

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

**Modelação da propagação de incêndios rurais
no Alto Minho.**
Aplicação do modelo de propagação de incêndios
FlamMap

Tiago Manuel Gonçalves Brito

M

2024/2025



Tiago Manuel Gonçalves Brito

Modelação da propagação de incêndios rurais no Alto Minho.

Aplicação do modelo de propagação de incêndios

FlamMap

Relatório realizado no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientado pela Professora Doutora Susana da Silva Pereira.

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2024/2025

Índice

Índice	3
Agradecimentos	5
Resumo.....	6
Abstract	7
1.Introdução.....	10
1.1. Instituição de Estágio.....	10
1.2. Estrutura e objetivos do estágio.....	12
2.Software FlamMap	13
3.Área de estudo: o Alto Minho	14
3.1. Caracterização da área de estudo	14
3.2. Pontos de ignição de incêndios rurais	25
4.Metodologia	35
4.1. Dados e preparação dos inputs	36
4.2. Criação da Paisagem (Landscape)	50
4.3. Simulações do comportamento básico do fogo	51
4.4. Conjugação e análise dos outputs dos resultados no ArcGIS Pro	53
5.Resultados	54
6.Considerações Finais	60
Referências Bibliográficas	61

Agradecimentos

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à Doutora Susana da Silva Pereira, pela forma como me acolheu durante o período de estágio. A sua orientação, o constante incentivo e a ajuda ao longo deste período, foram fundamentais para o meu crescimento. Agradeço ainda pelas críticas construtivas e conselhos que me permitiram aprimorar as minhas capacidades e expandir o meu conhecimento.

Agradeço ao Professor Doutor Rafaello Bergonse, pela disponibilidade para esclarecer as minhas dúvidas sobre os problemas que encontrei ao longo do trabalho. O seu apoio foi essencial para ultrapassar obstáculos técnicos, nomeadamente no uso do FlamMap.

Agradeço também aos colegas Jorge Costa e Sara Teixeira, pela colaboração e pelo auxílio nas dificuldades encontradas durante o estágio. O vosso apoio foi crucial para a realização do trabalho.

Por fim, não poderia deixar de expressar a minha gratidão ao Professor Doutor Alberto Gomes e ao Professor Doutor José Teixeira, cujos conselhos e as enriquecedoras conversas no Laboratório de Geografia Física foram extremamente importantes para me ajudar na elaboração do trabalho, ampliando a minha visão e conhecimento.

Resumo

A modelação da propagação de incêndios rurais é fundamental para a prevenção e mitigação de danos ambientais e socioeconómicos. Este estudo analisa a propagação de incêndios na área geográfica do Alto Minho corresponde à NUT III do Minho-Lima, em Portugal, através da aplicação do software FlamMap. O objetivo principal consistiu em simular diferentes cenários de incêndio e propagação do fogo, utilizando dados geoespaciais e modelos de combustível adaptados à área de estudo.

A metodologia envolveu três etapas principais: a recolha e preparação de dados geoespaciais no ArcGIS Pro, a simulação do comportamento do fogo no FlamMap e a análise dos outputs no ArcGIS Pro. Os principais fatores considerados na modelação foram a topografia, a vegetação, a cobertura de copas e os pontos de incêndios S históricos. Além destas, foram utilizadas variáveis para modelar a intensidade da linha de fogo, a taxa de propagação, o comprimento das chamas e o calor liberado por unidade de área.

Os resultados indicam que os concelhos do interior, como Arcos de Valdevez, Ponte da Barca e Melgaço, apresentam a maior probabilidade de ocorrência de incêndios rurais devido à elevada densidade florestal e à topografia accidentada. Já os municípios próximos da costa, como Viana do Castelo e Caminha, apresentam menor propagação de fogo, devido a fatores climáticos como a maior humidade e menor carga de combustível. Além disso, obteve-se uma redução no número de ignição ao longo dos últimos 20 anos, possivelmente associada às medidas de gestão florestal e combate a incêndios.

Este estudo reforça a importância da modelação de incêndios para o ordenamento do território e a gestão de risco, permitindo desenvolver estratégias mais eficazes para a prevenção e mitigação de incêndios rurais na região.

Palavras-chave: Modelação de incêndios, FlamMap, Alto Minho, propagação do fogo, SIG.

Abstract

Modelling the spread of rural fires is essential for preventing and mitigating environmental and socio-economic damage. This study analyses the spread of fires in the geographical area of Alto Minho, which corresponds to NUT III Minho-Lima in Portugal, using the FlamMap software. The main objective was to simulate different fire and fire spread scenarios using geospatial data and fuel models adapted to the study area.

The methodology involved three main stages: collecting and preparing geospatial data in ArcGIS Pro, simulating fire behaviour in FlamMap and analysing the outputs in ArcGIS Pro. The main factors considered in the modelling were topography, vegetation, canopy cover and historical fire hotspots. In addition to these, variables were used to model the intensity of the fire line, the rate of spread, the length of the flames and the heat released per unit area.

The results indicate that inland municipalities such as Arcos de Valdevez, Ponte da Barca and Melgaço have the highest probability of rural fires due to their high forest density and rugged topography. On the other hand, municipalities close to the coast, such as Viana do Castelo and Caminha, have less fire spread due to climatic factors such as higher humidity and lower fuel loads. In addition, there has been a reduction in the number of ignitions over the last 20 years, possibly associated with forest management and firefighting measures.

This study reinforces the importance of fire modelling for land use planning and risk management, enabling more effective strategies to be developed for the prevention and mitigation of rural fires in the region.

Keywords: Fire modelling, FlamMap, Alto Minho, fire spread, GIS.

Índice de Figuras

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DO ALTO MINHO E DOS MUNICÍPIOS INTEGRANTES.....	15
FIGURA 2. CLASSES HIPSOMÉTRICAS (EM METROS) DO ALTO MINHO.....	16
FIGURA 3. DECLIVES (GRAUS) ALTO MINHO	17
FIGURA 4. PERCENTAGEM DE COBERTURA DE COPAS NO ALTO MINHO	19
FIGURA 5. EXPOSIÇÃO DE VERTENTES, NO ALTO MINHO	20
FIGURA 6. DISTRIBUIÇÃO DOS MODELOS DE COMBUSTÍVEL, NO ALTO MINHO	22
FIGURA 7. EVOLUÇÃO DOS PONTOS DE IGNIÇÃO NO ALTO MINHO (2003 A 2023).	26
FIGURA 8. NÚMERO DE PONTOS DE IGNIÇÃO POR CONCELHO.....	27
FIGURA 9. EVOLUÇÃO ANUAL DO NÚMERO DE PONTOS DE IGNIÇÃO NOS CONCELHOS DO ALTO MINHO (2003 A 2023).	28
FIGURA 10. DENSIDADE DOS PONTOS DE IGNIÇÃO PARA OS 20 ANOS (2003 A 2023).....	29
FIGURA 11. DENSIDADE DOS PONTOS DE IGNIÇÃO NO ALTO MINHO EM 2003 (A), 2004 (B) 2005 (C) E 2006 (D).....	30
FIGURA 12. DENSIDADE DOS PONTOS DE IGNIÇÃO NO ALTO MINHO EM 2007 (E), 2008 (F) 2009 (G) E 2010 (H).....	31
FIGURA 13. DENSIDADE DOS PONTOS DE IGNIÇÃO NO ALTO MINHO EM 2011 (I), 2012 (J) 2013 (K) E 2014 (L).	32
FIGURA 14. DENSIDADE DOS PONTOS DE IGNIÇÃO NO ALTO MINHO EM 2015 (M), 2016 (N) 2017 (O) E 2018 (P).	33
FIGURA 15. U- DENSIDADE DOS PONTOS DE IGNIÇÃO NO ALTO MINHO EM 2023;.....	35
FIGURA 16. MODELO DE COMBUSTÍVEL CUSTOMIZADO.....	48
FIGURA 17. CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS DE COMBUSTÍVEL (FERNANDES & LOUREIRO, 2022).....	48
FIGURA 18. MODELO DE HUMIDADE DOS COMBUSTÍVEIS	49
FIGURA 19. PAINEL DE CRIAÇÃO DA LANDSCAPE	50
FIGURA 20. VISTA DA CAMADA DOS MODELOS DE COMBUSTÍVEL NO LAYOUT DO FLAMMAP	51
FIGURA 21. JANELA DE ENTRADA DOS DADOS GERAIS NO FLAMMAP	52
FIGURA 22. SELEÇÃO DE DADOS DE ENTRADA E OUTPUTS NO FLAMMAP.....	53
FIGURA 23. INTENSIDADE DA LINHA DE FOGO (KW/M).....	55
FIGURA 24. TAXA DE PROPAGAÇÃO DO FOGO (M/S), ALTO MINHO.	57
FIGURA 25. COMPRIMENTO DAS CHAMAS, NO ALTO MINHO.	58
FIGURA 26. CALOR POR UNIDADE DE ÁREA (KJ/M ²), NO ALTO MINHO.	60

Índice de Tabelas

TABELA 1. CRONOGRAMA DO ESTÁGIO	12
TABELA 2. IMAGENS REPRESENTATIVAS DOS MODELOS DE COMBUSTÍVEL (FERNANDES & LOUREIRO, 2022)...	22
TABELA 3. CARACTERÍSTICAS DOS DADOS DE BASE.	36
TABELA 4. TEMAS UTILIZADOS NA CRIAÇÃO DA <i>LANDSCAPE</i>	38
TABELA 5. MODELOS DE COMBUSTÍVEL UTILIZADOS EM PORTUGAL CONTINENTAL (ADAPTADO DE FERNANDES ET AL., 2009).	40
TABELA 6. CLASSES DA COS POR MODELO DE COMBUSTÍVEL.....	43
TABELA 7. DADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO DE COMBUSTÍVEL CUSTOMIZADO.....	46
TABELA 8. DADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO FICHEIRO DE HUMIDADE INICIAL DO COMBUSTÍVEL.	48

1. Introdução

Este relatório foi elaborado no âmbito da unidade curricular de Estágio em SIG e OT, que se insere no primeiro semestre do segundo ano de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica. A instituição que me acolheu durante este estágio foi o Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), sediado na Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP), sob a orientação da Professora Doutora Susana Pereira.

1.1. Instituição de Estágio

O Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT) foi reconhecido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), em dezembro de 2008 como centro de investigação e desenvolvimento sem fins lucrativos. Este centro de investigação é constituído por professores e investigadores do Departamento de Geografia da Universidade do Porto e do Departamento de Geografia e Turismo da Universidade de Coimbra (<https://cegot.pt/pt/apresentacao>). A grande parte dos membros tem como área de formação a Geografia. Ao longo dos anos, o CEGOT tem vindo a reforçar o seu carácter multidisciplinar recrutando investigadores de áreas como a Engenharia, o Turismo, a Geologia, a Saúde Pública, o Urbanismo, entre outras (<https://cegot.pt/pt/apresentacao>).

Nos dias de hoje, o CEGOT conta com um total de 163 investigadores, 51 integrados e 112 colaboradores, sendo constituído por 42 estudantes de doutoramento. Apresenta-se como um grupo essencialmente jovem, sendo que 46% dos integrantes têm idades inferiores a 45 anos e 49% são mulheres (<https://cegot.pt/pt/apresentacao>).

A visão do CEGOT passa pela criação de soluções sustentáveis para um mundo em que os territórios estão em profunda transformação. Por sua vez, a missão centra-se em conectar os investigadores e a ciência à sociedade, com o objetivo de se transformar em um centro de investigação de excelência e referência em Geografia e Ordenamento do território.

Os principais objetivos estratégicos do CEGOT são:

1. Integrar ciência, política e prática, abrangendo escalas do local ao global. O centro valoriza a criação de uma cultura colaborativa para criar e produzir conhecimento, que constitui a essência do seu trabalho.
2. Impulsionar o avanço do conhecimento, promovendo qualidade e inovação. O CEGOT compromete-se com elevados padrões éticos de investigação, ideias inovadoras, resultados que superem o estado da arte, processos transparentes, partilha e reutilização sistemática de dados e resultados, bem como a reproduzibilidade e abertura científica.
3. Investir no desenvolvimento humano: fomentar a formação e o crescimento profissional. O centro assegura uma interação significativa entre investigação científica e educação avançada, proporcionando aos doutorandos e pós-doutorandos um ambiente de pesquisa enriquecedor, que estimule o pensamento crítico, a criatividade e o talento.
4. Comunicar e sensibilizar. Uma vez que, o centro adota uma abordagem estratégica de comunicação, pautada pela interatividade, inclusão, transparência, honestidade e abertura.

O centro organiza-se em três grupos de investigação, sendo estes: G1) Natureza e Dinâmicas Ambientais; G2) Cidades e Desenvolvimento Territorial e G3) Turismo, Património e Território.

Este estágio insere-se no grupo de investigação G1) Natureza e Dinâmicas Ambientais, que se concentra no estudo de riscos naturais, vulnerabilidades e riscos. Aqui são estudados os processos naturais que conduzem a manifestações de risco, seja em áreas rurais ou áreas urbanas (sísmicos; geomorfológicos; climáticos; hidrológicos; incêndios), através da implementação de modelos cartográficos inovadores. A investigação foca-se também na vulnerabilidade, uma dimensão chave para a compreensão das consequências e impactos derivados das manifestações de risco.

O tema desenvolvido durante o estágio, inserido nas áreas já referidas, comprehende a área dos incêndios rurais sobre o tema da modelação da propagação de incêndios rurais na região do Alto Minho.

1.2. Estrutura e objetivos do estágio

Os principais objetivos deste estágio incluem:

- 1) Desenvolver diversos cenários de ignição e propagação de áreas ardidas no noroeste de Portugal (Minho);
- 2) Calibrar e validar as configurações do comportamento do fogo utilizando o software FlamMap.

O cronograma apresentado na Tabela 1 serviu de base para a execução das tarefas durante o estágio, com uma duração total de 108 horas.

Tabela 1. Cronograma do estágio

Tarefa	Duração	Data de Início	Data de Conclusão
Identificar os pontos de ignição	2 semanas	1 de outubro	14 de outubro
Cartografar os fatores ambientais para o FlamMap	4 semanas	15 de outubro	4 de novembro
Calibrar os parâmetros de propagação no FlamMap	4 semanas	5 de novembro	9 de dezembro
Revisões e ajustes finais	1 semana	10 de dezembro	20 de dezembro

No âmbito do estágio foram também desenvolvidas outras tarefas fora do tema de trabalho, no entanto, enquadram-se nas atividades desenvolvidas no Laboratório de Geografia Física como foi o caso de uma formação introdutória ao Modelo TRIGS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability). Esta formação foi lecionada pela Professora Doutora Bianca Carvalho Vieira da Universidade de São Paulo e o Professor Doutor Tiago Damas Martins também da Universidade de São Paulo, Brasil.

Além das tarefas referidas anteriormente, foram desempenhadas funções de logística, manutenção e relações-públicas no Laboratório de Geografia Física.

2. Software FlamMap

Neste estudo, o software utilizado foi o FlamMap na versão 6 (Finney, 2023). Este foi criado pelos Serviços Florestais dos Estados Unidos da América (USFS) e é utilizado desde 2003. Este software pode simular características sobre o comportamento de fogos florestais (taxa de propagação, comprimento da chama, intensidade da linha de fogo entre outras), crescimento e propagação do incêndio e probabilidades condicionais de queima sob condições ambientais constantes (Finney, 2023).

Segundo Finney (2006), este software é um sistema de mapeamento e análise que descreve o comportamento potencial do incêndio, em que as condições ambientais são constantes (clima e humidade do combustível). O cálculo do comportamento do fogo é realizado de forma independente para cada célula dentro do arquivo paisagem. Os cálculos do comportamento potencial do fogo abrangem a propagação de um fogo na superfície, o comprimento da chama e o tipo de atividade do fogo na copa. Este cálculo relaciona a humidade do combustível morto, a condição dos combustíveis mortos em cada célula com a inclinação, sombreamento, elevação, a exposição das vertentes e o clima (Finney, 2023).

O FlamMap inclui o FARSITE (Finney, 1998), o FlamMap BASIC (Finney, 2002,2006), o Minimum Travel Time (MTT) (Finney, 2001, 2006, 2007) e Conditional Burn Probability Finney (xxxx; 2001, 2005, 2006). O programa incorpora os seguintes modelos de comportamento do fogo (Finney, 2023):

1. Modelo de propagação de fogo de superfície de Rothermel (1972);
2. Modelo de iniciação de fogo de copa de Van Wagner (1977);
3. Modelo de propagação de incêndios florestais de Rothermel (1991);
4. Modelo de observação de Albini (1979);
5. O método de cálculo de incêndio de copa de Finney (1998) (Finney, 1998) ou Scott e Reinhardt (2001);
6. O modelo de humidade de combustível morto de Nelson (2000).

Alguns exemplos de aplicação dos modelos de propagação de incêndios florestais incluem o trabalho de Antunes (2023), intitulado “*Avaliação da suscetibilidade e probabilidade de incêndios rurais no Alto Minho em Ambiente SIG*”. Outro exemplo é o estudo de Paixão (2014), “*Simulação de fogo em zonas florestais no Alentejo Central*”.

Outros trabalhos relevantes são os de Mérida (2010), com o título 'Análise do Comportamento do Fogo na Mata Nacional de Leiria', e o estudo de Neves (2024), “*Estudo da Micrometeorologia e Comportamento do Fogo em Três Tipos de Floresta da Região Centro de Portugal*”.

Além disso, o estudo de Oliveira et al. (2016), “*Assessing the Effect of a Fuel Break Network to Reduce Burnt Area and Wildfire Risk Transmission*”, também é um exemplo significativo.

3. Área de estudo: o Alto Minho

3.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo é a sub-região do Alto Minho NUT III (Nomenclatura de Unidade Territorial para Fins Estatísticos) integrante da NUT II Norte. Esta localiza-se no extremo noroeste de Portugal Continental, fazendo fronteira a Norte e a Este com a região da Galiza-Espanha, a Sul com a sub-região Cávado e a Oeste com o Oceano Atlântico. É característica desta região as áreas naturais, podendo encontrar assim diversas paisagens protegidas como o Parque Nacional Peneda Gerês e a Rede Natura 2000.

Esta sub-região tem uma área total de 2218,84 km². Segundo o INE (Instituto Nacional de Estatística) o Alto Minho apresenta uma população de 231 266 habitantes (censos 2021). O Alto Minho é composto por 10 concelhos sendo eles Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo e Vila Nova de Cerveira (Figura 1).

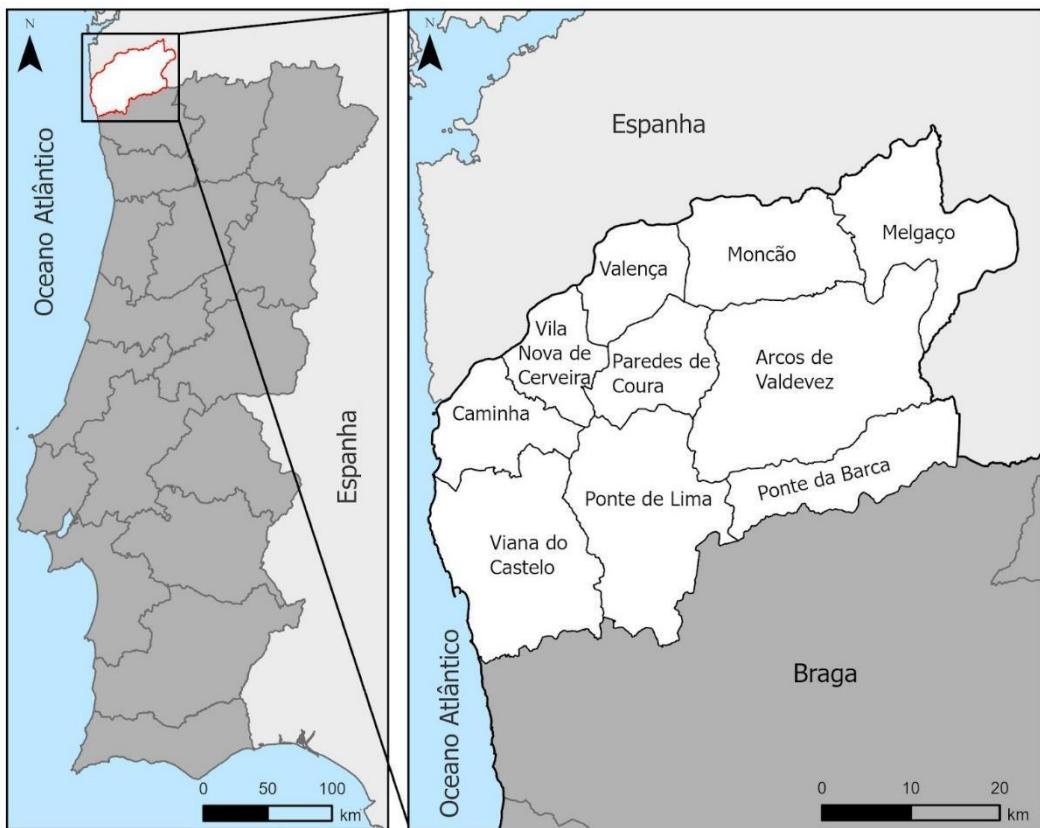


Figura 1. Localização do Alto Minho e dos municípios integrantes.

A hipsometria da sub-região do Alto Minho revela uma área de contrastes morfológicos significativos. A nordeste, destacam-se as serras, como a Serra d'Arga e a Serra do Soajo, que apresentam altitudes elevadas. Em contraste, os fundos dos vales dos rios Minho, Lima e Vez, são caracterizados por altitudes mais baixas e terrenos mais planos. A oeste, a plataforma litoral apresenta uma topografia relativamente uniforme e de baixa altitude.

Áreas com classe de elevação inferior a 100m, são a classe predominante, representando aproximadamente 24,8% da superfície total, localizadas principalmente no litoral e nos vales centrais ao longo dos rios Minho e Lima.

Mais de 50% da área possui altitudes inferiores a 300 metros. À medida que se avança para o interior da sub-região, observa-se um aumento gradual na altitude, uma vez que nos aproximamos das Serras do nordeste de Portugal. Próximas do litoral, destacam-se

áreas montanhosas de maior altitude, como a Serra de Santa Luzia (Viana do Castelo), com aproximadamente 470 metros, e a Serra d'Arga (Viana do Castelo, Caminha e Ponte de Lima), com 825 metros de altitude. No interior, encontram-se o pico do Soajo na Serra do Soajo, com 1416 metros, o pico da Nevosa na Serra Amarela, com 1362 metros, o pico da Peneda, com 1340 metros, e o pico da Coroa no Planalto de Castro Laboreiro, com 1060 metros de altitude. Mais de 12% da área de estudo possui altitudes superiores a 800 metros (Figura 2).

Os dados da hipsometria foram reclassificados segundo a classificação do ICNF (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas) da metodologia da Carta de Perigosidade (ICNF, 2020).

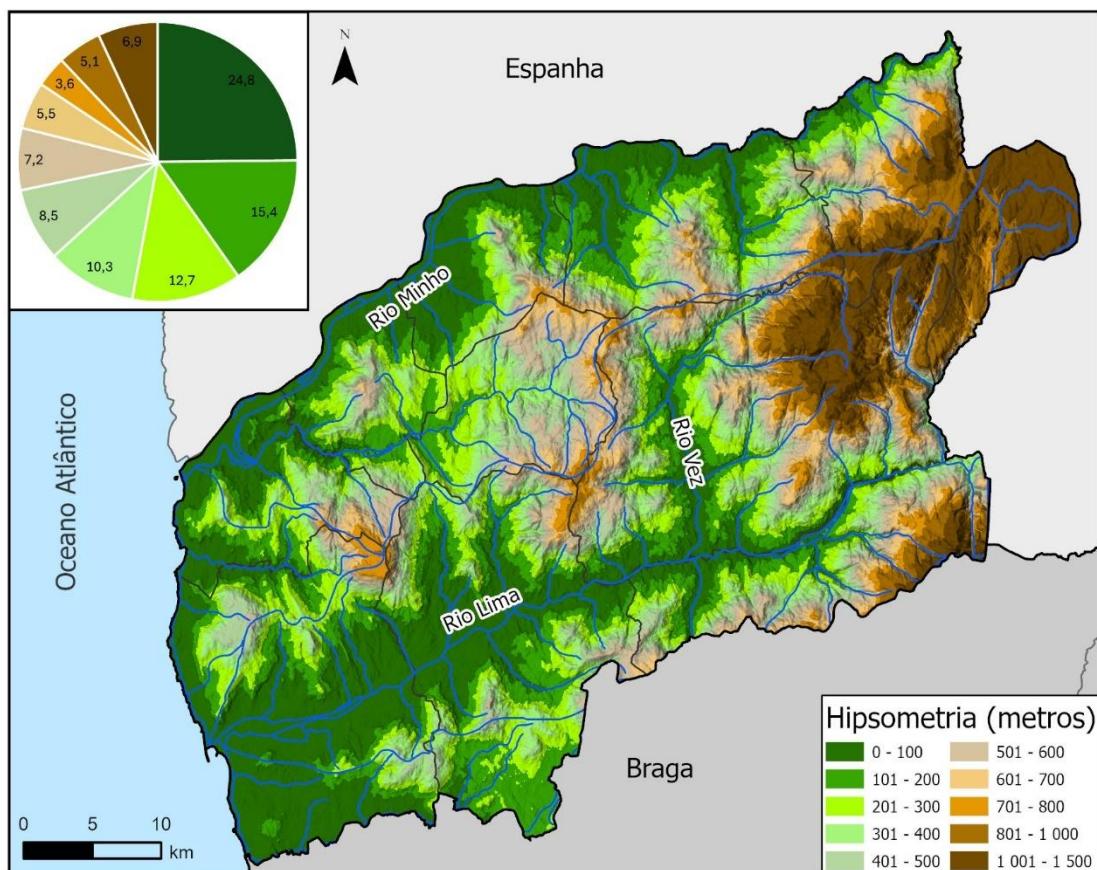


Figura 2. Classes hipsométricas (em metros) do Alto Minho.

A análise do mapa de declives confirma a grande heterogeneidade. Os vales dos rios Minho, Lima e Vez destacam-se como áreas de baixos declives ($0\text{--}5^\circ$ e $5,1\text{--}10^\circ$), ocupando 47,2% do território, caracterizadas por terrenos predominantemente planos ou ligeiramente inclinados. Essas áreas são altamente utilizadas para a agricultura, urbanização e infraestruturas. Em contrapartida, os maiores declives ($15,1\text{--}20^\circ$ e $>20^\circ$), que ocupam 30 % do território, estão concentrados nas serras da Peneda e do Gerês. Esses locais são caracterizados por terrenos acidentados, que limitam a ocupação humana direta, mas favorecem a preservação de florestas naturais (Figura 3).

Os dados dos declives foram reclassificados de acordo com a classificação utilizada pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) na metodologia da Carta de Perigosidade (ICNF, 2020).

A figura 4 apresenta a percentagem de cobertura de copas, esta foi obtida a partir dos

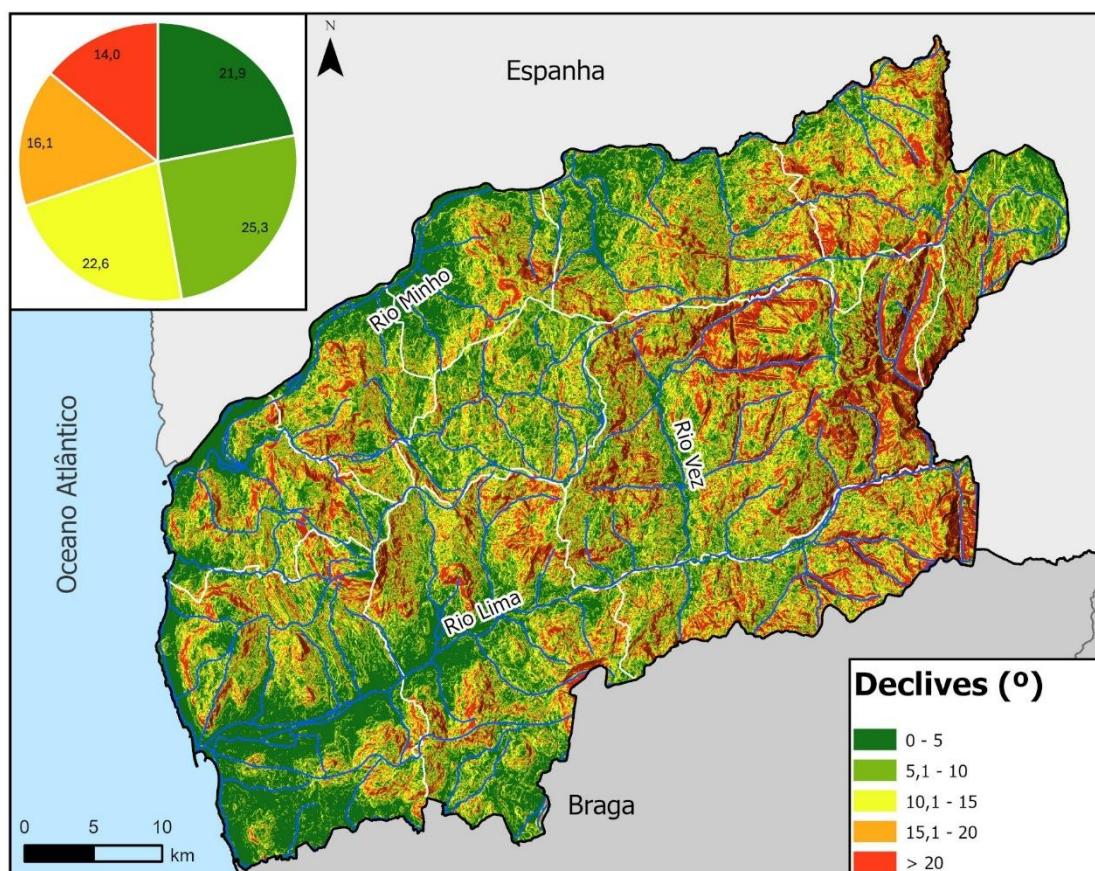


Figura 3. Declives (graus) Alto Minho

foto-pontos localizados na área de estudo e provenientes do Inventário Florestal

Nacional de 2015. No total foram reunidos 8.861 pontos, aos quais foi realizada uma nova seleção dos pontos com valores de cobertura de copas, resultando num total de 2.634 pontos com percentagem de cobertura.

Cada ponto apresenta a percentagem de cobertura como um intervalo. Com base neste intervalo foi calculado o valor médio de modo a determinar a percentagem de cobertura e, em seguida, calculou-se a média desses valores para os pontos de cada tipo de uso do solo. Na tabela de atributos da COS 2018 nível 4, foi atribuído um valor de cobertura a cada classe, conforme o uso do solo correspondente. As classes sem cobertura foram reclassificadas com o valor 0. Por fim, a COS foi convertida do formato vetorial para matricial.

No que diz respeito à cobertura das copas (Figura 4), as áreas sem cobertura (ocupam 10,1% do território) abrangem espaços urbanos, massas de água ou rochas nuas, onde há atividade humana ou ausência de vegetação dominante, refletindo a influência da ocupação do solo. As áreas com cobertura de copas entre 1–20% ocupam 47,5% da área, indicando paisagens fragmentadas ou de uso do solo com baixa vegetação arbórea, como campos agrícolas ou zonas em regeneração. Essa classe representa locais onde a cobertura florestal está em estágio inicial ou é limitada por fatores climáticos, de solo ou devido ao uso intensivo da terra.

Por outro lado, a percentagem de cobertura de copas registadas concentram-se principalmente na classe de 50–80%, ocupando 42,4% do território. No entanto, não se registam densidades máximas superiores a 80%, características de florestas primárias ou ecossistemas extremamente densos.

A ausência de valores intermediários de cobertura entre 20–50% é um aspecto marcante, especialmente na paisagem da região. Essa ausência pode ser atribuída a um manuseamento intensivo, no qual áreas florestadas ou agrícolas são mantidas com densidades contrastantes sem transições graduais; à concentração de uso do solo, onde florestas coexistem com áreas urbanizadas ou agrícolas sem gradientes intermediários; ou ainda fatores ecológicos, como topografia ou tipo de solo, que suportam apenas

densidades muito baixas ou moderadas. (Figura 4). Os dados da cobertura das copas foram reclassificados de acordo com a informação do software FlamMap (Finney, 2023).

A exposição das vertentes no Alto Minho revela uma distribuição relativamente uniforme, com algumas predominâncias notáveis. As vertentes orientadas a oeste

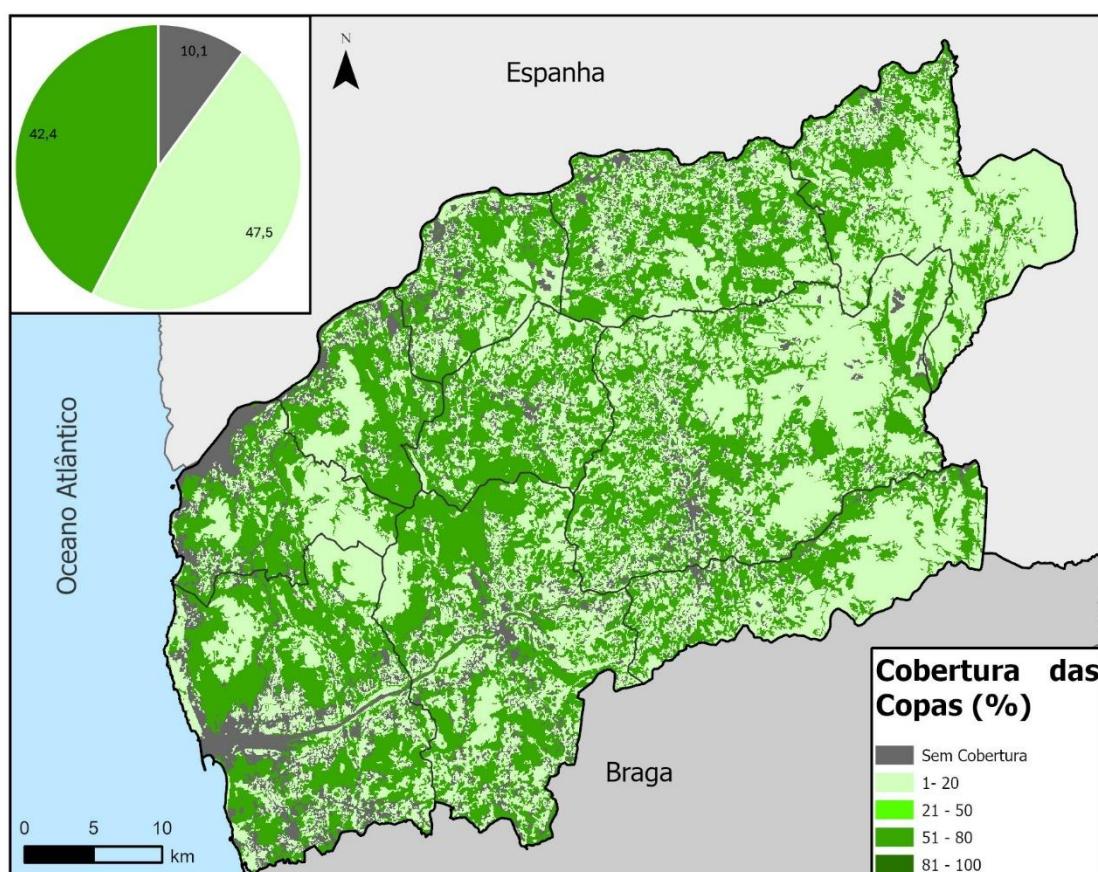


Figura 4. Percentagem de cobertura de copas no Alto Minho

ocupam 16,6% do território, seguidas pelas vertentes a noroeste, que correspondem a 15%. As áreas planas são praticamente inexistentes, representando apenas 0,8% da área total. Além disso, observam-se padrões diferenciados entre as margens dos rios Lima e Minho. Na margem direita do rio Lima, predominam as vertentes expostas a sudeste, sul e sudoeste, refletindo uma maior incidência de radiação solar nessas áreas. Já na margem esquerda do rio Lima e ao longo do rio Minho, verifica-se a predominância de vertentes voltadas para norte, nordeste e noroeste, caracterizando regiões menos expostas ao sol direto e, possivelmente, mais frescas e húmidas.

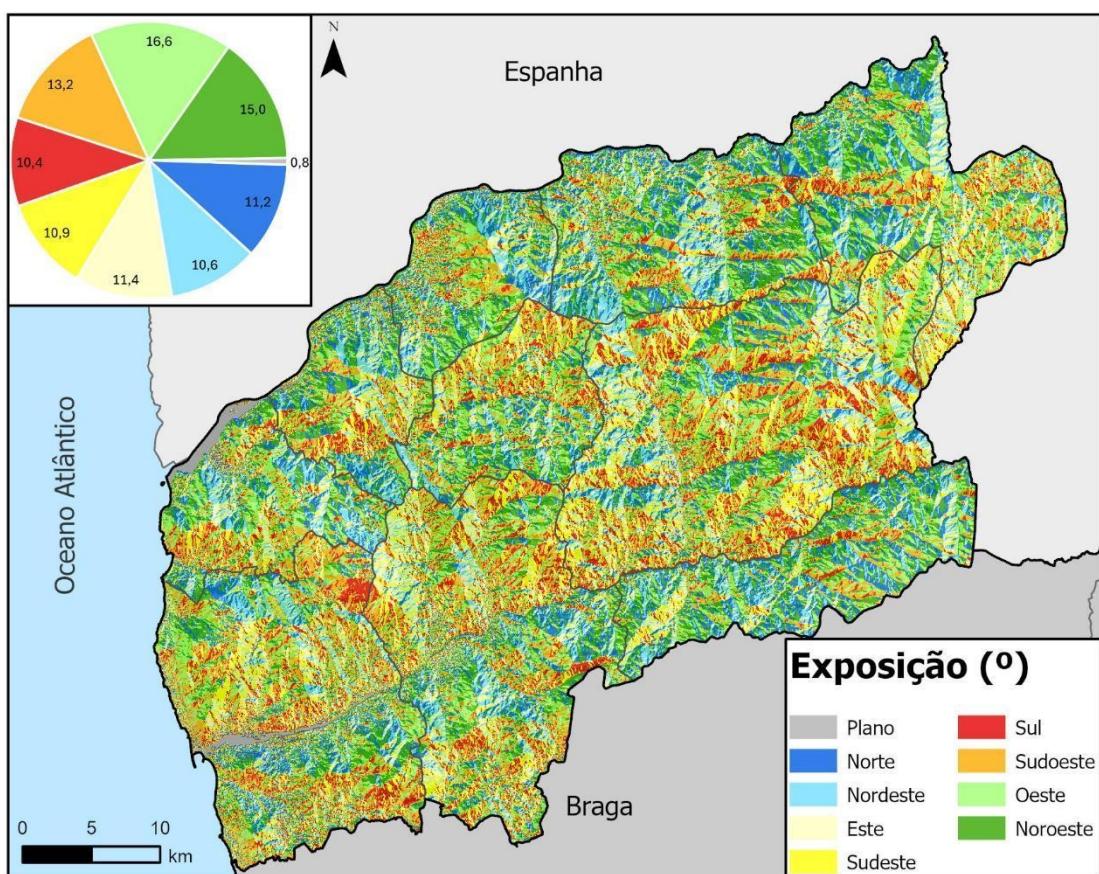


Figura 5. Exposição de vertentes, no Alto Minho

A figura 6 oferece uma visão detalhada sobre a distribuição dos modelos de combustível na sub-região do Alto Minho. De forma geral, observa-se que as classes de vegetação com maior ocupação territorial, especialmente aquelas associadas a maior carga de combustível, desempenham um papel crucial na vulnerabilidade regional a incêndios.

A classe de modelo de combustível mais representativa é a "V-MAa" (Mato alto) (Fernandes & Loureiro, 2022), que ocupa 26,4% da área total. Esta classe, caracterizada por elevada carga de combustível (12 a 27 t/ha), destaca-se como a principal cobertura territorial na região (matos de urze, tojo ou carqueja, giestal velho). Em seguida, aparecem "M-PIN" (folhada de pinheiro de agulha média a longa com sub-bosque arbustivo) com 16,0% da ocupação da área, esta caracteriza-se pela ocupação de pinhais.

Outras classes de vegetação, como "V-Ha" (Vegetação herbácea alta) e "V-Hb" (vegetação herbácea baixa), possuem percentuais intermediários, com 12,4% e 6,4%, respectivamente.

Por outro lado, a classe "F-FOL" (folhada compacta de folhosas com folha caduca ou perene), está presente na região, mas ocupa uma percentagem muito reduzida do solo (24 pixéis), correspondendo a 0,01% de ocupação.

Além disso, a classe "Não Incineráveis", que corresponde a áreas urbanas, corpos d'água e outros elementos não vegetais, ocupa 10,1% da área total, funcionando como barreiras naturais à propagação de incêndios. A classificação dos combustíveis foi realizada segundo os critérios de (Fernandes & Loureiro, 2022; Fernandes et al., 2009) para os modelos de combustíveis aplicáveis às áreas de vegetação. Já a classificação dos modelos de combustível não incineráveis foi baseada nos parâmetros descritos por (Scott & Burgan, 2005). Na tabela dois é apresentada a imagem a imagem representativa de cada modelo.

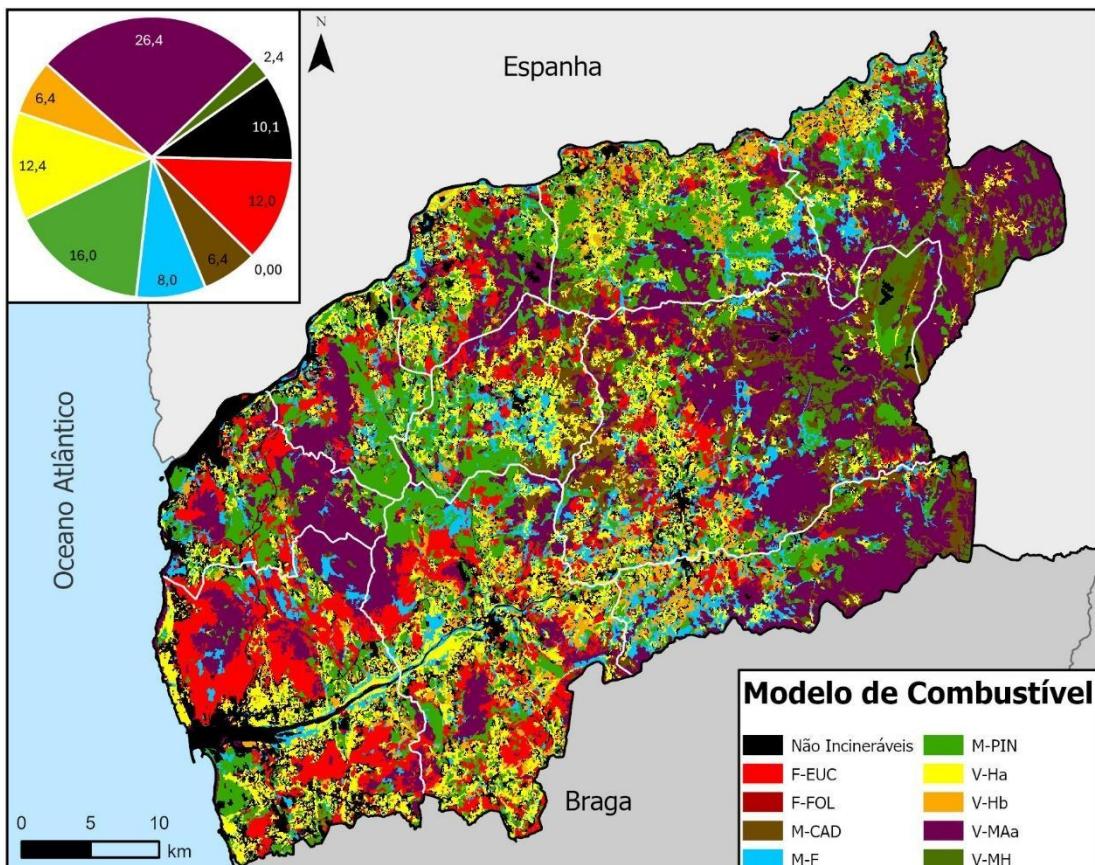


Figura 6. Distribuição dos modelos de combustível, no Alto Minho

Tabela 2. Imagens representativas dos modelos de combustível (Fernandes & Loureiro, 2022)

Modelo de combustível	Imagen representativa
F-EUC	

F-FOL	
M-CAD	
M-F	
M-PIN	

V-Ha	
V-Hb	
V-MAa	
V-MH	

3.2. Pontos de ignição de incêndios rurais

Nesta secção do trabalho procurou-se fazer um histórico dos últimos 20 anos (2003 até 2023) dos pontos de ignição, de modo a analisar a sua distribuição espacial, variação anual e maior densidade de ignições por município. A partir desta análise pretende-se identificar os locais com maior frequência espaço-temporal com ocorrência de pontos de ignição para o modelo de propagação do fogo.

Na figura 7 está representado o número de pontos de ignição na sub-região do Alto Minho, ao longo dos últimos 20 (2003 e 2023) anos, evidenciando uma tendência global de redução significativa ao longo do tempo. Inicialmente, observam-se grandes flutuações nos primeiros anos, seguidas de uma estabilização dos valores mais baixos a partir de 2016. De forma mais detalhada, o período entre 2003 e 2010 é marcado por oscilações acentuadas no número de ignições, com os maiores valores no ano de 2005, ultrapassando as 2500 ignições (2597), e em 2010, com valores acima de 2000 ignições (2269). Entre esses picos, verificou-se uma redução considerável, como em 2008, quando o número de ignições caiu para 691.

No período de 2011 a 2015, observa-se outro pico em 2011 com o número de ignições próximo dos 2500 pontos de ignição (2428), mas, a partir de 2013, há uma descida acentuada no número de ignições. Este período marca o início de uma tendência decrescente mais consistente.

A partir de 2016, o número de ignições estabiliza em níveis significativamente mais baixos em comparação com os anos anteriores. O ano de 2019 apresenta baixo número de ignições (556). Nos últimos anos, entre 2021 e 2023, o número de ignições mantém-se relativamente estável, com um ligeiro aumento em 2022, seguido de uma nova redução em 2023.

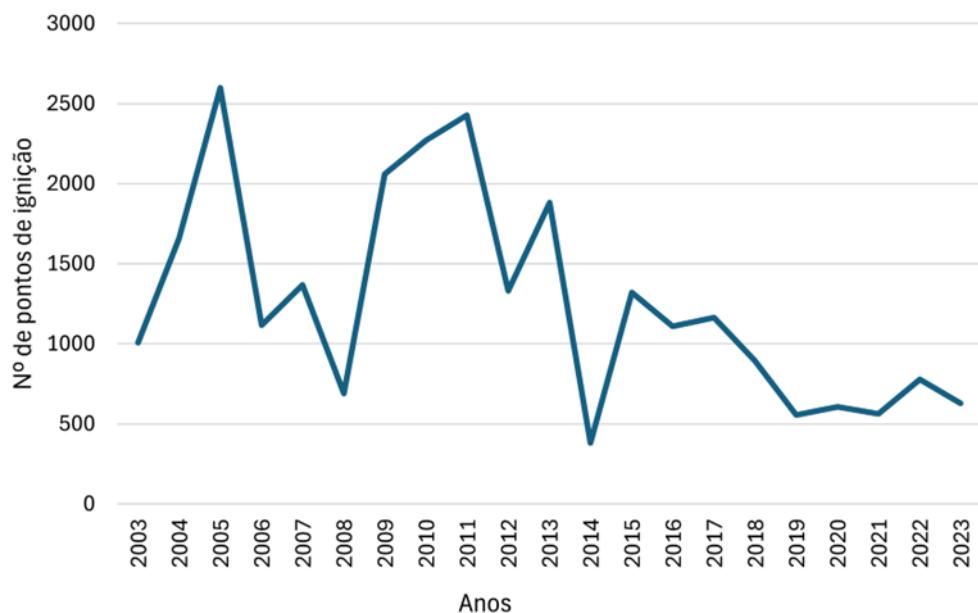
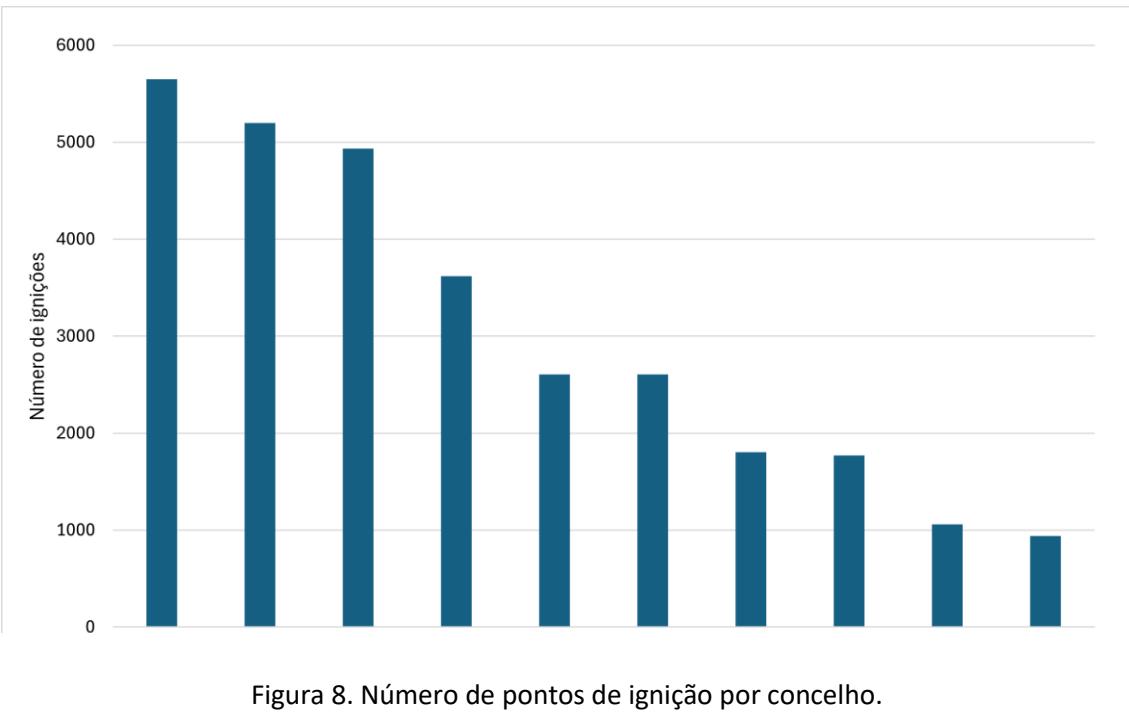


Figura 7. Evolução dos pontos de ignição no Alto Minho (2003 a 2023).

A figura 8 apresenta a distribuição total do número de pontos de ignição por concelho, evidenciando diferenças significativas na frequência de ocorrências entre os territórios. De forma geral, destaca-se que os concelhos de Ponte de Lima (5.650 ignições), Viana do Castelo (5.200 ignições) e Arcos de Valdevez (4.935 pontos) concentram o maior número de ignições, enquanto Vila Nova de Cerveira (938 pontos), Melgaço (1.060 ignições) e Caminha (1.773 pontos) registam os valores mais baixos.



A figura 9 ilustra a evolução do número de ignições ao longo dos últimos 20 anos (2003 e 2023) nos concelhos do Alto Minho. Entre 2005 e 2017, registaram-se picos acentuados de ignições, com destaque para os anos de 2007, 2009, 2013, 2015 e 2017, indicando uma elevada incidência de incêndios nesses períodos. Após 2017, observa-se uma redução significativa no número de ignições na maioria dos concelhos.

Entre os concelhos analisados, Ponte de Lima e Viana do Castelo destacam-se com os valores mais elevados ao longo dos anos, frequentemente ultrapassando as 400 ignições anuais, evidenciando uma maior vulnerabilidade a incêndios. Em contraste, concelhos como Vila Nova de Cerveira e Melgaço apresentam valores mais baixos de ignições, sugerindo um menor risco de incêndios florestais.

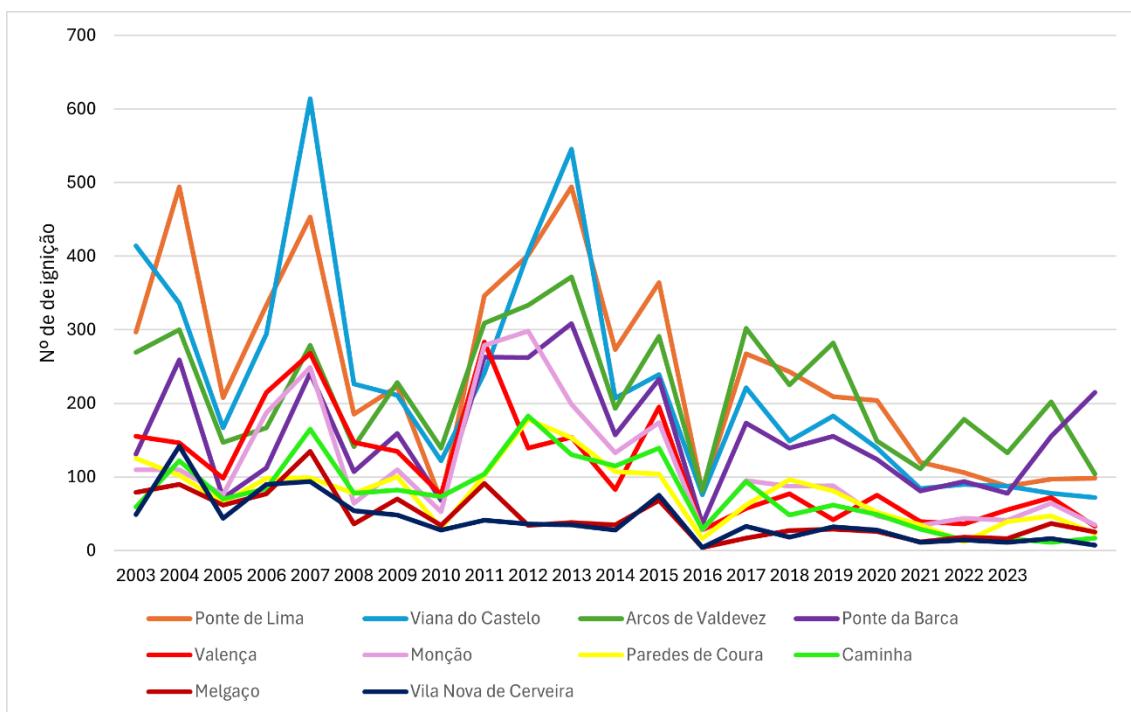


Figura 9. Evolução anual do número de pontos de ignição nos concelhos do Alto Minho (2003 a 2023).

A figura 10 apresenta a densidade de pontos de ignição para o conjunto dos 20 anos para a sub-região. Os maiores valores de densidade concentram-se no centro da área, sobretudo no sudoeste do concelho de Arcos de Valdevez onde se concentram os valores máximos de densidade, uma vez que os valores de densidade vão diminuindo à medida que nos afastamos do centro. Os concelhos de Ponte de Lima e Viana do castelo também se destacam pelos altos valores de densidade. A região onde os concelhos de Monção, Valença e Paredes de Coura fazem fronteira, apresenta uma elevada concentração de pontos de ignição. Por outro lado, a zona este da área de estudo regista os valores mais baixos de densidade, sendo o concelho de Melgaço particularmente notável pelos seus valores de densidade mais baixos.

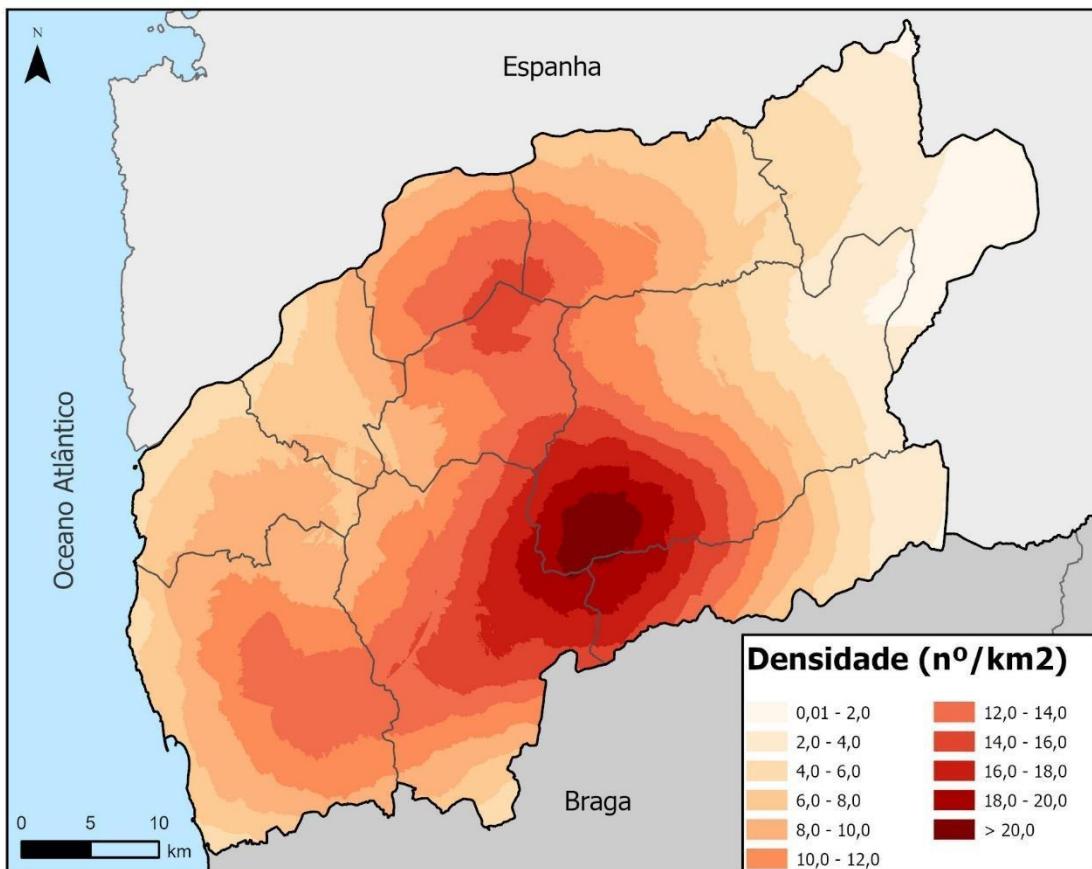


Figura 10. Densidade dos pontos de ignição para os 20 anos (2003 a 2023)

As figuras 11, 12, 13, 14, 15 e 16 ilustram a densidade dos pontos de ignição por ano para os últimos 20 anos (2003 a 2023). A análise dessas figuras revela padrões consistentes, destacando áreas de alta concentração requerem como o sudoeste do concelho de Arcos de Valdevez e o Noroeste do concelho de Ponte da Barca o concelho de Ponte de Lima junto á fronteira com Arcos de Valdevez. devido à sua recorrência ao longo dos anos. O sudoeste do concelho de Arcos de Valdevez é uma área que se sobressai continuamente, apresentando os maiores valores de densidade de pontos de ignição em quase todos os anos analisados.

Além de Arcos de Valdevez, outros concelhos como Valença, Viana do Castelo, Ponte de Lima, Paredes de Coura, Monção e Ponte da Barca também apresentam elevados valores de densidade em vários anos. Estes concelhos, especialmente nas áreas de fronteira, são mais suscetíveis a ignições.

A análise também indica que, em alguns anos, a densidade de pontos de ignição é particularmente elevada em áreas onde vários concelhos se encontram. Por exemplo, em 2009 e 2010, a área onde Monção, Valença e Paredes de Coura convergem apresenta altas densidades.

Por outro lado, concelhos como Melgaço, Caminha e Vila Nova de Cerveira apresentam consistentemente os valores de densidade mais baixos. Em anos específicos, como 2018, observa-se uma redução geral na densidade de pontos de ignição em toda a sub-região.

Em suma, ao longo dos anos, destacam-se áreas com alta densidade de pontos de ignição, como o sudoeste de Arcos de Valdevez e as zonas de fronteira entre concelhos, enquanto os concelhos de Melgaço, Caminha e Vila Nova de Cerveira se destacam pelos baixos valores de densidade de pontos de ignição.

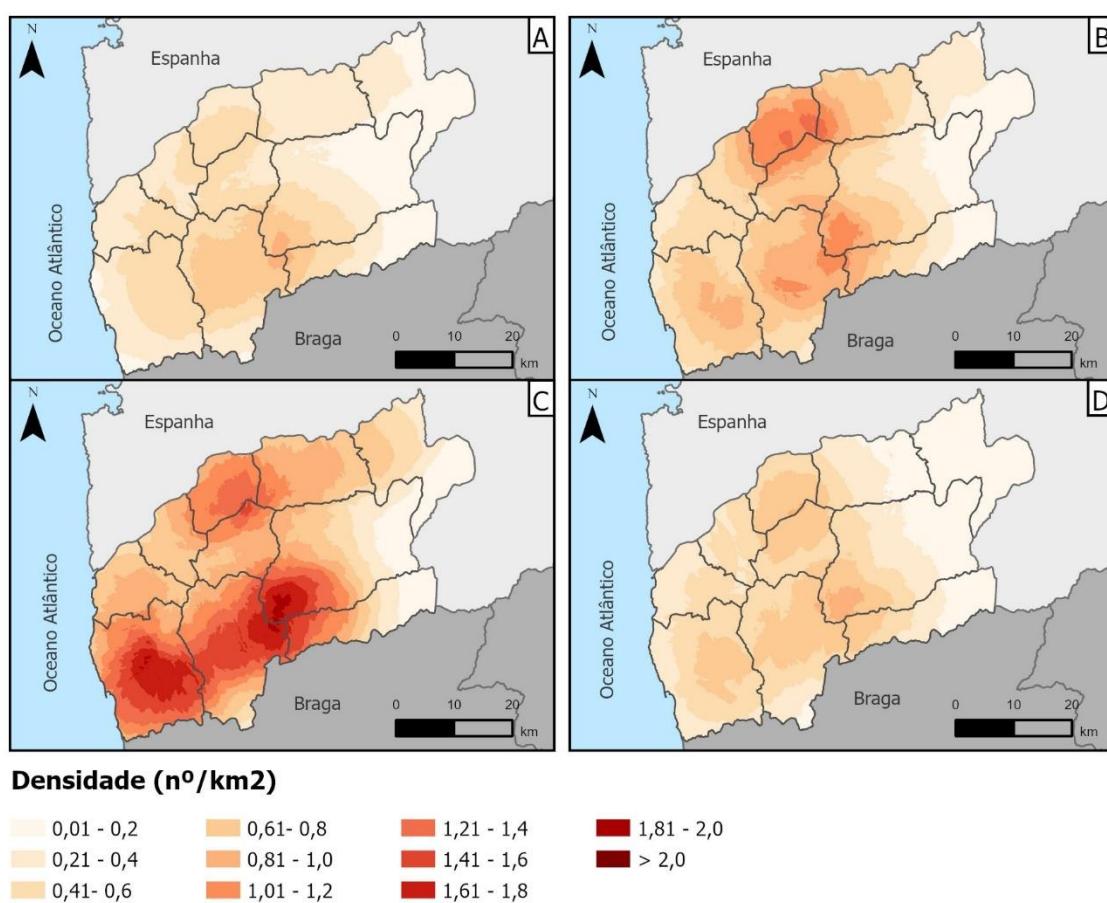


Figura 11. Densidade dos pontos de ignição no Alto Minho em 2003 (A), 2004 (B) 2005 (C) e 2006 (D).

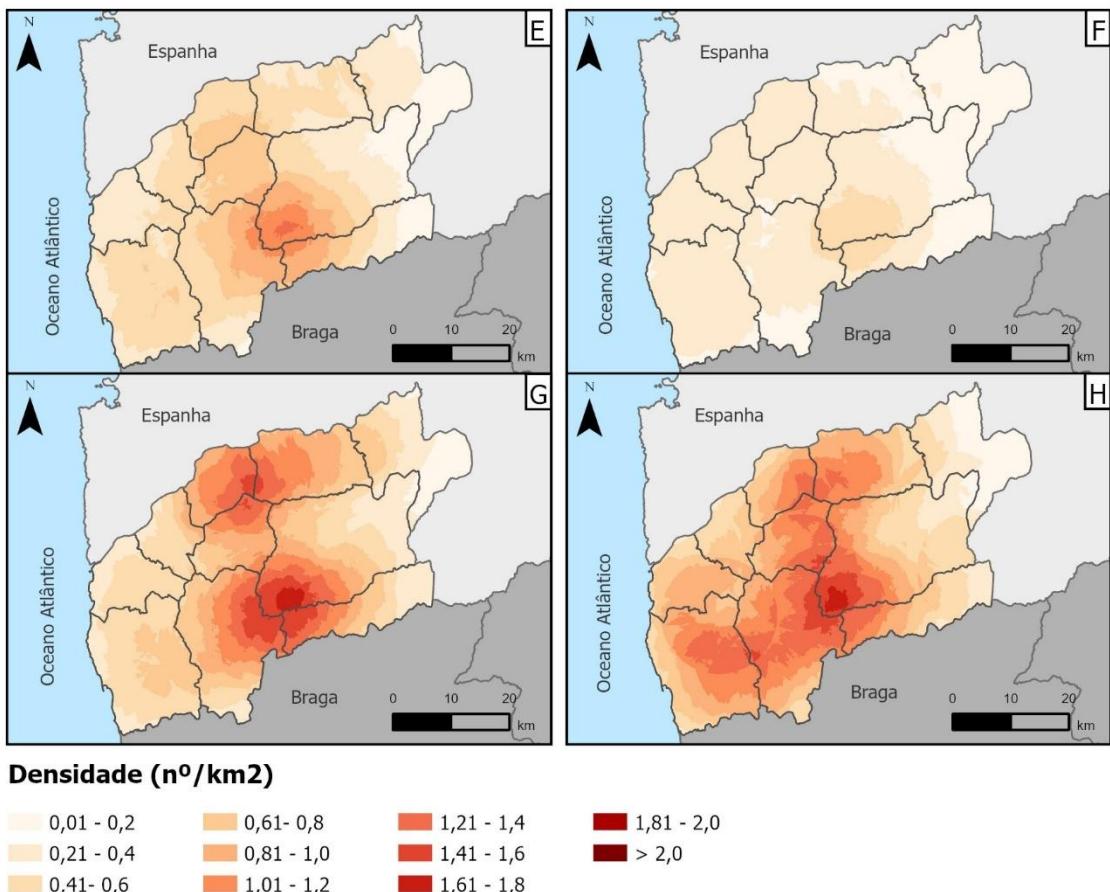
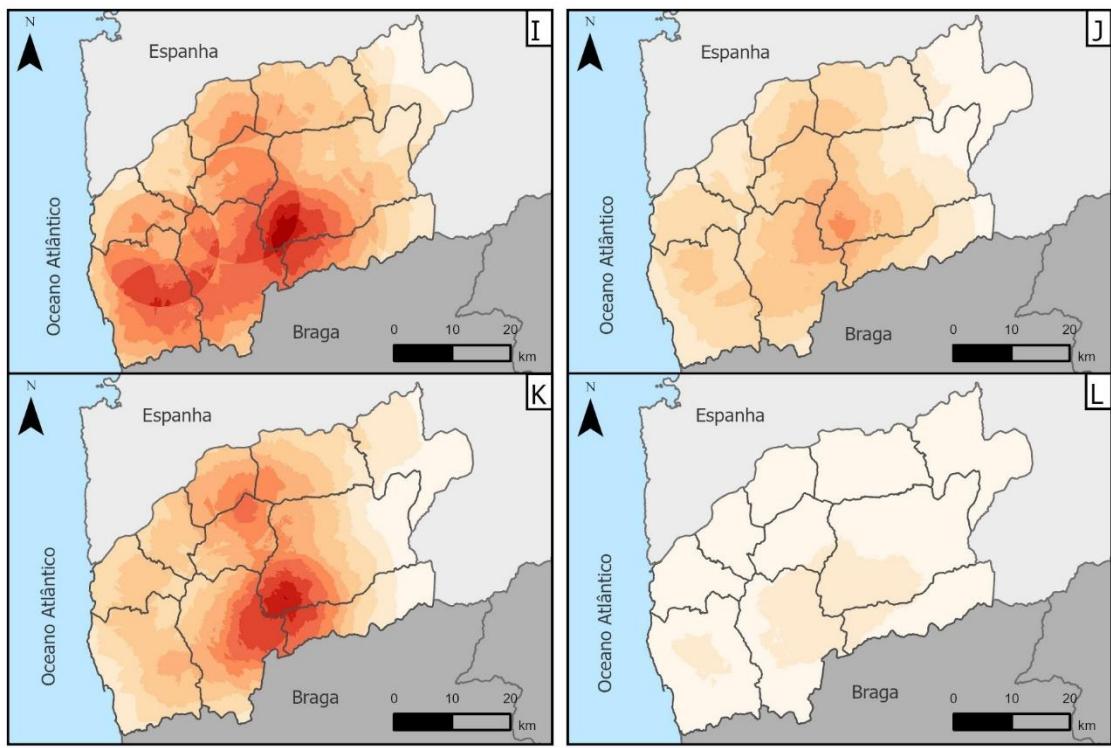


Figura 12. Densidade dos pontos de ignição no Alto Minho em 2007 (E), 2008 (F) 2009 (G) e 2010 (H).



Densidade (nº/km²)

0,01 - 0,2	0,61- 0,8	1,21 - 1,4	1,81 - 2,0
0,21 - 0,4	0,81 - 1,0	1,41 - 1,6	> 2,0
0,41- 0,6	1,01 - 1,2	1,61 - 1,8	

Figura 13. Densidade dos pontos de ignição no Alto Minho em 2011 (I), 2012 (J) 2013 (K) e 2014 (L).

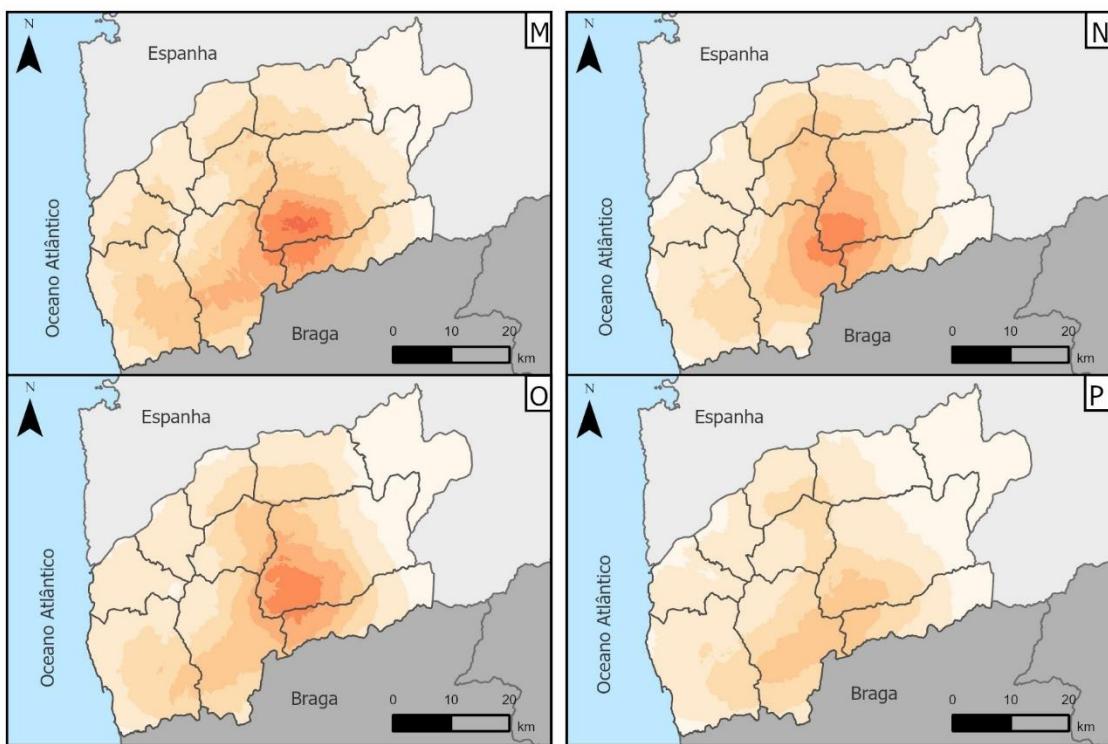


Figura 14. Densidade dos pontos de ignição no Alto Minho em 2015 (M), 2016 (N), 2017 (O) e 2018 (P).

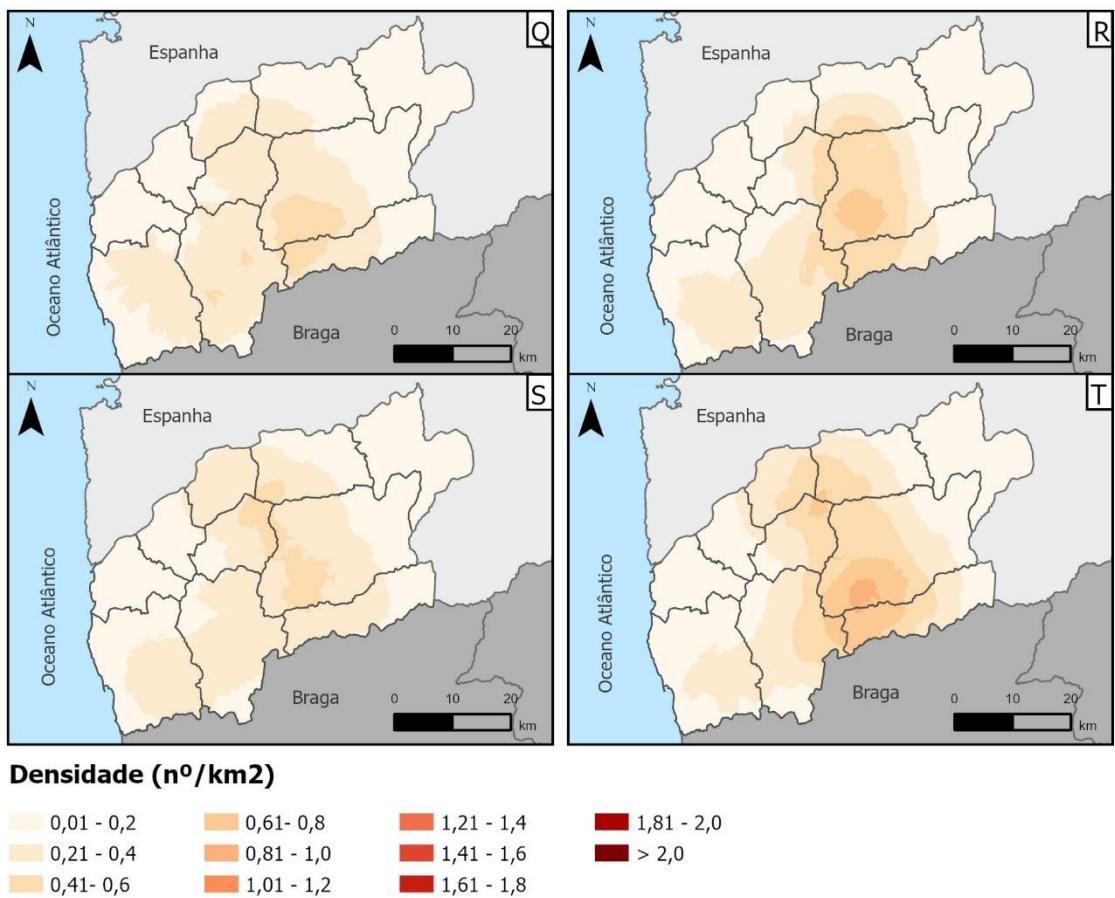


Figura 15. Densidade dos pontos de ignição no Alto Minho em 2019 (Q), 2020 (R) 2021 (S) e 2022 (T).

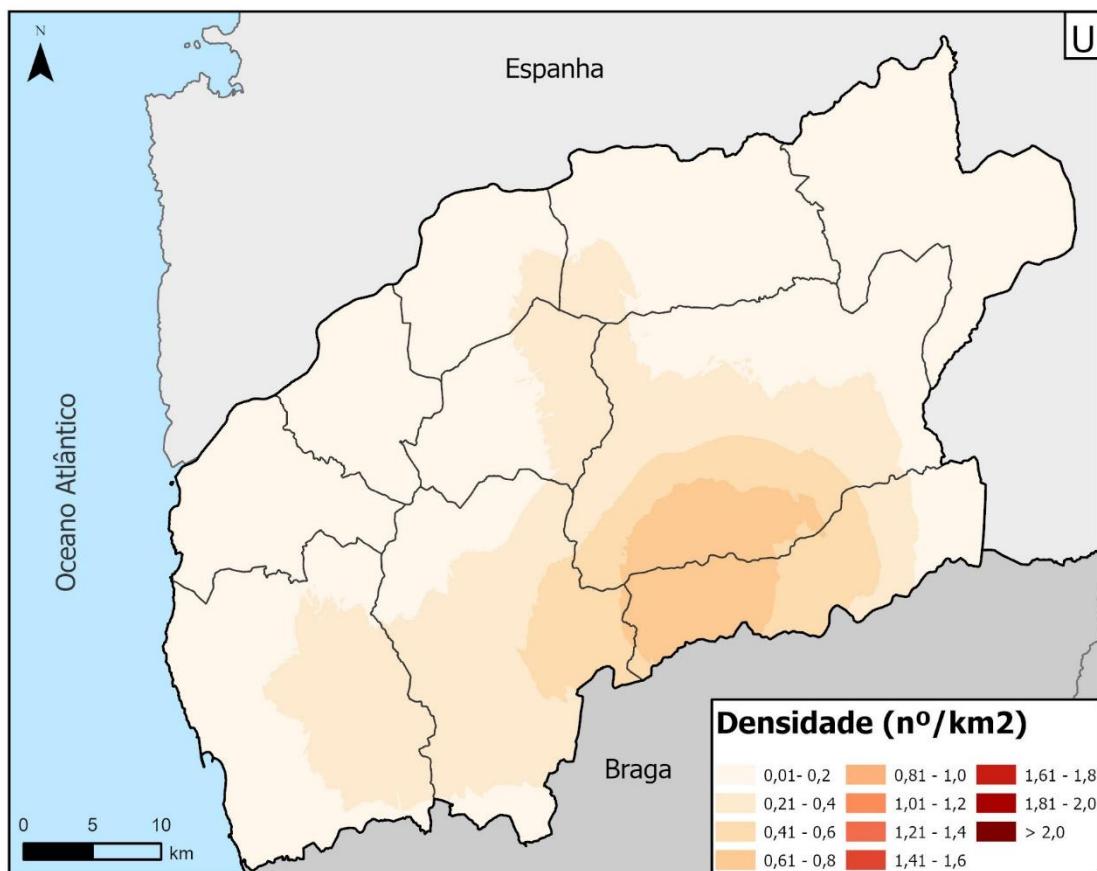


Figura 15. U- Densidade dos pontos de ignição no Alto Minho em 2023;

4. Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho baseou-se na aplicação do Modelo de Propagação de Fogo do FlamMap (<https://www.firelab.org/project/flammap>). A metodologia pode ser dividida em três etapas distintas:

1. Recolha de Informação, dados espaciais e preparação dos inputs no ArcGIS Pro;
2. Simulação das opções de comportamento do fogo (Fire Behavior Options) no FlamMap;
3. Conjugação e análise dos outputs no ArcGIS Pro.

A etapa inicial deste trabalho envolveu a elaboração de um projeto no software ArcGIS Pro, que desempenhou um papel fundamental na conversão de dados vetoriais para um

modelo matricial com células de 25 x 25 metros. Para isso, foi utilizado o sistema de coordenadas ETRS89_Portugal_TM06.

A segunda fase do trabalho envolveu a simulação das opções de comportamento do fogo no FlamMap, utilizando os dados previamente criados e uniformizados na etapa anterior. O comportamento básico do fogo corresponde a outputs gerados pela simulação do fogo em toda a paisagem simultaneamente, onde todas as células queimam, sem que sejam definidos pontos de ignição ou a duração dos incêndios.

No software,⁷ foram escolhidas as seguintes opções de modelação do comportamento básico do fogo: intensidade da linha de fogo (Fireline Intensity) em kW/m na direção de máxima propagação; taxa de propagação (Rate of Spread) em (m/s) na direção de propagação mais rápida; calor por unidade de área (Heat per Unit Area) em kj/m²; comprimento das chamas (Flame Length) em metros e vetores de propagação (Spread Vectors).

Na terceira e última fase, com os dados exportados para o ArcGIS Pro, procedeu-se à reclassificação dos resultados para facilitar a sua análise.

4.1. Dados e preparação dos inputs

Na tabela 2 estão listados os dados utilizados neste estudo, bem como as informações referentes ao formato, fonte e sistema de coordenadas.

Tabela 3. Características dos dados de base.

Dados	Formato	Fonte	Sistema de Coordenadas
MDT	Raster 25 metros	Instituição: FCUP Nome do tema: SRTM-DEM Escala: Portugal	ETRS89_Portugal_TM06

		Link: “ https://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/dems/ ”	
Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) 2018	Vetorial	Instituição: DGT Nome do tema: Carta de Ocupação do Solo Escala: Portugal Data de publicação: 2018 Link: “ https://geo2.dgterritorio.gov.pt/cos/COS2018/ COS2018v2-shp.zip”	ETRS89_Portugal_TM06
Percentagem de copas	Pontos vetoriais	Instituição: ICNF Nome do tema: Foto-pontos Inventário Florestal Nacional de 2015 Escala: Portugal Data de publicação: 2015 Link: https://sig.icnf.pt/portal/home/item.html?id=36f9c2fbbb424f9882cb d0c9126777b4&fromSearch=true &searchPosition=12&searchTerm= &searchFacet=card+dropdown+item+details	ETRS89_Portugal_TM06

Pontos de ignição	csv	Instituição: ICNF Nome do tema: Registros individuais de incêndios 2001 a 2023 Escala: Portugal Data de publicação: 2001 Link: https://www.icnf.pt/florestas/gfr/gfrgestaoinformacao/estatisticas	ETRS89_Portugal_TM06
-------------------	-----	---	----------------------

O FlamMap exige a criação de uma paisagem (*Landscape*) que consiste numa junção de 8 camadas de temas geoespaciais, sendo que 5 camadas são obrigatórias e 3 são opcionais (tabela 3).

Tabela 4. Temas utilizados na criação da *Landscape*.

Tema	Unidades Padrão	Obrigatoriedade
Altimetria	Metros	Obrigatório
Declives	Graus	Obrigatório
Exposição	Graus	Obrigatório
Modelo de Combustível	Número Farsite (entre 0-255)	Obrigatório
Cobertura de Copas	Percentagem	Obrigatório
Altura das Árvores	Metros	Opcional
Altura da Base da Copa	Metros	Opcional
Densidade de Copas	Kg/m ³	Opcional

Para a criação da *Landscape* no software, que aceita apenas dados em formato matricial ou ASCII, é crucial que toda a informação cartográfica utilizada na criação destas camadas seja elaborada com o mesmo tamanho de células e sistema de coordenadas. Esta uniformidade assegura que todas as camadas se sobreponham corretamente, permitindo a construção precisa da paisagem desejada.

A altimetria foi calculada utilizando o raster do SRTM-DEM (Shuttle Radar Topography Mission – Digital Elevation Model) com resolução de 25 x 25 metros para Portugal Continental. Posteriormente, este tema matricial foi recortado para se ajustar à área de estudo específica. Utilizando este ficheiro como base foram calculados os declives e a exposição em graus.

A cobertura de copas foi obtida a partir dos foto-pontos localizados na área de estudo e provenientes do Inventário Florestal Nacional de 2015. No total foram reunidos 8.861 pontos, aos quais foi realizada uma nova seleção dos pontos com valores de cobertura de copas, resultando num total de 2.634 pontos com percentagem de cobertura.

Cada ponto apresenta a percentagem de cobertura como um intervalo. Com base neste intervalo foi calculado o valor médio de modo a determinar a percentagem de cobertura e, em seguida, calculou-se a média desses valores para os pontos de cada tipo de uso do solo. Na tabela de atributos da COS 2018 nível 4, foi atribuído um valor de cobertura a cada classe, conforme o uso do solo correspondente. As classes sem cobertura foram reclassificadas com o valor 0. Por fim, a COS foi convertida do formato vetorial para matricial.

O modelo de combustível foi o último parâmetro a ser construído uma vez que foi necessário um trabalho mais pormenorizado, começando por uma leitura de bibliografia para ficar a conhecer os diferentes modelos. Para a base do modelo utilizou-se a COS 2018 no nível 4, disponibilizada pela DGT (Direção Geral do Território).

Na segunda fase seguiu-se para uma reclassificação das classes de ocupação do solo para os modelos de combustível. Para este trabalho optou-se pelo uso do modelo de combustível adaptado para Portugal criado pelo Professor Paulo Fernandes da UTAD

(Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro) como explicado em Fernandes et al., (2009) e Fernandes & Loureiro (2022).

A reclassificação foi feita tendo em conta o tipo de cobertura descrito no nível 4 da COS 2018, o conhecimento empírico da região e o tipo de cobertura do conjunto desenvolvido por (Fernandes & Loureiro, 2022; Fernandes et al., 2009) que está representado na tabela 4. Quanto à classificação de áreas não incineráveis utilizou-se os modelos NB (Nonburnable) de Scott & Burgan (2005). A agricultura e as áreas verdes com muita água foram classificadas com o modelo 93. O modelo 98 engloba tudo o que são corpos de água, enquanto o modelo 99 foi aplicado em espaços sem vegetação e áreas urbanas (Antunes, 2023). A tabela 5 demonstra o modelo de combustível atribuído a cada classe da COS. O modelo 232 foi assumido para a erva curta, vinhas, agricultura sem regadio e culturas anuais (Oliveira et al., 2016).

Tabela 5. Modelos de combustível- utilizados em Portugal Continental (adaptado de Fernandes et al., 2009).

Grupo	Modelo	Nº Farsite	Descrição do complexo combustível	Aplicabilidade
Folhada (F)	F-RAC	214	Folhada muito compacta de coníferas com agulha curta. Carga de combustível fino: 4-6 (t/ha)	Povoamentos de <i>Pseudotsuga</i> , <i>Cedrus</i> , <i>Cupressus</i> , <i>Chamaecyparis</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> . Formações maduras de <i>Acacia dealbata</i> .
	F-FOL	212	Folhada compacta de folhosas com folha caduca ou perene. Carga de combustível fino: 2-5 (t/ha)	Povoamentos de carvalho, castanheiro, videiro e faia. Sobreiral e azinhal densos, medronhal e acacial (excepto <i>A. dealbata</i>).
	F-PIN	213	Folhada de pinhais de agulha média a longa.	Pinhais de <i>P. pinaster</i> , <i>P. pinea</i> , <i>P. halepensis</i> , <i>P. radiata</i> .

			Carga de combustível fino: 4-7 (t/ha)	
	F-EUC	211	Folhada de eucalipto. Carga de combustível fino: 4-6 (t/ha)	Eucaliptal.
Folhada e vegetação (M)	M-CAD	221	Folhada de folhosas caducifólias com subbosque arbustivo, usualmente com faia. bastante combustível vivo. Carga de combustível fino: 8-17 (t/ha)	Povoamentos de carvalho, castanheiro, videiro e
	M-ESC	222	Folhada de folhosas esclerófilas com subbosque arbustivo. Carga de combustível fino: 7-17 (t/ha)	Sobreiral e azinhal
	M-PIN	227	Folhada de pinheiro de agulha média a longa com sub-bosque arbustivo. Carga de combustível fino: 8-18 (t/ha)	Pinhais de <i>P. pinaster</i> , <i>P. pinea</i> , <i>P. halepensis</i> , <i>P. radiata</i> .
	M-EUC	223	Folhada de eucalipto com sub-bosque arbustivo. Carga de combustível fino: 9-18 (t/ha)	Eucaliptal.
	M-EUCd	224	Folhada descontínua de eucalipto com ou sem sub-bosque arbustivo nas linhas de plantação. Carga de combustível fino: 1-4 (t/ha)	Eucaliptal jovem ou recentemente gradado.
	M-H	226	Folhada com sub-bosque herbáceo.	Povoamentos florestais, independentemente da

Vegetação (V)			Carga de combustível fino: 2-5 espécie. (t/ha)	
	M-F	225	Folhada com sub-bosque de fetos. Carga de combustível fino: 6-9 espécie. (t/ha)	Povoamentos florestais, independentemente da espécie.
	V-MAb	234	Mato baixo (<1 m) com bastante combustível morto e/ou fino. Carga de combustível fino: 7-14 (t/ha)	Matos e charnecas de urze, tojo, carqueja, zimbro. Povoamentos abertos ou jovens, independentemente da espécie, com estrato arbustivo constituído por aquelas espécies.
	V-MAa	233	Mato alto (>1 m) com bastante combustível morto e/ou fino. Carga de combustível fino: 12-27 (t/ha)	Matos de urze, tojo ou carqueja, ou giestal velho. Povoamentos abertos ou jovens, independentemente da espécie, com estrato arbustivo constituído por aquelas espécies. Regeneração natural densa de pinhal.
	V-MMb	237	Mato baixo (<1 m), com pouco combustível morto e/ou com folhagem relativamente grosseira. Carga de combustível fino: 4-8 (t/ha)	Matos de giesta, piorno. Matos de esteva, carrasco, zambujeiro, medronheiro, lentiscos e outras espécies mediterrânicas. Silvados. Povoamentos abertos ou jovens, independentemente da espécie, com estrato arbustivo constituído por aquelas espécies.

	V-MMa	236	Mato alto (>1 m) com pouco combustível morto e/ou com folhagem relativamente grosseira. Carga de combustível fino: 10-19 (t/ha)	Matos de giesta, piorno. Matos de esteva, carrasco, zambujeiro, medronheiro, lentiscos e outras espécies mediterrânicas. Silvados. Povoamentos abertos ou jovens, independentemente da espécie, com estrato arbustivo constituído por aquelas espécies.
	V-MH	235	Mato baixo (< 1 m) e verde, frequentemente descontínuo e com herbáceas.	Matos jovens, até 3 anos de idade desde o último fogo.
	V-Hb	232	Erva baixa (<0,5 m). Carga de combustível fino: 1-1 (t/ha)	Arrelvados, prados, pastagens, pousios recentes. Restolhos. Montados
	V-Ha	231	Erva alta (>0,5 m). Carga de combustível fino: 2-4 (t/ha)	Arrelvados, prados, pastagens, pousios recentes. Cereais. Juncais. Montados.

Tabela 6. Classes da COS por modelo de combustível.

Modelo	Número do modelo	Classe da COS
NB3	93	Agricultura protegida e viveiros; Campos de Golfe; Pauis; Sapais.

	NB8	98	<p>Albufeiras de barragens;</p> <p>Albufeiras de represas ou de açudes;</p> <p>Aquicultura;</p> <p>Cursos de água naturais;</p> <p>Desembocaduras fluviais;</p> <p>Lagos e lagoas interiores artificiais;</p> <p>Lagos e lagoas interiores naturais;</p> <p>Oceano.</p>
	NB9	99	<p>Aeródromos;</p> <p>Áreas de estacionamentos e logradouros;</p> <p>Áreas em construção;</p> <p>Comércio;</p> <p>Equipamentos culturais;</p> <p>Equipamentos de lazer;</p> <p>Indústria;</p> <p>Infraestruturas de produção de energia não renovável;</p> <p>Infraestruturas de produção de energia renovável;</p> <p>Infraestruturas de tratamento de resíduos e águas residuais;</p> <p>Infraestruturas para captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo;</p> <p>Instalações agrícolas;</p> <p>Instalações desportivas;</p> <p>Marinas e docas pesca;</p> <p>Outros equipamentos e instalações turísticas;</p> <p>Parques e jardins;</p> <p>Rede ferroviária e espaços associados;</p> <p>Rede viária e espaços associados;</p> <p>Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal;</p> <p>Tecido edificado contínuo predominantemente vertical;</p> <p>Tecido edificado descontínuo;</p> <p>Tecido edificado descontínuo esparsos;</p> <p>Terminais portuários de mar e de rio;</p> <p>Aterros;</p> <p>Cemitérios;</p>

		<p>Espaços vazios sem construção;</p> <p>Lixeiras e Sucatas;</p> <p>Parques de campismo;</p> <p>Pedreiras;</p> <p>Praias, dunas e areais costeiros;</p> <p>Praias, dunas e areais interiores;</p> <p>Rocha nua.</p>
F-EUC	211	Florestas de eucalipto.
F-FOL	212	Florestas de azinheira.
M-CAD	221	<p>Florestas de castanheiro;</p> <p>Florestas de outros carvalhos.</p>
M-F	225	<p>Florestas de espécies invasoras;</p> <p>Florestas de outras folhosas.</p>
M-PIN	227	<p>Florestas de outras resinosas;</p> <p>Florestas de pinheiro-bravo;</p> <p>Florestas de pinheiro manso.</p>
V-Ha	231	<p>Pastagens espontâneas;</p> <p>Pastagens melhoradas.</p>
V-Hb	232	<p>Culturas temporárias de sequeiro e regadio;</p> <p>Agricultura com espaços naturais e seminaturais;</p> <p>Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a olival;</p> <p>Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a pomar;</p> <p>Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a vinha;</p> <p>Mosaicos culturais e parcelares complexos;</p> <p>Olivais;</p> <p>Pomares;</p> <p>Vinhos.</p>
V-MAa	233	Matos.

V-MH	235	Vegetação esparsa.
------	-----	--------------------

Associado ao modelo de combustível temos de criar um ficheiro anexo que será necessário carregar para o software modelar o comportamento básico do fogo. O FlamMap possui 13 modelos padrão (criados por Anderson 1982) configurados, mas permitem a utilização de modelos de combustível personalizados, estes devem estar em unidades inglesas ou métricas, sendo selecionados pelas palavras “ENGLISH” ou “METRIC” como primeira linha do arquivo Custom Fuel Model (FMD). Como foi referido, utilizou-se um modelo customizado, por isso foi necessário criar este ficheiro. O ficheiro deve conter os dados em formato texto ASCII, delimitado por espaços, e deve ser guardado com a extensão .FMD. Os números dos modelos devem estar entre 1 e 256 e não devem estar atribuídos a um modelo de combustível padrão. No entanto, o software aconselha a limitar os números dos modelos personalizados ao intervalo de 14 a 89 para evitar conflitos com futuros modelos padrão. Neste trabalho os números dos modelos variam entre 211 e 237 e utilizam-se para áreas não incineráveis os modelos 93, 98 e 99. A tabela 6 apresenta os dados que devem ser incluídos no modelo customizado.

Tabela 7. Dados para a construção do modelo de combustível customizado

Campo	Nome	Tipo de dados	Unidades inglesas	Unidades métricas
Número FM	Número do modelo de combustível	Inteiro	Número 14-89	Número 14 -89
Código FM	Código do modelo de combustível	Texto	Definido pelo usuário até 7 caracteres	Definido pelo usuário até 7 caracteres

1H, 10H, 100H, LiveH(erbaceous), LiveW(ood)	Carregamento de combustível	Decimal	Toneladas/Acre	Toneladas Métricas/hectare
Tipo FM	Tipo de modelo de combustível	Texto	"static" or "dynamic"	"static" or "dynamic"
1HSAV, HSAV ao vivo, WSAV ao vivo	Razão entre superfície e volume	Inteiro	1/pé	1/cm
Profundidade	Profundidade do leito de combustível	Decimal	Pés	Cm
XtMoist	Umidade de extinção	Inteiro	%	%
Dht, Lht	Conteúdo de calor combustíveis vivos e mortos	Inteiro	BTU/libra	Quilograma/kg

O ficheiro FMD foi criado adaptando os dados do Projeto Fire Engine com base na Figura 17. Na figura 18 apresenta o ficheiro FMD criado para inserir no software.

Modelo	Espess. (m)	Carga (t ha ⁻¹)				SVR (m ⁻¹)			PC (kJ kg ⁻¹)	Hx (%)
		1hr	10hr	100hr	arb.	herb.	1hr	herb.		
F-RAC	0.05	3.75	2.00	1.00	1.18	0.00	6500	-	4500	20500
F-FOL	0.15	2.67	1.27	0.69	1.16	0.00	4500	-	5000	20500
F-PIN	0.10	6.50	1.50	0.00	0.00	0.00	5500	-	-	20500
F-EUC	0.32	4.63	2.96	1.27	1.12	0.00	4200	-	5000	21000
M-CAD	0.63	4.54	1.87	0.61	9.08	0.00	6000	-	5000	20000
M-ESC	0.50	5.65	1.50	0.48	7.89	0.00	5000	-	5500	20500
M-PIN	0.50	7.21	3.00	0.00	6.89	0.00	5500	-	6000	21000
M-EUC	0.64	8.37	3.81	0.00	4.51	0.00	4700	-	5000	21000
M-EUCd	0.40	1.37	2.89	1.59	1.84	0.00	4500	-	5000	21000
M-H	0.10	2.71	1.00	0.00	0.10	0.66	5500	8000	4500	20500
M-F	0.30	4.50	1.50	0.50	0.48	2.35	6000	8000	4500	19500
V-MAb	0.50	6.00	0.50	0.00	7.50	0.00	4500	-	4500	21000
V-MAa	1.05	9.50	2.50	0.00	14.50	0.00	3500	-	4000	21000
V-MMb	0.90	4.00	0.50	0.00	7.00	0.00	3000	-	3000	20500
V-MMa	1.70	6.00	4.00	0.00	13.00	0.00	2500	-	3000	20500
V-MH	0.55	1.00	1.00	0.00	5.50	1.50	4500	8500	4000	19500
V-Hb	0.35	0.30	0.00	0.00	0.00	1.20	6000	6000	-	19000
V-Ha	0.60	0.65	0.15	0.00	0.40	2.35	4000	5500	4000	19000

Figura 17. Características dos modelos de combustível (Fernandes & Loureiro, 2022)

Além do ficheiro .FMD é necessária a criação de outro ficheiro input para a análise do

```

METRIC
211 F-EUC 4.630000 2.960000 1.270000 0.000000 1.120000 static 4200 0000 5000 32.000000 26 21000.000000 21000.000000
212 F-FOL 2.670000 1.270000 0.690000 0.000000 1.160000 static 4500 0000 5000 15.000000 25 20500.000000 20500.000000
221 M-CAD 4.540000 1.870000 0.610000 0.000000 9.080000 static 6000 0000 5000 63.000000 30 20000.000000 20000.000000
223 M-EUC 8.370000 3.810000 0.000000 0.000000 04.510000 static 4700 0000 5000 64.000000 32 21000.000000 21000.000000
225 M-F 4.500000 1.500000 0.500000 2.350000 0.480000 static 6000 8000 4500 30.000000 35 19500.000000 19500.000000
227 M-PIN 7.210000 3.000000 0.000000 0.000000 6.890000 static 5500 0000 6000 50.000000 40 21000.000000 21000.000000
231 V-Ha 0.650000 0.150000 0.000000 2.350000 0.400000 static 4000 5500 4000 60.000000 24 19000.000000 19000.000000
232 V-Hb 0.300000 0.000000 0.000000 1.200000 0.000000 static 6000 6000 0000 35.000000 24 19000.000000 19000.000000
233 V-MAa 9.500000 2.500000 0.000000 0.000000 14.500000 static 3500 0000 4000 105.000000 35 21000.000000 21000.000000
235 V-MH 1.000000 1.000000 0.000000 1.500000 5.500000 static 4500 8500 4000 55.000000 25 19500.000000 19500.000000
236 V-MMa 6.000000 4.000000 0.000000 0.000000 13.000000 static 2500 0000 3000 170.000000 25 20500.000000 20500.000000
237 V-MMb 4.000000 0.500000 0.000000 0.000000 07.000000 static 3000 0000 3000 090.000000 20 20500.000000 20500.000000

```

Figura 16. Modelo de combustível customizado.

comportamento básico do fogo, este ficheiro terá os dados da humidade inicial do combustível. Deste modo procedeu-se à criação do ficheiro FMS (Initial Fuel Moistures) este também é um arquivo de texto ASCII separado por espaços deve ser guardado com uma extensão .FMS. Os dados de humidade deste arquivo são usados para calcular as características do comportamento do fogo para uma execução do programa. A humidade dos combustíveis são expressas em percentagem de números inteiros e podem exceder os 100%. A tabela 7 apresenta os dados que se devem utilizar na construção deste ficheiro.

Tabela 8. Dados para a construção do ficheiro de humidade inicial do combustível.

Dados	Nome	Tipo de dados	Unidades
-------	------	---------------	----------

FuelMod	Modelo de combustível	Número inteiro	Número entre 1-256
1H	Humidade do combustível a 1 hora	Número inteiro	Percentagem
10H	Humidade do combustível a 10 horas	Número inteiro	Percentagem
100H	Humidade do combustível a 100 horas	Número inteiro	Percentagem
LiveH(erbaceous),	Combustíveis herbáceos vivos	Número inteiro	Percentagem
LiveW(oody)	Combustíveis lenhosos vivos	Número inteiro	Percentagem

O ficheiro foi criado usando os dados (Oliveira et al., 2016) em que os autores sugerem para os valores de 6% para 1H, 7% para 10h e 8% para 100h, já para os restantes campos sugerem o valor de 85%. Na figura 19 está representado o resultado do ficheiro FMS.

```

|211 6 7 8 85 85
212 6 7 8 85 85
221 6 7 8 85 85
225 6 7 8 85 85
227 6 7 8 85 85
231 6 7 8 85 85
232 6 7 8 85 85
233 6 7 8 85 85
235 6 7 8 85 85

```

Figura 18. Modelo de humidade dos combustíveis

4.2. Criação da Paisagem (Landscape)

Tendo reunido os inputs começou-se a trabalhar no software, onde é necessário criar uma paisagem onde se coloca todos os temas e se define o sistema de coordenadas (ETRS89_Portugal_TM06). Na figura 20 apresenta a colocação dos inputs no Landscape File Generation.

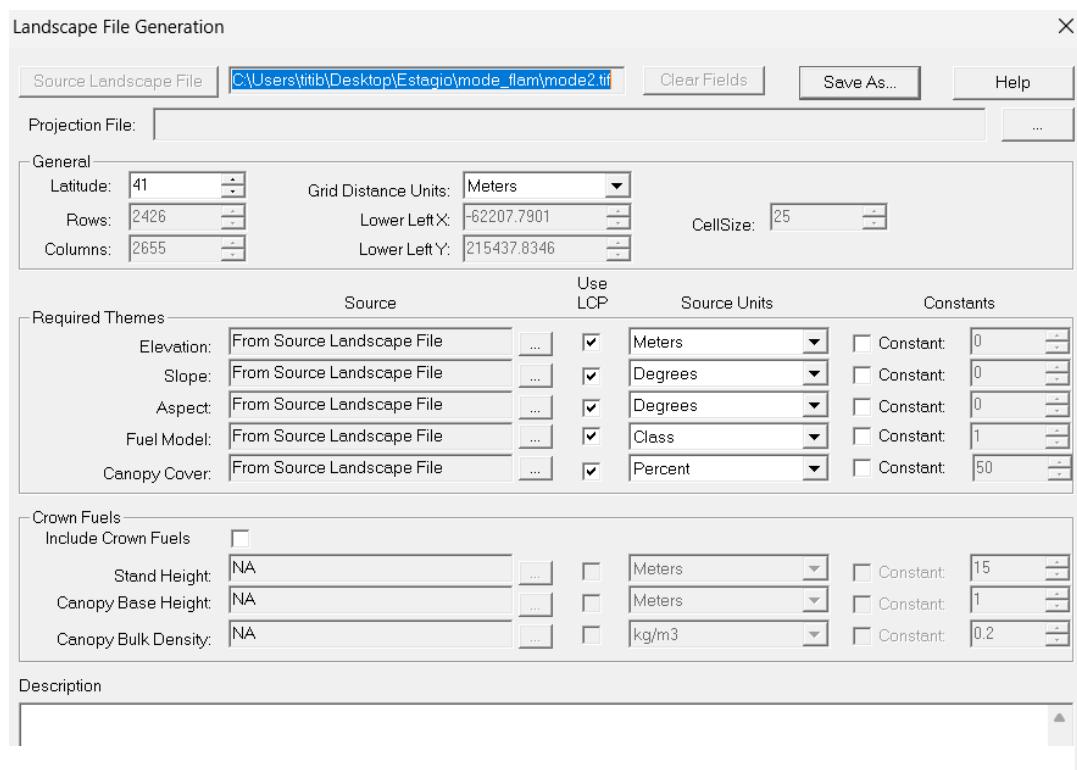


Figura 19. Painel de criação da Landscape

Depois de criada e gravada, a paisagem aparece no layout principal do software, onde podemos visualizar de acordo com os temas inseridos como dados de entrada. O software apresenta como tema principal o modelo de combustível (figura 21).

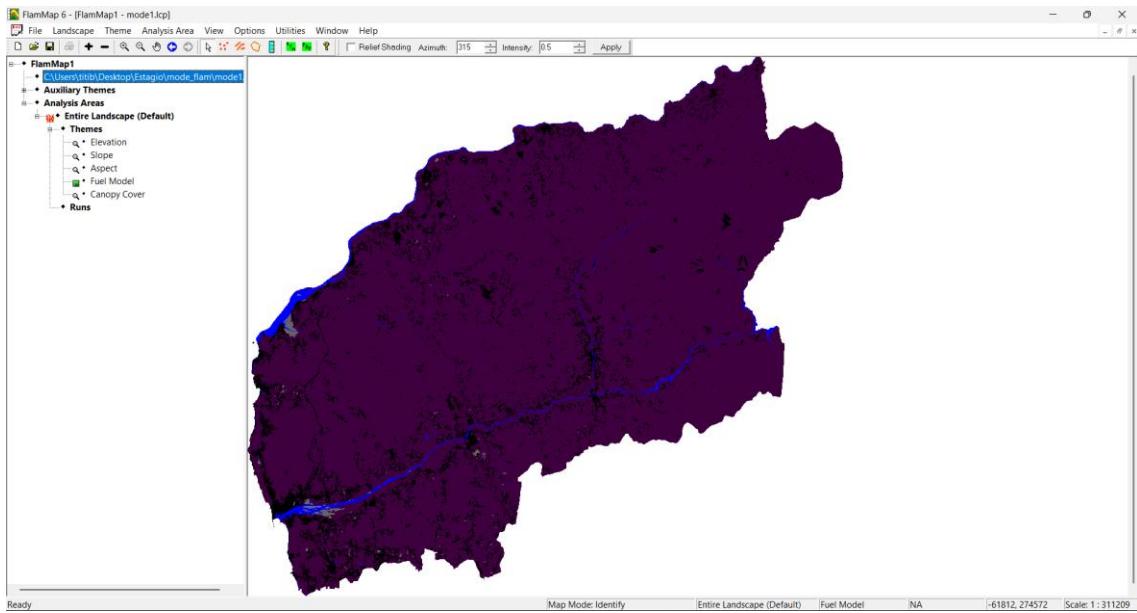


Figura 20. Vista da camada dos modelos de combustível no layout do FlamMap

4.3. Simulações do comportamento básico do fogo

Após a criação da paisagem, na qual estão incorporados os cinco temas obrigatórios, realizamos a primeira simulação (run) utilizando o FlamMap/MTT (Minimum Travel Time) e o TOM (Treatment Optimization Model). Para esta simulação, utilizamos duas janelas de dados de entrada. Na janela de dados gerais (Inputs), definimos um modelo de combustível personalizado, inserindo o arquivo construído (arquivo .fmd). Também nesta janela, inserimos o arquivo de humidade dos combustíveis (arquivo .fms) e definimos a velocidade e a direção do vento, além do método de cálculo do fogo de copas (Figura 22).

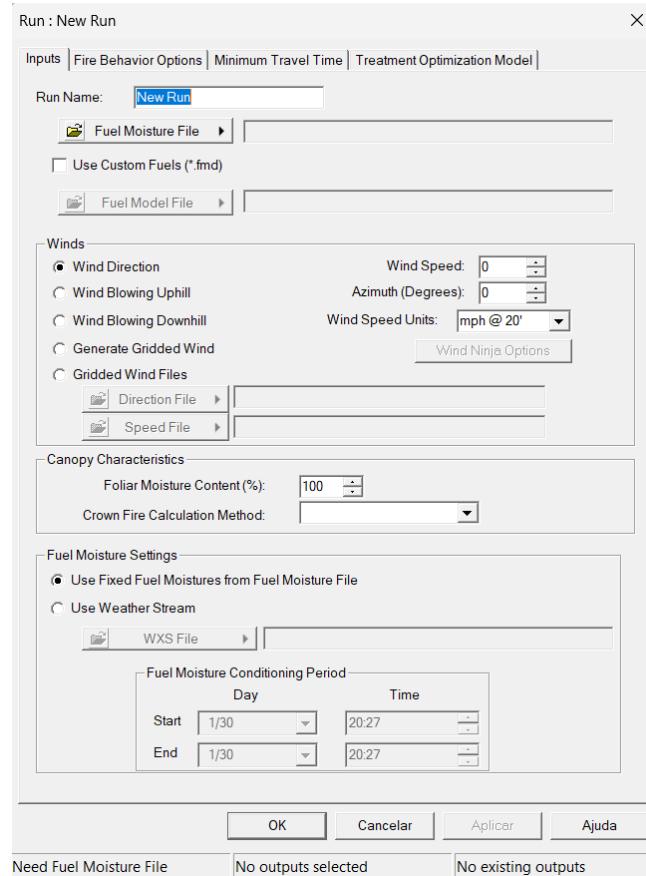


Figura 21. Janela de entrada dos dados gerais no FlamMap

Os dados de direção e velocidade do vento foram obtidos do site freemeteo.com.pt para o dia 16 de setembro de 2024. Este dia foi escolhido devido à existência de um grande número de incêndios ativos e das condições climáticas presentes. Os dados foram retirados da estação Vigo Peinador, indicando uma velocidade do vento de 20 km/h e uma direção sul, equivalente a 180°.

Quanto às características das copas, definimos a humidade das folhas em 100%, conforme o valor padrão para uma época de incêndios acima da média (Finney, 2023). O método de cálculo do fogo de copas escolhido foi o de Finney (2004), que assume um fogo de copas passivo (*torch*), ou seja, envolve apenas árvores isoladas ou pequenos grupos, sem propagação significativa entre copas, não alterando a taxa de propagação (Rate of Spread, ROS). O ROS do fogo de copas ativo é ajustado com base na Equação 23

(Finney, 1998), o que frequentemente resulta numa taxa de propagação menor do que a calculada por outros métodos. Este método é mais conservador e produz simulações com perímetros de incêndio menores. Na segunda janela Fire Behavior Options (comportamento básico do fogo) foram selecionados os seguintes parâmetros: intensidade da linha de fogo (Fireline Intensity) em kW/m na direção de máxima propagação, taxa de propagação (Rate of Spread) em (m/s) na direção de propagação mais rápida, calor por unidade de área (Heat per Unit Area) em kJ/m² e comprimento das chamas (Flame Length) em metros. (figura 23).

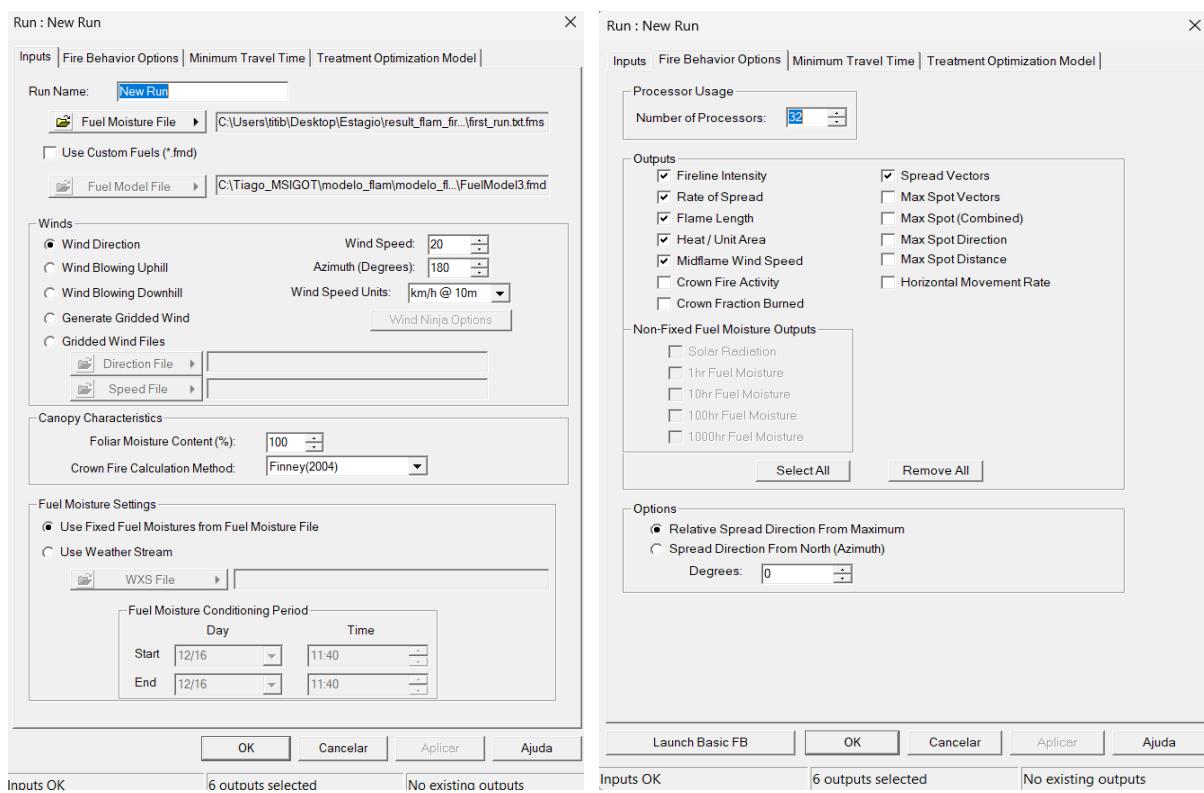


Figura 22. Seleção de dados de entrada e outputs no FlamMap

4.4. Conjugação e análise dos outputs dos resultados no ArcGIS Pro

A última etapa deste trabalho consistiu na transformação das unidades dos resultados obtidos no FlamMap, uma vez que estas estão por defeito em unidades inglesas e temos de converter para métricas. Depois exportar os resultados em formato .TIF, importando depois para o ArcGis Pro, onde a informação geográfica será reclassificada.

5. Resultados

A figura 24 ilustra a intensidade da linha de fogo (kW/m) nos concelhos do Alto Minho. Observa-se que grande parte do território apresenta a classe de menor intensidade (1-9 kW/m), mas há áreas onde os valores aumentam significativamente, especialmente em Monção, Ponte de Lima, Paredes de Coura, Valença e Vila Nova de Cerveira.

Nos concelhos do interior, como Arcos de Valdevez, Melgaço, Monção, Ponte da Barca e Paredes de Coura, observa-se uma predominância das classes de maior intensidade (26-39 kW/m e 40-66 kW/m). Este padrão indica que os incêndios nestes concelhos tendem a apresentar linhas de fogo com intensidades mais elevadas. Este padrão pode estar associado à densa cobertura florestal e à presença de áreas montanhosas, onde a propagação do fogo pode ser mais intensa. Em particular, Arcos de Valdevez e Ponte da Barca apresentam extensas áreas vermelhas, indicando zonas onde a intensidade da linha de fogo pode superar os 40 kW/m.

Nos concelhos de Ponte de Lima e Valença, verifica-se uma distribuição mista, com extensas áreas de baixa intensidade, mas também pontos isolados com intensidades mais elevadas, sobretudo em zonas florestais e agrícolas. Embora estes concelhos não sejam os mais críticos, algumas áreas específicas destacam-se pelos valores significativos de intensidade da linha de fogo.

Nos concelhos mais próximos do litoral, como Viana do Castelo e Caminha, a predominância da classe de menor intensidade (1-9 kW/m) é evidente, sugerindo incêndios de menor intensidade de linha de fogo nessas regiões. No entanto, há algumas manchas dispersas de intensidade moderada a elevada, especialmente em áreas florestais mais afastadas da zona urbana.

Em Vila Nova de Cerveira, denota-se uma distribuição semelhante à de Valença, com predominância da classe de menor intensidade (1-9 kW/m), mas com algumas áreas isoladas de maior intensidade.

No geral, a figura evidencia que os concelhos do interior, como Arcos de Valdevez, Melgaço e Ponte da Barca, apresentam a maior suscetibilidade devido à elevada intensidade da linha de fogo, enquanto os concelhos litorais, como Viana do Castelo e Caminha, apresentam risco mais reduzido. Esta distribuição reflete a influência da vegetação, relevo e condições meteorológicas na propagação dos incêndios na região do Alto Minho. A classificação destes dados foi feita segundo o artigo de Fernandes and Palheiro (2015).

A figura 25 apresenta a taxa de propagação do fogo (m/s) na região do Alto Minho. A

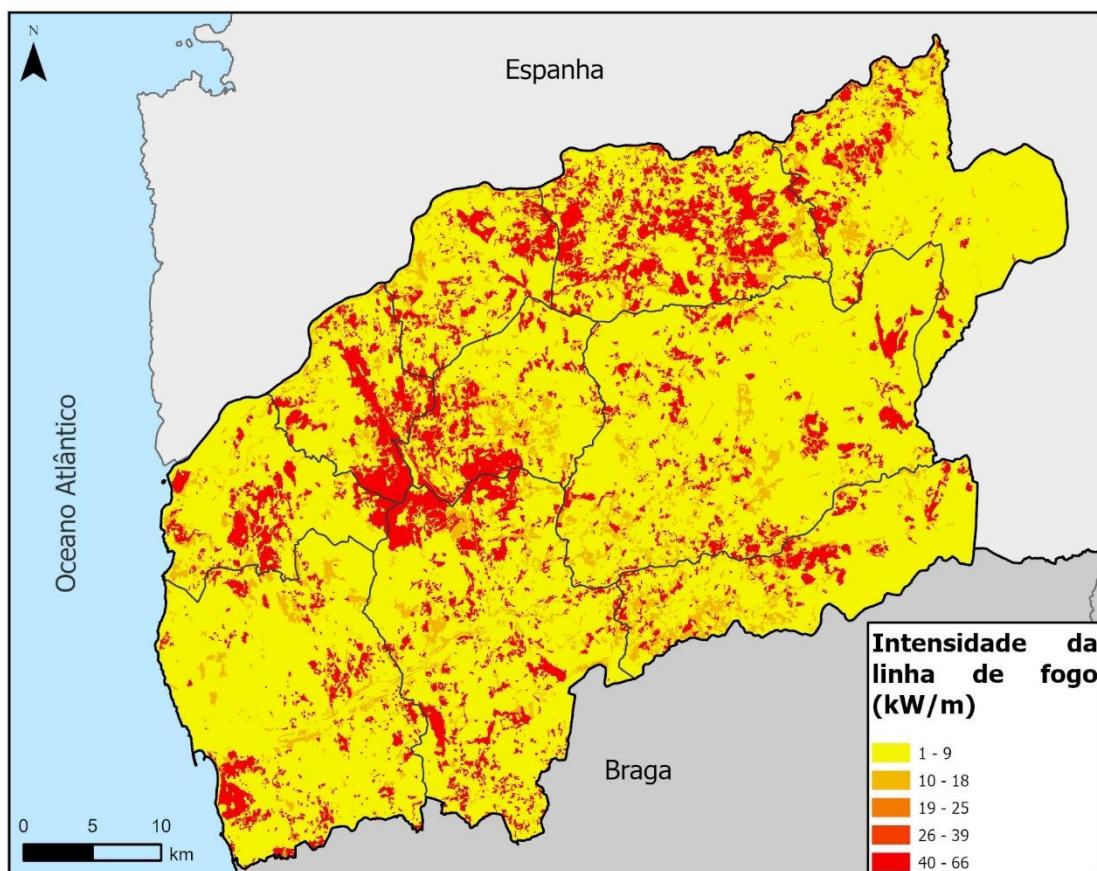


Figura 23. Intensidade da linha de fogo (KW/m).

análise da distribuição espacial das classes revela que as áreas de maior propagação estão concentradas no interior da região, especialmente nos concelhos de Arcos de Valdevez, Melgaço, Monção, Ponte da Barca e Paredes de Coura, onde predominam as classes de maior propagação do fogo (0,044 - 0,497 e 0,498 – 0,499 m/s). Estas zonas apresentam características propícias à rápida propagação do fogo, como relevo

acidentado e grande cobertura florestal. Em contraste, os concelhos do litoral, como Viana do Castelo, Caminha e Vila Nova de Cerveira, exibem uma maior presença das classes mais baixais (0,001 – 0,029 e 0,030- 0,043 m/s), sugerindo uma propagação mais lenta. No entanto, mesmo nessas áreas costeiras, existem alguns focos isolados com propagação elevada, sobretudo em terrenos florestais e próximos a encostas. Os concelhos de Ponte de Lima e Valença apresentam um padrão misto, alternando zonas de propagação moderada com alguns pontos críticos de progressão rápida do fogo. A predominância das classes de propagação mais elevadas no interior da região, confirma a suscetibilidade desses territórios aos incêndios. Em contraste, as áreas litorais demonstram menor risco relativo, embora também estejam sujeitas a algum nível de perigo. A informação foi classificada em quantis, uma vez que os valores gerados não eram coincidentes com os valores que por norma se observam na literatura. Isto pode indicar algum problema no cálculo do comportamento básico do fogo no FlamMap ou algum erro que nos dados de input para a criação do modelo.

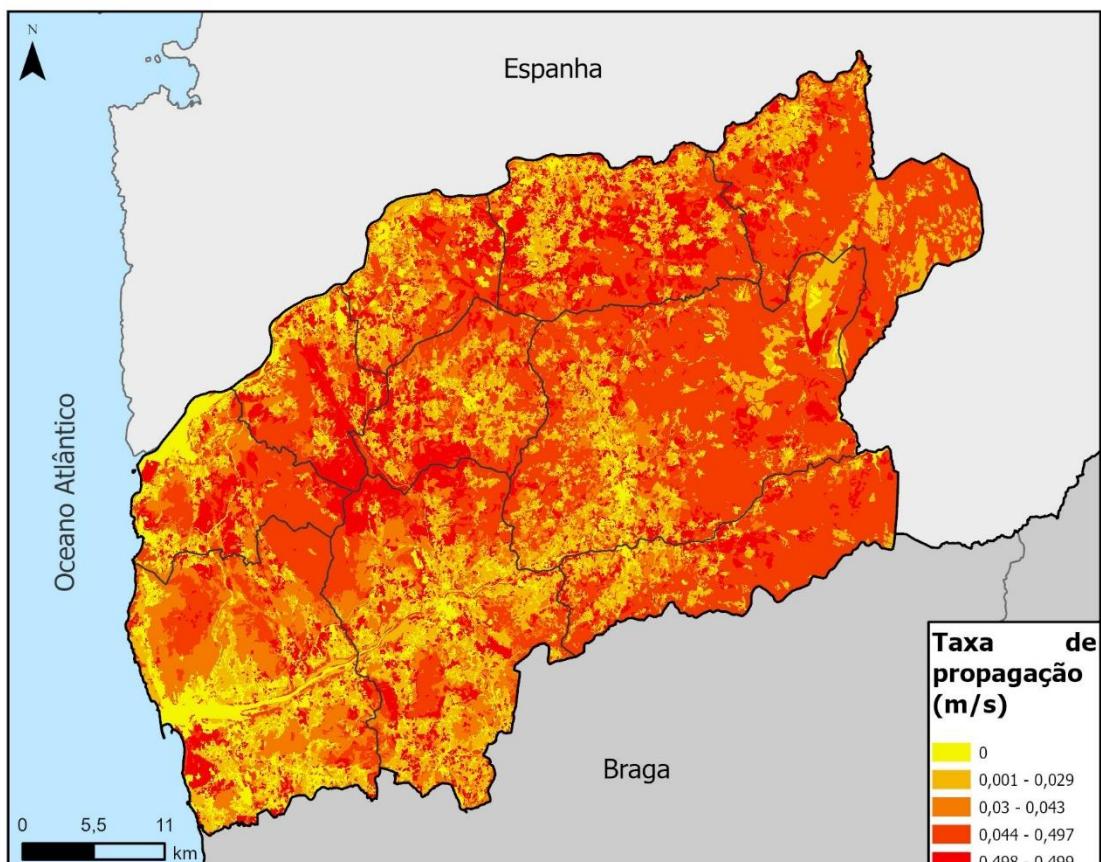


Figura 24. Taxa de propagação do fogo (m/s), Alto Minho.

A figura 26 apresenta a distribuição do comprimento das chamas (m) na região do Alto Minho. A análise espacial revela que grande parte do território apresenta baixo comprimento de chama, indicando que a maioria das áreas apresenta chamas curtas e, consequentemente, menor intensidade de fogo.

No entanto, há regiões significativas com classes de chamas mais longas (0,31 - 0,40 e 0,41 - 0,53 m), especialmente concentradas no interior do Alto Minho, abrangendo concelhos como Arcos de Valdevez, Ponte da Barca, Melgaço e Monção, onde se observa uma maior densidade de áreas com grande comprimento de chama. Estes valores elevados podem estar associados a vegetação densa e terrenos montanhosos, que favorecem o aumento da chama. Além disso, algumas áreas de Ponte de Lima e Paredes de Coura também apresentam focos relevantes de chamas longas, embora em menor extensão.

No litoral, incluindo Viana do Castelo, Caminha e Vila Nova de Cerveira, áreas de baixo comprimento, indicam chamas curtas de menor intensidade, estas comprimento de chama está relacionado ao tamanho da vegetação em áreas de baixos comprimento de chama estão relacionados a vegetação rasteira. No entanto, ainda há pontos isolados com comprimentos de chama mais elevados, isto deve-se ao tamanho da vegetação o comprimento da chama é maior uma vez que o incêndio deve estar a passar por árvores. A informação foi classificada em intervalos iguais. Isto pode indicar algum problema no cálculo do comportamento básico do fogo do FlamMap ou algum erro que nos dados de input para a criação do modelo.

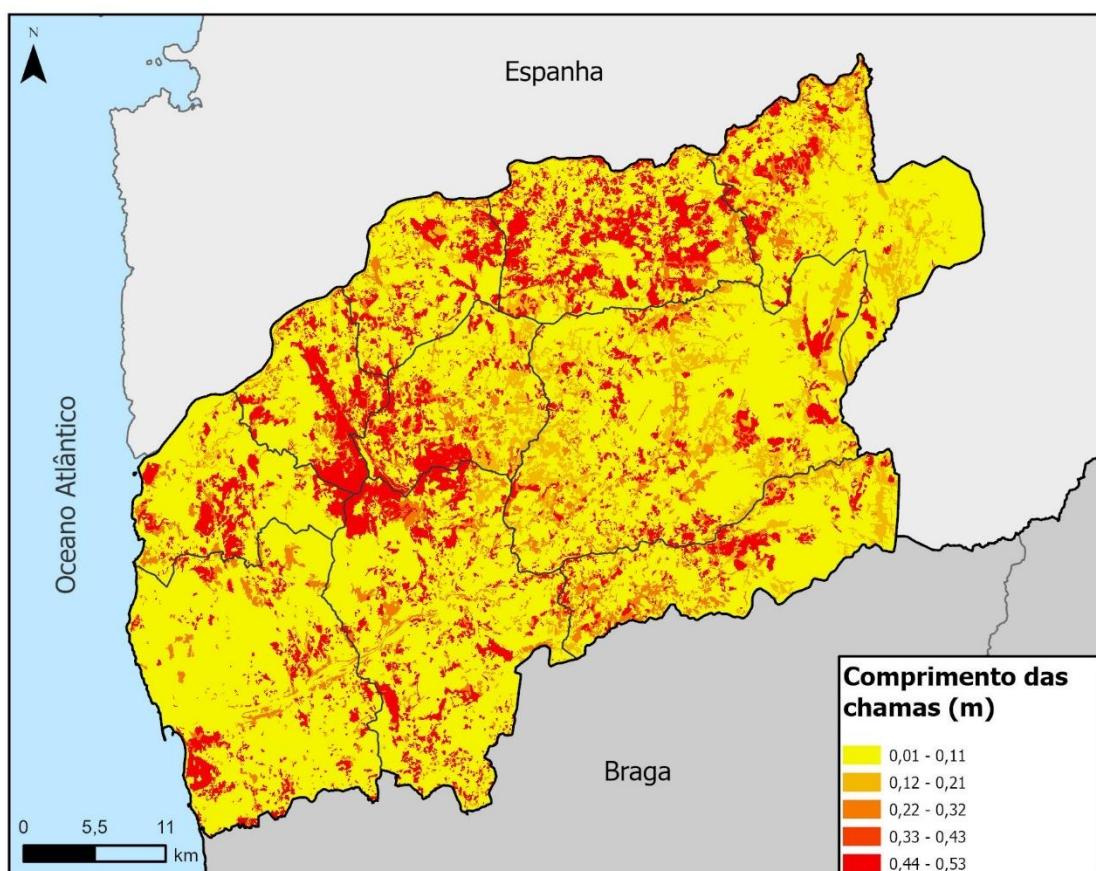


Figura 25. Comprimento das chamas, no Alto Minho.

A figura 27 apresenta a distribuição do calor por unidade de área (kJ/m^2) na sub-região do Alto Minho. Observa-se que a maior parte da região é dominada pela classe mais

baixa (0 – 1500 kJ/m²), indicando que a maioria das áreas apresenta baixos valores de calor por unidade de área, resultando em incêndios de menor intensidade.

No entanto, há áreas significativas com classes de maior calor (4 001 – 5 000, 5 001 – 6 000 e 6 001 – 7 909 kJ/m²) distribuídas principalmente no interior da área de trabalho, abrangendo concelhos como Arcos de Valdevez, Melgaço, Monção, Ponte da Barca e Paredes de Coura, onde se destacam diversas áreas com classes de maior valor. Estes valores elevados estão provavelmente relacionados à presença de vegetação densa e terrenos montanhosos, que favorecem o acúmulo de biomassa combustível e uma maior intensidade de incêndios.

Os concelhos de Ponte de Lima e Valença apresentam uma distribuição mista, com áreas predominantemente de baixos valores de calor por área unidade, mas com algumas manchas de calor elevado, especialmente nas zonas florestais e agrícolas. Já os concelhos mais próximos do litoral, como Viana do Castelo, Caminha e Vila Nova de Cerveira, apresentam uma predominância dos valores baixos de libertação de calor (0 – 1500 kJ/m²) indicando que nessas áreas os incêndios tendem a libertar menor quantidade de calor. No entanto, ainda existem alguns focos isolados em tons vermelhos e laranjas, indicando que, mesmo nessas regiões, há locais onde a quantidade de calor dos incêndios pode ser significativa.

Uma análise global da imagem indica que o interior do Alto Minho é uma zona mais suscetível em termos de intensidade térmica de incêndios, enquanto o litoral apresenta menor risco relativo, mas não está completamente isento. A distribuição dos valores de calor por unidade de área reflete padrões semelhantes aos observados na intensidade da linha de fogo e no comprimento das chamas. A informação foi classificada em intervalos iguais.

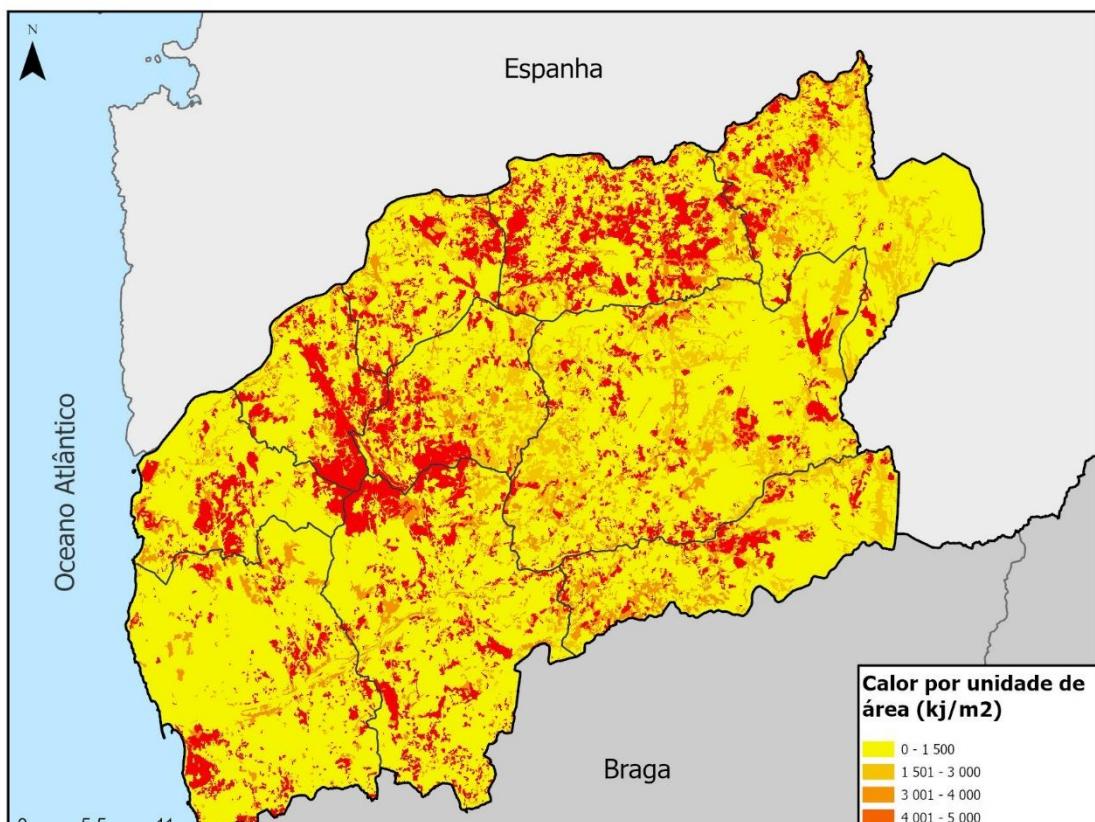


Figura 26. Calor por unidade de área (KJ/m²), no Alto Minho.

6. Considerações Finais

Em conclusão, algumas sugestões para trabalhos futuros incluem a análise dos dados relacionados aos pontos de ignição, permitindo obter informações detalhadas sobre as características dos incêndios na sub-região. Além disso, destaca-se a importância de preparar e integrar os dados fornecidos pelo Professor Paulo Fernandes no software ao término do período de estágio.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, é recomendado realizar uma análise mais detalhada dos resultados, de modo a permitir comparações mais robustas com estudos similares. Isso ajudará a validar os modelos utilizados e a identificar possíveis melhorias na abordagem metodológica.

Além disso, é importante aprofundar o conhecimento sobre os modelos de combustíveis e a utilização do FlamMap, de modo a adquirir uma compreensão mais precisa das funcionalidades e limitações destes instrumentos.

Referências Bibliográficas

- Albini, F. A. (1979). *Spot fire distance from burning trees: a predictive model* (Vol. 56). Intermountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, US
- Cruz, M., & Fernandes, P. (2008). Development of fuel models for fire behavior prediction in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stands. *International Journal of Wildland Fire*, 17, 194-204. <https://doi.org/10.1071/WF07009>
- Fernandes, P., & Loureiro, C. (2022). *Modelos de combustível florestal para Portugal - Documento de referência, versão de 2021.*
- Fernandes, P., Vale-Gonçalves, H., Loureiro, C., Fernandes, M., Costa, T., Cruz, M., & Botelho, H. (2009). *Modelos de Combustível Florestal para Portugal.*
- Finney, M. A. (1998). *FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation (Res. Pap. RMRS-RP-4, revisto em 2004).* <http://dx.doi.org/10.2737/RMRS-RP-4>
- Finney, M. A. (2006). An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In: Andrews, Patricia L.; Butler, Bret W., comps. 2006. Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 213-220,
- Finney, M. A., Brittain, S., Seli, R. C., McHugh, C.W., and Gangi, L. (2023). *FlamMap:Fire Mapping and Analysis System (Version 6.2) [Software]. Available from* <https://www.firelab.org/project/flammap>
- ICNF. (2020). *Metodologia para a produção da Carta de Perigosidade de Incêndio Rural de cariz estrutural: Relatório Definitivo.* <https://www.icnf.pt/api/file/doc/96bb210ebf341cda>
- Nelson Jr, R. M. (2000). Prediction of diurnal change in 10-h fuel stick moisture content. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(7), 1071-1087.
- Oliveira, T. M., Barros, A. M. G., Ager, A. A., & Fernandes, P. M. (2016). Assessing the effect of a fuel break network to reduce burnt area and wildfire risk transmission. *International Journal of Wildland Fire*, 25(6), 619-632. <https://doi.org/https://doi.org/10.1071/WF15146>
- Rothermel, R. C. (1972). *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels* (Vol. 115). Intermountain Forest & Range Experiment Station, Forest Service, US
- Rothermel, R. C. (1991). *Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains* (Vol. 438). US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range
- Scott, J. H. (2001). *Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior.* US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Wagner, C. V. (1977). Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(1), 23-34.
- Antunes, F. d. S. (2023). Avaliação da suscetibilidade e probabilidade de incêndios rurais no Alto Minho em ambiente SIG.
- Oliveira, T. M., Barros, A. M. G., Ager, A. A., & Fernandes, P. M. (2016). Assessing the effect of a fuel break network to reduce burnt area and wildfire risk transmission.

International Journal of Wildland Fire, 25(6), 619-632.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1071/WF15146>

Scott, J. H., & Burgan, R. E. (2005). *Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model.*
<http://dx.doi.org/10.2737/RMRS-GTR-153>

Fernandes, P., & Loureiro, C. (2022). *Modelos de combustível florestal para Portugal - Documento de referência, versão de 2021.*

Fernandes, P., & Palheiro, P. (2015). *Interpretação dos índices do Sistema Canadiano de Indexação do Perigo de Incêndio Florestal.*
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3683.8568>

Fernandes, P., Vale-Gonçalves, H., Loureiro, C., Fernandes, M., Costa, T., Cruz, M., & Botelho, H. (2009). *Modelos de Combustível Florestal para Portugal.*

Scott, J. H., & Burgan, R. E. (2005). *Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model.*
<http://dx.doi.org/10.2737/RMRS-GTR-153>