	1,00	0,00	0,00
Declividade			
0-15°	4,00	10,00	3,75
15-30°	6,00	8,83	9,42
30-45°	8,00	0,85	10,00
>45°	10,00	0,02	7,60
Exposição das vertentes			
N	4,00	0,65	9,19
NO	5,00	0,82	9,28
NE	3,00	0,79	9,89
O	6,00	0,81	9,74
L	8,00	0,81	9,68
S	10,00	0,66	9,37
SO	9,00	0,80	10,00
SE	7,00	0,82	9,43
Planas	1,00	10,00	5,21
Radiação Solar			
Baixa	4,00	0,22	10,00
Média	7,00	7,52	4,80
Alta	10,00	10,00	7,86
Proximidade da rede viária			
0-100m	10,00	10,00	6,42
100-200m	8,00	9,93	7,21
200-300m	6,00	9,83	8,37
300-400m	4,00	9,69	10,00

Por fim, a partir das atribuições das notas, e de acordo com as Metodologias 1, 2 e 3, cada metodologia gerou 5 novos mapas de Uso e Cobertura do Solo, Proximidade da

Rede Viária, Exposição das Vertentes, Declividade e Radiação Solar, gerando 15 mapas ao total, que foram utilizados para a obtenção dos mapas de risco de incêndio florestal.

2.4 Mapeamento de risco

A partir dos 15 mapas gerados anteriormente com as suas respectivas notas, os mesmos foram intercruzados com pesos diferentes de acordo com 2 metodologias de combinação das variáveis, descritas a seguir na Figura 3.

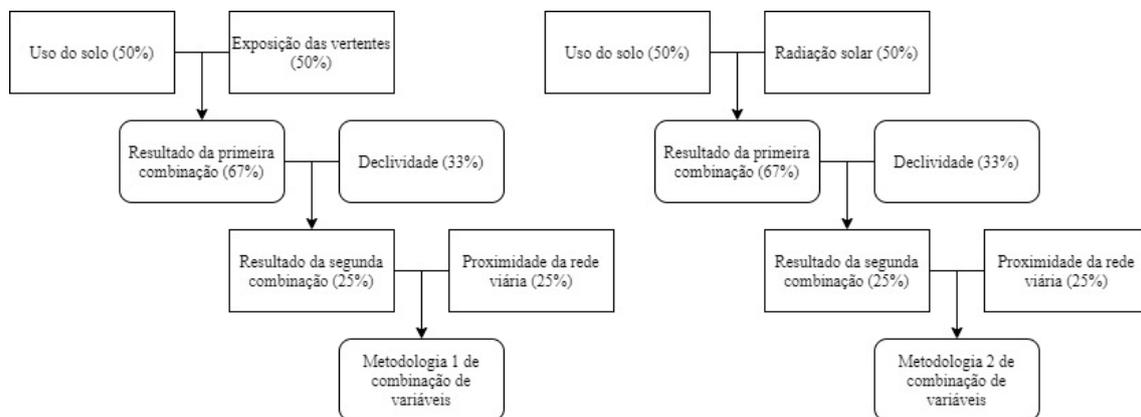


Figura 3. Metodologias de combinação entre variáveis. Em parênteses estão os pesos utilizados durante cada passo das combinações.

Ambas as metodologias consideraram o Uso do Solo, a Cobertura do Solo, a Declividade e a Proximidade da Rede Viária. Entretanto, a metodologia 1 de combinação considerou a Exposição das Vertentes, enquanto a Metodologia 2 considerou a Radiação Solar.

As variáveis foram combinadas par a par sucessivamente, utilizando a combinação anterior junto a uma nova variável e atribuindo diferentes pesos às combinações, conforme demonstrado na Figura 3.

As variáveis o Uso do Solo e a Exposição das Vertentes foram cruzadas, ambas com pesos iguais (50%), gerando o resultado da Primeira Combinação. O peso de 67% dessa Primeira Combinação foi cruzado com a Declividade (peso 33%), gerando o resultado da Segunda Combinação. Para essa Segunda Combinação gerada foi utilizado o peso de 25%, sendo cruzado com as Proximidades da Rede Viária (peso 25%), gerando a Metodologia 1 de Combinação de Variáveis.

Para gerar a Metodologia 2 de Combinação de Variáveis, foi realizado o cruzamento entre o Uso do Solo com a Radiação Solar, ambos com pesos iguais (50%), gerando o resultado da Primeira Combinação. Essa Primeira Combinação representou um peso de 67% quando cruzada com a Declividade (peso 33%), gerando o resultado da Segunda Combinação. Para essa Segunda Combinação gerada foi utilizado o peso de 25%, sendo cruzada com as Proximidades da Rede Viária (peso 25%).

A combinação das três metodologias de atribuição de notas e das duas metodologias de combinação entre variáveis gerou seis modelos de mapas explicativos de risco de incêndio, resumidos a seguir:

- **Modelo 1** - Mapa de Risco 1: Notas de acordo com a literatura, utilizando a exposição das vertentes;
- **Modelo 2** - Mapa de Risco 2: Notas de acordo com a literatura, utilizando a radiação solar;
- **Modelo 3** - Mapa de Risco 3: Notas de acordo com a área queimada da variável em relação à área queimada total, utilizando a exposição das vertentes;
- **Modelo 4** - Mapa de Risco 4: Notas de acordo com a área queimada da variável em relação à área queimada total, utilizando a radiação solar;
- **Modelo 5** - Mapa de Risco 5: Notas de acordo com a área queimada da variável em relação ao total da variável, utilizando a exposição das vertentes;
- **Modelo 6** - Mapa de Risco 6: Notas de acordo com a área queimada da variável em relação ao total da variável, utilizando a radiação solar.

A partir de cada mapa de risco de incêndio florestal gerado, foi possível agrupar as áreas em classes de baixíssimo, baixo, médio, alto e altíssimo. Para analisar a eficiência das metodologias utilizadas para o mapeamento de risco é recomendado que quanto menor a classe de risco, maior a sua abrangência (Torres et al., 2017).

A área queimada em cada classe foi obtida mediante o cruzamento do mapa de ocorrências de incêndios no distrito de Braga (PT) entre os anos de 2001 a 2010 com cada mapa de risco de incêndio florestal que foi gerado anteriormente. Em relação ao percentual da área queimada, recomenda-se que quanto menor a classe de risco, maior a sua área. Já para a porcentagem de área queimada em relação à área da classe, recomenda-se que quanto maior a classe de risco, maior a abrangência da área da classe, de acordo com as orientações descritas por Torres et al. (2017).

2.5 Validação dos Mapas de Risco

Para a comparação dos mapas de risco foi utilizada uma *Receiver Operating Characteristic Curve* (ROC) (Bradley, 1997), que é a representação do par de valores da taxa positiva verdadeira (TPR) (Equação 1) e da taxa positiva falsa (FPR) (Equação 2) de acordo com as classes de probabilidade de incêndios e de acordo com a área que de fato ocorreu o incêndio no período.

Assim, cada valor do conjunto de dados foi classificado em quatro categorias (TIEN et al., 2019): Verdadeiro Positivo (TP), que é a somatória das áreas que os modelos classificaram como de probabilidades de ocorrências de incêndios (classes altíssimo, alto e médio) e onde realmente queimou; Falso Positivo (FP), é a somatória das áreas que os modelos julgaram prováveis de ocorrer incêndios (classes altíssimo, alto e médio), mas não queimou; Verdadeiro Negativo (TN), é a somatória das áreas que os modelos indicaram uma baixa probabilidade de incêndio (classes baixo e baixíssimo) e não queimou; e Falso Negativo (FN), que é a somatória das áreas em que ocorreu um incêndio, mas os modelos julgaram que a área tinha uma baixa probabilidade de queimar (classes baixo e baixíssimo).

$$\text{TPR} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{FPR} = \text{FP} / (\text{FP} + \text{TN}) \quad \text{Equação 2}$$

Na tentativa de simplificar a análise da ROC, foi calculada a Área Sob a Curva (AUC) (Equação 3), que é a probabilidade de uma área queimada escolhida aleatoriamente ser classificada pelo modelo como possibilidade de queimar (altíssimo, alto e médio), ao invés de uma área não queimada escolhida aleatoriamente (THACH et al., 2018; TIEN et al., 2019).

$$\text{AUC} = (\text{TPR} - \text{FPR} + 1) / 2 \quad \text{Equação 3}$$

Outro cálculo que foi realizado é o da Taxa de Acurácia (ACC) (Equação 4). Ela mede a relação entre a somatória das previsões corretas (somatória das áreas que o modelo previu que queimaria e realmente queimou e a somatória das áreas que o modelo previu que não queimaria e não queimou) e a área total do distrito.

$$\text{ACC} = (\text{TP} + \text{TN}) / (\text{TP} + \text{FP} + \text{TN} + \text{FN}) \quad \text{Equação 4}$$

A análise ROC permite selecionar o modelo mais eficiente e descartar os índices abaixo do ideal. Os valores de AUC variam entre 0 e 1. Abaixo de 0,6 significa que o modelo não é adequado, pois a sua eficiência está muito próxima ao acaso (50% de chances de errar e/ou de acertar as previsões); valores entre 0,6 e 0,7 apontam desempenho fraco; entre 0,7 e 0,8 moderado; entre 0,8 e 0,9 bom desempenho; e entre 0,9 e 1,0 significa que o modelo apresenta desempenho excelente (THACH et al., 2018; TIEN et al., 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Mapeamento de risco

A combinação de três metodologias de atribuição de notas e de duas metodologias de combinação entre variáveis gerou seis modelos de mapas explicativos do risco de incêndio florestal, resumidos a seguir (Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9). A partir da geração de cada mapa de risco de incêndio foi possível classificar as áreas de risco como baixíssimo, baixo, médio, alto e altíssimo.

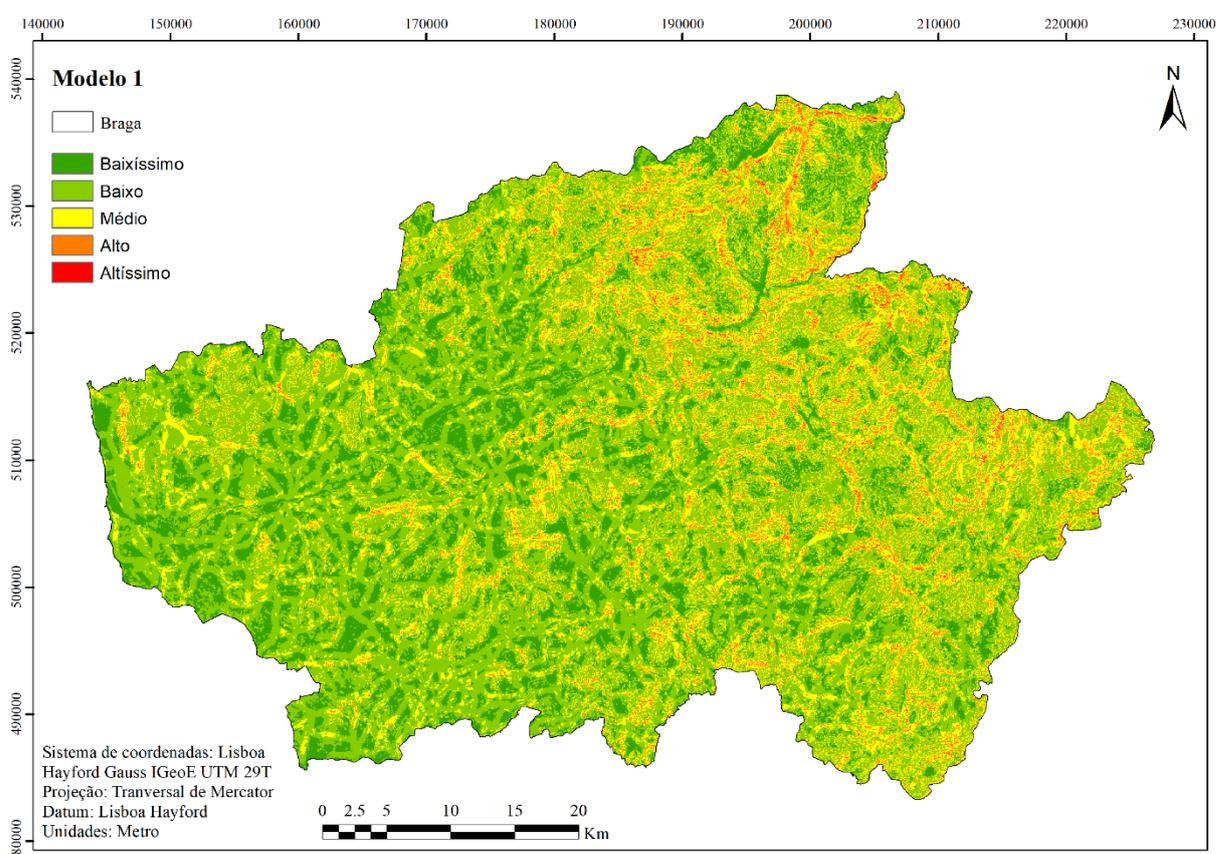


Figura 4. Mapa gerado pelo Modelo 1 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).

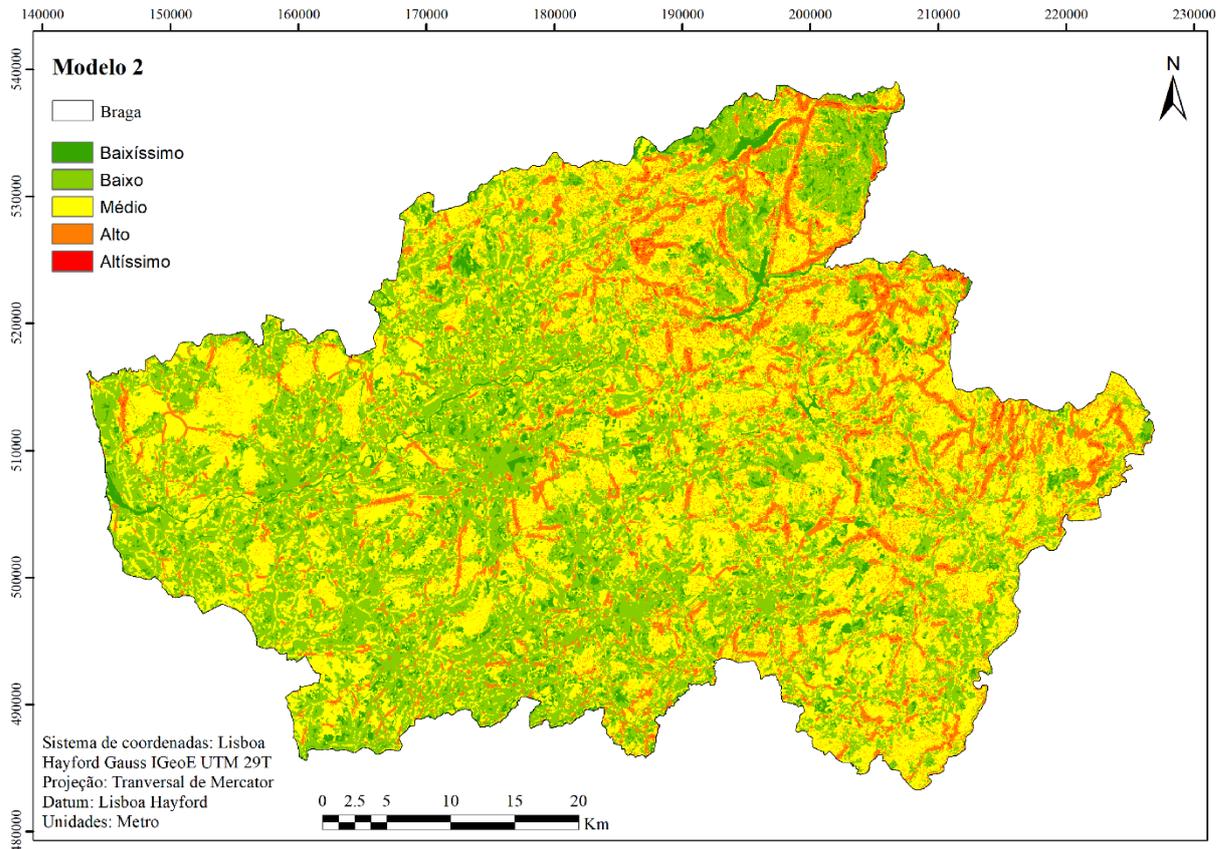


Figura 5. Mapa gerado pelo Modelo 2 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).

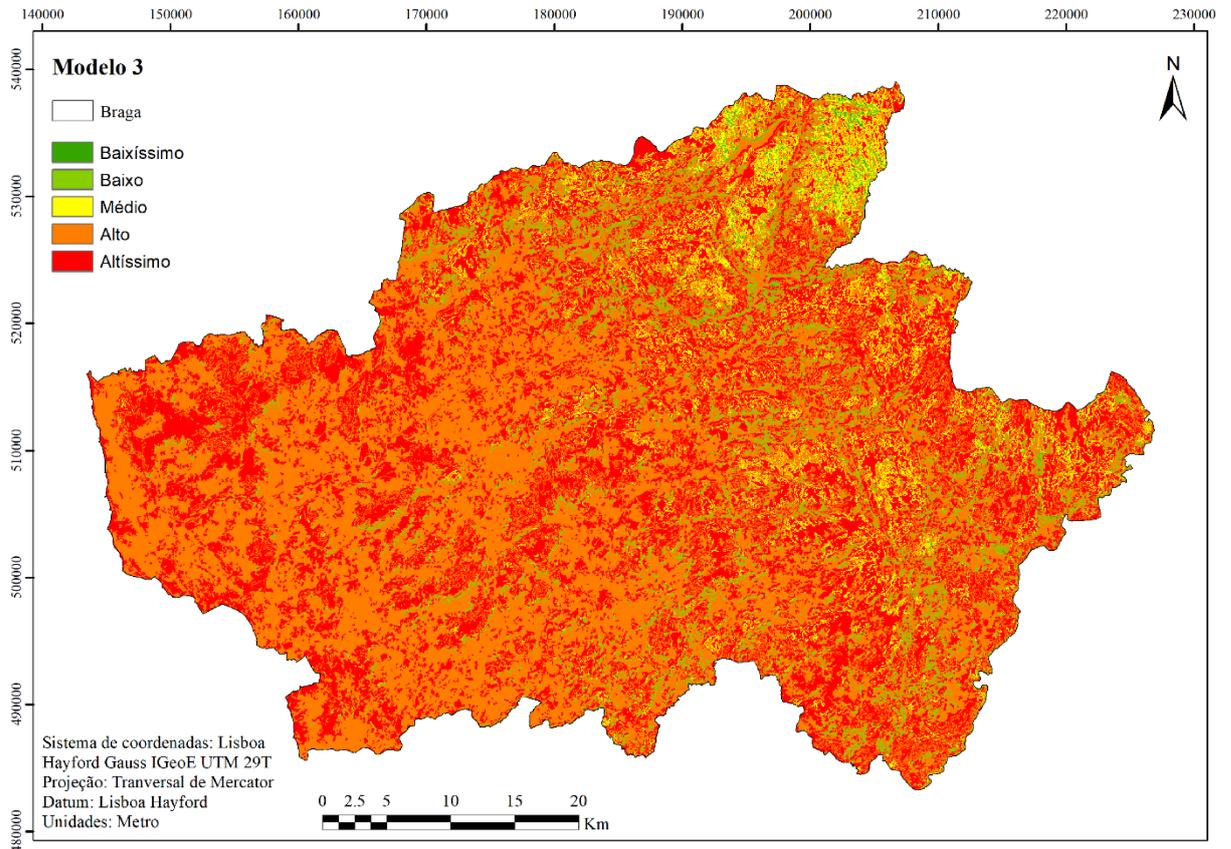


Figura 6. Mapa gerado pelo Modelo 3 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).

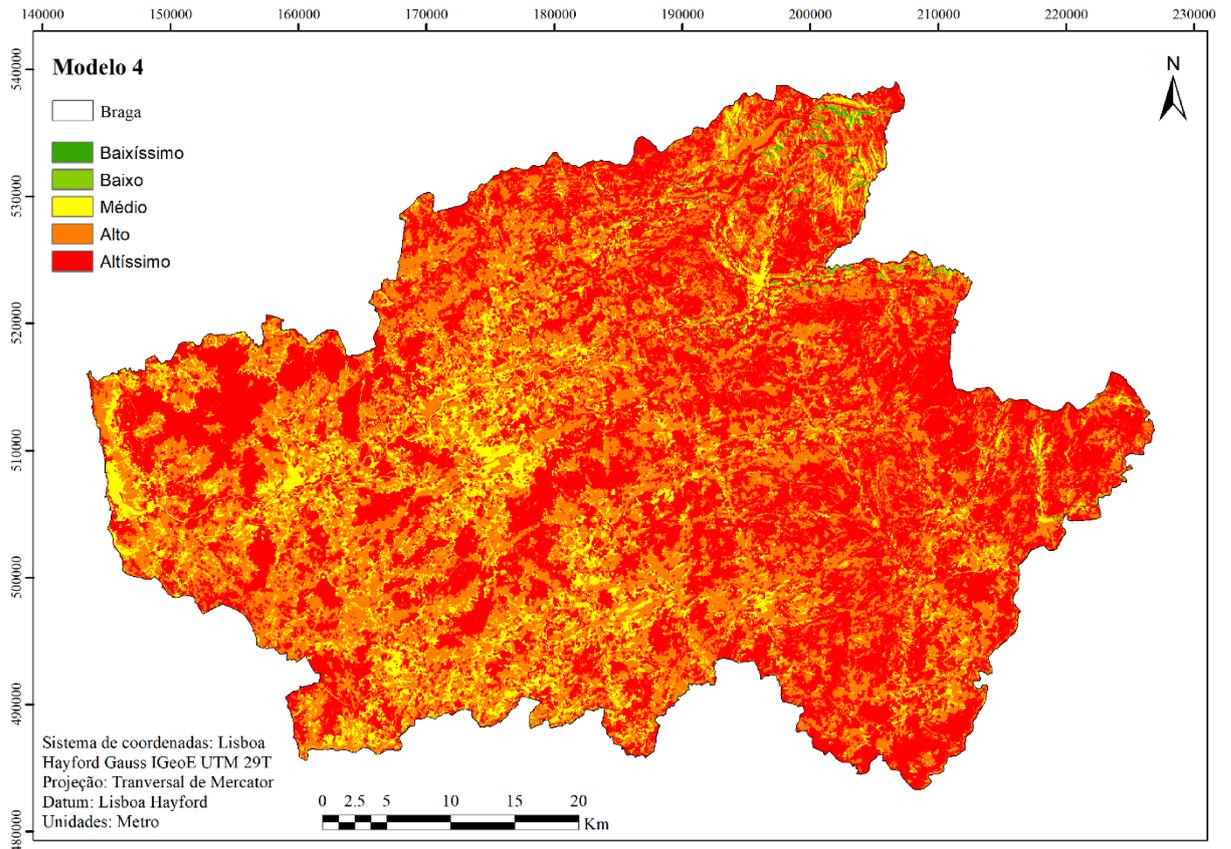


Figura 7. Mapa gerado pelo Modelo 4 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).

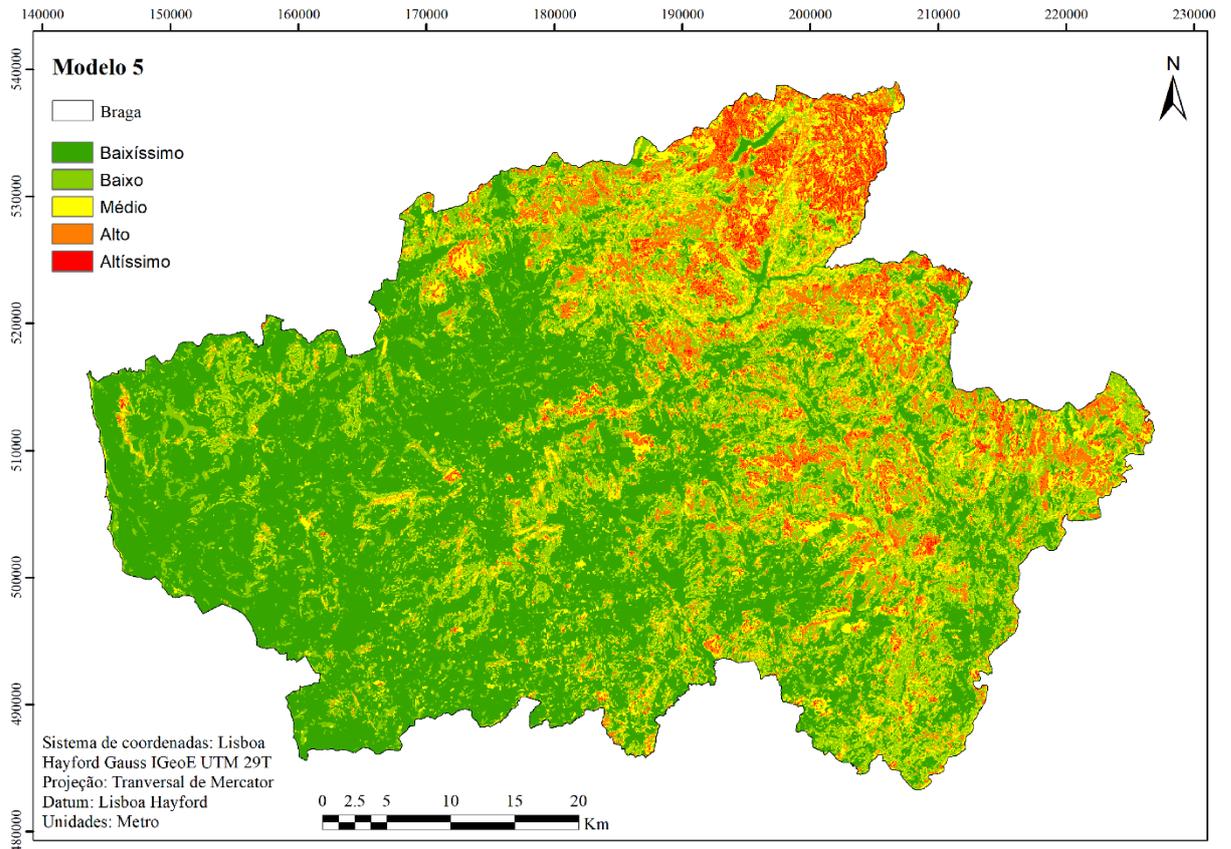


Figura 8. Mapa gerado pelo Modelo 5 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).

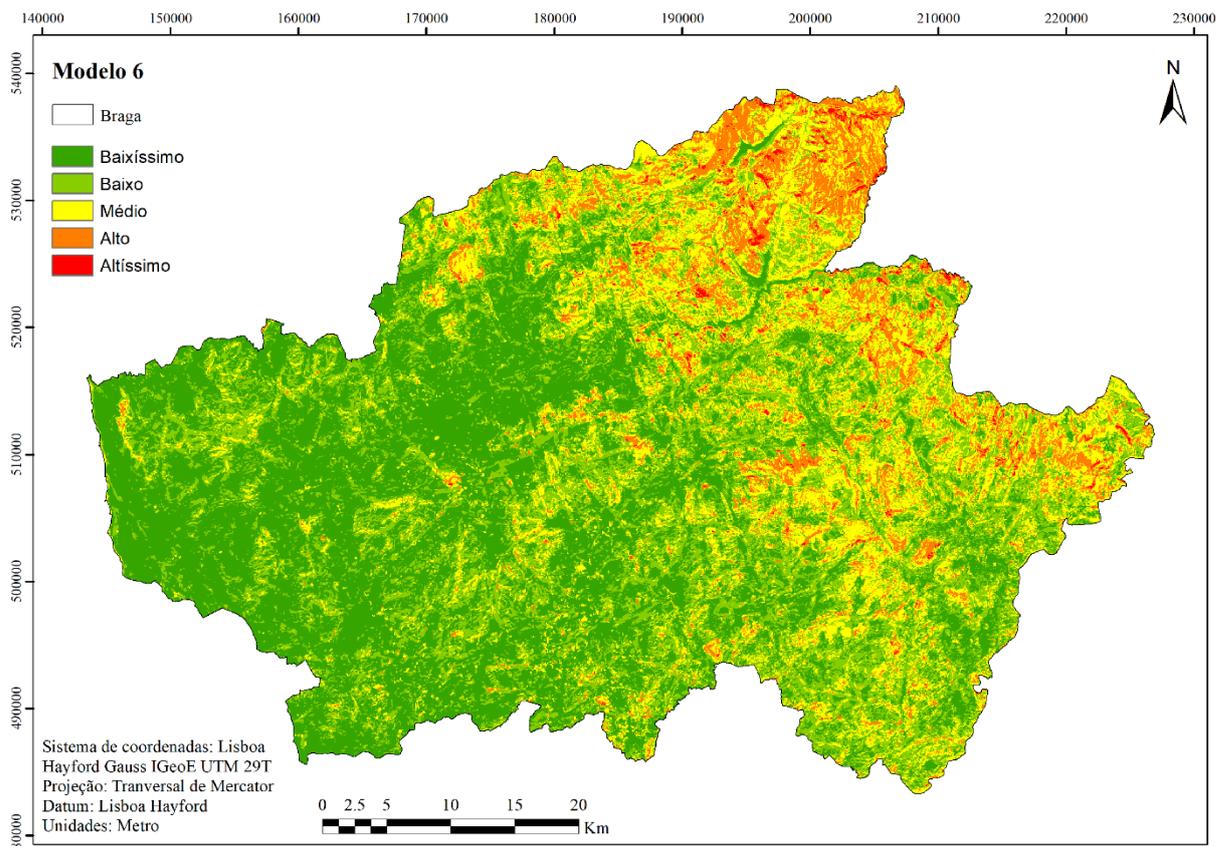


Figura 9. Mapa gerado pelo Modelo 6 para a determinação do risco de incêndio no distrito de Braga (PT).

Analisando a eficiência dos seis modelos testados (Tabela 2), nem todos os modelos são adequados para a área de estudo, entretanto, alguns são mais eficientes do que outros. Os Modelos 2, 3 e 4 não foram adequados, pois o resultado se mostrou contrário às recomendações propostas neste estudo. Em relação ao percentual da área queimada de cada classe de risco, recomenda-se que quanto menor a classe risco, maior deve ser a sua área de abrangência. Entre todas as análises, os Modelos 1, 5 e 6 apresentaram esse padrão.

O Modelo 1 apresentou a maior porcentagem de área queimada nas classes baixo e baixíssimo (59,35%) e menor nas classes alto e altíssimo risco (9,36%), enquanto 68,87% da área do distrito de Braga (PT) foi classificada como de baixo e baixíssimo risco e apenas 6,28% foi classificada como alto e altíssimo risco. No entanto, ao analisar a porcentagem de área queimada em relação às áreas das classes de alto e altíssimo risco, essa apresentou o menor resultado, ou seja 30,79% e 28,54%, em comparação aos demais modelos que foram considerados adequados.

O Modelo 5 apresentou a segunda maior porcentagem de áreas queimadas nas classes baixo e baixíssimo risco (42,23%) e a maior porcentagem de áreas queimadas dentro das classes baixo e baixíssimo risco (29,92%).

Por outro lado, o Modelo 6 foi aquele que apresentou o menor percentual de áreas queimadas nas classes de baixo e baixíssimo risco (38,18%) e 22,03% de áreas queimadas nas classes de alto e altíssimo risco, apresentando o segundo maior percentual de área queimada em relação à área de alto (49,34%) e altíssimo (49,54%) risco.

No entanto, o Modelo 6 indica ser o mais eficiente, pois, de acordo com os resultados apresentados, foi o que apresentou o maior percentual de área queimada em relação às áreas das classes de alto e altíssimo risco, ou seja, 49,61% e 53,17%, respectivamente, em relação ao tamanho das áreas classificadas como alto e altíssimo risco de queimadas durante o período de estudo.

Em suma, a atribuição das notas a cada uma das classes, de acordo com a área da variável em relação ao total da área da variável, ou seja, a Metodologia 3 de atribuição de notas às variáveis (Tabela1) refletiu de forma mais satisfatória, de acordo com os resultados encontrados no estudo.

Tabela 2. Áreas de cada classe de risco e áreas queimadas em cada classe

Risco	Área da classe		Área queimada em cada classe		% de área queimada em relação a classe da área
	ha	%	ha	%	
Modelo 1					
Baixíssimo	47.511,24	17,56	6.732,92	12,12	14,17
Baixo	138.868,08	51,31	26.232,8	47,23	18,89
Médio	67.278,88	24,86	17.374,12	31,28	25,82
Alto	15.957,84	5,90	4.912,72	8,84	30,79
Altíssimo	1.016,64	0,38	290,16	0,52	28,54
Total	270.632,68	100,00	55.542,72	100,00	
Modelo 2					
Baixíssimo	14.790,08	5,47	3.101,96	5,59	20,99
Baixo	93.795,00	34,66	10.516,72	18,93	11,21
Médio	119.838,32	44,28	29.989,72	53,99	25,03
Alto	40.946,72	15,13	11.555,08	20,80	28,22
Altíssimo	1.262,56	0,47	376,24	0,68	29,80
Total	270.632,68	100,00	55.542,72	100,00	
Modelo 3					
Baixíssimo	1.284,72	0,47	469,68	0,85	36,56
Baixo	17.857,32	6,60	2.682,08	4,83	15,02

Médio	19.433,8	7,18	10.318	18,58	53,09
Alto	133.305,04	49,26	14.896,56	26,82	11,17
Altíssimo	98.751,8	36,49	27.176,4	48,93	27,52
Total	270.632,68	100,00	55.542,72	100,00	
Modelo 4					
Baixíssimo	494,56	0,18	192,2	0,35	38,86
Baixo	1.243,72	0,46	372,84	0,67	29,98
Médio	34.903,92	12,9	2.510,08	4,52	7,19
Alto	101.134	37,37	15.449,48	27,82	15,28
Altíssimo	132.856,48	49,09	37.018,12	66,65	27,86
Total	270.632,68	100,00	55.542,72	100,00	
Modelo 5					
Baixíssimo	129.941,48	48,01	9.126,64	16,43	7,02
Baixo	58.477,72	21,61	14.327,76	25,80	24,50
Médio	48.564,8	17,94	15.472,28	27,86	31,86
Alto	26.270,96	9,71	12.961,36	23,34	49,34
Altíssimo	7.377,72	2,73	3.654,68	6,58	49,54
Total	270.632,68	100,00	55.542,72	100,00	
Modelo 6					
Baixíssimo	108.448	40,07	6.484,08	11,67	5,98
Baixo	79.630,8	29,42	14.722,5	26,51	18,49
Médio	58.030,4	21,44	22.100,2	39,79	38,08
Alto	22.593,6	8,35	11.209,8	20,18	49,61
Altíssimo	1.929,72	0,71	1.026,08	1,85	53,17
Total	270.632,68	100,00	55.542,72	100,00	

3.2 Validação dos Mapas de Risco

Para a comparação dos modelos, foi utilizada uma *Receiver Operating Characteristic curve* (ROC) (Bradley, 1997), e como resultado foi gerada a área sob a curva (AUC), demonstrado a seguir na Tabela 3.

Tabela 3. Resultado da validação dos mapas de risco de incêndio

Resultado da validação dos mapas de risco de incêndio						
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
AUC	0,56	0,60	0,51	0,50	0,67	0,70

A análise ROC permite selecionar o modelo mais eficiente e descartar índices abaixo do ideal. O Modelo 1 apresentou o valor de 0,56 de AUC já o Modelo 3 apontou o valor de 0,51 de AUC e o Modelo 4 o valor de 0,50 de AUC, significando que os modelos não são adequados, pois a eficiência está muito próxima ao acaso. O Modelo 2 apresentou o valor de 0,6 e o Modelo 5 apresentou o valor de 0,67, apontando um desempenho fraco. Já o Modelo 6 apresentou o valor de 0,70 sendo classificado como moderado.

Nessa perspectiva, dentre todos os modelos analisados, o Modelo 6 foi aquele que apresentou a maior eficiência em relação aos outros modelos estudados, assim como também para os resultados encontrados no mapeamento de risco. Porém, para um modelo ser considerado excelente o desempenho apresentado precisar estar entre 0,9 e 1,0, o que não ocorreu em nenhum dos modelos estudados, o que indica a necessidade de mais estudos em relação à atribuição de notas para cada classe de previsão de risco, de acordo com os dados utilizados.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, concluiu-se que a atribuição de notas de acordo com a área queimada, da variável em relação ao total da variável (Metodologia 3), utilizando a exposição das vertentes (Metodologia 2 de combinação entre variáveis), que gerou o Modelo 6, mostrou-se como o mais eficiente para o mapeamento de risco de incêndios na região, pois, de acordo com os resultados apresentados, esse modelo foi o que apresentou o maior percentual da área queimada em relação às áreas das classes de alto e altíssimo risco.

Ao realizar a validação dos dados para os seis modelos estudados, nenhum dos modelos foi considerado como excelente, indicando a necessidade de mais estudos em relação à atribuição de notas para cada classe de previsão para o mapeamento do risco de incêndio florestal.

5. REFERÊNCIAS

- A.C. TEODORO & L. DUARTE (2013) **Forest fire risk maps: a GIS open source application – a case study in Norwest of Portugal**. *International Journal of Geographical Information Science*, 27:4, 699-720, DOI: 10.1080/13658816.2012.721554.
- ALVES, A. A.; DEVY-VARETA, N.; PEREIRA, J.S., 2006. **A floresta e o fogo através dos tempos**. Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção. ISA Press, Lisboa p. 15-40.
- BATISTA, A. C. **Determinação de umidade do material combustível sob povoamentos de Pinus taeda**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1984. p. 61. (Dissertação de mestrado).
- BATISTA, F.O.; SANTOS, R., 2005. **Os Proprietários Florestais**. Oeiras: Celta Editora, 2005. p. 94.
- BARLOW, J.; Parry, L.; Gardner, T. A.; Ferreira, J.; Aragão, L. E. O. C.; Carmenta, R. et al. **The critical importance of considering fire in REDD+ programs**. *Biological Conservation* 2012; 2012 (154): p. 1-8.
- BRADLEY, Andrew P. **The use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms**. *Pattern recognition*, v. 30, n. 7, p. 1145-1159, 1997.
- BORGES, T. S.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R.; LOUREIRO, E. B.; MAFIA, R. G. **Desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo**. *Floresta e Ambiente* 2011; 18(2): 153-159. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/loram.2011.033>>. Acesso em: julho de 2021.
- CAMPOS, I.; ABRANTES, N.; VIDAL, T.; BASTOS, A. C.; GONÇALVES, F.; KEIZER, J. J., 2012. **Assessment of the toxicity of ash-loaded runoff from a recently burnt eucalypt plantation**. *European Journal of Forest Research* 131(6): 1889-1903. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10342-012-0640-7>>. Acesso em: junho de 2021.
- CARREIRAS, M.; FERREIRA, A. J. D.; VALENTE, S.; FLESKENS, L.; GONZALES-PELAYO, Ó.; RUBIO, J.L.; STOOFF, C.R.; COELHO, C. O. A.; FERREIRA, A. S. S.; RITSEMA, C. J. 2014. **Comparative analysis of policies to deal with wildfire risk. Land Degradation and Development** 25: p. 92-103. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/ldr.2271>>. Acesso em: junho de 2021.
- CARRAO, Hugo; FREIRE, Sergio; CAETANO, Mario R. **Fire risk mapping using satellite imagery and ancillary data: toward operationality**. In: **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology IV**. International Society for Optics and Photonics, 2003. p. 154-165.
- CARVALHO, J. B.; LOPES, J. P. – **Classificação de Incêndios Florestais, Manual do Utilizador**. DGF – Direcção-Geral das Florestas, Lisboa, 2001, p. 34.
- CHANG Y, Zhu Z, Bu R, Li Y, Hu Y. **Environmental controls on the characteristics of mean number of forest fires and mean forest area burned (1987-2007) in China**. *Forest Ecology and Management* 2015; 2015 (356): 13-21. PMid: 26288802. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2015.07.01>>. Acesso em: julho de 2021.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Manual de Prevenção e Combate a Incêndio Florestais**. Rio de Janeiro.

COUTO, E. A. e CÂNDIDO, J. F. **Incêndios florestais**. Viçosa: Imprensa Universitária – UFV, 1980. p. 101.

DALCUMUNE, M. A. B.; SANTOS, A. R. **Mapeamento de índice de risco de incêndio para a Região da Grande Vitória/ES, utilizando imagens do satélite LANDSAT para o ano de 2002**. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: INPE, 2005, p. 1485-1492.

DAVIS JR, H. L. et al. **Tryptophan metabolism in breast cancer. Correlation with urinary steroid excretion**. *Cancer*, v. 31, n. 5, p. 1061-1064, 1973.

DIREÇÃO-GERAL DO TERRITÓRIO. Especificações Técnicas da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal Continental para 1995, 2007, 2010 e 2015. 2018. Disponível em <<https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/documentos-publicos/ET-COS-1995-2007-2010-2015.pdf>>. Acesso em: junho de 2021.

FERREIRA, António José Dinis et al. **Strategies to prevent forest fires and techniques to reverse degradation processes in burned areas**. *Catena*, v. 128, p. 224-237, 2015.

FREIRE, Sérgio; CARRÃO, Hugo; CAETANO, Mário R. **Produção de cartografia de risco de incêndio florestal com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares**. Lisboa: IGP, 2002.

GARCÍA-DURO, J.; CRUZ, O.; CASAL, M.; REYES, O. 2019. **Fire as driver of the expansion of *Paraserianthes lophantha* (Willd.) I. C. Nielsen in SW Europe**. *Biological Invasions* 21: 1427-1438. Disponível em <<https://doi.org/10.1007/s10530-018-01910-w>>. Acesso em: junho de 2021.

GAYLOR, Harry P. **Wildfires prevention and control**. 1974.

GOLDAMMER, J. G. (1982). **Controlled burning for stabilizing pine plantations**. In: Proc Int Sem organized by the Timber Committee of the United Nations Economic Commission for Europe, Warsaw, Poland, 20 – 22 May 1981, Nijhoff/Junk, The Hague, Polônia, 1981. p. 199 –207.

HUGGET, R. J. **Geocology: an evaluation approach**. Londres: Editora London, 1995. p. 320

HERAWATI, H.; SANTOS, O. H. **Tropical forest susceptibility to and risk of fire under changing climate: a review of fire nature, policy and institutions in Indonesia**. *Forest Policy and Economics* 2011; 2011(13): 227-233. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2011.02.006>>. Acesso em: julho de 2021.

IBGE. **Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004. p. 332.

INSTITUTO DE METEOROLOGIA, I. P., Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, **Boletim Climatológico Anual**, Ano 2010. Disponível em: <https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20110204/PdTzSQuJAvrrwvtcdtee/cli_20100101_20101231_pcl_aa_co_pt.pdf>. Acesso em: junho de 2021.

KEIZER, J.J.; SILVA, F.C.; VIEIRA, D. C. S.; GONZÁLEZ-PELAYO, O.; CAMPOS I.; VIEIRA, A. M. D.; VALENTE, S.; PRATS, S. A. 2018. **The effectiveness of two contrasting mulch application rates to reduce post-fire erosion in a Portuguese eucalypt plantation.** *Catena* 169: 21-30. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.029>>. Acesso em: agosto de 2021.

LEITE, F.; MARTINS, C.; GONÇALVES, B. A.; VIEIRA, A. **Os incêndios florestais no distrito de Braga**, 2010.

LINN, R. R.; Canfield, J. M.; Cunningham, P.; Edminster, C.; Dupuy, J. L.; Pimont, F. **Using periodic line fires to gain a new perspective on multi-dimensional aspects of forward fire spread.** *Agricultural and Forest Meteorology* 2012; 2012 (157): p. 60-76.

LOURENÇO, Luciano; BERNARDINO, Sofia. **Condições meteorológicas e ocorrência de incêndios florestais em Portugal Continental (1971-2010).** *Cadernos de Geografia*, n. 32, p. 105-132, 2013.

MADRP, 2007. **Plano Estratégico Nacional de Desenvolvimento Rural (2007-2013).** Lisboa: Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, p. 96.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. **Impacto do fogo e dinâmica da regeneração da comunidade vegetal em borda de Floresta Estacional Semidecidual (Gália, SP, Brasil).** *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, jan.- mar. 2010, v. 33, n. 1, p. 37-50.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. **Incêndios florestais no parque nacional da Serra Da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade.** *Ciência Florestal*, Santa Maria (RS), 2004, v. 14, n. 2, p. 157-168.

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

PAZ, S.; Carmel, Y.; Jahshan, F.; Shoshany, M. **Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: a recent case study from Mt. Carmel (Israel).** *Forest Ecology and Management* 2011; 2011(262): 1184-1188. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.011>>. Acesso em: junho de 2021.

PEZZOPANE, J.; Oliveira, S. N. N.; Vilela, M. F. **Risco de incêndios em função da característica do clima, relevo e cobertura do solo.** *Floresta e Ambiente* 2001; 8(1): 161-166.

RAJABIFARD, Abbas; FEENEY, Mary-Ellen F.; WILLIAMSON, Ian P. **Future directions for SDI development.** *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2002, v. 4, n. 1, p. 11-22.

RIBEIRO, Cristina et al. **Perspectivas de Gestão Pós-Fogo: Revisão da Literatura e Análise dos Discursos dos Agentes em Portugal.** *Silva Lusitana*, 2020, v. 28, n. 2.

ROXO M.J., CORTESAO CASIMIRO P., SOEIRO DE BRITO R., 1996. **Inner Lower Alentejo field site: cereal cropping, soil degradation and desertification.** In *Mediterranean desertification and land use*, J Wiley & Sons, Chicheste, 1996, p. 111-135.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; CALIL, F. N. **CFL 506-Proteção Florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SOARES, R. V. e CORDEIRO, L. **Análise das causas e épocas de incêndios florestais na região centro-paranaense**. Curitiba: Floresta, 1974, v. 5, n. 1, p. 46-49.

SOARES, R. V. **Prevenção e controle de incêndios florestais**. Curitiba: ABEAS, 1984. p. 120

SOARES, R. V. e SANTOS, J. F. **Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997**. Curitiba: Floresta, 2003, v. 32, n. 2, p. 219-232.

SORIANO, Balbina Maria Araújo; DANIEL, Omar; SANTOS, Sandra Aparecida. **Eficiência de índices de risco de incêndios para o pantanal Sul-Mato-Grossense**. Ciência Florestal, 2015, v. 25, p. 809-816.

THACH, N.; Dang, B. N.; Pham, X.; Nguyen, H. **Ecological Informatics Spatial pattern assessment of tropical forest fire danger at Thuan Chau area (Vietnam) using GIS-based advanced machine learning algorithms: A comparative study** 2018; 46:74–85. doi:10.1016/j.ecoinf.2018.05.009.

TIEN, D. Le H Van; Hoang N. **Ecological Informatics GIS-based spatial prediction of tropical forest fire danger using a new hybrid machine learning method**. Ecol Inform 2018; 48:104–16. doi:10.1016/j.ecoinf.2018.08.008.

TORRES, F. T. P. et al. **Incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora: Minas Gerais**. Ubá: Geographica, 2008. p. 80.

TORRES, F. T. **Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG**. Rev. Árvore, Viçosa, abril 2010, v. 34, n. 2, p. 297-303.

TORRES, F. T. P. et al. **Perfil dos Incêndios em Vegetação nos Municípios de Juiz de Fora e Ubá, MG, de 2001 a 2007**. Floresta e Ambiente, 2010, v. 17, n. 2, p. 83-89.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

VASCONCELOS, S. S. et al. **Forest fires in southwestern Brazilian Amazonia: estimates of area and potential carbon emissions**. Forest Ecology and Management, Amsterdam, 2013, v. 291, p. 199-208.

TORRES F. T. P, RIBEIRO G. A., MARTINS S. V., LIMA G. S. **Mapeamento da suscetibilidade a ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG**. Árvore 2014; 38(5): 811-817. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000500005>>. Acesso em: junho de 2021.

TORRES, F. T. **Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento**. Floresta Ambient., Seropédica, v. 24, e00025615, 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S217980872017000100121&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: agosto de 2021.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira et al. **Análise do perfil dos incêndios florestais no parque estadual da serra do brigadeiro e entorno (MG)**. *Ciência Florestal*, 2018, v. 28, n. 3, p. 1008-1021.

VAKALIS, D.; SARIMVEIS, H.; KIRANOUDIS, C. T.; ALEXANDRIDIS, A.; BAFAS, G. **A GIS based operational system for wildland fire crisis management II**. System architecture and case studies. *Applied Mathematical Modelling* 2004; 28(4): 411-425. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2003.10.006>>. Acesso em: junho de 2021.

VALERIANO, M. M. **Dados topográficos**. In: FLORENZANO, T. G *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de textos, 2008. p.72-104.

YANG, J.; HEALY, H. S.; SHIFLEY, S. R.; GUSTAFSON, E. J. **Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark Highlands**. *Forest Science* 2007; 53 (1): p. 1-15.