

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Avaliação da perigosidade e exposição a incêndios rurais à escala local
com aplicação de rotinas automatizadas**

Catarina Machado Cabrita

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao
Ordenamento

Dissertação orientada pela Doutora Sandra Isabel Santos De Oliveira

2024

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Avaliação da perigosidade e exposição a incêndios rurais à escala local com
aplicação de rotinas automatizadas**

Catarina Machado Cabrita

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento

Dissertação orientada pela Doutora Sandra Isabel Santos De Oliveira

Júri:

Presidente: Doutor Nuno Manuel Sessarego Marques da Costa, Professor Associado do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Doutora Adélia de Jesus Nobre Nunes, Professora Associada com Agregação da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra
- Doutor Rafaello Costa Gomes Vieira Bergonse, Professor Auxiliar Convidado do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT-Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto “*Modelação de mudanças climáticas e de ocupação do solo para avaliação de perigosidade a incêndios no futuro*” – Change4Fire [2020.05015.PTDC]



Declaração de Autoria

Eu, Catarina Machado Cabrita, declaro que a presente dissertação de mestrado intitulada “Avaliação da perigosidade e exposição a incêndios rurais à escala local com aplicação de rotinas automatizadas”, é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas na bibliografia ou outras listagens de fontes documentais, tal como todas as citações diretas ou indiretas têm devida indicação ao longo do trabalho segundo as normas académicas.

Agradecimentos

Esta dissertação pode ter apenas o meu nome na capa, no entanto não só é minha, mas de todos aqueles que me acompanharam nesta jornada.

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha orientadora Sandra Oliveira, por ter aceitado acompanhar-me neste percurso e me ter apoiado incansavelmente. Pela compreensão, motivação e orientação. Foi sem dúvida uma das pessoas mais cruciais nesta etapa da minha vida, tanto a nível académico e profissional, mas acima de tudo, pessoal.

Gostaria também de agradecer ao professor Raffaello Bergonse, por toda a ajuda, disponibilidade e paciência que teve comigo durante estes últimos meses para me ensinar a trabalhar com o FlamMap e também ao professor Ezequiel Correia por me ter ajudado a obter alguns dados.

À Ana e ao Bruno, por me acompanharem na minha primeira conferência e desde então terem-me ajudado sempre que precisei. Obrigada Bruno, por todas as simulações que correste por mim.

À minha família, em especial aos meus pais e irmão, pela paciência inesgotável e pelo suporte emocional que foi tão importante e crucial para conseguir concluir todas as etapas da minha vida.

À Daniela, amiga de vida. Pela simples presença e apoio nos dilemas da vida, independentemente da distância.

Ao Samuel, de quem tenho tantas saudades. Por me ter acompanhado neste percurso académico e nunca me ter deixado desistir. Obrigada por todas as chamadas de vídeo que tornaram a distância entre continente e ilha um pouco mais fácil de suportar.

À Claudia, Maria e João de Carvalho, amigos que Lisboa me deu. Por terem estado ao meu lado nos momentos menos bons e por todos aqueles incríveis que me proporcionaram.

À Inês, pelo porto de abrigo que te tornaste. Mesmo não me tendo acompanhado desde o início, foste a motivação de que precisei para concluir esta fase, até quando parecia impossível.

Avô, tu que não conseguis ficar até ao fim, esta dedico-te a ti. Consegui Zé!

Resumo

Portugal tem enfrentado um aumento de incêndios rurais. Episódios em 2017 queimaram 6% do território nacional, realçando a importância de medidas de prevenção e mitigação mais eficientes.

Este trabalho analisa a perigosidade e exposição a incêndios rurais em três municípios – Chaves, Góis e Monchique – selecionados a partir do Programa Nacional de Ação de 2021. O objetivo é identificar áreas prioritárias para proteção da população e edifícios, averiguando como diferentes intervenções territoriais, como conversão de combustíveis em redor das aldeias, podem influenciar o nível de exposição.

A exposição a incêndios foi analisada em duas vertentes: Estrutural e Dinâmica. Para a estrutural, foram criadas áreas de proteção em torno das aldeias (com 100 m e 500 m) e calculada a percentagem de área crítica (perigosidade alta ou muito alta) dentro destas, multiplicada pela quantidade de elementos expostos estimada para cada aglomerado. Para a exposição dinâmica, foi utilizado o FlamMap para calcular a probabilidade de arder e testados três cenários: i) *Business As Usual*, com representação dos combustíveis nas condições atuais; ii) Alteração do coberto vegetal, numa área de proteção de 100 m; iii) Alteração do coberto vegetal, numa área de proteção de 500 m.

Na exposição estrutural verificou-se um aumento da área crítica em redor das aldeias, quando aumentada a largura da área de proteção, principalmente em Chaves, já em Góis e Monchique a diferença foi menor. Na exposição dinâmica, a percentagem de área crítica em todos os municípios tende a diminuir com o aumento da área de proteção e conversão de combustível florestal, sendo variável por município.

Este estudo demonstra que a análise da perigosidade e exposição a incêndios rurais a uma escala local permitem uma hierarquização de recursos e definição de medidas de prevenção e mitigação, podendo ser replicado para o território, através de ferramentas de geocomputação e SIG.

PALAVRAS-CHAVE: Exposição a incêndios rurais; aglomerados; elementos expostos; áreas de proteção; cenários de conversão de combustível;

Abstract

Portugal has been facing an increase in wildfires. Incidents in 2017 burned 6% of the national territory, highlighting the importance of more efficient prevention and mitigation measures.

This study analyzes the hazard and exposure to wildfires in three municipalities – Chaves, Góis and Monchique – Selected from the 2021 National Action Program. The aim is to identify priority areas for the protection of the population and buildings, examining how different territorial interventions, such as fuel conversion around villages, can influence the level of exposure.

Wildfire exposure was analyzed in two dimensions: Structural and Dynamic. For the structural one, protection areas were created around villages (100 m and 500 m) and the percentage of critical area (high and very high hazard) within these areas was calculated, multiplied by the amount of exposed elements estimated for each human settlement. For the dynamic exposure, FlamMap was used to calculate the probability of burning, and three scenarios were tested: i) Business As Usual, with fuel conditions as they are today; ii) Vegetation cover change within a 100 m protection area; iii) Vegetation cover change within a 500 m protection area.

In the structural exposure analysis, there was an increase in the critical area around villages as the protection area width increased, especially in Chaves, while the difference in Góis and Monchique was smaller. In dynamic exposure, the percentage of critical area in all municipalities tends to decrease with the increase of the protection areas and forest fuel conversion, varying by municipality.

This study demonstrates that analyzing wildfire hazard and exposure on a local scale allows for resources prioritization and the definition of prevention and mitigation measures, which can be replicated across the territory using geocomputation and GIS tools.

KEYWORDS: Wildfire exposure; human settlements; exposed elements; protection areas; fuel conversion scenarios

Índice

1. Introdução	1
2. Estado da arte	5
2.1. Incêndios rurais e suas condicionantes em Portugal	5
2.2. Avaliação da perigosidade e exposição a incêndios rurais.....	8
2.3. Aplicação de rotinas automatizadas.....	11
2.4. Programa Nacional de Ação (PNA)	12
3. Metodologia.....	15
3.1. Recolha e tratamento de dados	16
a) Caracterização das áreas de estudo.....	16
b) Exposição Estrutural.....	17
c) Exposição Dinâmica	19
3.2. Análise de dados e modelação	21
a) Exposição Estrutural.....	21
b) Exposição Dinâmica.....	23
4. Caracterização das áreas de estudo	29
a) Chaves	29
b) Góis.....	38
c) Monchique	46
4.1. Tendências gerais	54
5. Resultados	55
5.1. Análise da Perigosidade e Exposição Estrutural.....	55
5.1.1. Perigosidade estrutural	55
5.1.2. Exposição estrutural.....	60
5.2. Análise da Exposição Dinâmica.....	65
5.2.1. Probabilidade de arder - Cenário BAU	65
5.2.2. Probabilidade de arder – Área de proteção de 100 m.....	68
5.2.3. Probabilidade de arder – Área de proteção de 500 m.....	72
5.2.4. Exposição dinâmica	77
5.3. Comparação de resultados.....	80
5.3.1. Comparação entre cenários de probabilidade de arder	80
5.3.2. Comparação entre perigosidade, probabilidade de arder e exposição	81
6. Discussão de resultados.....	83
7. Conclusões	89
Referências bibliográficas.....	91

Anexos 95

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução do número de incêndios e área ardida (ha) 2012-2022 Fonte: AGIF-SGIFR.....	6
Figura 2 - Classes de uso do solo por unidade territorial NUTS II, COS2018. Fonte: DGT (2020).....	7
Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada.....	16
Figura 4 - Exemplo da criação dos limites das áreas de proteção na envolvente dos aglomerados, a 100 e a 500 m, na freguesia de Marmeleite, município de Monchique.....	18
Figura 5 - Localização das áreas de estudo em Portugal	29
Figura 6 - Enquadramento geográfico do município de Chaves.....	30
Figura 7 - Topografia, no município de Chaves. a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes .	32
Figura 8 - Ocupação do solo, no município de Chaves	33
Figura 9 - Áreas edificadas, no município de Chaves.....	34
Figura 10 - Número de ocorrências e área ardida por ano, entre 2000 e 2020, no município de Chaves	36
Figura 11 - a) Área ardida; b) Número de vezes que a célula de 25 m ardeu, no município de Chaves entre 2000 – 2020.....	36
Figura 12 - Carta de perigosidade estrutural 2020-2030, no município de Chaves (ICNF, 2021).....	37
Figura 13 - Enquadramento geográfico do município de Góis	38
Figura 14 - Topografia, no município de Góis. a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes....	40
Figura 15 - Ocupação do solo, no município de Góis.....	41
Figura 16 - Área edificada, no município de Góis	42
Figura 17 - Ignições e Área ardida por ano, no município de Góis	43
Figura 18 - a) Área ardida; b) Nº de vezes que a célula de 25 m ardeu, no município de Góis entre 2000 – 2020	44
Figura 19 - Carta de perigosidade estrutural 2020-2030, no município de Góis (ICNF, 2021)	45
Figura 20 - Enquadramento geográfico do município de Monchique	46
Figura 21 - Topografia, no município de Monchique. a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes	48
Figura 22 - Ocupação do solo, no município de Monchique	50
Figura 23 - Áreas edificadas, no município de Monchique.....	51
Figura 24 - Ignições e Área ardida por ano, no município de Monchique.....	52
Figura 25 - a) Área ardida; b) Nº de vezes que a célula de 25 m ardeu, no município de Monchique entre 2000 – 2020.....	52
Figura 26 - Carta de perigosidade estrutural 2020-2030, no município de Monchique (ICNF, 2021)..	53

Figura 27 - Percentagem de aglomerados com Área Crítica na envolvente, consoante a largura da área de proteção	56
Figura 28 - Nível de área crítica (perigosidade estrutural) acima de 40%, quando aplicada uma área de proteção de 100 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique.....	58
Figura 29 - Nível de área crítica (perigosidade estrutural) acima de 40%, quando aplicada uma área de proteção de 500 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique.....	59
Figura 30 - Percentagem de aglomerados com Exposição Estrutural superior a 40%, consoante a largura da área de proteção	61
Figura 31 - Nível de exposição estrutural acima de 40, quando aplicada uma área de proteção de 100 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique	63
Figura 32 - Nível de exposição estrutural acima de 40, quando aplicada uma área de proteção de 500 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique	64
Figura 33 - Probabilidade de arder do cenário BAU, classificado por quintis: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique	66
Figura 34 - Probabilidade de arder do cenário implementação de áreas de proteção de 100 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique	70
Figura 35 - Distribuição espacial da variação de AC entre o BAU e o cenário 1 (100 m): a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique	71
Figura 36 - Percentagem das classes de probabilidade de arder em cada cenário, no município de Chaves.....	73
Figura 37 - Percentagem das classes de probabilidade de arder em cada cenário, no município de Góis	74
Figura 38 - Percentagem das classes de probabilidade de arder em cada cenário, no município de Monchique.....	74
Figura 39 - Probabilidade de arder do cenário implementação de áreas de proteção de 500 m: a) Município de Chaves; c) Município de Góis; d) Município de Monchique	75
Figura 40 - Distribuição espacial da variação de AC entre o BAU e o cenário 1 (500 m): a) Município de Chaves; c) Município de Góis; d) Município de Monchique	76
Figura 41 - Nível de exposição dinâmica acima de 40, quando aplicada uma área de proteção de 100 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique	78
Figura 42 - Nível de exposição dinâmica acima de 40, quando aplicada uma área de proteção de 500 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique	79

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características das variáveis recolhidas	21
Tabela 2 - Número de ignições aleatórias por direção do vento, para cada área de estudo	25
Tabela 3 - Classes da topografia, no município de Chaves: a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes	31
Tabela 4 - Classes de ocupação do solo, no município de Chaves.....	33
Tabela 5 - Classes da topografia, no município de Góis: a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes	39
Tabela 6 - Classes de ocupação do solo, no município de Góis	41
Tabela 7 - Topografia no município de Monchique: a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes	47
Tabela 8 - Classes de ocupação do solo, no município de Monchique.....	49
Tabela 9 - Características gerais das áreas de estudo	54
Tabela 10 - Variação de AC em função da conversão de combustível, nos três municípios, para os cenários 1 e 2	80
Tabela 11 - Variação de aglomerados com AC, em função da conversão de combustível, nos três municípios, para os cenários 1 e 2	80
Tabela 12 - Variação de AC para a Perigosidade Estrutural e Probabilidade de Arder nos diversos cenários, para os três municípios	81
Tabela 13 - Aglomerados com AC, tendo em conta a Perigosidade Estrutural, Probabilidade de Arder e Exposição.....	82

Lista de acrónimos

AIGP - Áreas Integradas de Gestão de Paisagem

BAU - *Business As Usual*

CAE - Carta de Áreas Edificadas

CAOP - Carta Administrativa Oficial de Portugal

COS - Carta de Uso e Ocupação do Solo

DGT - Direção Geral do Território

ECMWF - *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*

EWE - *Extreme Wildfire Events*

ICNF - Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas

IFN - Inventário Florestal Nacional

INE - Instituto Nacional de Estatística

MDE - Modelo Digital de Elevação

MTT - *Minimum Travel Time*

PNA - Programa Nacional de Ação

PNGIFR - Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais

PNDFCI - Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios

PMDFCI - Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios

SDFCI - Sistema Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios

SGIFR - Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

USDA – *United States Department of Agriculture*

1. Introdução

Os incêndios rurais representam um sério desafio ambiental, económico e social, ameaçando cada vez mais não apenas os ecossistemas, mas também as comunidades locais e respetivos bens.

A grande maioria dos incêndios rurais registados todos os anos mundialmente são de pequena dimensão, contudo existem exceções que acabam por se tornar muito grandes, gerando grandes impactos ecológicos e socioambientais (Tedim et al., 2018). Estes grandes incêndios têm ocorrido por todo o mundo e são cada vez mais recorrentes, como por exemplo no Canadá (2016), Chile, EUA e Portugal (2017), norte da Europa e sul de África (2018), Bolívia (2019) e Austrália (2020), mostrando o seu potencial destrutivo (Benali et al., 2021; Bergonse et al., 2022; Duane et al., 2021; Oliveira et al., 2020).

Apesar de ser o menor dos cinco países do sul da Europa, Portugal é dos mais afetados pelos incêndios rurais (San-Miguel-Ayanz et al., 2023). Já foram destruídos milhares de hectares por conta destes eventos, onde se destacam os episódios mais marcantes: 2003 com mais de 425 mil ha de área ardida; 2005 com mais de 300 mil ha e 2017 – tendo sido um ano excepcional – onde arderam no total cerca de 500 mil ha (Gonçalves et al., 2021; Verde & Zêzere, 2010). A explicação para estes eventos tão extremos e cada vez mais regulares, pode ser associado à combinação da crescente homogeneização das paisagens, resultante do abandono rural, com as condições meteorológicas extremas dos últimos verões (Barbosa et al., 2024; Tedim et al., 2018; Duane et al., 2021).

Os incêndios rurais podem ameaçar a segurança das comunidades humanas mais expostas, provocando feridos, perdas de vida e destruindo infraestruturas, muitas delas residenciais (Benali et al., 2023). Em 2017 perderam-se 117 vidas e feriram-se dezenas de pessoas no decurso dos incêndios então ocorridos, havendo ainda registos de centenas de habitações destruídas (RCM nº 45-A/2020, de 16 de junho). O aumento da exposição de pessoas e bens a incêndios rurais tem vindo a acentuar-se nos últimos anos. Este tem-se verificado, por um lado, devido à expansão urbana que se tem sentido em áreas de denso coberto vegetal, por outro, devido ao êxodo rural que se traduz no abandono de áreas agrícolas e, consecutivamente, em acumulação de material combustível e conversão de áreas agrícolas em mato (Barbosa et al., 2024).

Com o aumento da ocorrência de eventos extremos de incêndios rurais, a maior das preocupações reside na segurança das pessoas, perdas económicas e impactos de longo prazo nas comunidades locais (Tedim et al., 2018; Duane et al., 2021). Diversos estudos têm vindo a focar-se na análise da necessidade de medidas e estratégias para melhorar a proteção de comunidades rurais, identificando a exposição a incêndios como um elemento-chave para ações de redução do risco a incêndios rurais (Chas-Amil et al., 2020). É importante compreender a extensão e localização da

população efetivamente exposta, para desenvolver estratégias eficientes de redução de risco. Uma análise de componentes de risco à escala local, torna-se por isso necessária e crucial a aplicação de medidas de prevenção e mitigação de incêndios rurais.

O risco e exposição a incêndios rurais tende a aumentar devido às alterações climáticas que se têm instalado nos últimos anos. Um dos impactos observados é o aumento da época de incêndios que tende a começar mais cedo e a terminar mais tarde, articulando-se ainda ao aumento da ocorrência de eventos mais extremos no que toca à sua dimensão de área ardida, duração, intensidade, severidade e também perda de vidas e propriedades (Bowman et al., 2017).

É já esperado um aumento das temperaturas no sul da Europa, resultando em ondas de calor e secas mais frequentes. Por conseguinte, é também expectado um aumento na ocorrência de incêndios rurais (Lozano et al., 2017; Bowman et al., 2017).

Em Portugal condições meteorológicas e climáticas têm favorecido a ocorrência mais frequente de incêndios extremos (Tedim et al., 2018), como foi possível constatar nos episódios decorridos em 2017. De acordo com o Programa Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais (PNGIFR), várias projeções até 2040 estimam um aumento da temperatura máxima no verão entre os 0,5°C na zona costeira e 2°C no interior, indicando um incremento na frequência e intensidade de ondas de calor. Cenários para 2100 estimam uma redução de 20% a 40% da ocorrência de precipitação na primavera, verão e outono. Assim os efeitos combinados do aumento da temperatura com a redução de precipitação, proporcionarão uma maior disponibilidade de combustíveis e, por conseguinte, um território mais propenso à ocorrência de incêndios rurais.

Deste modo, depois dos incêndios de 2003 e 2005 foi implementada uma nova legislação, o Decreto-Lei nº 124/2006, de 28 de junho, que estabeleceu medidas de prevenção e mitigação bem como ações a desenvolver no âmbito do Sistema de Defesa da Floresta contra Incêndios (SDFCI), onde foi elaborado também o Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios (PNDFCI) que teve como principal objetivo definir medidas estratégicas e operacionais para prevenir e combater incêndios rurais em Portugal, integrando ações de prevenção, vigilância e combate, além de promover a recuperação de áreas afetadas.

No ano de 2017, para além da área ardida total, registou-se o maior número de perdas humanas (Gómez-González et al., 2018; Ribeiro et al., 2020). O impacto destes números chocou a sociedade em geral, levando ao reconhecimento da necessidade de uma mudança de paradigma na gestão de florestas e incêndios (Benali et al., 2021), o que motivou o governo a desenvolver estratégias mais coesas (Alcasena et al., 2021).

Desde então, foram criados novos instrumentos legislativos e de gestão territorial visando a atualização da legislação, tendo sido implementado o novo Decreto-Lei n.º 82/2021, de 13 de outubro

estabelecendo o Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR), que promoveu a realização de um encontro internacional onde se recolheu informação sobre as melhores práticas de outros países com situações semelhantes. Foi também criado o Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais (PNGIFR) (RCM nº 45-A/2020, de 16 de junho) como instrumento estratégico que orienta todas as ações de prevenção, preparação, resposta e recuperação no âmbito dos incêndios rurais, com a principal missão de *“proteger as pessoas e bens dos incêndios rurais e valorizar os espaços silvestres, mantendo os ecossistemas em bom estado de conservação”*. Este plano surge ainda alinhado com o objetivo de proporcionar melhorias no Programa Nacional de Ação (PNA) (RCM n.º 71-A/2021, de 8 de junho), que atribui prioridades e detalha as linhas de ação, projetos a implementar, estabelecendo os respetivos prazos e entidades primariamente responsáveis e participantes, incorporando e reforçando medidas que já têm vindo a ser implementadas nos últimos dois anos, de modo a atingir os objetivos estratégicos do PNGIFR.

Dada a crescente ameaça representada pelos incêndios rurais em diversas regiões de Portugal, torna-se fundamental avaliar estratégias eficazes para mitigar o risco e proteger comunidades locais. Neste sentido, o presente trabalho visou explorar a utilização de diferentes abordagens da exposição a incêndios rurais, para identificar aglomerados com necessidade de proteção, contribuindo para uma tomada de decisão mais eficaz e para a aplicação de medidas de mitigação mais eficientes. Para responder a esta questão, duas hipóteses são propostas:

- A implementação de áreas de proteção com uma largura de 100 metros em torno dos aglomerados rurais é suficiente para reduzir a probabilidade de arder e exposição a incêndios.
- A conversão de combustível florestal em torno dos aglomerados rurais reduz a probabilidade de ocorrência de incêndios.

Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é contribuir para a análise da perigosidade e exposição a incêndios à escala local, de forma a identificar áreas prioritárias de intervenção para medidas de prevenção e mitigação, tendo em conta as características demográficas e condições biofísicas.

Os objetivos específicos definidos são:

- i. Analisar a perigosidade e a exposição a incêndios rurais, à escala local, tendo em conta os fatores condicionantes do território, as características dos elementos expostos e simulações de probabilidade de arder;
- ii. Identificar áreas prioritárias de gestão territorial para proteção dos elementos expostos, nomeadamente núcleos urbanos (pessoas e bens);
- iii. Analisar como diferentes níveis de intervenção no território – através da utilização de áreas de proteção em redor das aldeias com diferentes perímetros – e gestão de

combustível – através da alteração da ocupação do solo – podem alterar o nível de exposição;

- iv. Criar rotinas de processamento automatizadas, que permitam a replicação dos procedimentos de análise espacial para outras áreas, utilizando ferramentas associadas a Sistemas de Informação Geográfica e geocomputação.

Estrutura

Esta dissertação estrutura-se em 7 capítulos. O primeiro capítulo contém a introdução da temática e a descrição dos objetivos. No segundo capítulo é apresentado o estado do conhecimento da temática e contextualização de termos científicos utilizados.

Seguido pelo terceiro capítulo que descreve dados recolhidos e detalha a metodologia utilizada, para descrever as áreas de estudo, calcular e analisar a perigosidade estrutural ao nível dos aglomerados e avaliar a exposição a incêndios, de carácter estrutural e dinâmico.

O quarto capítulo apresenta o enquadramento geográfico das áreas de estudo escolhidas, as suas características biofísicas e demográficas e uma breve descrição do histórico de incêndios e padrões espaciais da perigosidade estrutural atribuída a cada município.

O quinto capítulo é composto pelos resultados obtidos e é seguido pelo capítulo seis, onde é apresentada uma discussão sobre os mesmos, complementado com a comparação dos resultados obtidos nos trabalhos mencionados na revisão da literatura.

Por fim a dissertação termina com um capítulo com as conclusões retiradas dos resultados acima mencionados, bem como sugestões para medidas de prevenção e mitigação dos incêndios aplicadas à escala local e a eventualidade de replicar as metodologias aqui utilizadas noutras áreas.

2. Estado da arte

2.1. Incêndios rurais e suas condicionantes em Portugal

Contextualização dos incêndios rurais

Os incêndios rurais, são uma temática bastante presente no contexto dos riscos naturais em Portugal, representando uma ameaça crescente para pessoas, bens e recursos naturais, com grande destaque nas regiões mediterrâneas (Tedim et al., 2018).

Um incêndio rural corresponde a uma deflagração ou progressão do fogo, de modo não planeado ou não controlado, em território rural, requerendo ações de supressão (DL nº 82/2021, 13 de outubro). Estes são mais habituais em áreas de clima mediterrânico, particularmente em dias quentes e secos e quando se associam a ventos fortes (Julião et al., 2009).

Foi após a ocorrência dos incêndios de 2017 que se tornou evidente que este problema, muitas vezes associado exclusivamente ao contexto das florestas, não se limita a áreas meramente florestais. Mais do que incêndios florestais, são incêndios rurais, afetando também áreas incultas e agrícolas, e nalguns casos entrando mesmo nos espaços verdes urbanos (RCM nº 45-A/2020, de 16 de junho). Esta mudança de terminologia, foi formalizada a partir de 2020 e será adotada nesta dissertação para se alinhar com as práticas atuais de gestão de incêndios.

O ano de 2017 foi particularmente marcante para o Sul da Europa, com a ocorrência de incêndios destrutivos associados a secas anormais e ondas de calor. Neste ano, Portugal passou por uma época de incêndios extraordinariamente intensa, com a ocorrência de dois eventos em particular que começaram antes (17-20 de junho) e depois (15-17 de outubro) da época oficialmente estabelecida pelas autoridades portuguesas (Turco et al., 2019).

As alterações climáticas das últimas décadas foram fortemente associadas a estes grandes incêndios rurais. Os cenários decorridos em Pedrogão Grande e Góis, coincidiram com temperaturas anormalmente altas e uma humidade relativa baixa, aliados ainda a trovoada (Sanches-Benítez et al., 2018). O Instituto Português do Mar e da Atmosfera afirmou também que os ventos fortes e persistentes, permitiram a rápida propagação do fogo e que, juntamente com o a vegetação e solo secos, o evento meteorológico criou condições para o desenvolvimento dos incêndios rurais extremos.

Neste contexto, vários autores tentaram compreender e identificar os mecanismos por de trás destes eventos de incêndios rurais extremos (*Extreme Wildfires Events*), determinados pelo seu comportamento imprevisível de fogo, com intensidade extrema, alta taxa de propagação e projeção a longas distâncias (Tedim et al., 2018; Duane et al., 2021).

A Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais (AGIF) elaborou o Relatório de Atividades do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR) de 2022 que lança um ponto de situação sobre os incêndios de 2022 comparando-o a anos anteriores. Neste relatório, é feito um balanço relativamente ao número de incêndios ocorridos e à área ardida total. Apesar de ter registado mais 26% de incêndios rurais face a 2021, o ano de 2022 registou menos 46% de ocorrências, comparativamente, à média registada na década anterior (2010-2019) (figura 1). No que diz respeito à área ardida total, mesmo tendo registado uma área ardida superior aos anos anteriores, o total ficou 20% abaixo da média para 2010-2019 (figura 1) (AGIF, 2023).

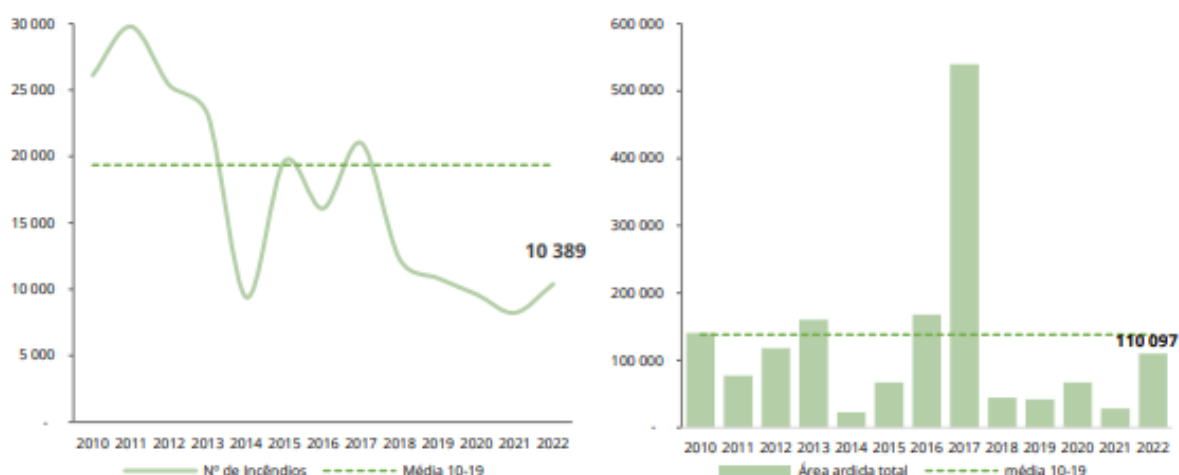


Figura 1 - Evolução do número de incêndios e área ardida (ha) 2012-2022 Fonte: AGIF-SGIFR

Evolução da floresta

Em Portugal, a soma das áreas de floresta com matos e pastagens naturais (designada como espaços florestais) ocupam cerca de 2/3 do território continental, sendo que a dimensão da florestal ocupa cerca de 35% do território e os matos e pastagens 32% (ICNF, 2019; Oliveira & Pereira, 2018). De acordo com o relatório do 6º Inventário Florestal Nacional (IFN6) (ICNF, 2019), a área florestal em Portugal entre 1910 e 1990 aumentou cerca de 0,6% ao ano, atingindo o seu auge na década de 90 (cerca de 40%) que acabou por estagnar, registando-se um decréscimo de 0,3% por ano.

A crescente perturbação causada pelas condições ambientais adversas – aumento da temperatura e da frequência das secas – estão na base deste recuo florestal (Oliveira & Pereira, 2018) que se associam a uma maior incidência do fogo conduzindo à degradação do solo e vegetação. Verde (2015) afirma que os incêndios não são unicamente responsáveis pelo declínio da área florestal, realçando também a conversão para áreas de mato e pastagem e também a existência de algumas pragas que afetam gravemente determinadas espécies (Oliveira & Pereira, 2018). Outra das causas apontadas por Oliveira e Pereira (2018) são as más práticas agrícolas e florestais e a pastorícia excessiva.

Sendo a floresta uma categoria de ocupação do solo com maior representatividade no território, é maioritariamente dominada pelas espécies de pinheiro-bravo, eucalipto e sobreiro (DGT, 2020).

Relativamente à distribuição regional das classes (figura 2), nota-se que a classe de floresta é predominante em todas as cinco regiões de Portugal, destacando-se a região Centro que é ocupada pela classe em 50% da sua área total, já na região de Lisboa e Alentejo esta é mais diminuta.

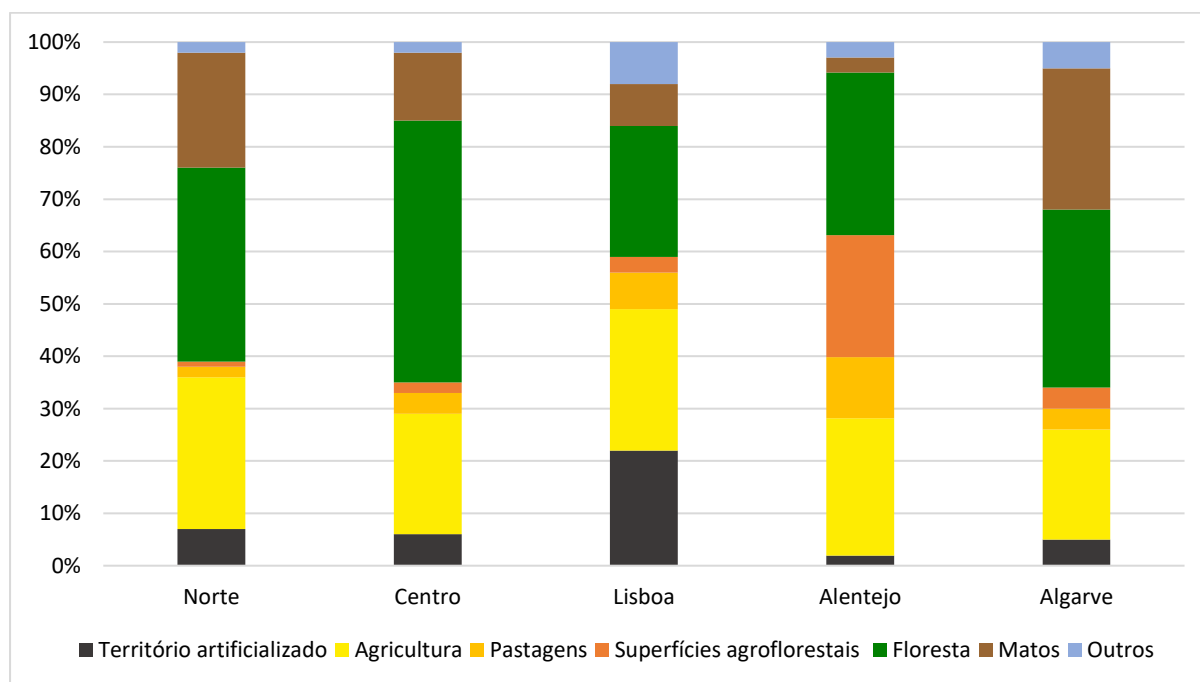


Figura 2 - Classes de uso do solo por unidade territorial NUTS II, COS2018. Fonte: DGT (2020)

Caracterização demográfica

Alterações recentes nas condições sociais e económicas em Portugal, que se têm sentido nos últimos 40 anos, evidenciam um envelhecimento crescente da população e uma diminuição de residentes, mais visível nas áreas rurais (Oliveira et al., 2017). Segundo os Censos 2021, os grupos etários acima dos 44 anos assistiram a um aumento populacional, que contrasta com o decréscimo dos escalões etários abaixo dos 39 anos. Assim, a percentagem de população idosa (mais de 65 anos) atinge os 23,4% e ultrapassa a percentagem de jovens no território (12,9%).

Os últimos censos também relatam um reforço no processo de êxodo rural do país (INE, 2023), verificando-se um contraste entre o povoamento de áreas urbanas (453,7 indivíduos por km²) e rurais (22 indivíduos por km²). Este processo, maioritariamente sentido nas regiões norte e centro, provoca um abandono do setor primário (agricultura, caça, silvicultura, pastorícia e produção animal) e aumento de áreas não cultivadas) que por sua vez, lida a um aumento da área não cultivada. Consequentemente, estas áreas tendem a ser ocupadas por vegetação mais propensa a incêndios, como por exemplo vegetação arbustiva e matos, resultando numa grande acumulação de material combustível (Nunes et al., 2012; Nunes et al., 2016; Oliveira et al., 2017).

2.2. Avaliação da perigosidade e exposição a incêndios rurais

Modelo conceitual de avaliação de risco

A avaliação da perigosidade e exposição a incêndios integram a avaliação do risco, podendo-se estender a outras tipologias de eventos naturais, ambientais ou tecnológicos. O risco é composto por diversas componentes que podem ser avaliadas separadamente, como a perigosidade, vulnerabilidade e exposição (Bergonse et al., 2022; Julião et al., 2009).

Por envolver várias componentes, a definição de terminologias do modelo conceitual da avaliação do risco é urgente. Existem várias tentativas, por parte de autores e instituições, de uniformização dos conceitos e terminologias associadas à avaliação do risco, como por exemplo a sugerida pelo UNDRO (*Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator*) em 1979, cuja terminologia é utilizada tanto pela própria instituição como pela UNESCO (*United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization*).

Em Portugal, uma das tentativas de homogeneizar estes diversos conceitos pode ser encontrada no Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica de base municipal (Julião et al., 2009).

Perigosidade – é a probabilidade de ocorrência de um determinado processo ou ação (natural, tecnológica ou misto) onde existe um potencial destruidor, ou com capacidade para provocar danos, associado a uma determinada severidade, numa dada área e num dado período de tempo (Julião et al., 2009) ou um evento físico potencialmente danoso ou atividade humana que possa causar perda de vidas ou ferimentos, danos em bens, interferência social e económica ou degradação (AFN, 2012 *in* Vasconcelos, 2013).

Exposição – pode-se dizer que resulta da distribuição espacial de pessoas, edifícios, infraestruturas e tipos de ocupação do solo, incluindo variáveis como a localização e densidade de edifícios, a densidade populacional, entre outras (Oliveira et al., 2018). Benali et al., (2023), acrescenta que a exposição diz respeito à probabilidade de um incêndio rural ocorrer e causar possíveis danos, sendo influenciado por vários elementos que afetam o comportamento e padrão do fogo como padrões de ignição, condições meteorológicas e de combustível.

Vulnerabilidade – refere-se ao potencial de perda de um elemento exposto caso um evento perigoso ocorra, sendo influenciada pelas características de cada elemento (Bergonse et al., 2022; Gonçalves et al., 2024). À semelhança da exposição, a componente contém também elementos expostos aos quais é atribuída uma ponderação baseada no seu grau de importância e valor económico de mercado dos elementos em risco (Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios - PMDFCI, 2012).

Risco – probabilidade de ocorrência de um determinado processo (ou ação) perigoso, natural ou antrópico e respetiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, sendo expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos (Julião et al., 2009), este integra todas as componentes do modelo de risco.

Apesar de constituírem o modelo e da importância da definição de todas as componentes, neste estudo não será realizada uma avaliação do risco por não incluir a análise de vulnerabilidade, devido à falta de dados ao nível dos aglomerados.

Proteção de pessoas e bens – exposição a incêndios

Como consequência dos grandes incêndios ocorridos em 2017, verificou-se a necessidade de melhorar a proteção das aldeias, em particular as que estão mais isoladas, com poucos acessos e onde reside uma população caracteristicamente envelhecida. Nestas condições, a exposição das pessoas e bens aos incêndios rurais aumenta, em áreas consideradas perigosas. Estudos recentes focaram-se na análise da exposição a incêndios, enquanto componente da avaliação de risco.

A modelação do risco de incêndios rurais desempenha um papel crucial na compreensão das interações complexas entre a ocorrência de incêndios, fatores impulsionadores e potenciais impactos. Sendo relevante para estudar diferentes fases de um incêndio: prevenção, supressão e recuperação (Oliveira et al., 2021b).

A análise da exposição é uma ferramenta valiosa na gestão de incêndios rurais, especialmente para aldeias que tenham sofrido com eventos bastante destrutivos e que necessitem da aplicação de medidas de mitigação que respondem às suas necessidades específicas (Gonçalves et al., 2024).

Esta análise pode utilizar dados históricos de incêndios para fornecer uma perspetiva mais estrutural da propensão para arder baseando-se em condições biofísicas do território. Por outro lado, pode desenvolver-se a partir de uma abordagem dinâmica, utilizando simulações para gerar mapas de probabilidade de arder, e ser vista como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões operacionais relacionadas com a gestão de combustível e atividades de supressão (Bergonse et al., 2022).

A utilização de simulações para estimar a probabilidade e impactos dos incêndios, tem vindo a ser cada vez mais frequente quando o objetivo passa por perceber por onde o próprio incêndio se vai propagar. Atualmente existem diferentes sistemas de simulação de incêndios disponíveis, por exemplo FARSITE, FSim, FlamMap ou Burn-P3, utilizados para estimar a ignição e propagação do fogo em diferentes cenários de combustível e condições meteorológicas, considerando potenciais intervenções na paisagem, tais como o tratamento de combustíveis e gestão de áreas florestais (Oliveira et al., 2020; Salis et al., 2013).

Alguns estudos analisam diferentes níveis de exposição através de simulações de comportamento do fogo com base em características territoriais como a topografia e a ocupação do solo. Alcasena et al. (2016), realizam simulações de comportamento de fogo para avaliar a exposição de pessoas, bens e áreas protegidas a incêndios rurais em Navarra, Espanha. Salis et al. (2021), utilizam simulações de comportamento de fogo para caracterizar variações espaciais na propagação de incêndios, exposição e transmissão do risco na Sardenha, Itália.

Outros estudos como o de Alcasena et al. (2021), utilizam um sistema de simulação de fogo para estimar o nível de exposição das comunidades e áreas protegidas para todo o território continental. Gonçalves et al. (2021) avaliam o nível de exposição das povoações da freguesia de Alvares, Góis, combinando a densidade dos elementos expostos com a probabilidade de arder. Neste estudo a exposição foi calculada em duas vertentes: estrutural (baseada no número de vezes ardido desde 1980) e dinâmica (baseada em simulações de probabilidade de arder para diferentes cenários de gestão de combustíveis).

Impacto das alterações climáticas nos incêndios rurais

As alterações climáticas são um dos principais fatores ligados ao aumento da ocorrência de incêndios rurais (Dye et al., 2023). Vários estudos têm vindo a utilizar projeções climáticas para períodos futuros, para analisar o impacto dessas alterações na ocorrência de incêndios rurais.

A utilização de simulações de comportamento de fogo tem sido uma ferramenta amplamente utilizada para perceber eventuais impactos. Arca et al. (2010), realizam simulações de comportamento de fogo para prever como condições climáticas futuras podem alterar a frequência e imensidade dos incêndios rurais na Bacia Mediterrânea.

Lozano et al. (2017) avaliam os potenciais impactos das alterações climáticas na exposição a incêndios rurais em Itália e França, através de simulações de comportamento de fogo e dados climáticos para três períodos diferentes (1981–2010, 2011–2040, e 2041–2070). Dye et al. (2023) exploram o impacto de várias trajetórias climáticas futuras, em cenários de probabilidade de arder no sul de Califórnia.

Análise aplicada à escala local

Nalguns estudos começou a utilizar-se uma escala mais local como unidade de análise, por permitir uma análise mais detalhada e precisa dos riscos. Esta escala de análise capacita uma compreensão mais aprofundada das dinâmicas de risco em diferentes áreas e permite a implementação de políticas de mitigação mais eficazes, ajustadas às necessidades específicas de cada comunidade.

Alguns autores utilizam o município ou freguesia como unidade administrativa de análise, como é o exemplo de Barbosa et al. (2024), que identificam Interfaces Urbano-Florestais, em quatro

municípios de Portugal com o intuito de avaliar a exposição a incêndios rurais. Bergonse et al. (2022) aplicam a avaliação do risco de incêndios florestais focado em três componentes principais: perigosidade, exposição e vulnerabilidade, à escala da freguesia na região centro de Portugal.

Outros estudos já são aplicados a uma escala mais reduzida, como as aldeias ou aglomerados populacionais. Gonçalves et al. (2021), avaliam o nível de exposição das aldeias da freguesia de Alvares, no município de Góis, e de vulnerabilidade social, tendo em conta as características sociodemográficas dos residentes e edifícios. Benali et al. (2023) propõem uma metodologia que combina exposição e vulnerabilidade para estimar o risco de incêndios rurais a uma escala local, que depois de aplicada pode ser utilizada para avaliar a implementação de ações de mitigação e contribuir para ações que maximizem a proteção de pessoas e bens. Oliveira et al. (2020) focam-se na avaliação do risco a incêndios rurais em 36 aldeias da freguesia de Alvares considerando as três componentes principais do risco: perigosidade, exposição e vulnerabilidade.

2.3. Aplicação de rotinas automatizadas

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) alinhado com a análise espacial, estão cada vez mais presentes na área do ambiente, como meio de entender e descrever a distribuição espacial dos perigos ambientais e fatores de riscos associados, bem como apoiar a tentativa de respostas de emergência (Rocha et al., 2023).

Ferramentas de programação, como por exemplo Python e R, são cada vez mais utilizadas na criação de rotinas automatizadas que facilitam o desenvolvimento de processos metodológicos que possam ser replicados para outras áreas, assim como também podem ser facilmente ajustáveis às condições necessárias (Gonçalves et al., 2024).

Barbosa et al. (2024) desenvolvem um método semi-automatizado para mapear Interfaces Urbano-Florestais ao nível municipal. Esta metodologia, elaborada em Python integrado no ArcGIS Pro, possibilitou um mapeamento detalhado e dinâmico, permitindo ainda que novas análises fossem realizadas com base na atualização contínua de dados.

Gonçalves et al. (2024) avaliam a exposição e a vulnerabilidade social e capacidade de resposta a incêndios rurais utilizando uma abordagem baseada em SIG, realizado na freguesia de Alvares. A metodologia aplicada pode ser facilmente replicada e ajustada a outras áreas de estudo, adaptando as características territoriais da mesma, utilizando as rotinas automatizadas criadas em Python e R, desenvolvidas para este estudo.

2.4. Programa Nacional de Ação (PNA)

A severidade dos incêndios rurais em 2017, com um impacto sobre os cidadãos, património edificado, nunca antes observado em Portugal, tornou evidente a necessidade de uma abordagem renovada.

Elaborado como um instrumento de gestão para entidades públicas (por exemplo, AGIF, ANEPC, ICNF, GNR, FFAA, IPMA), o PNA concretiza as opções estratégicas definidas no Plano Nacional de Gestão Integrada de Fogos Rurais (PNGIFR) (RCM nº25/2021, de 22 de março). Estas entidades construíram os programas (incluindo medidas que já teriam sido implementadas nos últimos dois anos), definiram os projetos, orçamentos e metas a cumprir.

O PNA foi desenvolvido para enfrentar de forma abrangente os desafios associados aos incêndios rurais, respondendo à necessidade de uma abordagem mais coordenada e eficiente na gestão de fogos. O programa foi concebido para ser flexível, dinâmico e resiliente, apresentando uma gestão adaptativa multinível: nacional, regional, sub-regional e municipal.

Nele foram estabelecidas quatro orientações estratégicas (OE) que organizam os vários objetivos, sendo uma delas “OE2 - Cuidar dos Espaços Rurais” que se centra na gestão correta e sustentável dos combustíveis e que serve de guia para alguns critérios aplicados nesta dissertação. Esta orientação estratégica enfatiza a importância de valorizar e gerir ativamente as paisagens rurais, com o objetivo de aumentar a resiliência aos incêndios e assegurar a sustentabilidade económica e ambiental das áreas rurais.

A OE2 é organizada em três objetivos, que atentam no planeamento de uma paisagem diversificada; na diminuição da carga de combustível; e no aumento da eficácia da proteção de pessoas e bens. São propostas medidas associadas à gestão de combustível nas redes de faixas primárias e secundárias, como por exemplo na envolvente dos aglomerados rurais. Como meio de promover uma paisagem diversificada através da reconversão da mesma, o PNA definiu as Áreas Integradas de Gestão de Paisagem (AIGP), instrumento que pretende promover a gestão e exploração de espaços agroflorestais em zonas de elevado risco de incêndio.

Focado na gestão de combustível e com o objetivo de minimizar os efeitos e a dimensão dos incêndios rurais foram definidas redes de defesa que podem ser constituídas por áreas estratégicas de mosaicos de gestão de combustível, estas são implementadas em locais estratégicos condicionando o comportamento e a propagação do fogo através da redução da carga combustível herbácea ou arbustiva.

Por fim, sendo também o objetivo que mais se alinha com este trabalho, o PNA ambiciona apoiar a implementação de programas de autoproteção de pessoas e infraestruturas através de vários projetos que assegurem a gestão de combustível nos aglomerados rurais e envolvente de áreas

edificadas, atentando principalmente a casos que se encontrem em espaços rurais e com grande dispersão populacional. Uma das iniciativas é o “Condomínio de Aldeia” que incentiva os proprietários a manterem os seus terrenos limpos e a adotarem práticas de uso do solo que gerem rendimentos, como agricultura ou atividades de lazer. Existindo ainda os programas “Aldeia Segura” e “Pessoas Seguras” implementando medidas de apoio às populações rurais que promovam a prevenção de comportamentos de risco e proteção e caso de incêndios rurais.

3. Metodologia

Para desenvolver este trabalho, foi necessário dividir a metodologia em três etapas:

- a) **Caracterização das áreas de estudo** – nesta etapa foram selecionados três municípios em regiões diferentes do território português, a partir do PNA. Esta análise foi feita ao nível territorial do município;
- b) **Exposição estrutural** – analisada numa vertente de longo-prazo, a partir de dados históricos. Inclui a utilização de cartografia de perigosidade estrutural disponível a nível nacional. Esta análise foi aplicada ao nível do aglomerado populacional e fornece padrões espaciais gerais que permitem obter setores/aglomerados com maior propensão para serem afetados por incêndios rurais;
- c) **Exposição dinâmica** – estimada a partir de dados que representam condições alteráveis a curto prazo. Também aplicada ao nível do aglomerado, foi utilizada para criar cenários que permitem testar a potencial implementação de medidas de mitigação (ações de intervenção no território) para reduzir a exposição a incêndios.

Este trabalho analisa a exposição a incêndios rurais em duas vertentes distintas: estrutural e dinâmica. A diferença entre as duas análises está no cálculo da perigosidade. Enquanto que na exposição estrutural é utilizada a carta de perigosidade estrutural 2020-30 do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, na exposição dinâmica são utilizados mapas de probabilidade de arder. Ambas utilizam parâmetros biofísicos equivalentes, mas permitem verificar padrões diferentes.

O fluxograma apresentado na figura 3 resume os vários parâmetros e *softwares* utilizados, os processos desenvolvidos ao longo do trabalho e especifica o nível territorial aplicado em cada componente. Este divide as metodologias em três etapas principais: Caracterização das áreas de estudo, Exposição Estrutural e por fim, Exposição Dinâmica.

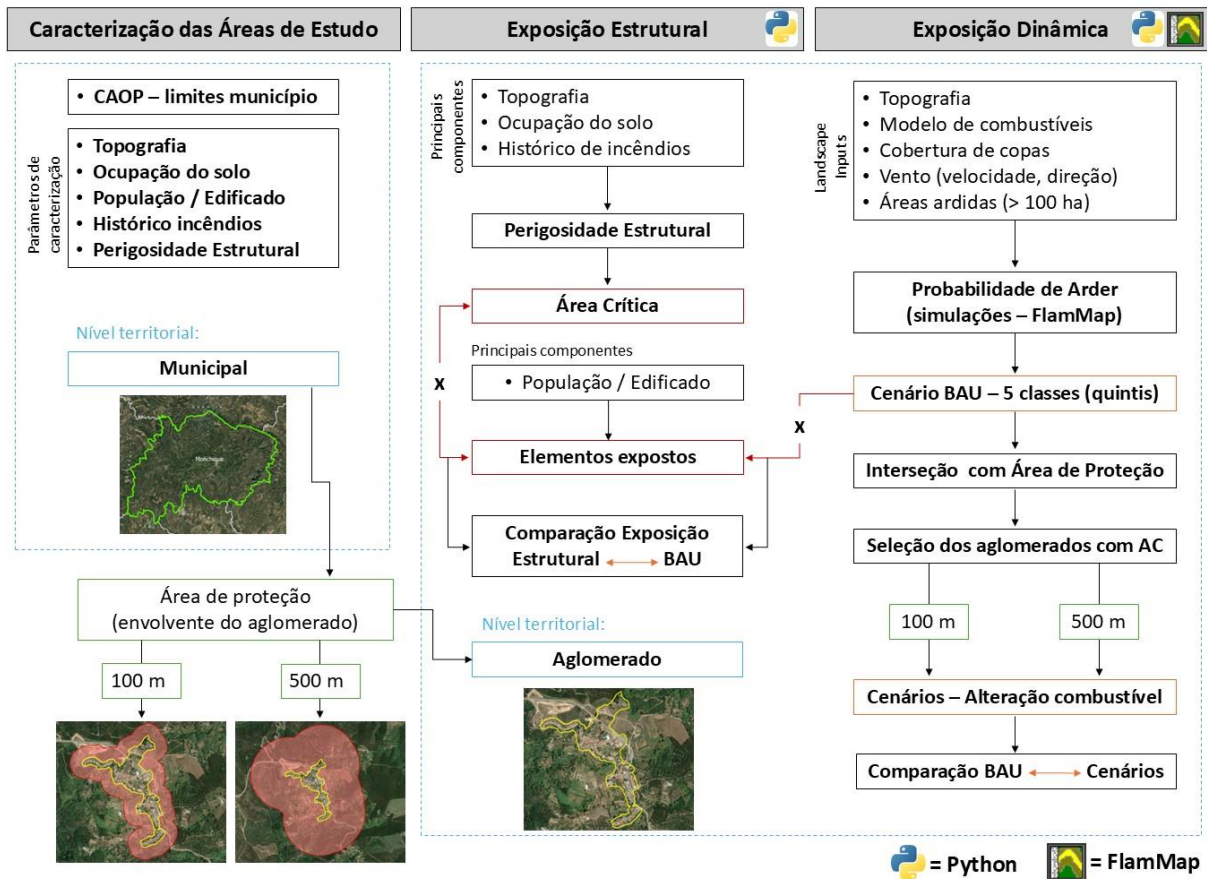


Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada

3.1. Recolha e tratamento de dados

a) Caracterização das áreas de estudo

As áreas de estudo selecionadas para este trabalho integram áreas-piloto de implementação do PNGIFR. Optou-se por selecionar um município de cada projeto piloto por oferecer uma maior variedade da distribuição dos incêndios rurais em Portugal e também por dar oportunidade de identificar padrões e contrastes presentes no território.

O município de Chaves que pertence ao distrito de Vila Real, representa o projeto-piloto no Alto Tâmega; Góis pertencente ao distrito de Coimbra representa o projeto-piloto na Região de Coimbra e por último o município de Monchique que vem representar o projeto-piloto no Algarve pertencendo ao distrito de Faro.

Para definir os limites administrativos das áreas de estudo utilizou-se a Carta Administrativa Oficial de Portugal de 2020 (CAOP 2020), disponibilizada pela Direção Geral do Território (DGT).

Posto isto, a caracterização das áreas de estudo foi efetuada ao nível territorial do município e considerou cinco dimensões:

- Topografia – dados derivados do Modelo Digital de Elevação (MDE) de 2016 obtida da *Copernicus*¹, do qual se obteve a altimetria, declive e exposição de vertentes;
- Ocupação do solo – derivada da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de 2018 obtida da (DGT);
- População e edificado – informação relacionada com a população residente por freguesia, extraída dos Censos 2021, fornecido pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) e também retirada da Carta de Áreas Edificadas (CAE) de 2018 elaborada pela DGT, com dados sobre os polígonos de áreas com edificado por freguesia;
- Histórico de incêndios – retirado da base de dados de áreas ardidas disponibilizada pelo Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) para o período de 2000 a 2020, da qual foi retirado o número de ocorrências por ano, a dimensão das áreas ardidas e o número de vezes que cada célula ardeu por freguesia;
- Perigosidade estrutural – baseada na Cartografia de Perigosidade Estrutural 2020-2030, também proveniente de ICNF. A partir destes dados foi calculada a área crítica (AC) presente em cada município. Esta área crítica é definida pelas classes de perigosidade “alta” e “muito alta”, sendo considerada a área mais perigosa e mais propensa a arder.

b) Exposição Estrutural

O artigo 3º do DL nº 82/2021 define aglomerados como “áreas localizadas em solo rustico, com utilização predominantemente habitacional e de apoio a atividades localizadas em solo rústico, dispendo de infraestruturas e de serviços de proximidade, delimitadas como tal em plano territorial”.

Por não existir cartografia específica para os aglomerados, utilizou-se a Carta de Áreas Edificadas (CAE) para os representar. A escolha desta cartografia baseou-se no facto de definir, detalhadamente, o perímetro urbano, possibilitando o foco nas áreas residências e também por calcular uma estimativa da população residente em cada área edificada.

Foram extraídas as áreas com 10 e mais edifícios residenciais, considerados como povoamento concentrado e áreas com até 9 edifícios residenciais, consideradas como povoamento disperso. Foram excluídos os edifícios isolados.

Foi também retirada informação relacionada com a população residente e edifícios por hectare nessas mesmas áreas, referentes aos Censos de 2011. Para atualizar a informação contida na CAE, em

¹ Disponível em: <https://land.copernicus.eu>

seguida foi ainda necessário utilizar a taxa de variação da população de 2011-2021 dos Censos de 2021.

Estes dados foram aplicados para obter os elementos expostos, necessários para calcular a exposição.

Para analisar a perigosidade ao nível dos aglomerados, foram criadas áreas de proteção na envolvente destes, ou seja, a perigosidade é estimada para uma área circundante às áreas edificadas.

O artigo 49º do DL nº 82/2021, dita que as redes secundárias de faixas de gestão de combustível desenvolvem-se nas envolventes dos aglomerados e que “quando confinante com territórios florestais, os proprietários (...) que aí detenham terrenos asseguram a gestão de combustível numa faixa envolvente com largura padrão de 100 m a partir da interface de áreas edificadas”.

Posto isto, aplicou-se a área de proteção com uma largura de 100 m em torno dos aglomerados, através de *buffers*, e como forma de perceber se os limites estipulados pelo decreto eram suficientes para proteger os aglomerados e residentes, aumentar a resistência e resiliência aos incêndios rurais, testou-se a aplicabilidade de áreas de proteção com 500 m na envolvente dos mesmos.

A figura 4 demonstra um exemplo da implementação das áreas de proteção em torno dos aglomerados, na freguesia de Marmeleite em Monchique.

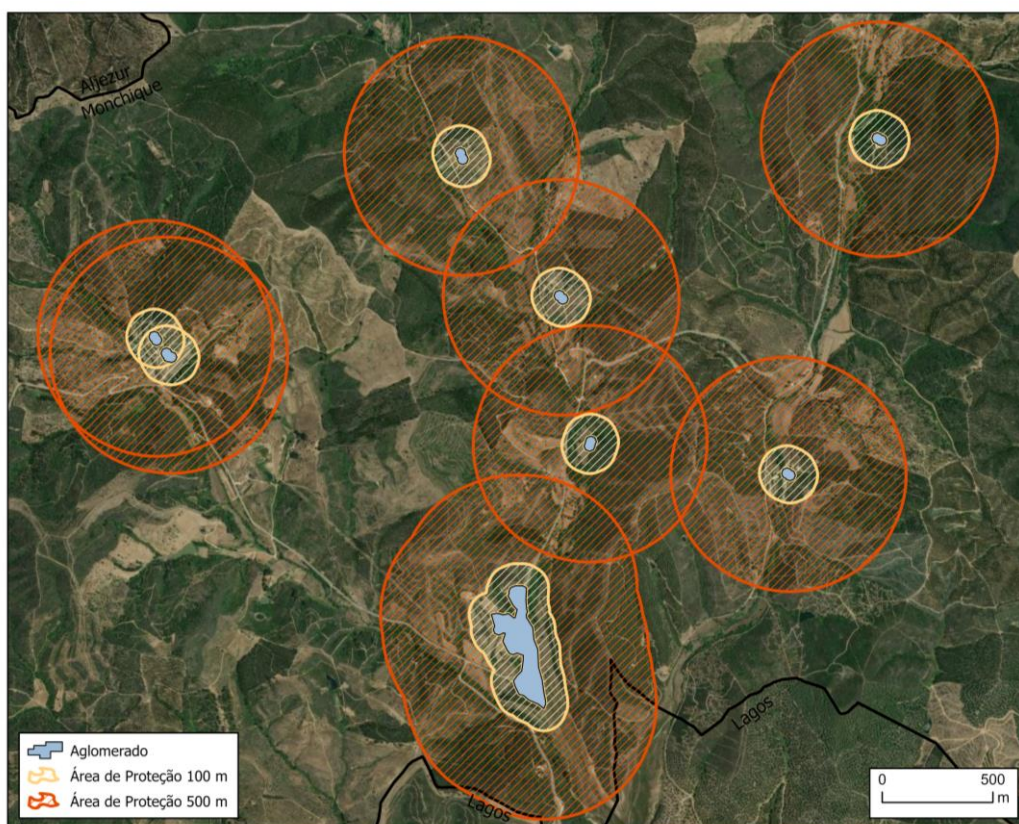


Figura 4 - Exemplo da criação dos limites das áreas de proteção na envolvente dos aglomerados, a 100 e a 500 m, na freguesia de Marmeleite, município de Monchique

Nesta etapa a informação foi tratada com recurso ao *software* ArcGIS Pro 3.2.0. Para efetuar os cálculos intermédios foi utilizado o *software* Python, como meio de agilizar o processamento de dados para as três áreas de estudo e automatizar tarefas facilitando a replicabilidade e partilha das técnicas e procedimentos de análise utilizadas ao longo deste trabalho (anexo 1).

c) Exposição Dinâmica

A exposição dinâmica é feita com dados de cartografias diversas e com um *software* distinto. Para a elaboração de simulações e cenários diferentes usou-se o FlamMap (descrito em detalhe no subcapítulo 3.2). Este programa exige a utilização de determinados dados:

- **Topografia**

O FlamMap requer a utilização de dados referentes à altimetria, declive e exposição de vertentes. Como esta cartografia é obtida a uma resolução de 25 m, optou-se por aplicar a mesma nas restantes cartografias necessárias.

- **Modelo de combustíveis**

Para se obter informações referentes às classes de combustíveis, utilizou-se o Modelo de Combustíveis de 2021 elaborado no âmbito do projeto “FIRE-MODSAT II” de Sá et al. (2023).

Esta cartografia foi elaborada a uma resolução espacial de 100 m, que não corresponde à resolução definida para este estudo (25 m). Assim foi necessário passar por um processo de *downscaling* que permitisse o aumento da resolução do modelo.

Por se utilizar um modelo de combustíveis diferente do modelo padrão reconhecido pelo FlamMap, para além da cartografia do modelo de combustíveis, é preciso fornecer um ficheiro do modelo de combustíveis (.fmd), um ficheiro de texto que possui as especificações técnicas de cada classe de combustível. Estes parâmetros técnicos foram retirados do Modelo de Combustíveis Florestal para Portugal, definidos por Fernandes e Loureiro (2022), de acordo com a formatação exigida pelo próprio *software* (anexo 2).

- **Cobertura de copas**

A cobertura de copas é uma das variáveis do Inventário Florestas Nacional (IFN) de 2015 do ICNF. Sendo um ficheiro vetorial de pontos (equidistantes por 500 m) e com algumas lacunas, foi necessário passar por um processo de conversão de formato (de pontos para polígonos) e, posteriormente, correção de dados em falta através da COS18, seguindo um conjunto de passos:

1. Limpeza da base de dados do inventário, eliminando atributos sem informação e/ou referentes à categoria de “Sementeira” (por não pertencerem à classe de floresta);

2. Cálculo da média de percentagem de coberto da floresta;
3. Junção entre as bases de dados do IFN15 e COS18 para que os polígonos do ficheiro final correspondessem às áreas florestais delimitadas pela COS18. Através desta junção, foi também possível colmatar algumas falhas na base de dados referente à média calculada no passo anterior.
4. Por último, todos os polígonos de floresta apresentavam um valor de média de percentagem de coberto atribuída, e os restantes polígonos que não correspondessem a floresta, obtiveram um valor de 0.

- **Vento (direção e velocidade)**

Estes dados foram obtidos do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)*². O FlamMap requer a definição da velocidade e direção do vento. Para simular as condições meteorológicas mais representativas dos incêndios de maior dimensão, foi feita uma análise preliminar das condições de vento para os meses em que ocorreram incêndios superiores a 100 ha em cada município, no período de 2015 a 2022.

- **Humidade dos combustíveis**

O FlamMap requer um ficheiro de texto (.fms) que descreva a percentagem de humidade a associar aos combustíveis das diferentes dimensões consideradas pelo modelo (1h, 10h, 100h, vivo herbáceo e vivo lenhoso) em cada classe de combustível. Para este ficheiro, assumiu-se os valores propostos por Oliveira et al. (2016), que atribuem 6%, 7% e 8%, respetivamente, para classes de combustível morto de 1, 10 e 100 horas e para as classes de combustível vivo 85%. Estes valores repetem-se para todas as classes de combustíveis presentes nas áreas de estudo, por descreverem condições de secura correspondendo, por sua vez, à altura em que há maior risco de incêndio.

Para esta etapa a informação foi tratada com recurso ao *software* ArcGIS Pro 3.2.0. Para efetuar os cálculos intermédios foi utilizado o *software* Python, como meio de agilizar o processamento de dados para as três áreas de estudo e automatizar tarefas facilitando a replicabilidade e partilha das técnicas e procedimentos de análise utilizadas ao longo deste trabalho (anexo 3).

A tabela 1 apresenta as variáveis que foram utilizadas e respetivas características.

² Disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land?tab=download>

Tabela 1 - Características das variáveis recolhidas

	Variável	Dados	Ano	Fonte de informação	Escala / Resolução (m)	Formato do ficheiro
	Limites administrativos	CAOP 2020	2020	DGT	1:25000	Vetorial
	Perímetros das áreas ardidas	Áreas ardidas	2000 a 2022	ICNF	1:25000	Vetorial
Perigosidade Estrutural	Polígonos de aglomerado	Carta de Áreas Edificadas 2018	2018	DGT	1:10000	Vetorial
	Classes de perigosidade estrutural e áreas críticas	Cartografia de perigosidade estrutural 2020-2030	2021	ICNF	25	Matricial
Elementos Expostos	Pop residente e edifícios por ha	Carta de Áreas Edificadas 2018	2018	DGT	1:10000	Vetorial
	População residente e nº de edifícios por freguesia	Censos 2021	2021	INE		Tabular
Probabilidade de Arder	Altitude, declive e exposição das vertentes	MDE	2016	Copernicus	25	Matricial
	Classes de combustíveis	Modelo de combustíveis	2021	ISA	100	Matricial
	Percentagem de cobertura de copas	IFN	2015	ICNF	500	Vetorial
	Ocupação e uso do solo	COS	2018	DGT	100	Vetorial
	Direção e velocidade do vento	Vento	2015 a 2022	ECMWF	900	NetCDF-3

3.2. Análise de dados e modelação

a) Exposição Estrutural

A avaliação da exposição estrutural tem presente duas componentes, as classes de perigosidade mais altas (área crítica) presentes na cartografia de perigosidade estrutural 2020-2030 e os elementos expostos (população residente e edifícios). Para conseguir esta análise, e porque requereu a replicação para as três áreas de estudo, o conjunto de etapas foram reunidas e executadas num *script* de Python.

Perigosidade Estrutural – Área Crítica

Como já foi mencionado, a área crítica (AC) foi derivada da conjugação das duas classes mais altas de perigosidade estrutural da carta de perigosidade de incêndio rural. Para a elaboração desta carta

foram utilizadas as áreas ardidas no período de 1975 – 2020, a altitude, declive e ocupação do solo, tendo resultado da combinação do modelo de suscetibilidade com a probabilidade anual de incêndio. No final os valores obtidos foram classificados em 5 classes a partir das quebras da curva de sucesso: “muito baixa”, “baixa”, “moderada”, “alta” e “muito alta” (Oliveira et al., 2021a).

A distribuição espacial das classes “alta” e “muito alta” (AC) é analisada e destacada como crucial para direcionar esforços de prevenção e mitigação de incêndios. Assim adotou-se o mesmo princípio neste estudo e procedeu-se à identificação dos aglomerados envolvidos por área crítica. Depois de serem criados os buffers (de 100 e 500 m) e calculada a área dos mesmos, foi estimada a percentagem de área crítica que intersetasse cada buffer através do cruzamento da carta de perigosidade com o ficheiro das áreas de proteção.

Elementos Expostos

A segunda componente consiste na identificação dos elementos expostos em cada aglomerado e cálculo das respetivas quantidades. Para o cálculo da densidade da população residente e número de edifícios em 2021, recorreu-se à Carta de Áreas Edificadas para retirar informação referente ao número de residentes presente em cada aglomerado e ainda o número de edifícios dentro dos mesmos (ambos referentes ao ano de 2011). Posteriormente, utilizou-se a taxa de variação entre 2011 e 2021, calculada nos Censos 2021, para se estimar os valores em questão para 2021. Sendo que a taxa de variação é calculada à escala da freguesia, assumiu-se que esta foi constante em toda a sua área, aplicando-se o mesmo valor a todos os polígonos presentes na mesma freguesia.

Estimadas a quantidade dos elementos expostos, procedeu-se ao cálculo da ponderação destes mesmos, fundamentada no Guia Técnico do PMDFCI de 2012 (DUDF, 2012) que especifica o valor de ponderação dos elementos baseando-se no seu grau de importância e necessidade de proteção. Declarado como o principal elemento exposto a proteger, a população obtém a ponderação de 1 e os edifícios uma ponderação de 0,75, sendo bens materiais que devem ser protegidos em primeiro lugar, por serem um local de residência, de trabalho ou até mesmo por poderem servir como local de abrigo para a população.

O anexo 4 apresenta a distribuição espacial dos elementos expostos em cada município. Os valores calculados foram classificados em quatro classes com intervalo diferente, para facilitar a visualização e distinção entre áreas edificadas com uma quantidade mais reduzida de elementos expostos, que predominam, e outras com um número mais elevado.

A seguinte fórmula, expressa o cálculo dos elementos expostos:

$$\textit{Elementos expostos} = (\textit{Pop2021} * 1) + (\textit{Edif2021} * 0,75)$$

Cálculo final da Exposição Estrutural

O cálculo final foi aplicado apenas dentro de cada área de proteção, anteriormente determinada. Assim, o valor é resultado da multiplicação dos elementos expostos, pela área crítica:

$$\textit{Exposição Estrutural} = \textit{Elementos expostos} * \textit{Perigosidade estrutural}$$

Posteriormente, procedeu-se a uma normalização dos valores numa escala de 0 -100, através da seguinte formula:

$$\textit{Normalização} = [(\textit{Exposição Estrutural} - \textit{minEE}) / (\textit{maxEE} - \textit{minEE})] * 100$$

Em que: minEE = Valor mínimo da exposição estrutural;

maxEE = Valor máximo da exposição estrutural;

Por último, classificou-se o valor final de exposição estrutural em 5 classes de igual intervalo (0 - 20; 20 - 40; 40 - 60; 60 - 80; 80 - 100).

b) Exposição Dinâmica

FlamMap 6.1

A exposição dinâmica foi obtida através de simulações de probabilidade de arder geradas a partir do *software* FlamMap (versão 6.1). Criado no início dos anos 2000 pelo *Missoula Fire Sciences Laboratory*, um serviço do *Rocky Mountain Research Station do United States Department of Agriculture* (USDA). O FlamMap é uma ferramenta crucial para especialistas em gestão de incêndios e planeamento territorial. A primeira versão aberta ao público e de acesso gratuito foi lançada em 2003 e continuam a ser lançadas versões mais atualizadas. A última versão³ foi lançada a 14 de novembro de 2023 e pode ser encontrada no *site* oficial do USDA.

Este programa consiste num sistema de caracterização e estimativa de parâmetros associados ao comportamento de fogo, sob um conjunto de condições ambientais numa determinada área. Estas condições ambientais incluem topografia, condições meteorológicas e parâmetros de combustível (tipo e carga de combustível, humidade, intensidade de energia gerada). Concebido para analisar a variabilidade espacial do comportamento do fogo (Finney, 2006), este é calculado para cada célula dentro de um ficheiro de paisagem (*landscape file*) de forma independente, gerando informação sobre a taxa de propagação de fogo, comprimento da chama, entre outras.

³ Disponível em: <https://firelab.org/project/flammap>, último acesso em (01/09/2024).

Apesar de assumir que as condições ambientais são constantes durante a propagação de um incêndio, o FlamMap é bastante útil quando o objetivo das simulações se foca na relação do fogo com fatores estáticos como o combustível e a topografia, permitindo prever a resposta do fogo se, por exemplo, alterarmos a distribuição espacial do combustível.

Por considerar condições ambientais constantes, mas ter sido projetado para analisar a variabilidade espacial do comportamento do fogo, o programa integra alguns parâmetros do sistema FARSITE. Parâmetros estes que descrevem os combustíveis e topografia, combinados num ficheiro *landscape* (Finney, 2006). Uma das grandes vantagens do FlamMap, é o facto de qualquer output poder ser gerado e guardado em formato matricial (ASCII) ou vetorial, facilitando a importação para outros SIG.

O FlamMap oferece três modos de cálculo diferentes: “*basic fire behavior*”, “*minimum travel time fire growth*”, e “*treatment optimization*”. No presente estudo, foi utilizado o *minimum travel time* (MTT), um algoritmo que o *software* utiliza para calcular o crescimento do fogo pelas células a uma resolução arbitrária (Finney, 2002). Para executar o MTT, são necessários *inputs* como ignições (aleatórias ou não) e um tempo máximo de simulação. Segundo Finney (2006), o MTT calcula o crescimento do fogo através do caminho com menor tempo de viagem do fogo entra as células do ficheiro *landscape*. O MTT pode gerar vários *outputs* de comportamento de fogo, entre eles a taxa de propagação, comprimento das chamas, intensidade da linha de fogo ou também a probabilidade de arder, que é utilizado neste trabalho para elaborar as simulações.

Probabilidade de Arder (simulações)

As simulações geradas no FlamMap, requerem um conjunto de procedimentos, descritos seguidamente.

A probabilidade que cada célula tem de arder foi determinada através de várias simulações de progressão do fogo ($n = 20000 \text{ runs}^4$), tendo sido utilizados alguns dos critérios de Oliveira et al. (2016):

- O número total de *runs* (cada um corresponde a uma ignição) foi distribuído pelas diferentes direções e respetiva velocidade média, obtida na proporção de incêndios superiores a 100 hectares ocorridos entre os anos de 2015 e 2022, registados em cada município (tabela2). Por exemplo, em Monchique 50% dos incêndios ocorridos no período de tempo selecionado, decorreram com ventos de noroeste.
- Cada simulação foi feita para arder durante um período de 24h;

⁴ Definido segundo uma análise preliminar onde se percebeu o número mínimo de pontos de ignição necessários para que o fogo se propagasse por todas as células da área, pelo menos uma vez.

- Para cada município, os *runs* foram efetuados a partir de pontos de ignição distribuídos aleatoriamente⁵ pela totalidade da área em análise.

Cada simulação foi executada a uma resolução de 50 m (selecionada tendo em conta os recursos de processamento disponíveis e por ser considerada suficiente para se conseguir analisar os dados ao nível territorial dos aglomerados);

Tabela 2 - Número de ignições aleatórias por direção do vento, para cada área de estudo

Direção	Nº Ignições (<i>runs</i>)		
	Chaves	Góis	Monchique
N	2120	2400	2760
NE	2680	2200	2680
E	2420	-	-
SE	-	-	-
S	1820	1000	2120
SO	2760	1400	2420
O	4320	4400	3600
NO	3880	8600	10000

Para gerar um mapa de probabilidade de arder o FlamMap requer a criação de um ficheiro *landscape* com as cinco cartografias já mencionadas: elevação, declive, exposição de vertentes, modelo de combustíveis e cobertura de copas. Para a criação deste ficheiro é necessário cumprir algumas exigências do *software*: todas as cartografias devem estar em formato matricial, ter a mesma resolução e ainda o mesmo *extent*, caso contrário o programa não é capaz de criar o ficheiro.

Por se tratar de simulações de probabilidade de arder, foi necessário alargar os limites das áreas de estudo, pela simples razão de que o fogo pode ultrapassar os limites administrativos de um município e ter origem numa área adjacente. Inicialmente, adicionou-se apenas municípios fronteiriços às áreas de estudo, só depois, por existirem municípios com dimensões mais reduzidas e, em contrapartida, áreas ardidas com dimensões mais consideráveis, recorreu-se à cartografia das áreas ardidas no período em estudo para se perceber se era necessário incluir municípios mais distantes das áreas de estudo, o que aconteceu em Góis e Monchique. Posto isto, as cartografias foram redimensionadas consoante o novo limite definido para cada área de estudo.

Cenários

Para obter os mapas de probabilidade de arder, foram elaborados alguns cenários. Sabendo que a única maneira de alterar a probabilidade de arder, seria alterando a ocupação do solo, estes cenários

⁵ Utilizou-se pontos de ignições aleatórios, devido à falta de dados fiáveis de ignições.

basearam-se em três possibilidades, duas das quais consistiram na alteração da cobertura do solo nas áreas de proteção de aglomerados:

- 1. BAU (“Business As Usual”)** – cenário onde a representação dos combustíveis/cobertura do solo segue a cartografia atualmente disponível, sem áreas de proteção de aglomerados definidas. Este cenário serve de referência para representar as condições atuais;
- 2. Implementação de áreas de proteção de 100 m** – cenário onde testa a conversão de combustível florestal, na área em redor dos aglomerados com uma largura de 100 m;
- 3. Implementação de áreas de proteção de 500 m** – cenário onde testa a conversão de combustível florestal, na área em redor dos aglomerados com uma largura de de 500 m.

Depois de criado o *landscape*, foram feitas várias simulações segundo cada direção do vento que por fim, geraram um único mapa de probabilidade de arder. Os restantes cenários foram gerados com base nos resultados obtidos no cenário BAU, para isso foi necessário um conjunto de etapas e procedimentos:

1. Cenário BAU

O cenário BAU, representa a probabilidade de arder tendo em conta as características originais das áreas de estudo, ou seja, sem qualquer tipo de alteração dos combustíveis. Neste caso, referente ao ano de 2018.

Para se obter um mapa probabilidade de arder único, fez-se uma média aritmética de todos os mapas obtidos e recortou-se o mapa final apenas pela área do município. Por fim procedeu-se à sua classificação. Como o objetivo é conseguir comparar os três cenários entre si e perceber a influência da implementação de áreas de proteção, a classificação foi feita em quintis, distribuindo cerca de 20% do território em cada classe e permitindo, assim, identificar os setores mais prioritários dentro de cada município.

2. Seleção de aglomerados com AC na sua Área de Proteção

Com o mapa do cenário BAU classificado, o passo seguinte consistiu no cruzamento das áreas de proteção de aglomerado – 100 m e 500 m – com o mapa de probabilidade de arder e, posteriormente, selecionar os aglomerados cuja área de proteção intersetasse células de área crítica.

3. Alteração dos combustíveis

Assim que se decidiu quais aglomerados necessitavam de intervenção na sua envolvente, procedeu-se à alteração dos combustíveis na respetiva área de proteção para que fosse possível gerar os cenários de conversão de combustível. Esta alteração consistiu na conversão de áreas de floresta e mato para ocupações do solo agrícolas. Para que isso fosse possível, foi necessário proceder à

alteração das classes do modelo de combustíveis e ainda da percentagem de cobertura de copas nessas mesmas áreas de proteção e assim gerar novos ficheiros *landscape*:

- Modelo de combustíveis: a conversão do combustível nesta cartografia, passou pela identificação de células classificadas como floresta (códigos: 221, 222, 223, 227, 233, 234, 236) ou mato (código: 235) – que correspondem a vegetação com características mais propensas a arder – para em seguida reclassificá-las como células correspondentes a agricultura (código: 232 – erva baixa), que se considerou ter menos propensão para arder e/ou causar fogos de grande dimensão.
- Percentagem de cobertura de copas: a conversão de combustível nesta cartografia, baseou-se apenas na alteração do valor da percentagem nas áreas de proteção para o valor 0, pois apenas áreas florestais têm valores de percentagem superiores a 0.

É importante referir que a alteração dos combustíveis foi efetuada dentro das áreas de proteção, mas apenas em células que se intersectassem área crítica.

4. Cenários com alteração de combustível a 100 m e a 500 m

A obtenção dos mapas finais de probabilidade de arder dos cenários de alteração do combustível passou também pelo cálculo da média aritmética e recorte pela área inicial de estudo. A seguir, a classificação destes foi feita, à semelhança do cenário BAU, em cinco classes. Contudo o intervalo de valores destes mapas não foi definido segundo os seus quintis, mas sim segundo os quintis obtidos no primeiro cenário (BAU). Assim, ao serem classificados com o mesmo intervalo de valores, foi possível comparar possíveis alterações entre cenários.

5. Cálculo da população e aglomerados expostos

À semelhança da exposição estrutural, foi feito um cálculo da exposição no cenário BAU para posterior comparação de resultados entre as diferentes análises de exposição (estrutural e dinâmica).

Adotou-se a mesma metodologia utilizada no cálculo da exposição estrutural e conjugou-se a componente de área crítica com a dos elementos expostos (população e aglomerados).

4. Caracterização das áreas de estudo

Os três municípios que compõem a área de estudo – Chaves, Góis e Monchique – foram selecionados para representar diferentes padrões e contrastes no território, no contexto dos incêndios rurais em Portugal. A figura 5 apresenta a localização dos três municípios em Portugal Continental.



Figura 5 - Localização das áreas de estudo em Portugal

a) Chaves

O município de Chaves pertence ao distrito de Vila Real, é constituído por 39 freguesias (figura 6) tem 591,23 km² de área. É rodeada a norte por Espanha, a oeste por Montalegre e Boticas, Vila Pouca de Aguiar a sudoeste, a sudeste encontra-se limitado pelo município de Valpaços e por fim, a este, pelo município de Vinhais.

Tabela 3 - Classes da topografia, no município de Chaves: a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes

Altitude (m)	Área da classe (%)	Declive (°)	Área da classe (%)	Orientação das vertentes	Área da classe (%)
<400]	17,3	[0 - 5]	40,8	Plano	0,1
]400 - 500]	20,9	]5 - 10]	33,2	Norte	9,8
]500 - 600]	14	]10 - 15]	14,9	Nordeste	10
]600 - 700]	15,7	]15 - 20]	6,7	Este	13,6
]700 - 800]	14,9	]20 - 44,8]	4,4	Sudeste	15,3
]800 - 900]	14,9			Sul	12,1
]900 - 1049,2]	2,3			Sudoeste	11,5
				Oeste	12,8
				Noroeste	14,9

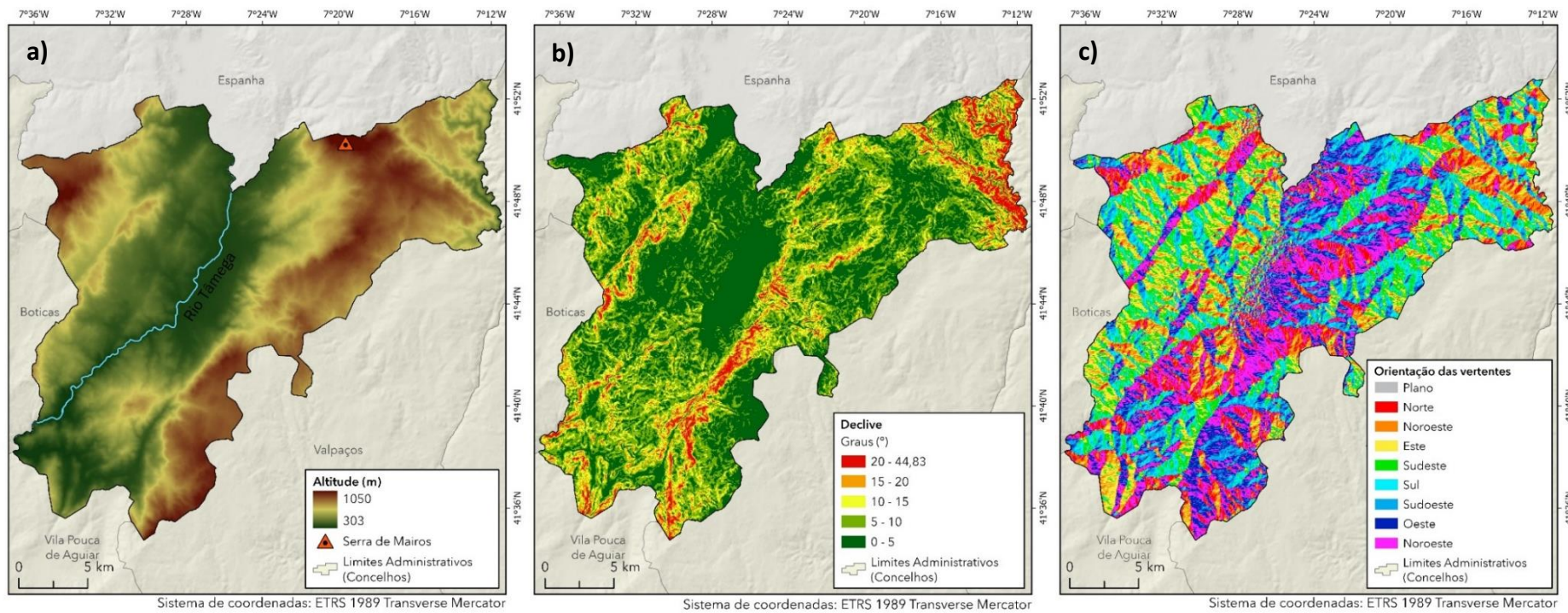


Figura 7 - Topografia, no município de Chaves. a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes

Uso e ocupação do solo

Relativamente ao uso e ocupação do solo (figura 8), denota-se a predominância da classe de floresta (41,2%), seguida da classe de agricultura (34,1%). Em conjunto, as florestas e o mato ocupam cerca de 60% do território (tabela 4).

A floresta de pinheiro-bravo ocupa uma área maior que outras espécies, quase 23% do município. Com menor área, mas ainda bastante considerável, estão as florestas de carvalho, que ocupam uma área com 6817 ha (12%).

Dentro das várias classes de agricultura, a que tem mais expressão é a classe de culturas temporárias de sequeiro e regadio, ocupando uma área com 12412,5 ha (21%).

Tabela 4 - Classes de ocupação do solo, no município de Chaves

Classes COS	Área total (ha)	Área total (%)
Territórios artificializados	2815,1	4,8
Agricultura	20177,1	34,1
Florestas	24377,7	41,2
Matos	11554,3	19,5
Massas de água superficiais	198,9	0,3

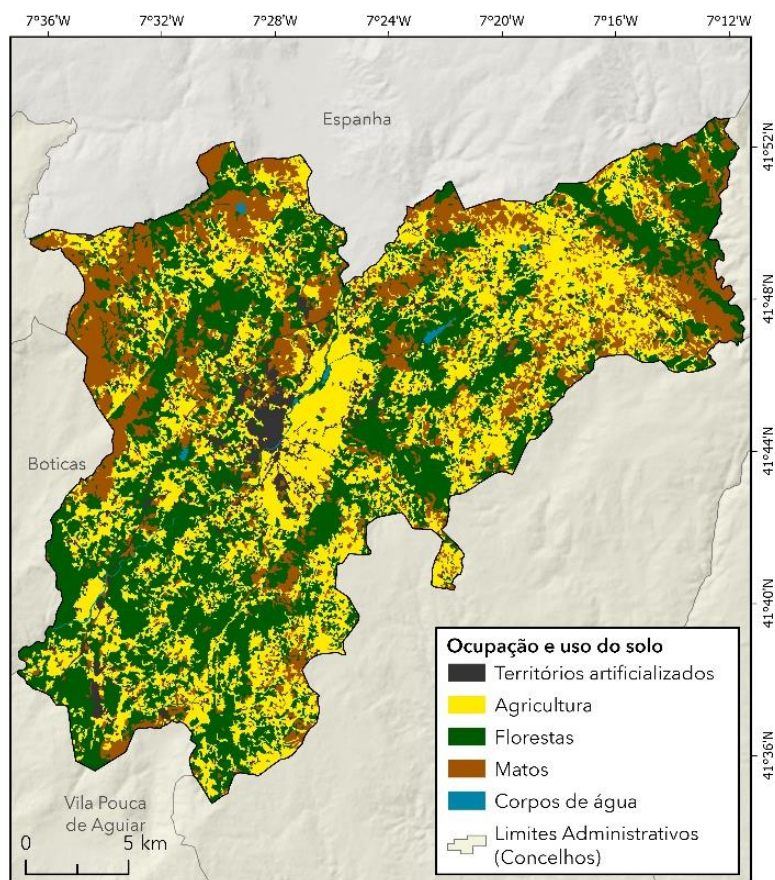


Figura 8 - Ocupação do solo, no município de Chaves

População e edificado

De acordo com os censos de 2021, o município de Chaves conta com uma população total de 37592 habitantes, sendo que cerca de 53% pertencem ao género feminino e 47% pertencem ao masculino. Entre 2011 e 2021, o município perdeu cerca de 8,9% da sua população. A freguesia que apresentou uma maior perda foi Cimo de Vila da Castanheira (no setor nordeste do município), cuja variação atingiu os -29,4%, em oposição, a freguesia que conseguiu ganhar mais habitantes foi Vale de Anta (no setor central), com uma variação positiva de 5,3%. Relativamente à a freguesia com menor densidade é São Vicente (no setor nordeste) com apenas 5,9 hab/km², já Santa Maria Maior, localizada do setor central, foi a que apresentou maior valor com 2026,1 hab/km².

Segundo a Carta de Áreas Edificadas de 2018, 5% (3033,7 ha) do município é ocupado por área edificada. A figura 9 ilustra a distribuição espacial das áreas edificadas pelo município. Aproximadamente 80% das freguesias têm menos de 10% de área edificada, São Vicente (setor nordeste) é a freguesia que apresenta menor percentagem (1,06%). As restantes freguesias apresentam entre 15% a 18%, à exceção de Santa Maria Maior (setor central), localizada no setor central do território, que é ocupada por edificado em 58% da sua área total.

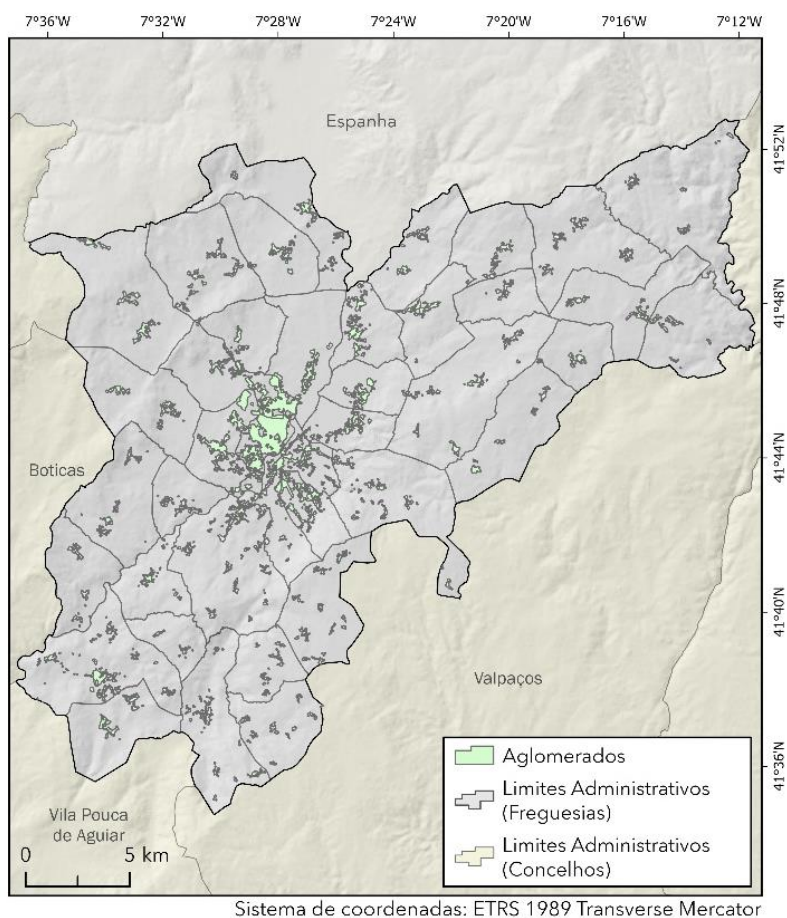


Figura 9 - Áreas edificadas, no município de Chaves

Incêndios rurais

Em termos de área acumulada no período em análise (2000-2020), Chaves apresenta uma área ardida com 33174,8 ha, que corresponde a 56% da sua área total. Os anos com maior área ardida registada foram 2005, quando arderam 6232,3 ha (11%), 2002 que contabilizou um total de 5848,8 ha (10%) e 2013 onde ardeu aproximadamente 8% da sua área total (4614,6 ha) (figura 10).

Os anos com maior número de ocorrências foram 2002 com 32 registadas, 2013 com 27 e 2005 e 2011, que contabilizaram ambos 24. Apenas o ano de 2018 não registou nenhum incêndio. Relativamente às freguesias com maior número de ocorrências ao longo do período de anos selecionado, variam entre 13 e 15 ocorrências registadas e encontram-se no setor norte do município (Sanfins, Outeiro Seco, Planalto de Monforte, Redondela, Tronco e U.F. de Calvão e Soutelinho da Raia). Em oposição Faiões e Santa Maria Maior (no setor central) apenas registaram 1 ocorrência.

A figura 11a permite uma análise da extensão da área ardida no município de Chaves e ainda das freguesias que foram afetadas pelos incêndios no período de tempo referido, já a figura 11b indica o número de vezes que uma célula da área do município ardeu (25m de resolução).

Em relação ao primeiro mapa, é possível notar que as áreas ardidas se encontram dispersas pelo território, no entanto observa-se uma maior concentração no setor norte e nordeste. A ausência de áreas ardidas no centro do município deve-se, maioritariamente, à presença do centro urbano que se concentra na freguesia de Santa Maria Maior, assim como pela vasta presença de áreas agrícolas que são menos propensas a serem afetadas por incêndios.

Com a análise do segundo mapa (figura 11b) pode-se comprovar que, no máximo, Chaves já ardeu 5 vezes na mesma área, contudo este cenário não tem muita expressão espacial, concentrando-se apenas na União das freguesias de Soutelo e Seara Velha. A grande maioria de Chaves (quase 70%) não registou nenhum incêndio nos 21 anos em estudo.

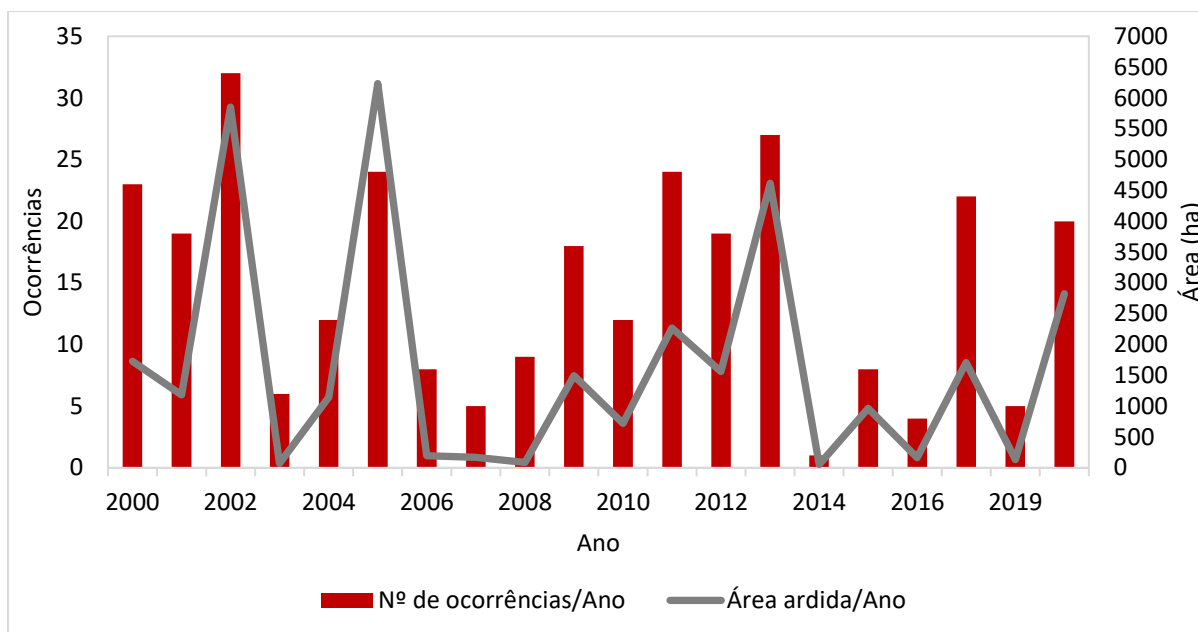


Figura 10 - Número de ocorrências e área ardida por ano, entre 2000 e 2020, no município de Chaves

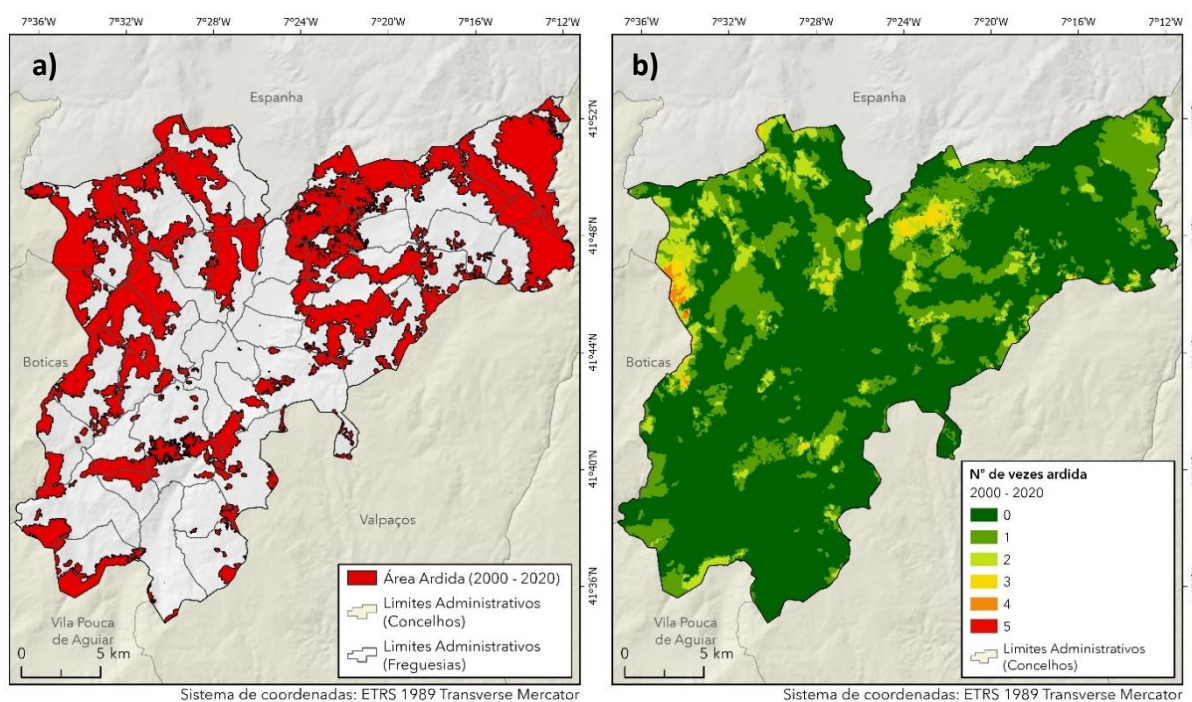


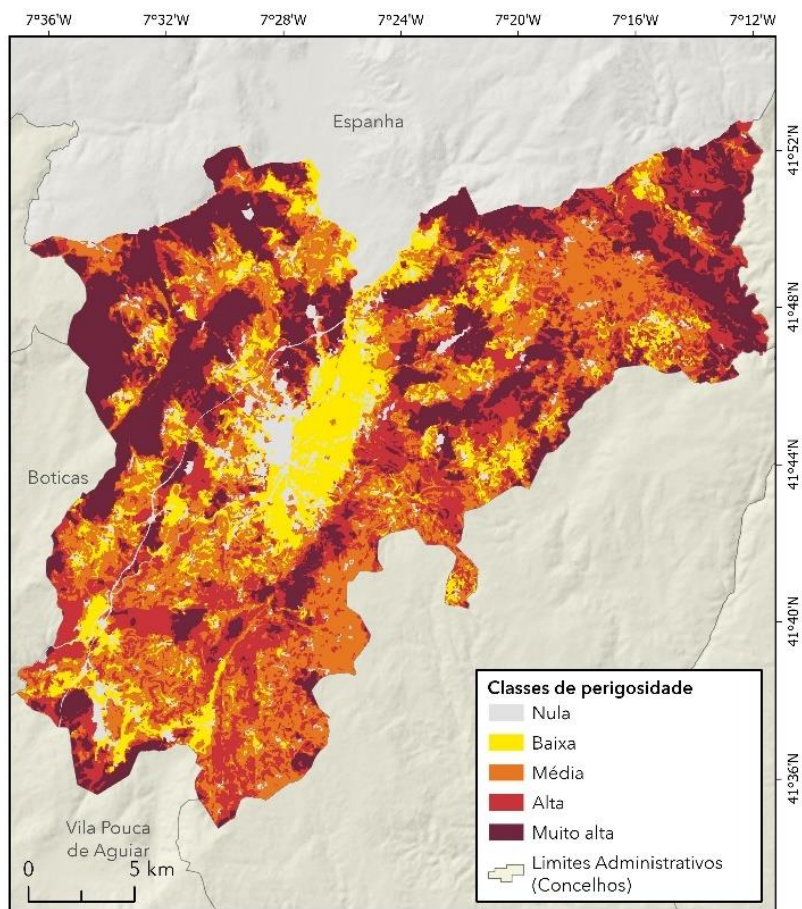
Figura 11 - a) Área ardida; b) Número de vezes que a célula de 25 m ardeu, no município de Chaves entre 2000 – 2020

Perigosidade estrutural

Chaves tem 94,7% da sua área classificada na cartografia de perigosidade estrutural, sendo que apenas 5,3% do município ficou definido como perigosidade nula.

O município é ocupado por, aproximadamente, 52% de área crítica e apenas 13,8% ficou classificada como perigosidade baixa.

Com a figura 12 é possível verificar que a área crítica concentra-se essencialmente nos setores nordeste e noroeste do município.



Sistema de coordenadas: ETRS 1989 Transverse Mercator

Figura 12 - Carta de perigosidade estrutural 2020-2030, no município de Chaves (ICNF, 2021)

b) Góis

O município de Góis, pertence ao distrito de Coimbra, e está representado na figura 13 com a localização das suas quatro freguesias. Com uma área de 263,30 km², este município é limitado a norte por Arganil, a oeste pela Lousã, a sudoeste faz fronteira com os municípios de Castanheira de Pêra e Pedrógão Grande e a leste pelo município de Pampilhosa da Serra.

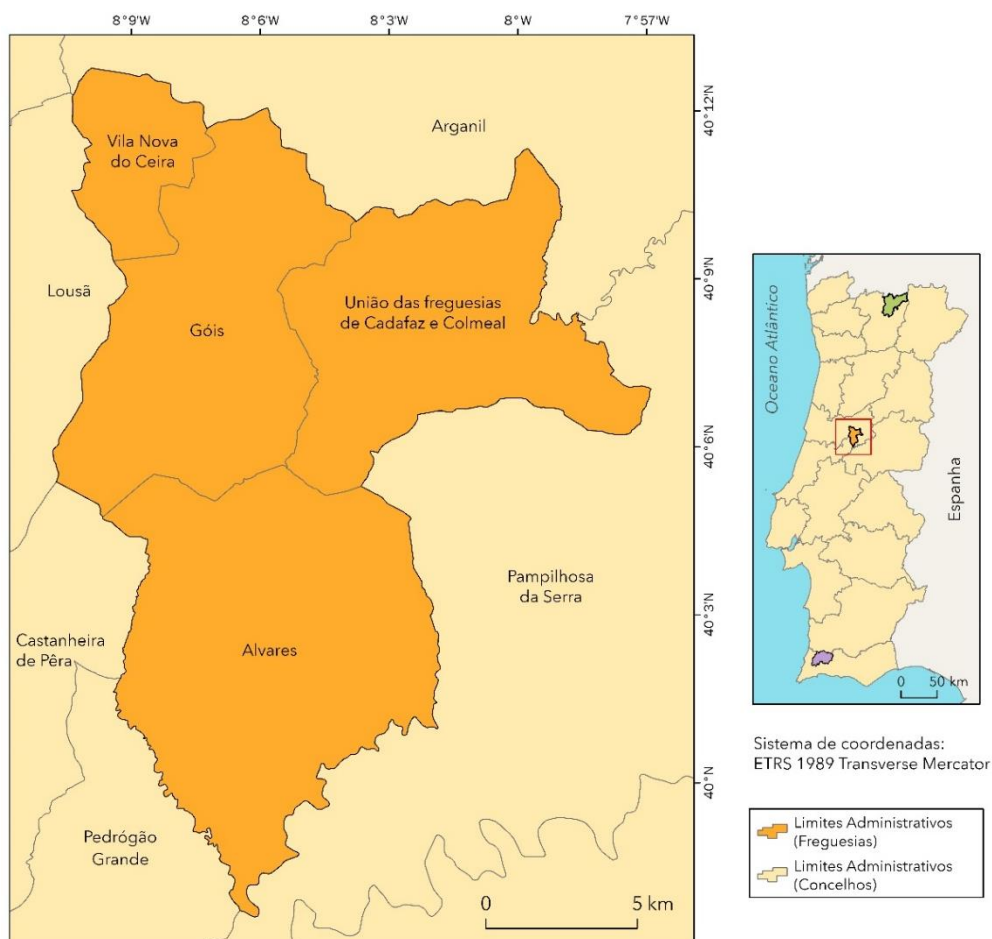


Figura 13 - Enquadramento geográfico do município de Góis

Topografia

No município de Góis, as altitudes variam entre os 144 e os 1204 m (figura 14a). Os valores mais baixos encontram-se distribuídos ao longo do vale do rio Ceira, que atravessa o município na sua zona mais a norte, e ainda na linha de fronteira a sul de Alvares onde a Ribeira de Mega e o Rio de Unhais se unem. Aproximadamente, 48% da área total de Góis é marcada por valores abaixo dos 500 m (tabela 5a).

Cerca de 56% da área do município é ocupada por valores de altitude acima dos 500 m sendo a serra do Penedo um dos picos que ultrapassa os 1000 m de altitude.

Relativamente aos declives (figura 14b), em Góis predominam valores acima de 20°, correspondendo a cerca de 28% do município, enquanto que aproximadamente 23% da área é ocupada por declives abaixo dos 10° (tabela 5b).

As vertentes orientadas a sudoeste e a este predominam em Góis (figura 14c), ocupando aproximadamente 15% da sua área total (tabela 5c).

Tabela 5 - Classes da topografia, no município de Góis: a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes

Altitude (m)	Área da classe (%)	Declive (°)	Área da classe (%)	Orientação das Vertentes	Área da classe (%)
<400]	24,3	[0 - 5]	6	Plano	0,1
]400 - 500]	19,4	]5 - 10]	17,1	Norte	9,9
]500 - 600]	18	]10 - 15]	25,5	Nordeste	13,9
]600 - 700]	15,8	]15 - 20]	23,4	Este	14,5
]700 - 800]	10,9	]20 - 53,2]	27,9	Sudeste	11,6
]800 - 900]	6,7			Sul	11
]900 - 1204,7]	4,9			Sudoeste	14,7
				Oeste	13,3
				Noroeste	10,9

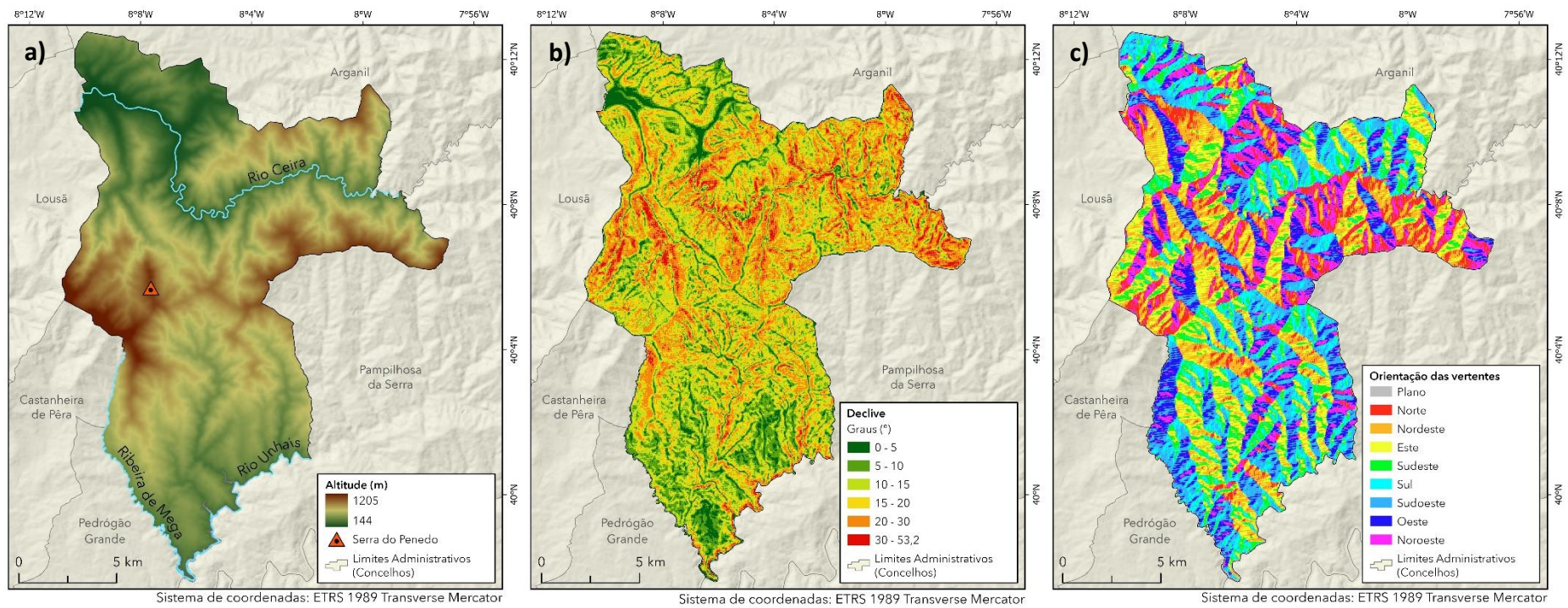


Figura 14 - Topografia, no município de Góis. a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes

Uso e ocupação do solo

Em relação ao uso e ocupação do solo (figura 15), as classes de floresta e mato, em conjunto, ocupam praticamente a totalidade do município, cerca de 95% (tabela 6).

A classe predominante é a da floresta, ocupando 84% da área de Góis. Por sua vez a categoria de floresta com maior expressão no município é a floresta de eucalipto, com uma área de 9730,8 ha (37%) e ainda com uma área semelhante (35,4%) a floresta de pinheiro-bravo.

Ainda que com menos peso, a classe de matos é a segunda classe com maior distribuição no município, ocupando cerca de 9,9% do território de Góis, concentrando-se no setor oriental. A classe de agricultura ocupa apenas 4% do município, essencialmente no setor noroeste.

Tabela 6 - Classes de ocupação do solo, no município de Góis

Classes COS	Área total (ha)	Área total (%)
Territórios artificializados	366,3	1,4
Agricultura	1061,3	4
Florestas	22148,7	84,1
Matos	2606	9,9
Massas de água superficiais	147,9	0,6

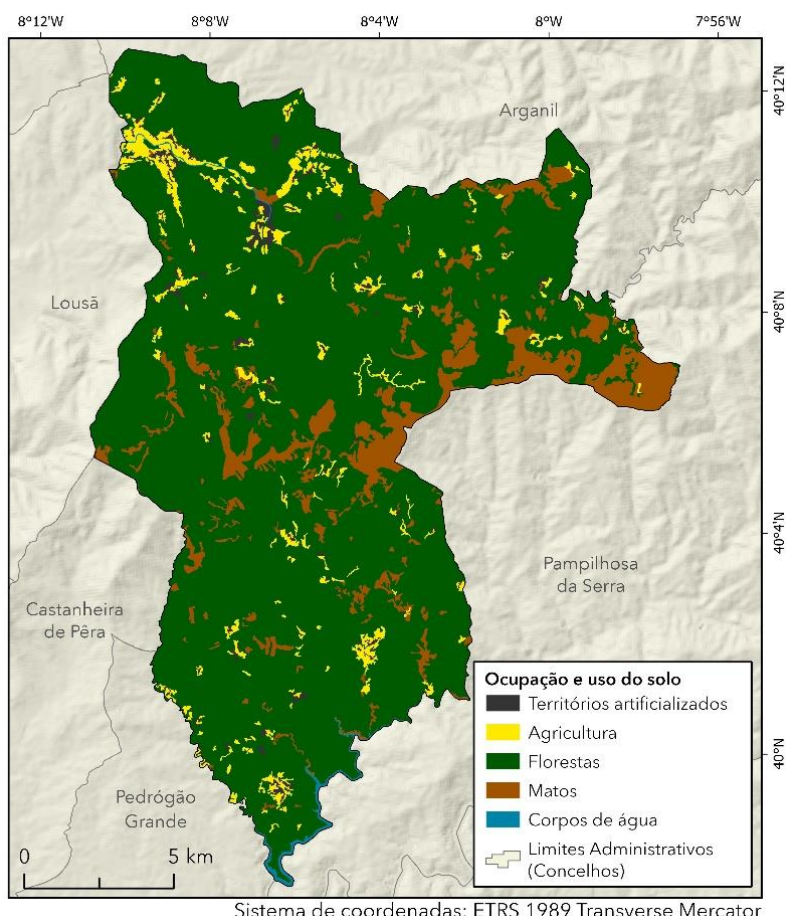


Figura 15 - Ocupação do solo, no município de Góis

População e edificado

Os censos de 2021 indicam-nos que Góis apresenta uma população com cerca de 3811 residentes, dos quais 54% pertencem ao sexo feminino e 46% ao sexo masculino.

A variação da população do município é negativa, sendo que perdeu 10,5% da sua população na última década. A freguesia que sofreu maior perda de residentes fica no setor sul do município, Alvares, com uma variação de aproximadamente -16%. Em contrapartida a freguesia de Vila Nova do Ceira (no setor noroeste) aumentou em 0,2% o seu número de residentes.

A freguesia com menor densidade populacional é a União das freguesias de Cadafaz e Colmeal, localizada no setor nordeste de Góis, com 4,6 hab/km², sendo que Vila Nova do Ceira apresenta maior número de habitantes por km² (47,3 hab/km²).

De acordo com Carta de Áreas Edificadas de 2018, o município de Góis é ocupado por edificado em apenas 2% da sua área total. A distribuição do edificado pelas freguesias (figura 16) é semelhante entre si (1 e 2%), à exceção de Vila Nova do Ceira que apresenta cerca de 8,5% de área edificada.

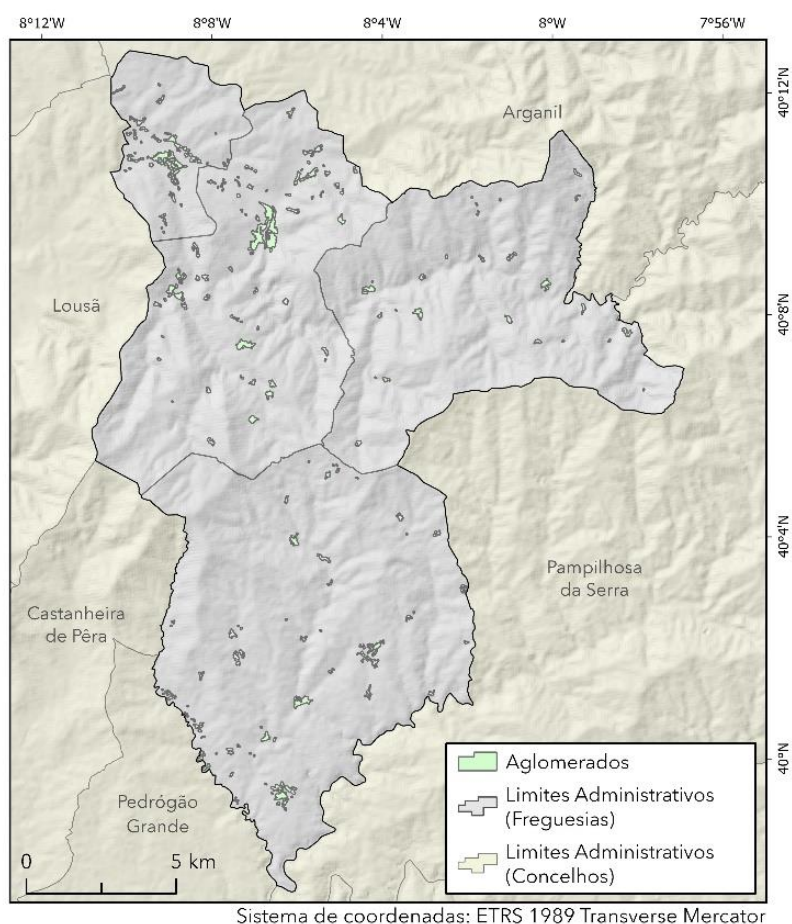


Figura 16 - Área edificada, no município de Góis

Incêndios rurais

Góis apresenta uma área ardida acumulada com 20511,4 ha, que equivale, aproximadamente, a 78% da área do município. Os anos que registaram maior área ardida foram 2017 onde arderam cerca de 13383,7 ha, precisamente metade da área do município, 2000 com um total de 3871,1 ha (15%) de área ardida e 2013 com 1289,7 ha, que equivale a cerca de 5%.

Os anos que contabilizaram maior número de ocorrências foram 2005, 2010, 2012 e 2017 com 4 ocorrências registadas. Ao longo deste período selecionado, houve 7 anos (33%) sem nenhuma ocorrência, nomeadamente 2003, 2004, 2007, 2009, 2014, 2018 e 2019 (figura 17).

Relativamente às freguesias, a que registou um maior número de ocorrências foi a União das freguesias de Cadafaz e Colmeal, localizada no setor nordeste do território, com um total de 11 ocorrências registadas.

Na figura 18a, que cartografa a extensão da área ardida no município de Góis, é clara a presença de grandes áreas ardidas nas freguesias de Vila Nova do Ceira, localizada no setor noroeste, União das freguesias de Cadafaz e Colmeal (setor nordeste) e Alvares, no setor sul, que contrastam drasticamente com o que é observado na freguesia de Góis, que apresenta áreas ardidas substancialmente menores.

Na figura 18b, que identifica o número de vezes que uma célula (25 m) no município de Góis ardeu, no máximo, a mesma área já ardeu 3 vezes, em pequenas áreas da União das freguesias de Cadafaz e Colmeal e também na freguesia de Alvares.

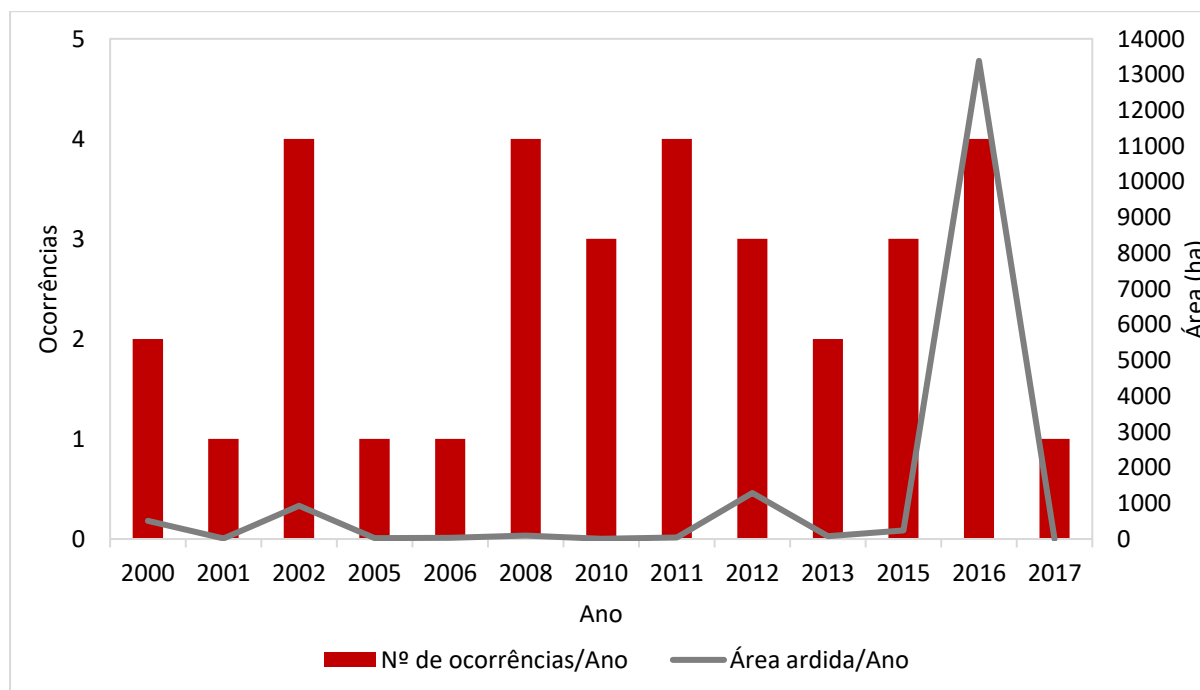


Figura 17 - Ignições e Área ardida por ano, no município de Góis

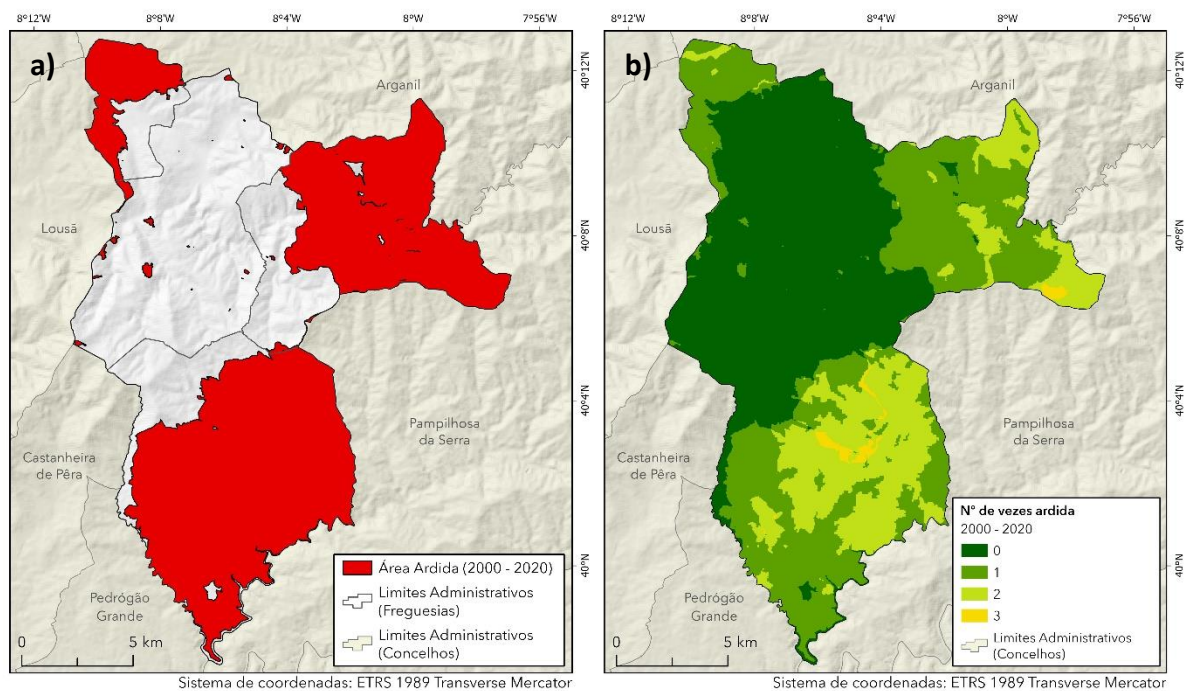


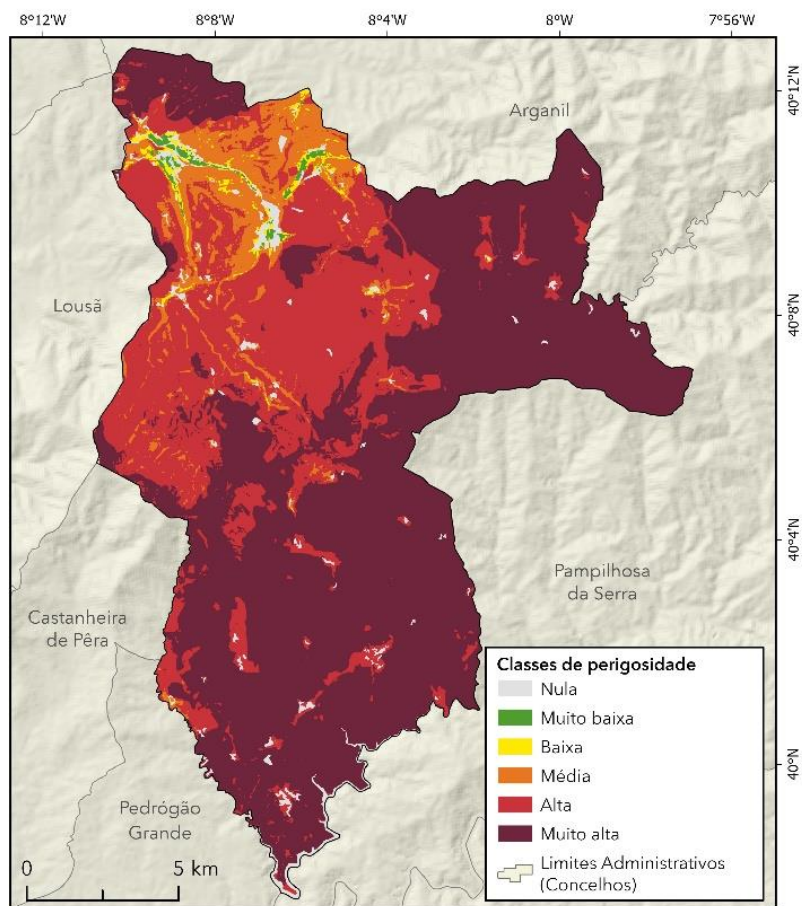
Figura 18 - a) Área ardida; b) Nº de vezes que a célula de 25 m ardeu, no município de Góis entre 2000 – 2020

Perigosidade estrutural

Em Góis, cerca de 98,1% da sua área foi classificada na cartografia de perigosidade estrutural, sendo que apenas 1,9% do município ficou definido como perigosidade nula (figura 19).

A área crítica no município ocupa, aproximadamente, 89% da sua área total, sendo que apenas 1,3% ficou classificada como perigosidade muito baixa e baixa.

Os setores sul e nordeste do território apresentam mais área crítica. A freguesia, que apresenta maior área crítica é Alvares, no setor sul do município, com 97,3% da sua área classificada como perigosidade alta e muito alta. Com uma área substancialmente menor, de aproximadamente 67%, encontra-se Vila Nova do Ceira, que ocupa o setor noroeste.



Sistema de coordenadas: ETRS 1989 Transverse Mercator

Figura 19 - Carta de perigosidade estrutural 2020-2030, no município de Góis (ICNF, 2021)

c) Monchique

Constituído por apenas três freguesias, Monchique localiza-se no distrito de Faro (figura 20) e tem 395,30 km² de área. O município faz fronteira com outros 5 concelhos: Odemira a norte, Aljezur a oeste, Lagos e Portimão a sul e a leste, Silves.

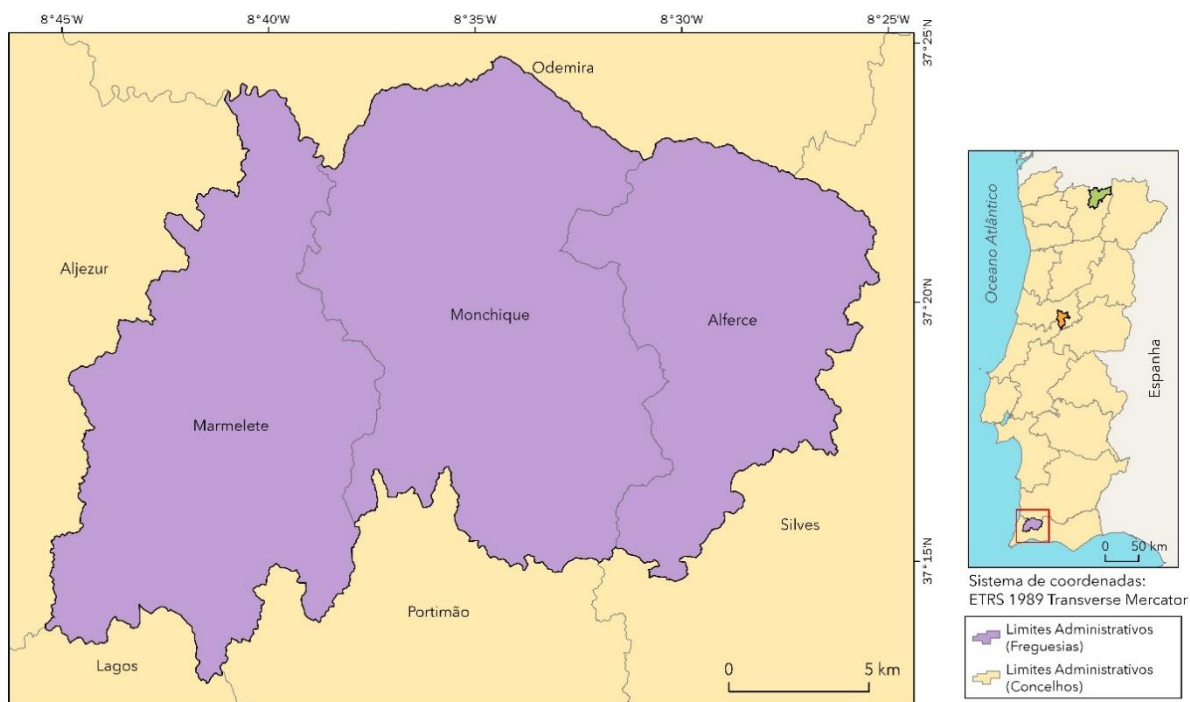


Figura 20 - Enquadramento geográfico do município de Monchique

Topografia

No município de Monchique, os valores mais baixos de altitude encontram-se ao longo de toda a sua linha fronteira (figura 21a). Quase 82% da sua área total é ocupada por valores de altitude abaixo dos 400 m.

Os relevos de maior altitude desenvolvem-se em direção ao centro do município atingindo altitudes acima dos 800m, onde se destacam dois picos, um na Foia e outro em Picota. Apenas 8,9% de Monchique é marcado por altitudes acima dos 500 m (tabela 7a).

Relativamente aos declives (figura 21b), predominam os valores entre os 10 e os 15° (27,1%), ainda assim declives acima dos 20° ocupam cerca de 18% da sua área total (tabela 7b).

Em Monchique, predominam as vertentes com orientação a sudeste e a sul (figura 21c), ambas ocupando 14,1% da sua área (tabela 7c).

Tabela 7 - Topografia no município de Monchique: a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes

Altitude (m)	Área da classe (%)	Declive (°)	Área da classe (%)	Orientação das Vertentes	Área da classe (%)
<200]	31,6	[0 - 5]	9,7	Plano	0,1
]200 - 300]	28,4	]5 - 10]	23,3	Norte	10,2
]300 - 400]	21,5	]10 - 15]	27,1	Nordeste	12
]400 - 500]	9,7	]15 - 20]	21,8	Este	12,3
]500 - 600]	4,2	]20 - 49,3]	18,2	Sudeste	14,1
]600 - 700]	2,6			Sul	14,1
]700 - 895]	2,1			Sudoeste	13,4
				Oeste	12
				Noroeste	11,9

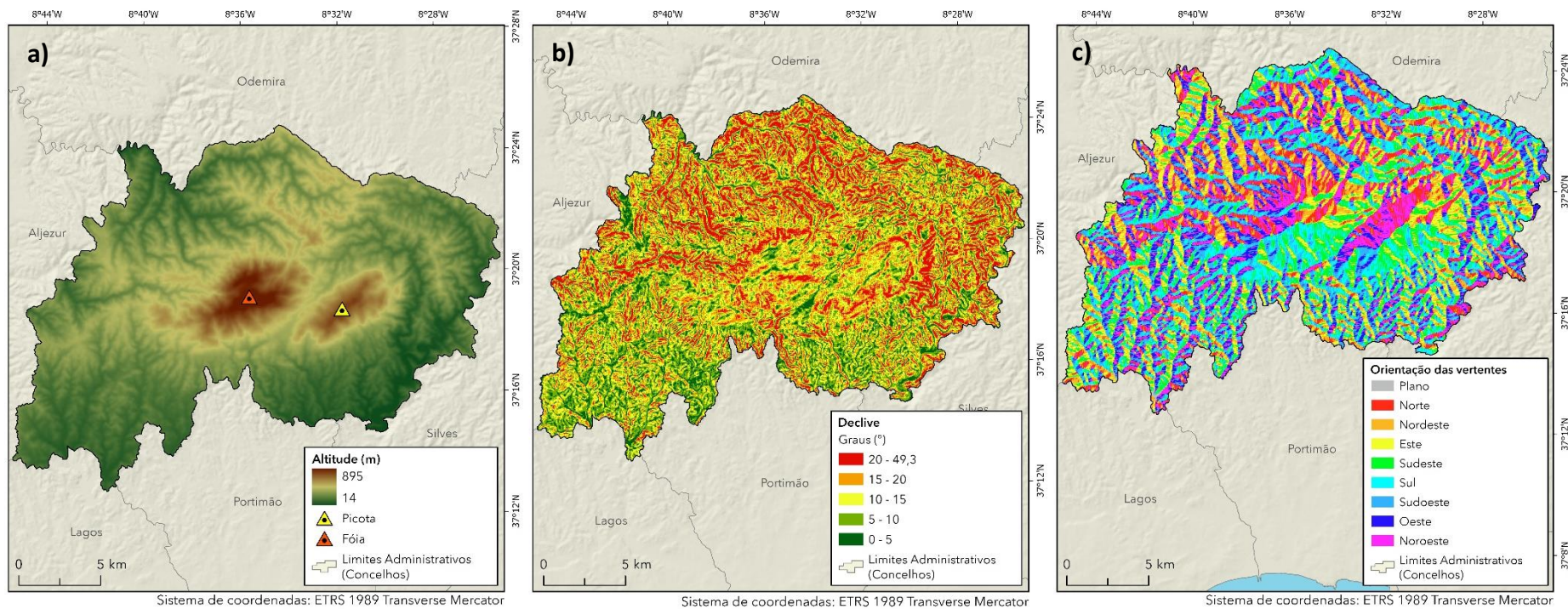


Figura 21 - Topografia, no município de Monchique. a) Altitude; b) Declive; c) Orientação das vertentes

Uso e ocupação do solo

A figura 22 apresenta a distribuição das classes de ocupação do solo no município de Monchique. A partir dela, podemos observar que as classes de floresta e mato, cobrem quase toda a totalidade da área do município, cerca de 92% (tabela 8). A classe de agricultura ocupa 6% do território, essencialmente na parte central e sul do concelho.

A classe de floresta ocupa 65,7% da área do município, sendo a classe com maior distribuição, e a floresta de eucalipto é a categoria de floresta mais predominante no concelho, ocupando 17801,4 ha (45%); com uma área relativamente mais reduzida, a floresta de sobreiro aparece em segundo lugar, ocupando cerca de 17% da sua área total.

Numa área com mais de 10 mil ha (26%) encontra-se a classe de matos com uma expressão no município bastante substancial.

Tabela 8 - Classes de ocupação do solo, no município de Monchique

Classes COS	Área total (ha)	Área total (%)
Territórios artificializados	258,5	0,7
Agricultura	2421,0	6,1
Florestas	25985	65,7
Matos	10405,6	26,3
Massas de água superficiais	460,3	1,2

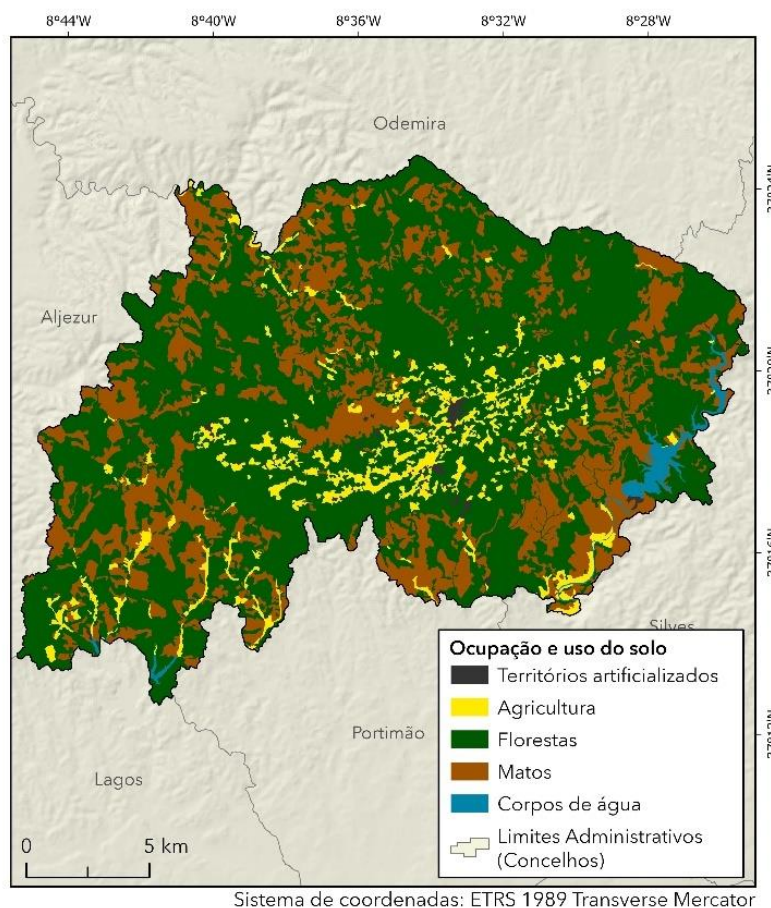


Figura 22 - Ocupação do solo, no município de Monchique

População e edificado

Segundo os censos de 2021, Monchique é constituído por uma população com 5462 residentes, sendo que se dividem de forma equivalente entre residentes do género feminino e masculino.

Entre os anos de 2011 e 2021, o município registou uma perda de residentes de 9,6%. Tendo todas as freguesias registado uma variação negativa, Alferce (no setor este do município) e Marmeleite (na parte oeste) registaram a variação mais alta, aproximadamente -11%.

Em termos de densidade populacional, Alferce apresenta-se como a freguesia com menor número de habitantes por km² (4,1 hab/km²) e Monchique (na parte central do concelho) apresenta uma densidade populacional com, aproximadamente 28 hab/km².

A Carta de Áreas Edificadas de 2018 de Monchique, indica-nos que 2,24% da sua área é ocupada por polígonos de edificado. A distribuição das áreas edificadas pelas freguesias (figura 23) é reduzida, sendo que Alferce e Marmeleite apresentam menos de 1%, a freguesia de Monchique é ocupada em 2,5% do seu território.

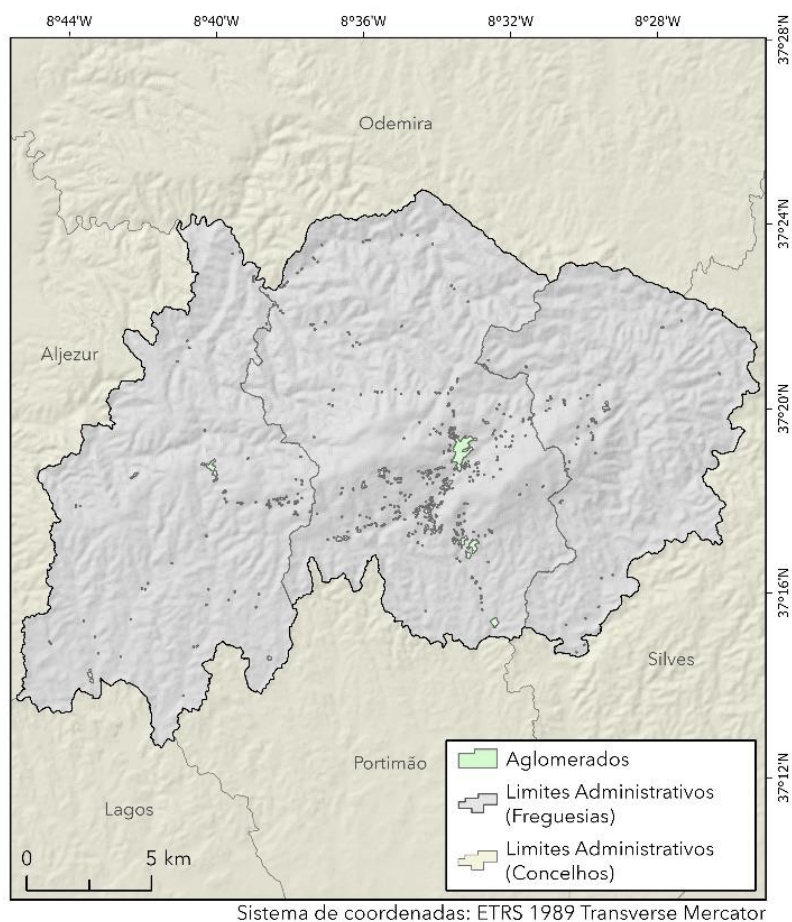


Figura 23 - Áreas edificadas, no município de Monchique

Incêndios rurais

Ao longo do período de anos selecionado, Monchique acumulou uma área ardida com 50104 ha, o que excede a área total do município em cerca de 27%.

Os anos que registaram um maior número de ocorrências foram 2003 com 3 ocorrências e 2001, 2004 e 2018 com cerca de 2 ignições por ano. Nos anos de 2002, 2005, de 2007 a 2014, 2016 e 2020 não foram registadas ocorrências (figura 24), ou seja, em 30% do período em análise.

No que toca à área ardida por ano, as maiores foram registadas no ano de 2003, tendo ardido 31735,8 ha, que corresponde a 80% do município, e em 2018, onde arderam 16766,7 ha, cerca de 42% do território.

Em relação às freguesias, a que registou o maior número de ocorrências, foi a freguesia de Monchique (localizada no setor central do concelho) que contabilizou 6 registos.

Ao longo dos anos, Monchique foi fortemente afetado por incêndios rurais, como comprova a figura 25a que representa a extensão da área ardida no município. As áreas que não foram afetadas por incêndios coincidem parcialmente com áreas onde predominam territórios agrícolas ou urbanizados, ou ainda corpos de água, no caso da freguesia de Alferce (no setor este do município).

Analisando a figura 25b, o máximo de vezes que uma célula ardeu em Monchique foram 5 vezes, ainda que esta área mal ultrapasse 1 ha. No município predominam áreas que apenas arderam 1 ou 2 vezes.

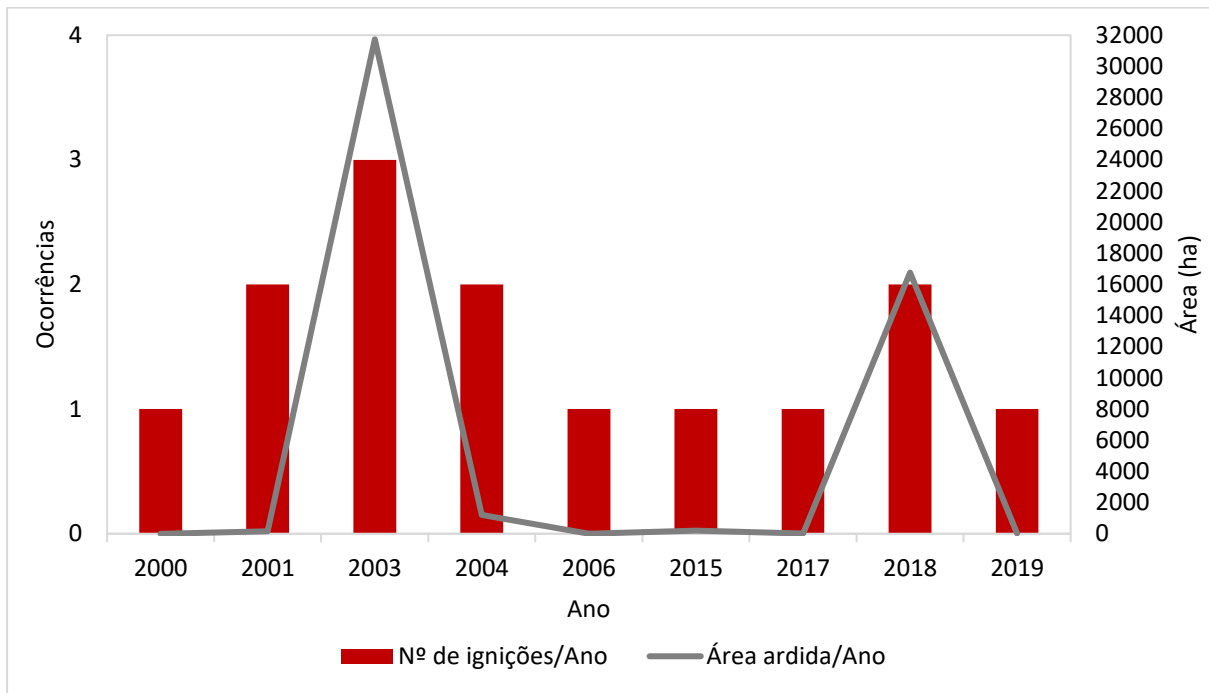


Figura 24 - Ignições e Área ardida por ano, no município de Monchique

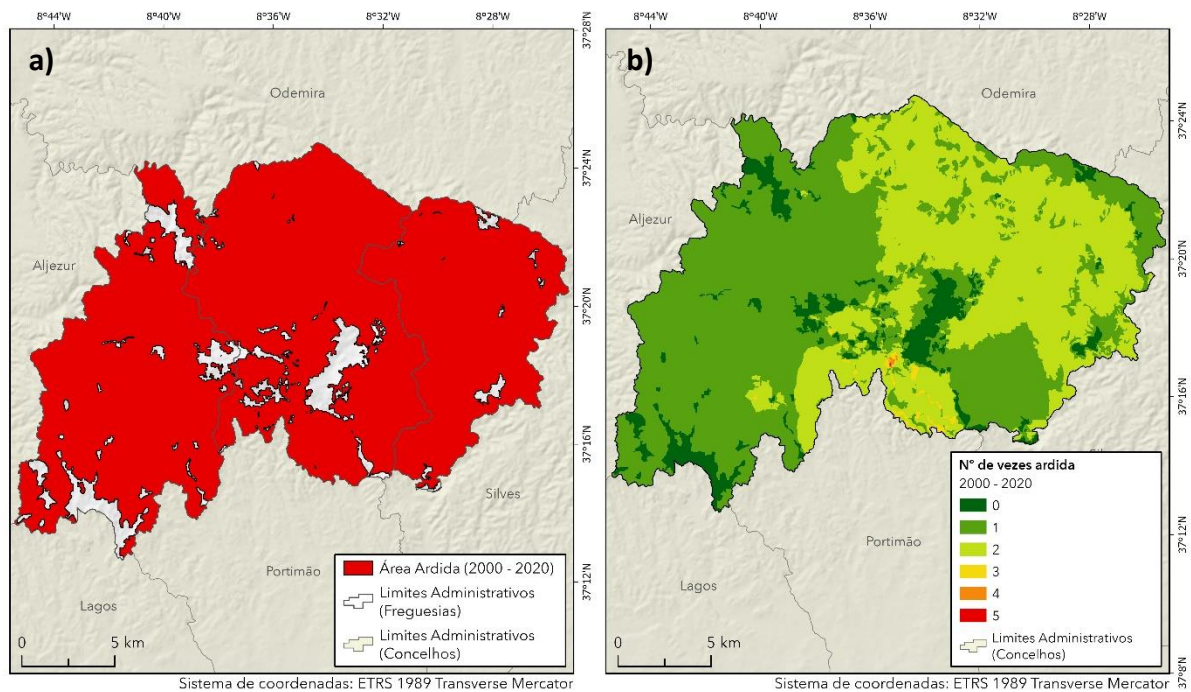


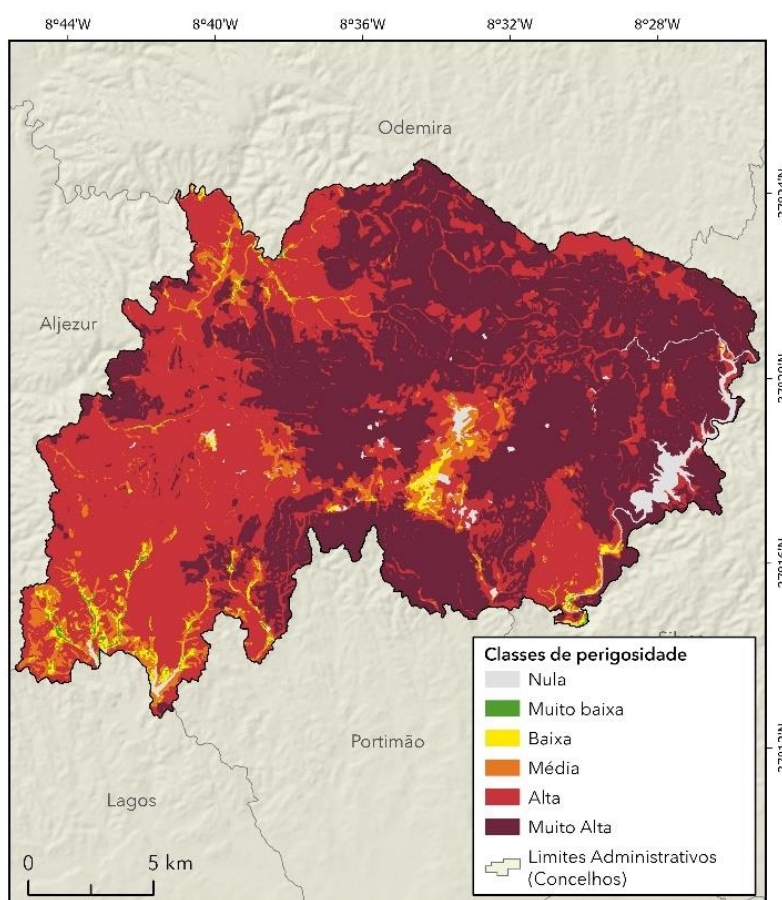
Figura 25 - a) Área ardida; b) Nº de vezes que a célula de 25 m ardeu, no município de Monchique entre 2000 – 2020

Perigosidade estrutural

No município de Monchique, cerca de 98% da área é abrangida pelas classes de perigosidade estrutural, sendo que apenas 1,8% do município ficou classificado como perigosidade nula (figura 26).

A área crítica ocupa, aproximadamente, 91% da sua área total, sendo que apenas 2% ficou classificada como perigosidade muito baixa e baixa.

Relativamente às freguesias, a que apresenta maior área crítica é Monchique, no setor central do território, com 93,4% da sua área classificada como perigosidade alta e muito alta. As restantes freguesias, Alferce, no setor este, e Marmeleite, no setor oeste, também apresentam valores elevados de área crítica, 92,8% e 86,4% respetivamente.



Sistema de coordenadas: ETRS 1989 Transverse Mercator

Figura 26 - Carta de perigosidade estrutural 2020-2030, no município de Monchique (ICNF, 2021)

4.1. Tendências gerais

Os três municípios apresentam padrões distintos em relação aos parâmetros analisados. A Tabela 9 reúne as características de cada município e auxilia na percepção dos padrões mais típicos de cada região.

Em relação aos restantes municípios, Chaves apresenta uma maior área com altitudes superiores a 500 m (61%), maior área ocupada por agricultura (34%) e ainda uma maior densidade populacional (64 hab/km²) e de edificado (5%).

Góis destaca-se por conter mais território com declives acima dos 20° e também pela sua área de floresta e matos, que ocupa cerca de 94% da área do município, destacando-se as florestas de eucalipto e de pinheiro-bravo.

Por fim Monchique, que também apresenta uma densa área florestal e de mato (92%) e uma área ardida equivalente a 127% do município, a maior área ardida acumulada dos três municípios; 91% do território é classificado como área crítica, tendo em conta a perigosidade estrutural.

Apesar de se destacarem em parâmetros diferentes, os municípios têm em comum uma elevada área de florestas e matos, sempre acima dos 50%, que se alia a uma área crítica e área ardida também bastante marcantes, mais uma vez, ocupando sempre mais de 50% dos seus territórios.

Tabela 9 - Características gerais das áreas de estudo

	Altitude > 500 m	Declive >20°	Floresta/ Matos	Agricultura	População	Área edificada	Área ardida	Área crítica
Chaves	61%	4%	61%	34%	64 hab/km ²	5%	56%	52%
Góis	48%	28%	94%	4%	14 hab/km ²	2%	78%	89%
Monchique	9%	18%	92%	6%	14 hab/km ²	2%	127%	91%

5. Resultados

5.1. Análise da Perigosidade e Exposição Estrutural

5.1.1. Perigosidade estrutural

Sendo o objetivo principal deste trabalho, identificar áreas de intervenção, estipulou-se um limiar mínimo de percentagem de área crítica (AC) que cada área de proteção na envolvente do aglomerado deveria conter, para ser considerado prioritário. Assim, após uma análise preliminar de diversas opções e de acordo com os resultados obtidos, decidiu-se que 40% seria o valor mínimo definido. Posteriormente, comparou-se os resultados obtidos quando aplicada uma área de proteção com 100 m e com de 500 m de raio.

Para melhor perceção da distribuição dos valores de área crítica na envolvente dos aglomerados de cada município, procedeu-se à classificação destes valores em três classes de percentagem (40 - 60; 60 - 80; 80 - 100).

Área de proteção de aglomerado: 100 m

Comparando os três municípios, tanto Monchique (69,6%) como Góis (67,4%) destacam-se pela elevada proporção de aglomerados com mais de 40% de AC na sua envolvente. Contrastando com o município de Chaves que, mesmo tendo uma maior percentagem de território artificializado, apresenta menos de 10% de aglomerados em necessidade de intervenção na área de proteção.

Ao classificarmos a percentagem de área crítica (figura 27) verifica-se, uma vez mais que, Góis (51,2%) e Monchique (47,4%) ressaltam pela elevada proporção de aglomerados contida na classe mais elevada (de 80% - 100%). Sendo que em Chaves, a classe com maior número de aglomerados é a mais baixa (de 40% - 60%).

Área de proteção de aglomerado: 500 m

No geral, quando se aumenta a largura da área de proteção, aumenta também a proporção de aglomerados com mais de 40% de área crítica na envolvente.

Neste caso, Monchique (82,7%) e Góis (77,7) voltam a destacar-se por apresentarem uma proporção elevada de aglomerados com mais de 40% de AC em seu redor. Chaves, mesmo não tendo tanta expressão, apresenta 16,4% de aglomerados na mesma condição.

Observando a figura 27, evidencia-se que Góis e Monchique têm mais de metade dos seus aglomerados na classe mais alta de área crítica e Chaves, volta a concentrar mais aglomerados na classe mais baixa, entre os 40% - 60%.

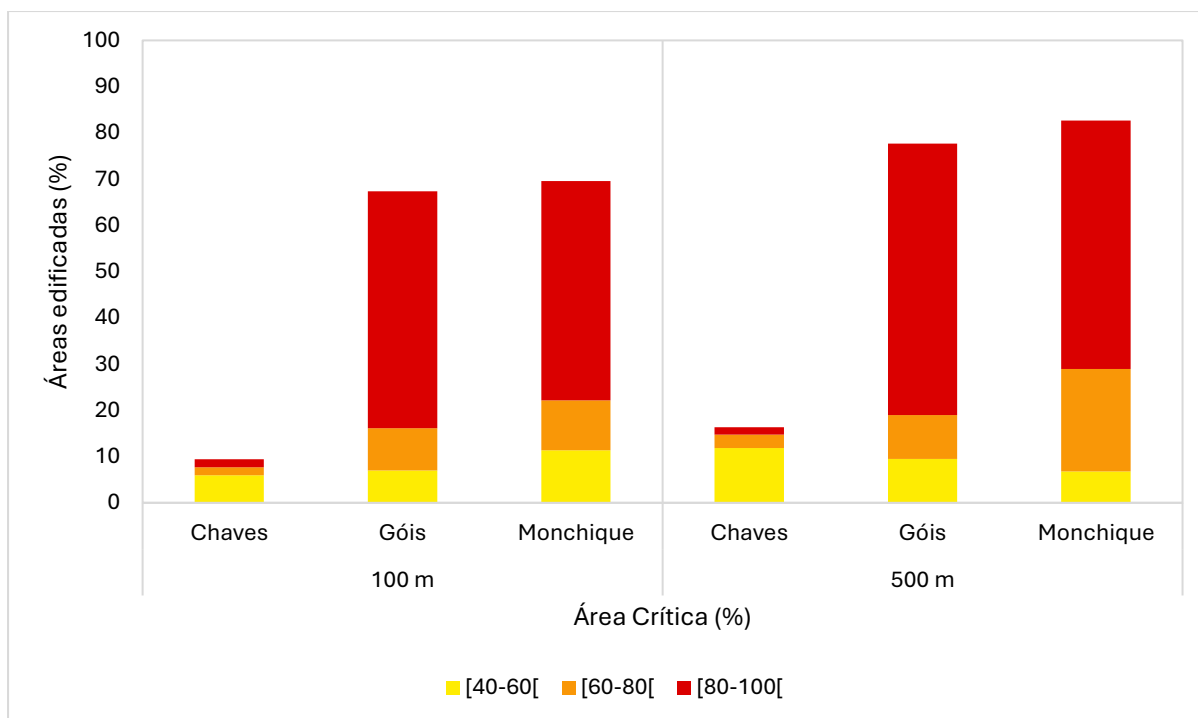


Figura 27 - Percentagem de aglomerados com Área Crítica na envolvente, consoante a largura da área de proteção

Observando os padrões espaciais com a área de proteção de 100 m (figura 28), verifica-se que em Chaves, os aglomerados com maior percentagem de área crítica localizam-se, essencialmente, nos setores nordeste e noroeste, sendo a freguesia de São Vicente, no setor nordeste do concelho, a que apresenta maior proporção de aglomerados (45,5%) com mais de 40% de AC.

Em Góis, os aglomerados com maior percentagem de área crítica na sua envolvente localizam-se sobretudo no setor sul, seguido do setor nordeste, destacando-se a freguesia de Alvares, localizada a sul do município, onde cerca de 97% dos seus aglomerados apresentam mais de 40% de AC na sua envolvente.

Em Monchique, os aglomerados com maior AC concentram-se, principalmente, no setor central do território. Contudo a freguesia de Alferce, no setor oriental do município, destaca-se com aproximadamente 93% de aglomerado com área crítica na sua envolvente superior a 40%.

Relativamente aos padrões espaciais com a área de proteção de 500 m (figura 29), em Chaves, continua-se a verificar uma maior concentração no setor nordeste e noroeste do município. A freguesia com maior proporção de AC superior a 40%, corresponde à U.F. de Soutelo e Seara Velha, localizada no setor centro-oeste do município, apresentando mais de 66% dos seus aglomerados com mais de 40% de AC.

Em Góis, já se verifica uma maior distribuição de aglomerados com maior percentagem de área crítica por todo o município, no entanto mais discreta no setor noroeste, correspondendo à fronteira entre as freguesias de Góis e Vila Nova do Ceira. Tanto a freguesia de Alvares como a U.F. de Cadaval

e Colmeal, localizadas no setor sul e nordeste do município, respetivamente, concentram a totalidade dos seus aglomerados envolvidos por mais de 40% de AC.

Em Monchique, a distribuição também se dá um pouco por todo o município, destacando-se mais no setor central e oriental. A freguesia de Alferce, no setor este de Monchique apresenta 100% dos seus aglomerados com mais de 40% de área crítica na sua envolvente.

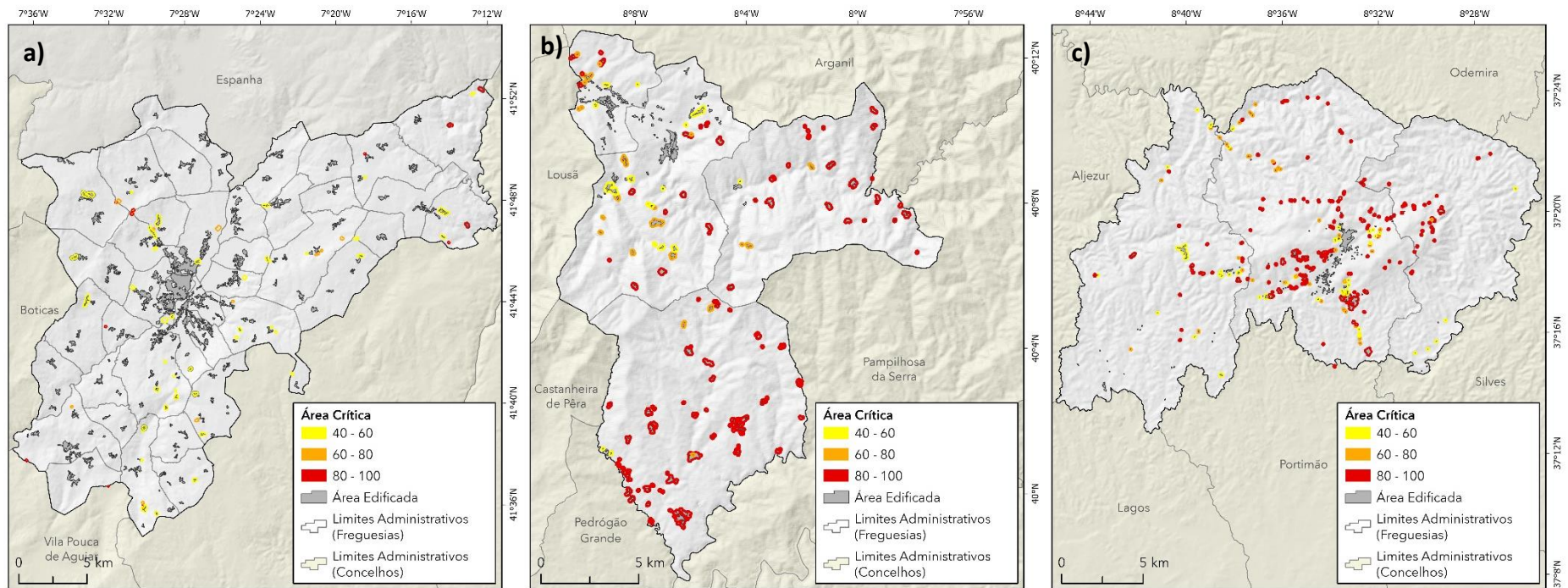


Figura 28 - Nível de área crítica (perigosidade estrutural) acima de 40%, quando aplicada uma área de proteção de 100 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique

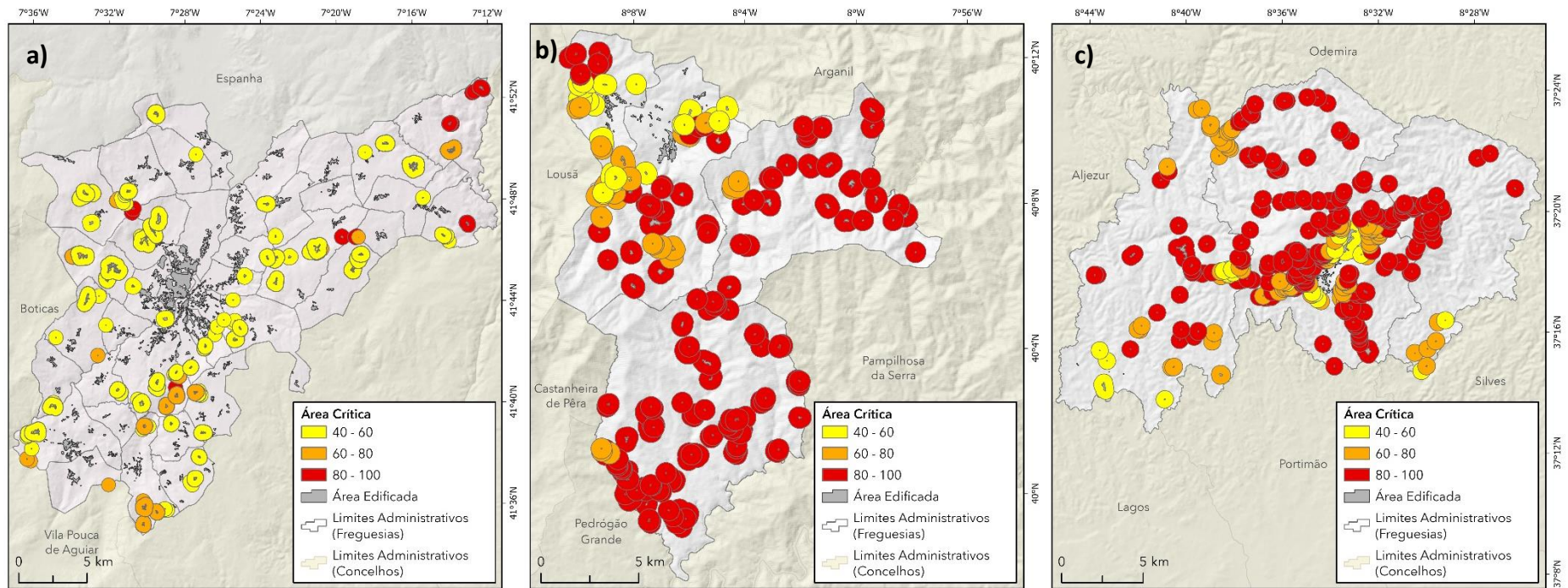


Figura 29 - Nível de área crítica (perigosidade estrutural) acima de 40%, quando aplicada uma área de proteção de 500 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique

5.1.2. Exposição estrutural

À semelhança da análise da perigosidade estrutural, definiu-se que um aglomerado é considerado prioritário quando apresenta no mínimo, um nível de exposição estrutural de 40, na escala normalizada.

Área de proteção de aglomerado: 100 m

A figura 31 expressa o resultado final da exposição estrutural obtido para os três municípios. Neste caso, o município de Góis obteve uma maior proporção de aglomerados com um nível de exposição estrutural acima de 40, cerca de 8,3%; Monchique, aproximadamente 6,5% e Chaves apenas 2%.

Quando se classifica o nível de exposição (figura 30), é possível verificar que em todos os municípios, a classe com maior expressão é a moderada, com Góis e Monchique contendo 4,5% dos seus aglomerados nessa classe, correspondendo a mais de metade do total de aglomerados com exposição estrutural acima de 40, enquanto em Chaves há 1,6% de aglomerados nesta classe.

Área de proteção de aglomerado: 500 m

À semelhança do que foi observado na perigosidade estrutural, o alargamento da área de proteção resulta num aumento do número de aglomerados com exposição estrutural acima de 40, embora a diferentes níveis. Este aumento é mais expressivo em Chaves. No entanto em Monchique, notou-se um decréscimo ligeiro na proporção de aglomerados com níveis de exposição estrutural acima de 40, de 4,4%, quando se aumenta o perímetro de proteção. A menor dimensão dos aglomerados em Monchique, em relação aos outros municípios, pode justificar este padrão, uma vez que o aumento de área crítica na envolvente dos 500 m não é acompanhada por alterações na quantidade de elementos expostos, o que se reflete nos valores obtidos com a normalização.

No gráfico da figura 30 observa-se que, mais uma vez, o município de Góis concentra um maior número de aglomerados com valores de exposição estrutural superior a 40 (9,5%), sendo que Monchique concentra 6,3% (menos 0,2% que na área de proteção de 100 m) e Chaves 4,8%.

Analisando ainda a figura 30, verifica-se também que a maior concentração de aglomerados se dá na classe moderada, Góis com 5%, Monchique com 4,5% e Chaves com 2,8%.

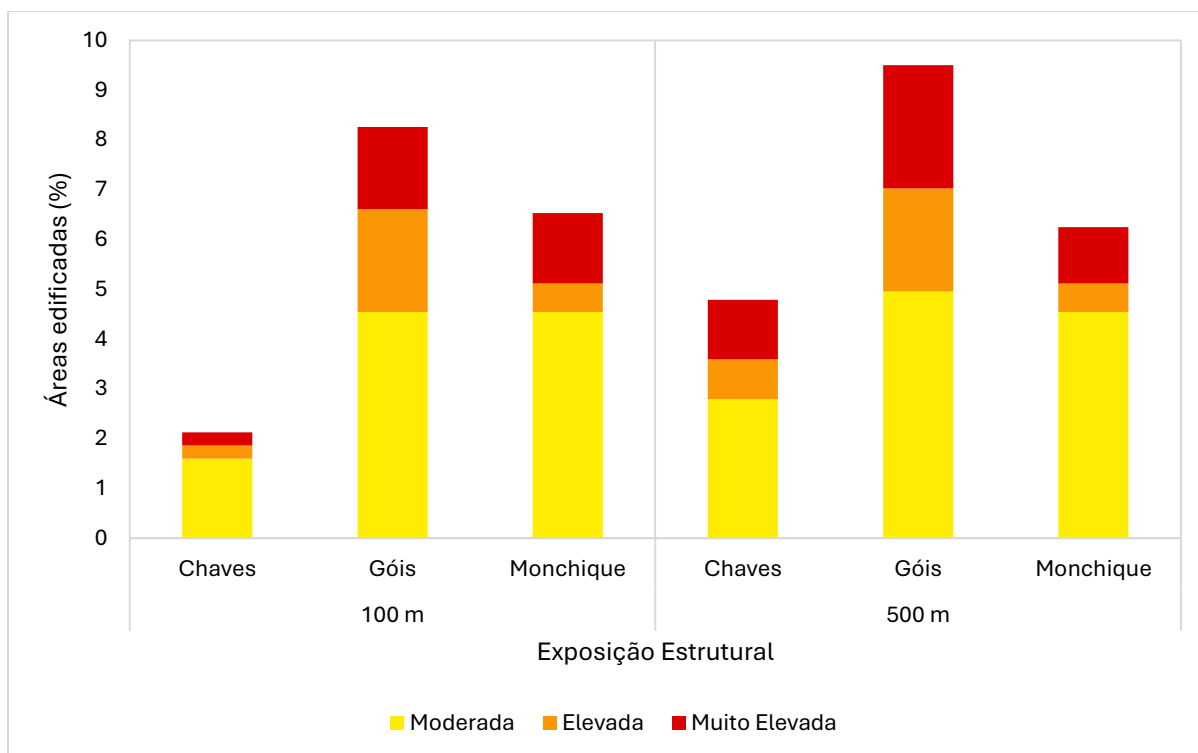


Figura 30 - Percentagem de aglomerados com Exposição Estrutural superior a 40%, consoante a largura da área de proteção

Observando os padrões espaciais com a área de proteção de 100 m (figura 31), verifica-se que em Chaves, os aglomerados com maior valor de exposição estrutural, localizam-se, essencialmente, no setor central, sendo que a freguesia Santa Maria Maior, localizada no mesmo setor, apresenta maior proporção de aglomerados (15,4%) com uma exposição estrutural superior a 40%.

Em Góis, o maior número de aglomerados com valores mais elevados de exposição estrutural na sua envolvente localiza-se sobretudo no setor sul, correspondendo à freguesia de Alvares, onde cerca de 14,6% dos seus aglomerados apresentam valores de exposição estrutural superiores a 40.

Em Monchique, os aglomerados com maior valor de exposição estrutural na sua envolvente concentram-se, principalmente, no setor central do território, que corresponde à freguesia de Monchique, onde 8,4% dos seus aglomerados apresenta um nível de exposição estrutural superior a 40.

Relativamente aos padrões espaciais com a área de proteção de 500 m (figura 32), em Chaves continua-se a verificar uma maior concentração no setor central do município, mas agora também mais a norte, que corresponde, principalmente, às três freguesias que concentram uma maior proporção de aglomerados (33,3%) com níveis de exposição estrutural superior a 40, nomeadamente, Santo António de Monforte (localizada no setor nordeste), Outeiro Seco (no setor centro-norte do município) e U.F de Soutelo e -seara Velha (no setor noroeste).

Em Góis, o setor noroeste do município, destaca-se com maior número de aglomerados com valores elevados de exposição estrutural. Contudo é na freguesia de Alvares, a sul, que se verifica uma maior proporção de aglomerados com níveis de exposição estrutural superiores a 40, cerca de 15%.

Em Monchique, os aglomerados com valores mais elevados de exposição estrutural, continuam a concentrar-se no setor central do concelho, continuando também a apresentar 8,4% de aglomerados com valores de exposição estrutural acima de 40 na freguesia de Monchique, no mesmo setor. Aqui é importante referir que a freguesia de Marmeleite, no setor oeste do município, não apresentou nenhum aglomerado com valores de exposição estrutural acima de 40.

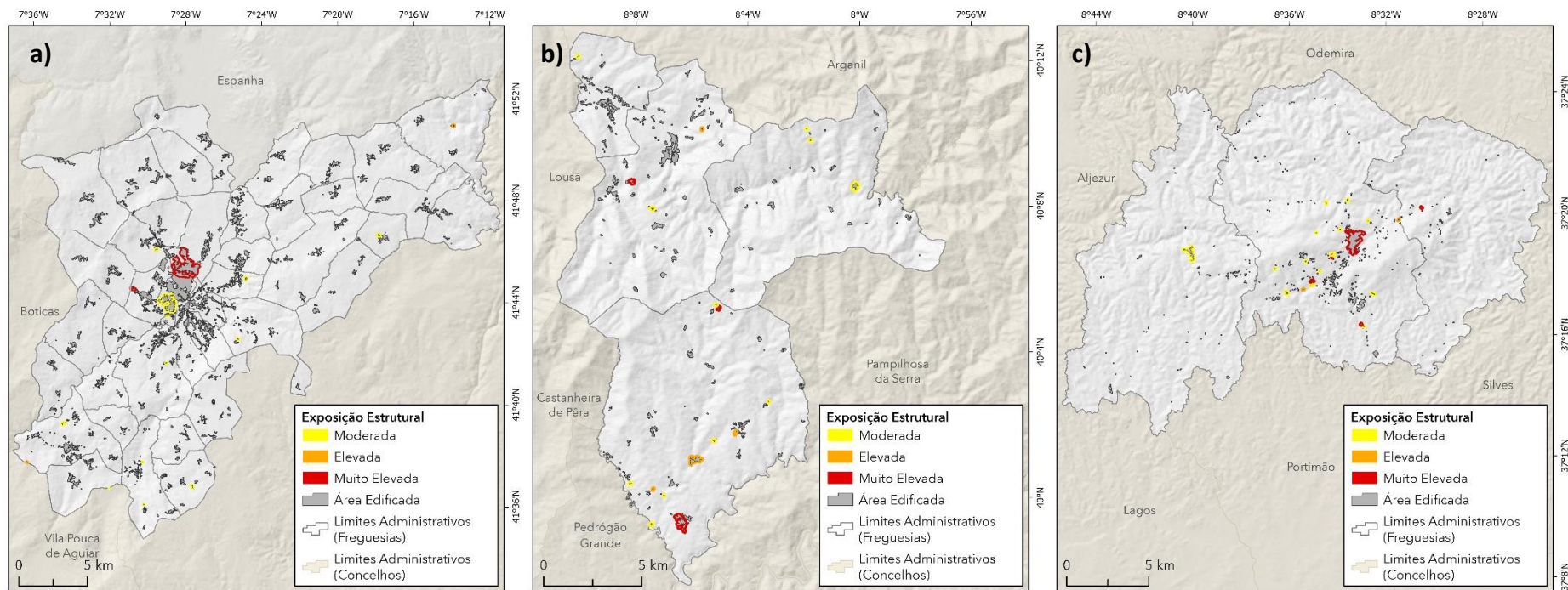


Figura 31 - Nível de exposição estrutural acima de 40, quando aplicada uma área de proteção de 100 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique

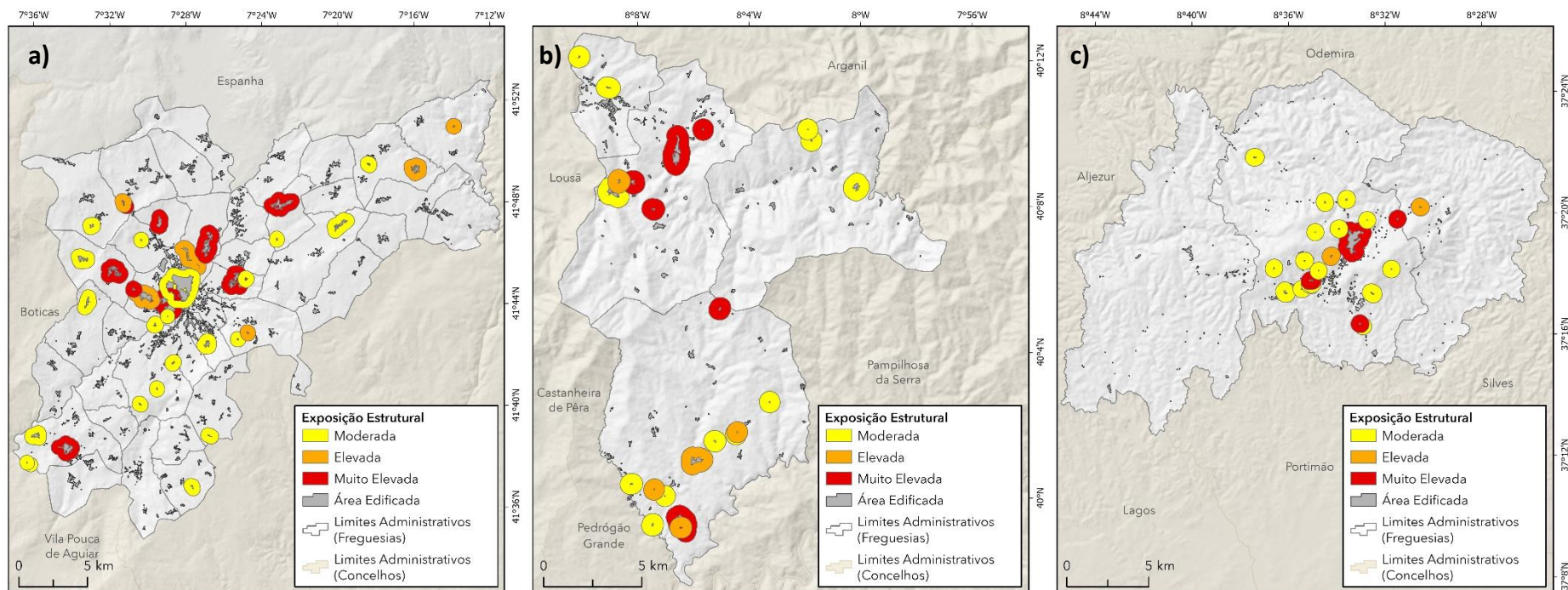


Figura 32 - Nível de exposição estrutural acima de 40, quando aplicada uma área de proteção de 500 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique

5.2. Análise da Exposição Dinâmica

5.2.1. Probabilidade de arder - Cenário BAU

A elaboração de mapas que simulassem as condições atuais dos municípios em estudo, permitiu perceber que áreas destes municípios apresentavam valores mais elevados de probabilidade de arder.

Os valores absolutos de probabilidade de arder (PA) variam entre 0 e 0,018 em Chaves, 0 e 0,017 em Góis e 0 e 0,011 em Monchique. Estes valores não foram analisados de forma linear, tendo antes o propósito de ajudar a identificar quais os setores, dentro do território de cada município, que apresentam maior propensão para arder nas condições atuais. Assim os valores foram classificados em quintis, atribuindo cerca de 20% da área do município a cada classe. A área crítica (AC) reúne as duas classes mais altas, a partir dos quintis, correspondendo a 40% da área do município onde se encontram os valores mais elevados de probabilidade de arder, dentro do intervalo específico obtido para cada município.

Em todos os municípios obteve-se uma área classificada como nula. Estas áreas resultaram, essencialmente, de áreas classificadas no modelo de combustíveis como terrenos artificializados, grandes áreas de agricultura, corpos de água, e como área ardida, que também é levada em consideração no modelo.

Observando a distribuição espacial da área crítica em cada município (figura 33), verifica-se que em Chaves existe uma maior concentração no setor nordeste do município, destacando-se a freguesia de São Vicente, classificada em cerca de 83% da sua área com AC, e também no setor oeste do município. Em Góis, verifica-se uma elevada proporção de área crítica no setor central do município, com destaque para a freguesia de Góis, classificada com 70,7% de AC. Por fim, em Monchique o setor ocidental apresenta uma maior concentração de área crítica, coincide, maioritariamente, com a freguesia de Marmeleite, com cerca de 64% de AC.

A distribuição da área crítica obtida a partir da probabilidade de arder revela padrões espaciais distintos do que se obteve com a perigosidade estrutural (PE). Embora sejam dados complementares, obtidos com métodos e propósitos diferentes e, por isso, não comparáveis entre si, é importante notar que, no município de Góis, as áreas com maior probabilidade de arder nas condições atuais são aquelas que não arderam em 2017, o que se justifica pela ausência de combustível daí resultante, e expresso no modelo de combustíveis baseado na ocupação de solo referente ao ano de 2018.

Em Monchique, à semelhança de Góis, a distribuição da PA atual é espacialmente distinta da PE, como resultado dos incêndios ocorridos em 2018. No caso de Chaves há maior aproximação entre a PA e a PE, provavelmente porque os maiores incêndios registaram-se há mais tempo, em 2013, e o tipo de ocupação do solo no território é distinta, com mais área agrícola e menos matos.

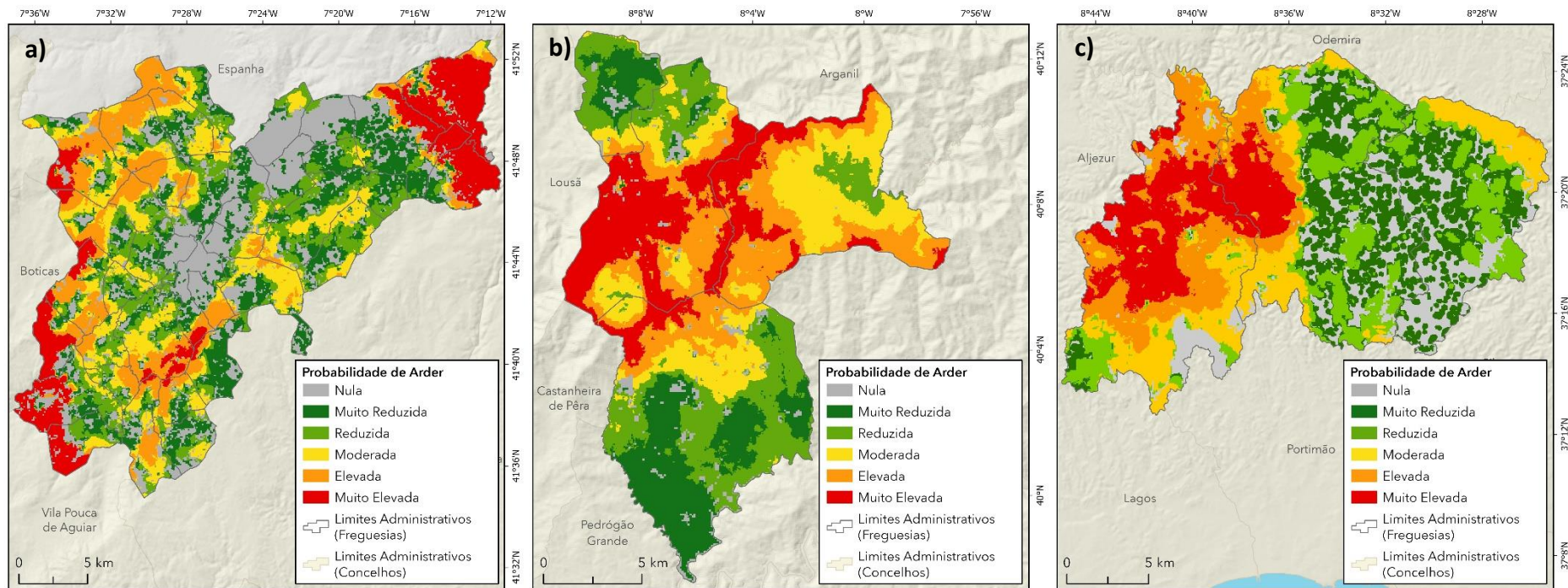


Figura 33 - Probabilidade de arder do cenário BAU, classificado por quintis: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique

5.2.1.1. Cenários de conversão de combustível

1) Implementação de áreas de proteção de 100 m

O primeiro cenário foi construído assumindo a definição de áreas de proteção de 100 m de largura, nos aglomerados que, no cenário BAU, apresentassem qualquer célula com área crítica (as duas classes mais altas da probabilidade de arder). Para determinar o número de aglomerados com AC na envolvente e a quantidade de células a selecionar para o processo de alteração de combustível, cruzou-se o mapa de probabilidade de arder com as áreas de proteção.

No município de Chaves, ao todo foram contabilizados 109 aglomerados com área crítica na sua envolvente de 100 m, que correspondem a 14,5% dos aglomerados totais. Dentro das áreas de proteção observou-se um total de 398,9 ha em AC, sendo que 394,1 ha dos iniciais foram alterados, correspondendo a 0,7% do município. Salienta-se que apenas foram alteradas células em AC e classificadas como floresta e matos.

Em Góis, 106 aglomerados (43,8%) foram identificados. Observando as respetivas áreas de proteção, 379,5 ha estavam em AC e destes 372 ha passaram pelo processo de conversão de combustível, equivalente a 1,4% do município.

No município de Monchique contabilizou-se 56 aglomerados (16%) contendo AC na área de proteção de 100 m. Dentro das áreas de proteção, verificou-se que 247 ha correspondiam a AC, sendo que 242,6 ha (0,6% do município), sofreram alteração de combustível.

Comparativamente à perigosidade estrutural (PE), verifica-se que em Chaves existem 21 aglomerados que contêm AC na sua área de proteção, tanto no mapa de probabilidade de arder como no de perigosidade estrutural. Em Góis 46 dos aglomerados encontram-se envolvidos por AC em ambos os mapas, e no município de Monchique 47.

2) Implementação de áreas de proteção de 500 m

O segundo cenário foi construído assumindo a definição de áreas de proteção de 500 m de raio, nos aglomerados que, no cenário BAU, apresentassem qualquer célula com área crítica.

Após o cruzamento entre as áreas de proteção de 500 m e o mapa de probabilidade de arder BAU, contabilizaram-se os aglomerados que continham AC nas suas envolventes e respetivas células a serem selecionadas para a alteração de combustível.

Em Chaves, 195 aglomerados (25% do total de aglomerados) continham AC na sua envolvente, dos iniciais 4281,4 ha, cerca de 4226 ha passaram pelo processo de conversão, equivalente a uma proporção de 7,1% do município.

No município de Góis, 114 aglomerados (47%) apresentaram AC na sua envolvente. Dentro das áreas de proteção, foi necessário alterar 3580,3 ha, de um total de 3592,3 ha classificados como AC, correspondendo a 13,6% do seu território.

Em Monchique contabilizaram-se 76 aglomerados (22%) com AC na envolvência. De uma área com 2726,3 ha foram convertidos 2707,6 ha, equivalente a 6,8% do município.

Comparativamente à perigosidade estrutural (PE), verifica-se que existe 74 aglomerados estão envolvidos por AC tanto no mapa de probabilidade de arder como no de perigosidade estrutural. Em Góis verificou-se 103 aglomerados em comum e no município de Monchique 75, que corresponde, praticamente à totalidade dos aglomerados envolvidos por AC no mapa de probabilidade de arder.

5.2.2. Probabilidade de arder – Área de proteção de 100 m

Município

Após selecionados os aglomerados com área crítica na sua envolvente, no âmbito do cenário 1), voltou a repetir-se o processo de simulação para elaborar um novo mapa de probabilidade de arder, desta vez contendo alteração do combustível em torno dos aglomerados (de floresta ou matos para agricultura/erva baixa), numa área de proteção com 100 m de largura. Procurou-se assim possibilitar uma análise comparativa com o cenário nas condições atuais sem alteração de combustível.

Os intervalos de valores das classes de probabilidade de arder, são os mesmos que os utilizados nos cenários BAU, ou seja, os valores de probabilidade de arder inseridos em cada classe são os mesmos, à exceção da última, que pode variar ligeiramente: em Chaves os valores variam entre 0 e 0,019, 0 e 0,017 em Góis e 0 e 0,011 em Monchique

Utilizando os intervalos definidos nos cenários, verificou-se alguma oscilação na dimensão das áreas ocupadas por cada classe de probabilidade de arder. No município de Chaves (figura 36), a maior variação de área verificou-se na classe elevada, registando um aumento de 22,8% e na classe muito elevada, que diminuiu a sua área em 10%. Em Góis (figura 37), a maior variação deu-se na classe elevada, com uma perda de 22,3% e nas classes reduzida e moderada, ambas com um aumento em cerca de 11%. No município de Monchique (figura 38), a maior variação foi sentida na classe muito elevada, com um decréscimo de 13,6% seguida da classe reduzida, que aumentou a sua área em cerca de 11%.

Em termos de área crítica, é denotada uma redução nos municípios de Góis (menos 10,7%) e Monchique (menos 7,1%). O mesmo não acontece em Chaves, aqui a área crítica aumentou, ainda que pouco, em 7 pontos percentuais, o que pode resultar do aumento verificado na classe elevada, que é integrada na área crítica.

Observando a distribuição espacial da área crítica em cada município (figura 34), verificou-se que em Chaves, à semelhança do cenário BAU (figura 33a), existe uma maior concentração de AC no setor nordeste, com destaque para a freguesia de São Vicente com 85% de AC, e também no setor centro-oeste do município. Em Góis, continua a verificar-se uma elevada concentração de AC no setor central do município, mais presente na freguesia de Góis (65,1% de área crítica). No município de Monchique, o setor ocidental, como no cenário BAU, voltou a apresentar maior concentração de AC, correspondendo à freguesia de Marmeleite, com 57% de AC.

A figura 35 representa a diferença entre o presente cenário e o cenário BAU, relativamente à proporção de área crítica em cada município.

Relativamente a Chaves, verifica-se um aumento da proporção de AC de 4,6%, principalmente no setor este e noroeste. Verifica-se também uma diminuição de AC em 2,6% do município, mais visível no setor sul e oeste do município. Em Góis, é no setor central onde se notam mais diferenças tanto a nível de diminuição de AC (1,6%), sentida mais a sul e a noroeste e um pouco a nordeste, como a nível de aumento de AC (0,6%), mais visível a sul e a nordeste desse setor. Em Monchique há um aumento de AC equivalente a 1,4%, mais presente no setor este do município, e uma diminuição de 3,6%, especialmente no setor oeste.

Aglomerado

Neste cenário, o número de aglomerados com AC diminuiu em todos os municípios, entre cerca de 5% e 81%, com maior expressão em Góis.

No município de Chaves, o número de aglomerados com AC na envolvente diminuiu para 103, dos 109 originais, uma redução equivalente a 5,5%. Dentro dessas áreas de proteção, contabilizou-se no total 1286 células classificadas como área crítica, correspondendo a cerca de 322 ha.

Em Góis, o número de aglomerados com AC na envolvente é agora 53, dos 106 originais, menos 50% de aglomerados que no cenário BAU. Existem 816 células dentro das áreas de proteção que continuam classificadas como AC, equivalente a 204 ha.

No concelho de Monchique, a quantidade de aglomerados com AC na envolvente diminuiu 30%, havendo agora 39, dos 56 iniciais. Dentro das áreas de proteção desses aglomerados, 438 células permanecem como AC, equivalente a 109,5 ha.

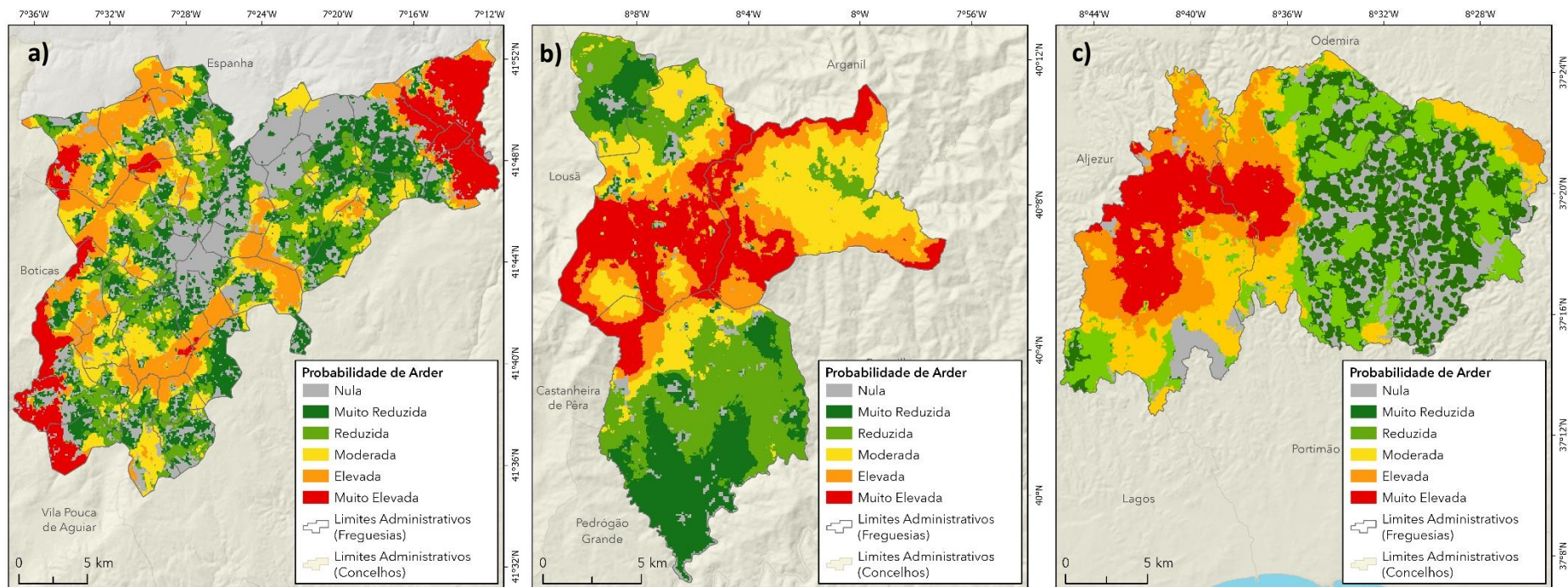


Figura 34 - Probabilidade de arder do cenário implementação de áreas de proteção de 100 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique

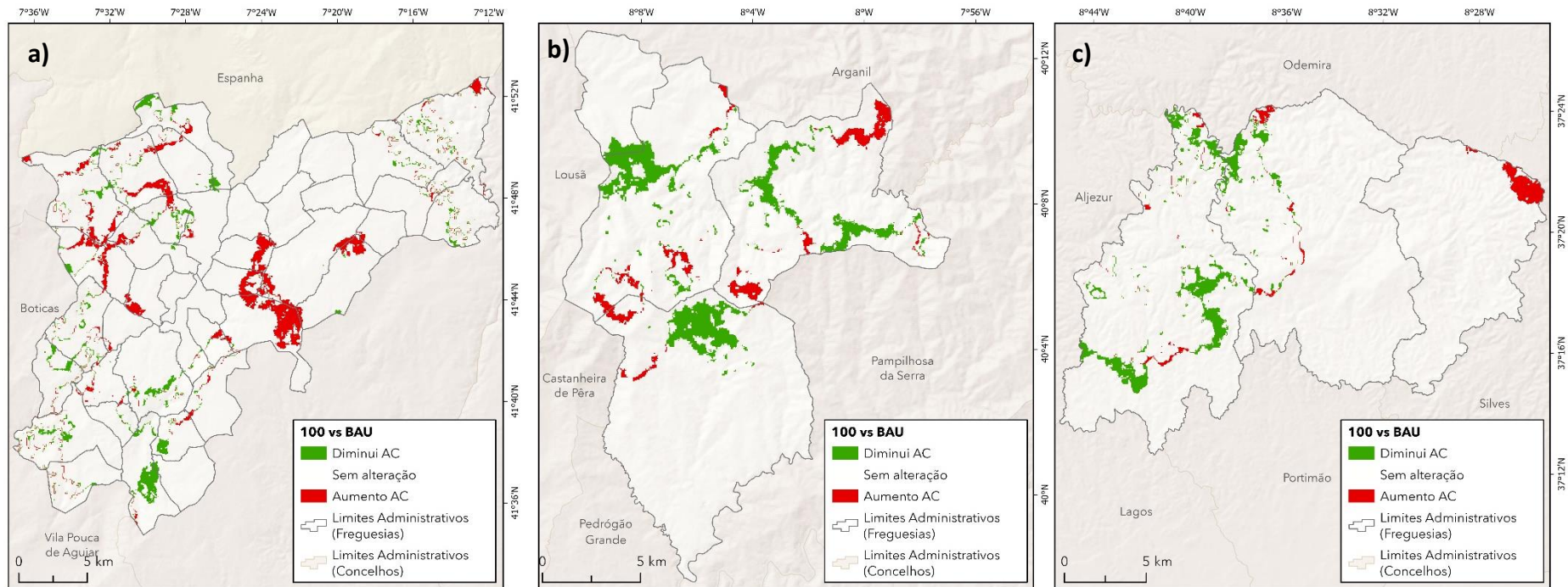


Figura 35 - Distribuição espacial da variação de AC entre o BAU e o cenário 1 (100 m): a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique

5.2.3. Probabilidade de arder – Área de proteção de 500 m

Município

Os resultados mostram que, quanto maior a área de proteção na envolvente dos aglomerados, mais notória é a redução de área crítica, embora este cenário implique também um nível de intervenção elevado no território e a conversão de mais área de combustível florestal e matos.

À semelhança do cenário anterior, os intervalos de valores das classes de probabilidade de arder, são os mesmos que os utilizados nos cenários BAU, à exceção da última classe, que varia ligeiramente: em Chaves os valores variam entre 0 e 0,016, 0 e 0,015 em Góis e 0 e 0,009 em Monchique.

Comparando a dimensão das áreas de cada classe de probabilidade de arder entre estes cenários, e os cenários BAU, verificou-se que no município de Góis a variação foi maior (figura 37), ambas as classes muito elevada e elevada, registaram um decréscimo em cerca de 81% e 53%, respetivamente, as restantes classes registaram um aumento nas suas áreas entre cerca de 13% e 61%, sendo que a maior variação verificou-se na classe reduzida (60,8%). No município de Monchique (figura 38), a maior variação verificou-se na classe muito elevada, que perdeu cerca de 76% da sua área, nas classes moderada e reduzida notou-se um aumento de cerca de 35% em cada. Em Chaves, a maior oscilação deu-se na classe muito elevada, com um decréscimo de 29,5%, e na classe muito reduzida, aumentando 25,8% (figura 36).

No que diz respeito à área crítica, em relação ao cenário BAU, registou-se uma redução significativa em todos os municípios, Góis registou a maior diferença, menos 66,3% de área crítica, Monchique menos 46,5% e em Chaves registou-se uma diminuição de 21,6%.

Relativamente à distribuição espacial da área crítica em cada município (figura 38), verifica-se que em Chaves continua a existir uma maior concentração de área crítica no setor nordeste, continuando também a destacar-se a freguesia de São Vicente com 70,3% de AC, e ainda que menos que no cenário BAU, o setor oeste do município. Em Góis, os valores de AC encontram-se mais concentrados no setor centro-oeste e nordeste, relativamente mais perto das fronteiras administrativas, ao contrário do verificado no cenário BAU. A freguesia de Cadafaz e Colmeal apresenta uma maior proporção de AC (26,1%). No município de Monchique, os valores de área crítica, continuam mais concentrados no setor oeste do município, correspondendo, mais uma vez, à freguesia de Marmele com cerca de 40% de AC.

Na figura 40 podemos constatar a diferença entre o presente cenário e o cenário BAU, relativamente à proporção de área crítica em cada município.

Em Chaves, verifica-se um aumento de AC em 4,7% do município, principalmente no setor noroeste e este. Verifica-se ainda uma diminuição de AC de 10,5%, mais visível no setor oeste e sul do município. Em Góis, praticamente todo o setor central registou uma diminuição de área crítica,

equivalente a 7,4%. Ainda assim verifica-se um aumento de 0,8% nalgumas áreas a sudoeste, norte e nordeste desse setor principal do município. Em Monchique, verifica-se um aumento de AC de 0,8%, essencialmente no setor este, e uma diminuição de 15,2%, principalmente no setor oeste.

Aglomerado

Neste cenário, o número de aglomerados com AC diminuiu em todos os municípios, entre cerca de 27% e 81%, com maior expressão em Góis.

No município de Chaves, 141 dos 195 aglomerados originais, continuam com AC na sua envolvente, no entanto registou-se uma diminuição de 27,7% em relação ao cenário BAU. Dentro dessas áreas de proteção, ainda se contabilizaram 5100 células em AC, equivalente a 1275 ha.

Em Góis, apenas 22 dos 114 aglomerados iniciais, permanecem com AC na sua envolvente, registando uma diminuição de 80,7%. Nesses aglomerados, as respetivas áreas de proteção, registaram no total 967 células em AC, que equivale a 241,8 ha.

Monchique contabilizou-se 21 dos 76 aglomerados originais, com AC nas suas áreas de proteção, menos 72,4% em relação ao cenário BAU. No que diz respeito ao número de células em AC dentro das áreas de proteção, 618 células continuam classificadas com as classes mais altas de probabilidade de arder, igualando a 154,5 ha.

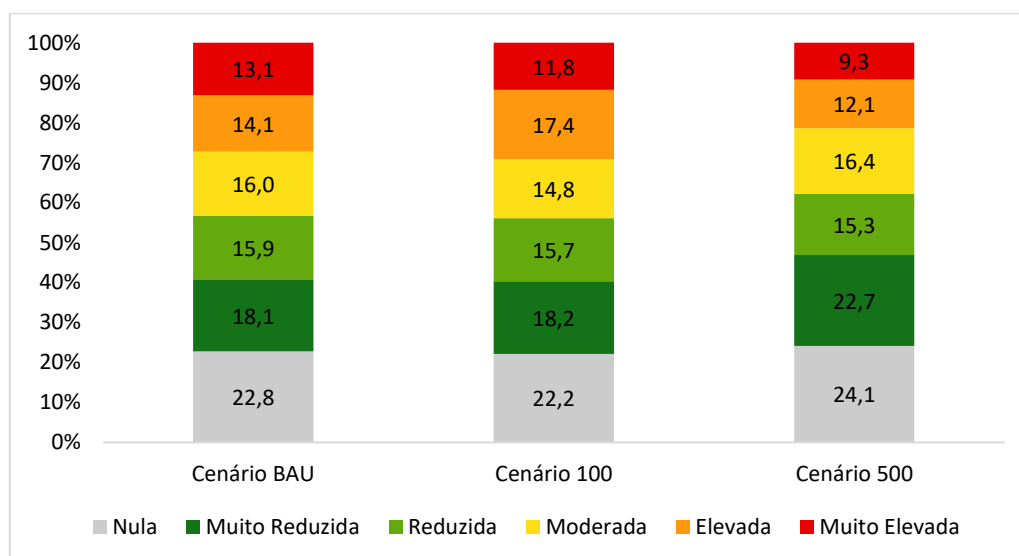


Figura 36 - Percentagem das classes de probabilidade de arder em cada cenário, no município de Chaves

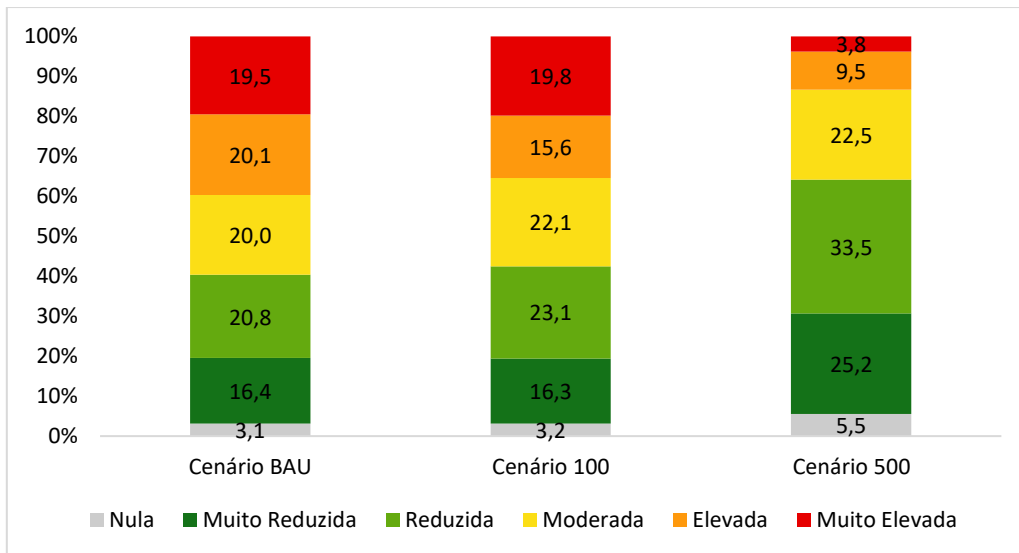


Figura 37 - Percentagem das classes de probabilidade de arder em cada cenário, no município de Góis

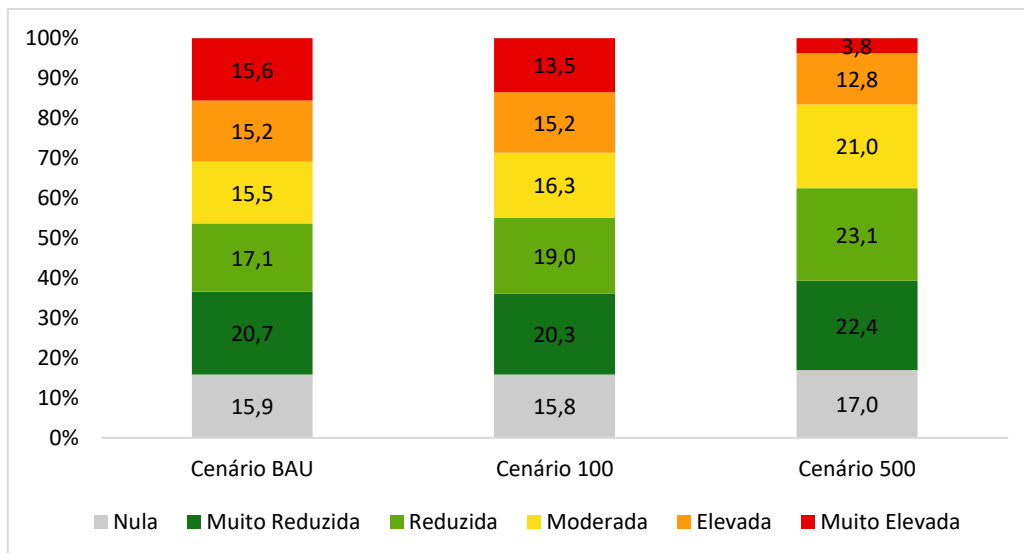


Figura 38 - Percentagem das classes de probabilidade de arder em cada cenário, no município de Monchique

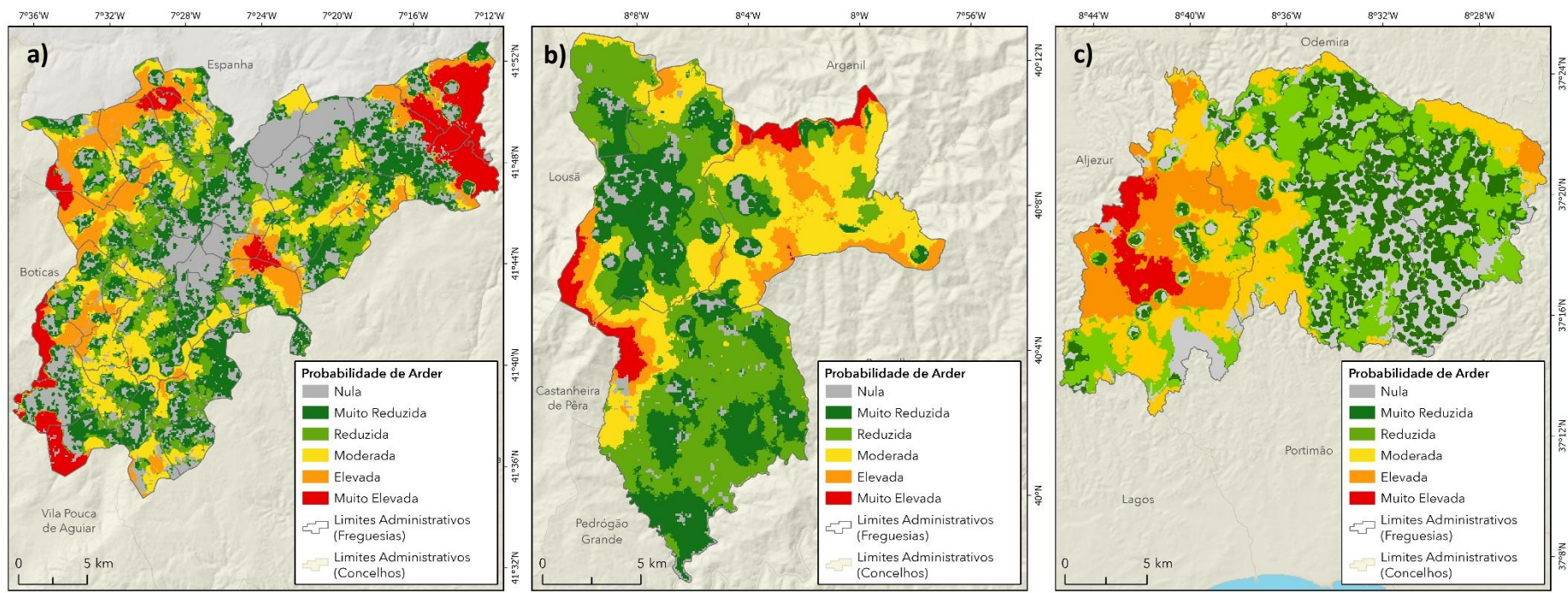


Figura 39 - Probabilidade de arder do cenário implementação de áreas de proteção de 500 m: a) Município de Chaves; c) Município de Góis; d) Município de Monchique

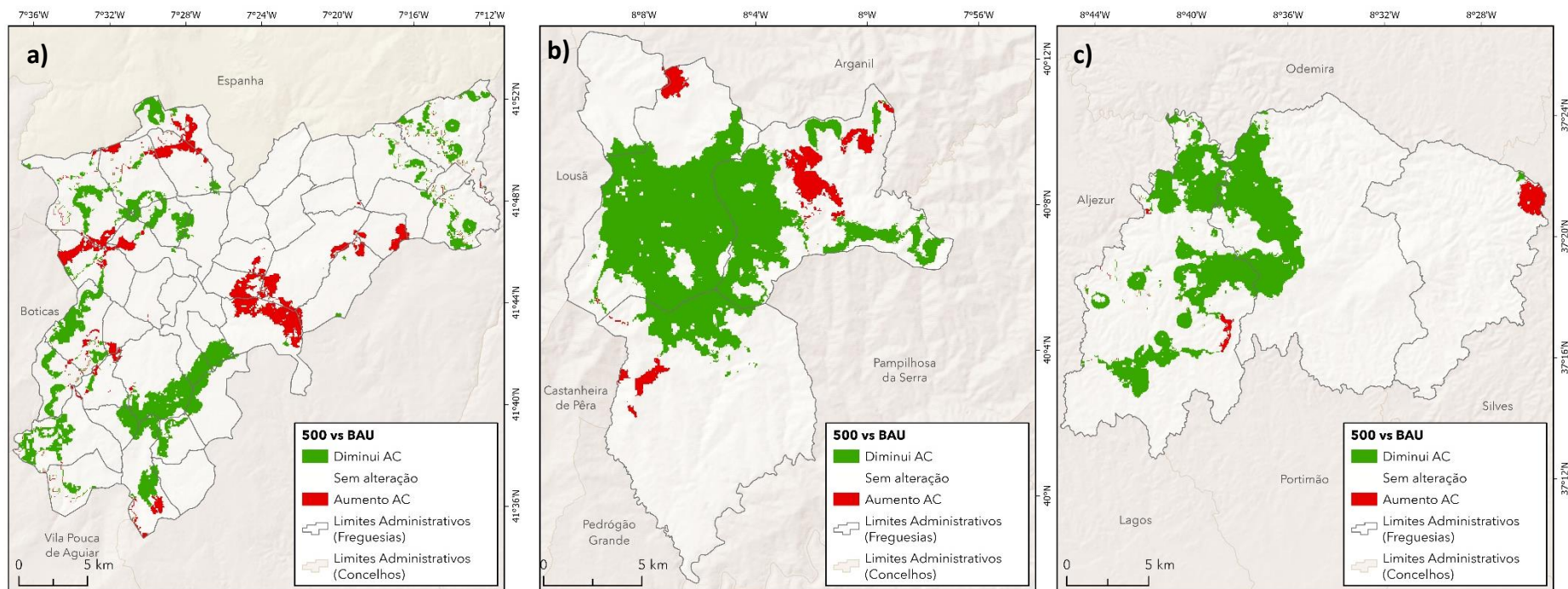


Figura 40 - Distribuição espacial da variação de AC entre o BAU e o cenário 1 (500 m): a) Município de Chaves; c) Município de Góis; d) Município de Monchique

5.2.4. Exposição dinâmica

Para identificar aglomerados prioritários através da análise da exposição dinâmica, à semelhança do que foi feito na análise da exposição estrutural, conjugaram-se os elementos expostos com a área crítica proveniente dos cenários BAU. Após normalizados os valores de exposição, aplicou-se o limiar mínimo de 40 para melhor percepção da distribuição espacial dos aglomerados prioritários de intervenção.

Os valores de exposição obtidos através da utilização da probabilidade de arder dos cenários BAU são diferentes do obtidos na exposição estrutural, sendo que o número de aglomerados expostos varia entre 1 e 3.

Área de proteção de aglomerado: 100 m

A figura 41 expressa o resultado final obtido no cálculo da exposição dinâmica para os três municípios.

O município com mais aglomerados expostos é o de Chaves, tendo 3 aglomerados com valores de exposição dinâmica acima de 40. Estes localizam-se no setor sudoeste e noroeste do município. Em Góis e Monchique, apenas 1 aglomerado foi considerado prioritário. Em Góis o aglomerado localiza-se no setor oeste, assim como no município de Monchique.

Área de proteção de aglomerado: 500 m

Analisando a cartografia da figura 42, verifica-se que o município de Góis apresentou maior aglomerados com valores de exposição acima de 40, mais precisamente 3, localizados no setor norte-noroeste do município. Em Chaves, 2 aglomerados foram considerados prioritários, localizados no setor sudoeste e noroeste do município. Por fim, Monchique apenas obteve 1 aglomerado com o valor de exposição acima de 40, localizado no setor ocidental do município.

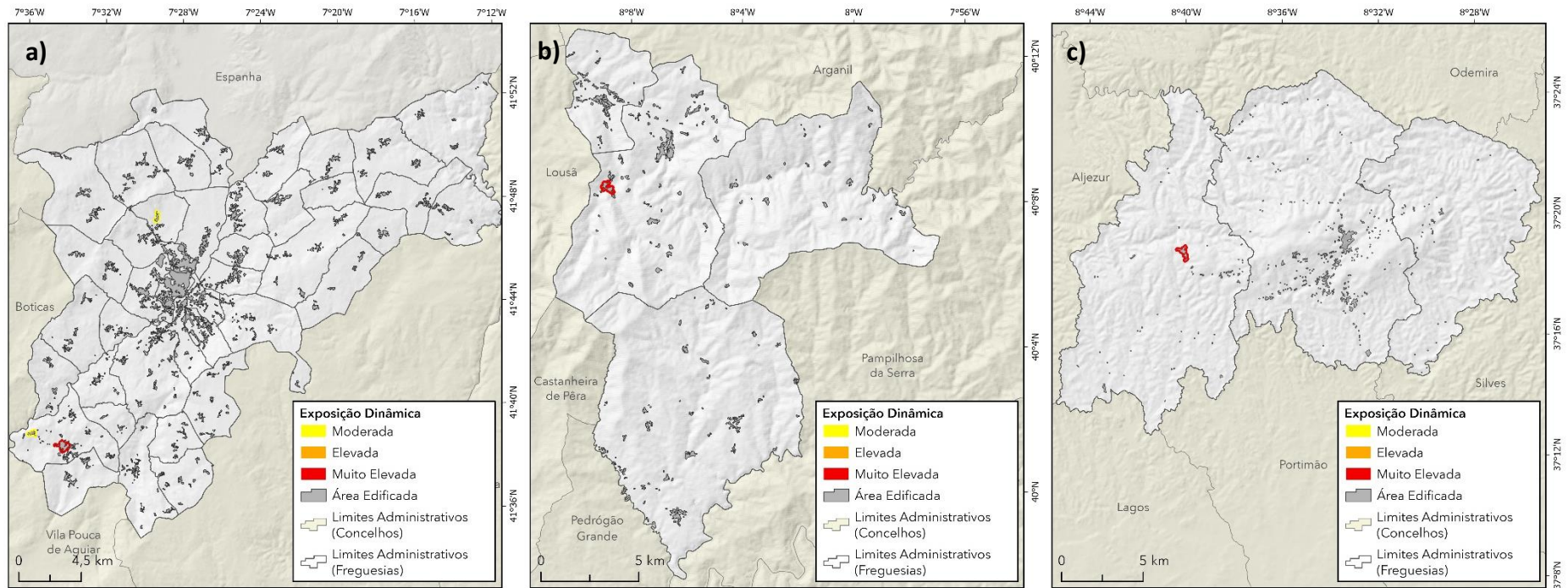


Figura 41 - Nível de exposição dinâmica acima de 40, quando aplicada uma área de proteção de 100 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique

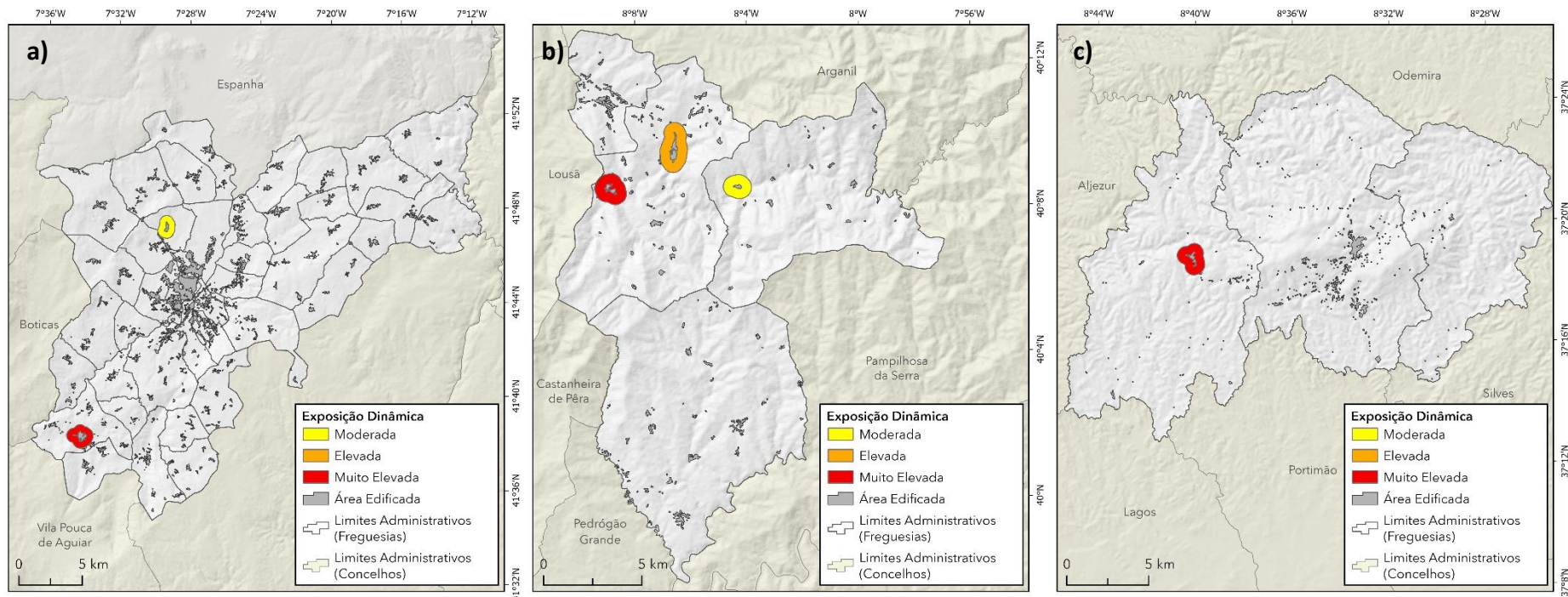


Figura 42 - Nível de exposição dinâmica acima de 40, quando aplicada uma área de proteção de 500 m: a) Município de Chaves; b) Município de Góis; c) Município de Monchique

5.3. Comparação de resultados

5.3.1. Comparação entre cenários de probabilidade de arder

Município

Os três municípios apresentaram padrões diferentes em relação a cada cenário elaborado. A tabela 10 apresenta a quantidade de hectares de combustível florestal convertidos em agricultura, nas áreas de proteção de 100 m e de 500 m, e também a variação da proporção de área crítica (AC), em ambos os cenários de combustível.

Relativamente ao número de hectares convertidos, verifica-se um maior destaque no município de Chaves, tanto na conversão em áreas de proteção de 100 m (mais de 390 ha) como nas de 500 m (mais de 4200 ha), relativamente aos outros municípios. No entanto, em termos de proporcionais, Góis apresenta maior percentagem de conversão, 1,4% de do município passou pelo processo de conversão de combustível florestal em áreas de proteção de 100 m, e cerca de 14% em áreas de proteção de 500 m.

Após a conversão de combustível em agricultura, no cenário 1, Chaves destaca-se pelo aumento de área crítica no município, sendo que tanto em Góis como Monchique, a verificou-se uma diminuição de AC de cerca de 10,7% e 6,8%, respetivamente.

Tabela 10 - Variação de AC em função da conversão de combustível, nos três municípios, para os cenários 1 e 2

	Área convertida em agricultura (ha)				Variação de área crítica (%)	
	100 m (ha)	%	500 m (ha)	%	Cenário 1	Cenário 2
Chaves	394	0,7	4226	7,1	7	-21,6
Góis	372	1,4	3581	13,6	-10,7	-66,3
Monchique	243	0,6	2708	6,8	-7,1	-46,5

Aglomerado

A tabela 11 apresenta a variação de aglomerado envolvidos por área crítica em ambos os cenários de conversão de combustível. Nos dois cenários, verifica-se uma maior variação no município de Góis, que reduziu o número de aglomerados prioritários em 50% no cenário 1 e 80,7% no cenário 2. Chaves foi o município que menor variação apresentou.

Tabela 11 - Variação de aglomerados com AC, em função da conversão de combustível, nos três municípios, para os cenários 1 e 2

	Variação de aglomerados com AC (%)	
	Cenário 1	Cenário 2
Chaves	-5,5	-27,7
Góis	-50	-80,7
Monchique	-30,4	-72,4

5.3.2. Comparação entre perigosidade, probabilidade de arder e exposição

Município

A tabela 12 reúne as percentagens de área crítica obtidas através da análise da perigosidade estrutural (PE) e da análise da probabilidade de arder (PA).

Verifica-se que a quantidade de AC na perigosidade é sempre superior à obtida na probabilidade de arder⁶, sendo que o município com mais destaque é o de Monchique com cerca de 90% de AC no seu território. Relativamente à probabilidade de arder, Góis é o município que apresenta maior proporção de área crítica, tanto no cenário BAU, com 40%, como no cenário 1, com 35%. Já no cenário 2, o município com maior proporção de área crítica é o de Chaves com 21%.

Tabela 12 - Variação de AC para a Perigosidade Estrutural e Probabilidade de Arder nos diversos cenários, para os três municípios

	Perigosidade estrutural	Área crítica (%)		
		Probabilidade de arder (2018)		
		BAU	Cenário 1	Cenário 2
Chaves	52	27	29	21
Góis	89	40	35	13
Monchique	91	31	29	17

Aglomerado

A partir da tabela 13 é possível perceber a quantidade de aglomerados com área crítica na envolvente, segundo cada tipo de análise efetuada neste trabalho, nomeadamente: perigosidade estrutural (PE); probabilidade de arder (PA); exposição estrutural (EE); e exposição dinâmica (ED) no cenário BAU.

Tal como verificado na análise da tabela 12, a perigosidade estrutural apresenta maior número de aglomerados em AC quando comparado com a probabilidade de arder. Relativamente à PE, Monchique é o município que apresenta maior número de aglomerados prioritários, independentemente da largura da área de proteção. Na PA, é o município de Chaves que se destaca com maior quantidade de aglomerados prioritários, também independentemente da largura das áreas de proteção e do cenário.

⁶ Lembra-se que a perigosidade estrutural se refere ao período de anos de 1975 a 2018 e a probabilidade de arder ao ano de 2018, com uma grande influência dos incêndios ocorridos no ano de 2017, principalmente em Góis.

Nesta tabela, também é possível verificar que a exposição estrutural, também apresenta maior número de aglomerados prioritários, em relação à exposição dinâmica. Relativamente à exposição estrutural, quando é aplicado uma área de proteção de 100 m, Monchique apresenta maior número de aglomerados prioritários (23), mas quando a área de proteção atinge os 500 m de largura, é Chaves que apresente maior quantidade (36). Relativamente à exposição dinâmica, o máximo de aglomerados prioritário no cenário BAU, aplicando tanto uma área de proteção de 100 m ou 500 m, é de 3. Sendo que com uma área de proteção de 100 m, é Chaves que atinge esse máximo, e com uma de área de proteção de 500 m é Góis que se destaca.

Tabela 13 - Aglomerados com AC, tendo em conta a Perigosidade Estrutural, Probabilidade de Arder e Exposição

	Aglomerados com AC na AP									
	PE > 40%		Probabilidade de arder				EE > 40		ED BAU > 40	
	100 m	500 m	100 m	500 m	Cenário 1	Cenário 2	100 m	500 m	100 m	500 m
Chaves	71	123	109	195	103	141	16	36	3	2
Góis	163	188	106	114	53	22	20	23	1	3
Monchique	245	291	56	76	39	21	23	22	1	1

6. Discussão de resultados

A análise da exposição estrutural, conjugada com a perigosidade estrutural, permitiu a definição de setores e aglomerados onde é urgente uma intervenção. Esta abordagem estrutural, é utilizada para identificar áreas mais propensas à ocorrência de incêndios rurais, baseando-se no histórico de incêndios rurais e fatores que se mantêm estáveis a médio ou longo prazo (Oliveira et al., 2021a). A análise da exposição dinâmica, utilizando mapas de probabilidade de arder, foi essencial para avaliar o potencial da implementação de medidas de gestão de combustível na alteração de ocupação do solo – florestal para agrícola. Os mapas de probabilidade de arder, elaborados através de simulações de comportamento de fogo, podem ser utilizados para suportar decisões operacionais relativamente a atividades de gestão de combustível e de supressão (Bergonse et al., 2022).

Os resultados fornecem uma visão detalhada da perigosidade e exposição a incêndios rurais em três municípios distintos de Portugal: Chaves, Góis e Monchique.

Perigosidade e exposição estrutural

Primeiramente, a análise da perigosidade estrutural identificou aglomerados populacionais onde mais de 40% da sua área de proteção estava sujeita a níveis de perigosidade a incêndios rurais muito altos – área crítica (AC) – enquanto que a exposição estrutural, aliada à perigosidade, destacou a população e aglomerados residenciais com mais elementos expostos ao fenómeno. A exposição dinâmica, permitiu testar a possibilidade de reduzir os aglomerados expostos a incêndios rurais, a partir de cenários de alteração da vegetação em áreas de largura igual a 100 m e 500 m.

Observando os resultados obtidos na análise da perigosidade estrutural, verificou-se que a proporção de aglomerados com níveis elevados de área crítica na sua envolvente é crescente da região norte para a sul. Este aumento pode ser explicado pela quantidade de aglomerados dispersos e isolados em maior quantidade nos municípios de Monchique, em contraste com a distribuição de aldeias maiores e mais concentradas no município de Chaves. Benali et al. (2021), observa o mesmo padrão e explica que a disposição e localização das habitações são fatores relevantes para explicar a propensão a incêndios rurais, especialmente em áreas onde predominam os matos, conjugado com uma baixa densidade habitacional.

Verificou-se ainda um aumento do número de aglomerados com área crítica na sua envolvente quando o perímetro das áreas de proteção é alargado. Em Chaves denotou-se um maior aumento em relação às outras áreas de estudo, registando uma variação de aproximadamente 73%. Em Monchique registou-se uma subida de 18,8% e em Góis 15%. Este resultado era esperado, pois de facto, o aumento da área de proteção pode estar associado ao aumento da proporção de área florestal

(combustível), bem como características biofísicas mais favoráveis à propagação do fogo como declives mais acentuados e altitudes mais elevadas.

Relativamente à exposição estrutural a proporção de aglomerados com níveis de exposição elevados foi mais visível no município de Góis, sendo o concelho com menor número de aglomerados, em comparação com o município de Chaves, que tem mais aglomerados, mas uma proporção mais baixa de aglomerados expostos.

Entre as áreas de proteção de 100 m e 500 m, os municípios de Chaves e Góis, apresentam uma variação crescente de 125% e 15%, respetivamente. No entanto em Monchique, reparou-se que houve um decréscimo no número de aglomerados com níveis de exposição estrutural acima de 40%, apontando para uma variação negativa de 4,4%. A configuração espacial dos aglomerados em relação às áreas de combustível é crucial na determinação da exposição a incêndios rurais, sendo que a coexistência entre vegetação e infraestruturas aumenta a exposição, embora os elementos expostos tenham um efeito moderador no nível de exposição (Barbosa et al., 2024; Oliveira et al., 2018). Neste sentido, os aglomerados com mais AC na envolvente têm menos população residente e edifícios, um padrão que deriva também da estrutura de povoamento nas áreas de estudo, com muitos aglomerados de pequena dimensão e um baixo número de residentes e de edifícios, que contrastam com o menor número de aglomerados com maior quantidade de elementos expostos Este padrão é mais evidente no município de Monchique, tendo efeito nos resultados obtidos (anexo 4).

É certo que analisando apenas a perigosidade estrutural, verificou-se um aumento substancial no número de aglomerados com necessidades de intervenção prioritária. Contudo, quando aplicada uma análise da exposição, a conjugação de elementos expostos pode levar a uma redução do número de aglomerados prioritários, porque certos aglomerados podem conter uma proporção reduzida de população residente, baixando os níveis de exposição, mesmo quando contraria os níveis de perigosidade. Outros estudos, como o de Gonçalves et al. (2021), verificam o mesmo, ao analisar a distribuição de elementos expostos com a probabilidade de arder e ainda com o nível de vulnerabilidade social das populações, percebendo que a coincidência espacial nem sempre se verifica, ou seja, “nem sempre os mais desfavorecidos e mais frágeis são os que se encontram mais expostos a um fenómeno perigoso”.

A conjugação de várias componentes da análise do risco, como a perigosidade e a exposição estrutural, pode alterar a hierarquização de intervenção dos aglomerados, uma vez que a análise origina valores específicos para cada aglomerado.

A configuração dos níveis de perigosidade e exposição estrutural, é diferente para cada área de estudo e o reconhecimento dessas diferenças é crucial para definir medidas e estratégias, mais adaptadas (Benali et al., 2023). Ao analisar três municípios distintos em Portugal Continental,

destacou-se a necessidade de considerar a distribuição espacial das populações e edifícios e da vegetação na análise das várias componentes do risco e definição de medidas de prevenção e mitigação (Barbosa et al., 2024).

Limitações

Foram sentidos alguns desafios ao longo da elaboração deste estudo, como a indisponibilidade de dados à escala do aglomerado; a falta de dados estatísticos atualizados, tendo sido necessário a utilização da taxa de variação de 2011-2021 dos Censos 2021 para estimar os elementos expostos; ou a diferença de escalas dos diferentes dados utilizados, que pode gerar possíveis enviesamentos dos resultados.

Probabilidade de arder e exposição dinâmica

Relativamente à probabilidade de arder, quando observada apenas a cartografia gerada para o cenário BAU verificou-se uma diferença entre o número de aglomerados selecionados para a alteração de combustível numa área de 100 m e numa área de 500 m. Chaves registou uma diferença mais acentuada, mais 79% de aglomerados, Monchique mais 36% e Góis 7,6%.

No entanto, após a conversão de combustível nas áreas de proteção destes mesmo aglomerados, ao gerar os novos mapas de probabilidade de arder, registou-se um decréscimo do número de aglomerados prioritários. Entre os cenários BAU e os cenários de aplicação de áreas de proteção a 100 m, registou-se um decréscimo de 50% para Góis, 30% para Monchique, mas apenas 5,5% no município de Chaves. Quando comparamos os cenários BAU e os cenários de implementação de áreas de proteção a 500 m, o decréscimo em Góis atingiu os 80,7%, Monchique apresentou menos 72% e Chaves menos 28%.

Os valores indicam uma eficácia da gestão de combustíveis em área de proteção de aglomerados maior nos municípios de Góis e Monchique, principalmente quando aplicada uma área de proteção com raio de 500 m.

Estas diferenças podem estar associadas às características do território de cada município, por exemplo a proporção de agricultura em relação à de florestas e matos. Chaves contém 34% de área agrícola e por isso a aplicação de áreas de proteção não teve um efeito tão marcante como em Góis ou Monchique que contêm uma grande área florestal, 94% e 92% respetivamente.

Relativamente à análise da exposição dinâmica, verificou-se que o número de aglomerados expostos é bastante reduzido em comparação com a exposição estrutural, apenas 1 a 3. O que sugere que os níveis mais elevados de probabilidade de arder coincidem com áreas menos povoadas.

Os resultados indicam que, embora o impacto possa variar entre os municípios, a criação dessas áreas de proteção contribui significativamente para a redução da probabilidade de um aglomerado ser afetado por um incêndio. Tudo isto reforça a importância da aplicação de medidas de prevenção

e mitigação de incêndios rurais para a proteção das populações e infraestruturas locais através de diferentes cenários de gestão de combustível (Gonçalves, 2018).

A menor eficácia verificada no município de Chaves, sublinha a ideia de que as intervenções no território para aplicação de medidas de mitigação e proteção de pessoas e bens, devem ser adequadas às características da área de estudo. Neste sentido, a escolha da dimensão das áreas de proteção deve ser ponderada com base no contexto local, considerando a distribuição dos aglomerados, a densidade populacional, e a proximidade a áreas críticas. A metodologia indica que áreas de proteção maiores, como as de 500 m, tendem a englobar mais áreas de perigosidade e exposição elevadas e também podem aumentar os desafios de gestão, no entanto têm um grande potencial no que toca a proteção de pessoas e bens, como observado nos municípios de Góis e Monchique. Contudo um estudo preliminar é necessário, para que seja possível entender que medidas melhor se adequam.

No caso de Chaves, a gestão de combustível nas áreas de proteção de aglomerados, não se mostrou tão eficaz, o que remete para a necessidade de investigar outras abordagens que melhor se adequem ao município ou ter em consideração outros critérios que não foram utilizados neste estudo.

Reduzir a exposição a incêndios, significa reduzir a probabilidade de um incêndio rural começar e/ou progredir de forma intensa, nas imediações de povoações (Benali et al., 2023). Assim, a modelação do comportamento do fogo, apresenta um grande potencial com ferramenta de previsão de eventos catastróficos que tendem a causar perdas. Em concordância com Alcasena et al. (2016), a modelação de simulações de incêndios rurais permite avaliar e comparar os efeitos obtidos ao converter a paisagem, através de diferentes cenários de gestão de combustível e permitem determinar a eficácia da implementação de medidas de mitigação.

Limitações

No desenvolvimento desta metodologia, foram encontrados alguns obstáculos. Um dos exemplos está relacionado com a utilização do programa FlamMap, maioritariamente, na informação inicial requerida pelo mesmo, como por exemplo a introdução de *inputs* na mesma resolução espacial, o que obriga a uma uniformização dos dados que pode gerar algumas incongruências na cartografia. O desempenho computacional por vezes também se tornou um obstáculo para o processo de elaboração das simulações, por exigir uma grande capacidade de processamento. Por último, o facto de o programa incluir dados climáticos, é uma mais-valia para os resultados gerados, mas a pressuposição de condições ambientais constantes, como vento e humidade ao longo de toda a simulação, pode não refletir uma realidade em que estas condições se podem alterar rapidamente no decorrer de um incêndio.

Um outro aspeto, relaciona-se com a elaboração de simulações através de pontos de ignição aleatórios gerados pelo próprio *software*, uma vez que não existem dados fiáveis de ignições

disponíveis. Com acesso a uma base de dados completa sobre os pontos de ignição histórico de cada região, seria possível gerar modelos mais próximos da realidade e permitiria uma comparação entre cenários mais precisa.

Considerações finais

A escolha da utilização da perigosidade estrutural ou da probabilidade de arder, para identificar setores com maior proporção de área crítica, é uma etapa crucial na análise da exposição. Para isso é importante sublinhar algumas das características específicas de cada uma.

A perigosidade estrutural reflete condições a médio ou longo prazo, não refletindo condições mais recentes. Assim se for utilizada para o planeamento de intervenções anuais, deve ser complementada com áreas ardidadas mais recentes, ou utilizando a perigosidade conjuntural, disponibilizada pelo ICNF, por exemplo.

A probabilidade de arder reflete condições a curto prazo, sendo que o modelo de combustíveis é influenciado pelas áreas ardidadas mais recentes. Posto isto, se fosse utilizado um modelo referente ao ano de 2023, ou o mais recente possível, a distribuição de área crítica pelos municípios, provavelmente seria diferente. O modelo pode aumentar a área crítica em certos setores devido à proporção de incêndios quando são alteradas as células de combustíveis, ou devido às ignições aleatórias. A possibilidade de classificar a probabilidade em quintis também favorece uma escala mais relativa.

As duas abordagens podem ser utilizadas de forma autónoma ou complementar, em que a abordagem dinâmica é aplicada em áreas onde a estrutural indica que existem valores altos de perigosidade (Oliveira et al., 2021a), ou aplicada em situações exigem intervenção a curto prazo (anual ou sazonal).

Cada uma das vertentes de perigosidade e exposição (estrutural ou dinâmica) é especializada para a análise de parâmetros próprios, então a complementaridade destas seria sem dúvida uma abordagem mais vantajosa. Não obstante, a disponibilidade de recursos por vezes pode ser limitada, pelo que o estudo prévio das características específicas da área de estudo poderá ser só por si uma aliada na escolha da metodologia mais indicada. Por exemplo, nas áreas que são historicamente mais afetadas por incêndios rurais, fornecida pela vertente estrutural, poderia ser alvo de uma análise dinâmica mais prioritária.

7. Conclusões

Tendo em conta a importância da aplicação de medidas de mitigação e combate aos incêndios rurais, o objetivo desta dissertação passou pela análise de diferentes componentes do risco de incêndios rurais à escala local em três municípios distintos de Portugal, nomeadamente, Chaves, Góis e Monchique. Utilizando metodologias de análise da perigosidade e exposição, o trabalho focou-se na identificação de áreas prioritárias de gestão territorial para a proteção dos aglomerados e ainda testar a influência da conversão da ocupação do solo nas áreas de proteção circundantes aos aglomerados populacionais.

Com a análise da perigosidade e exposição estrutural foi possível determinar a quantidade de aglomerados com maior necessidade de intervenção, tendo em conta a largura das áreas de proteção. Assim foi possível entender que, aumentando a largura das áreas de proteção (de 100 m para 500 m) mais aglomerados necessitariam de intervenção, à exceção do município de Monchique, onde se notou o oposto quando avaliado o nível de exposição estrutural. Este resultado sugere que a dimensão das áreas de proteção e a quantidade de aglomerados mais expostos a incêndios rurais, não estão relacionadas de forma linear, dependendo da geografia local e da distribuição dos elementos expostos presentes na área de estudo.

A análise da exposição dinâmica demonstrou que a ampliação das áreas de proteção, tem um impacto positivo na redução da probabilidade de arder em todas as regiões analisadas, principalmente em áreas com valores de probabilidade mais elevados. Embora, seja um facto de que a implementação de áreas de proteção de 500 m, se traduza numa maior necessidade de intervenção, com maior proporção de área a ser transformada.

O recurso à carta de perigosidade estrutural e conjugação dos elementos expostos, demonstrou ser uma valiosa ferramenta de identificação e priorização de aglomerados mais expostos, tendo em conta os padrões históricos, o que permitirá uma alocação mais eficiente de recursos. Mesmo que esta se baseie em eventos históricos, apresentou-se como um método de análise relativamente fácil e simples de se realizar.

Por outro lado, a utilização do FlamMap, requer uma atenção e cuidado e até mesmo algum conhecimento, ainda que básico, das funcionalidades do próprio *software*, para a sua utilização. Não obstante, demonstrou ser um método eficaz para testar o potencial da implementação de medidas de mitigação de incêndios rurais, neste caso, na conversão de combustível em áreas de proteção de aglomerados.

A utilização da linguagem Python para o desenvolvimento de algumas etapas da metodologia utilizada, facilitou a replicabilidade dos processos para as três áreas de estudo escolhidas, assim como

facilitará a mesma replicabilidade para outras áreas fora do contexto desta pesquisa. Assumindo também a hipótese de melhoria dos scripts desenvolvidos, tanto ao nível do ajuste de passos na metodologia, como na potencial adequação a dados mais atualizados.

A metodologia utilizada para avaliar a perigosidade e exposição nos três municípios deste estudo, pode ser replicada noutras áreas de estudo desde que seja feito um ajuste às características territoriais da área onde será aplicada, podendo assim contribuir para a definição de políticas de gestão territorial em áreas rurais mais eficazes.

Posto isto, a adoção de uma abordagem mais flexível na definição de áreas de proteção, seria recomendável, tendo em conta o efeito na diminuição da probabilidade de arder quando se alargou de 100 m para 500 m. A dimensão das mesmas deverá ser feita com base nas características específicas do território, considerando os níveis de perigosidade estrutural e a quantidade de elementos expostos, mas também os recursos disponíveis para a gestão.

Para abordagens futuras, poderiam ser considerados cenários mais dinâmicos que integrassem a imprevisibilidade das condições ambientais durante a ocorrência de um incêndio rural, que acabam por não ser capturados pelos dados históricos. Outra possibilidade interessante seria a utilização de uma base de dados completa com o histórico das ignições de incêndios passados, ao fornecer uma precisão da ocorrência de incêndios mais completa. Seria também interessante testar áreas de proteção de outras dimensões (por exemplo, 200 m ou 300 m) e em territórios diferentes.

Este estudo demonstra a possibilidade de utilizar uma metodologia versátil na análise da perigosidade e exposição a incêndios a uma escala local, que implica processos mais detalhados e especificados, mas que possibilitam a definição de abordagens de prevenção e mitigação mais adequadas e personalizadas. Os Sistemas de Informação Geográfica e de programação ajudam na possibilidade de focar a análise à escala do aglomerado, apesar das limitações de dados a este nível territorial. No entanto, assim torna-se possível direcionar os recursos e identificar áreas prioritárias com maior precisão.

Referências bibliográficas

- Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais. (2023). *Relatório anual de atividades do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (SGIFR) 2022*.
- Alcasena, F., Ager, A., Page, Y. Le, Bessa, P., Loureiro, C., & Oliveira, T. (2021). *Assessing wildfire exposure to communities and protected areas in Portugal*. *Fire*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/fire4040082>
- Alcasena, F. J., Salis, M., & Vega-García, C. (2016). *A fire modeling approach to assess wildfire exposure of valued resources in central Navarra, Spain*. *European Journal of Forest Research*, 135(1), 87–107. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0919-6>
- Arca, B., Salis, M., Pellizzaro, G., Bacciu, V., Spano, D., Duce, P., Ager, A. A., & Finney, M. A. (2010). *Climate change impact on fire probability and severity in Mediterranean areas*. VI International Conference on Forest Fire Research, September 2016, 5–18.
- Barbosa, B., Oliveira, S., & Rocha, J. (2024). *Mapping the wildland-urban interface at municipal level for wildfire exposure analysis in mainland Portugal*. *Journal of Environmental Management*, 368(August). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122098>
- Benali, A., Aparício, B. A., Gonçalves, A., & Oliveira, S. (2023). *Defining priorities for wildfire mitigation actions at the local scale: insights from a novel risk analysis method applied in Portugal*. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6(December), 1–16. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1270210>
- Benali, A., Sá, A. C. L., Pinho, J., Fernandes, P. M., & Pereira, J. M. C. (2021). *Understanding the impact of different landscape-level fuel management strategies on wildfire hazard in central Portugal*. *Forests*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/f12050522>
- Bergonse, R., Oliveira, S., Santos, P., & Zêzere, J. L. (2022). *Wildfire Risk Levels at the Local Scale: Assessing the Relative Influence of Hazard, Exposure, and Social Vulnerability*. *Fire*, 5(5). <https://doi.org/10.3390/fire5050166>
- Bowman, D. M. J. S., Williamson, G. J., Abatzoglou, J. T., Kolden, C. A., Cochrane, M. A., & Smith, A. M. S. (2017). *Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events*. *Nature Ecology and Evolution*, 1(3). <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0058>
- Chas-Amil, M. L., García-Martínez, E., & Touza, J. (2020). *Iberian Peninsula October 2017 wildfires: Burned area and population exposure in Galicia (NW of Spain)*. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48(October 2017), 101623. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101623>
- Direção Geral do Território. (2020). *Uso e Ocupação do Solo em Portugal Continental – O território em 2018*.
- Duane, A., Castellnou, M., & Brotons, L. (2021). *Towards a comprehensive look at global drivers of novel extreme wildfire events*. *Climatic Change*, 165(3–4), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03066-4>
- DUDF. (2012). *Plano Municipal de defesa da floresta contra incêndios - Guia Técnico*.

- Dye, A. W., Gao, P., Kim, J. B., Lei, T., Riley, K. L., & Yocom, L. (2023). *High-resolution wildfire simulations reveal complexity of climate change impacts on projected burn probability for Southern California*. *Fire Ecology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00179-2>
- Fernandes, P., & Loureiro, C. (2022). *Modelos de combustível florestal para Portugal - Documento de referência, versão de 2021*.
- Finney, M. A. (2002). *Fire growth using minimum travel time methods*. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(8), 1420–1424. <https://doi.org/10.1139/x02-068>
- Finney, M. A. (2006). *An Overview of FlamMap Fire Modeling Capabilities*. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-41. 213–220.
- Gómez-González, S., Ojeda, F., & Fernandes, P. M. (2018). *Portugal and Chile: Longing for sustainable forestry while rising from the ashes*. *Environmental Science and Policy*, 81(November 2017), 104–107. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.006>
- Gonçalves, A. (2018). *Avaliação da Exposição das Comunidades Locais a Incêndios Florestais. O caso de Alvares, Góis*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, 75 p.
- Gonçalves, A., Oliveira, S., Sá, A., Benali, A., Zêzere, J. L., & Pereira, J. M. (2021). *Evaluating the Exposure of Local Communities To Rural Fires: the Case of Alvares, Góis*. *Finisterra*, 56(117), 29–53. <https://doi.org/10.18055/Finis19277>
- Gonçalves, A., Oliveira, S., & Zêzere, J. L. (2024). *Assessing wildfire exposure and social vulnerability at the local scale using a GIS-based approach*. *MethodsX*, 12(March). <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102650>
- Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas. (2019). *Principais resultados – relatório sumário*. 6º Inventário Florestal Nacional.
- Instituto Nacional de Estatística. (2023). *Censos 2021. O que nos dizem os Censos sobre dinâmicas territoriais*. <https://www.ine.pt/xurl/pub/66320870>
- Julião, R., Nery, F., Ribeiro, J., Branco, M., & Zêzere, J. (2009). *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal*.
- Lozano, O. M., Salis, M., Ager, A. A., Arca, B., Alcasena, F. J., Monteiro, A. T., Finney, M. A., Del Giudice, L., Scoccimarro, E., & Spano, D. (2017). *Assessing Climate Change Impacts on Wildfire Exposure in Mediterranean Areas*. *Risk Analysis*, 37(10), 1898–1916. <https://doi.org/10.1111/risa.12739>
- Nunes, A. N. (2012). *Regional variability and driving forces behind forest fires in Portugal an overview of the last three decades (1980–2009)*. *Applied Geography*, 34, 576–586. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.03.002>
- Nunes, A. N., Lourenço, L., & Meira Castro, A. C. (2016). *Exploring spatial patterns and drivers of forest fires in Portugal (1980–2014)*. *Science of the Total Environment*, 573, 1190–1202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.121>

- Oliveira, S., Félix, F., Nunes, A., Lourenço, L., Laneve, G., & Sebastián-López, A. (2018). *Mapping wildfire vulnerability in Mediterranean Europe. Testing a stepwise approach for operational purposes*. *Journal of Environmental Management*, 206, 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.003>
- Oliveira, S., Gonçalves, A., Benali, A., Sá, A., Zêzere, J. L., & Pereira, J. M. (2020). *Assessing risk and prioritizing safety interventions in human settlements affected by large wildfires*. *Forests*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/F11080859>
- Oliveira, S., Gonçalves, A., & Zêzere, J. L. (2021a). *Reassessing wildfire susceptibility and hazard for mainland Portugal*. *Science of the Total Environment*, 762, 143121. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143121>
- Oliveira, S., Rocha, J., & Sá, A. (2021b). *Wildfire risk modeling*. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 23(4), 100274. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100274>
- Oliveira, S., Zêzere, J. L., Queirós, M., & Pereira, J. M. (2017). *Assessing the social context of wildfire-affected areas. The case of mainland Portugal*. *Applied Geography*, 88, 104–117. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.09.004>
- 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/10.1071/WF15146>
- Oliveira, T. M., & Pereira, J. S. (2018). *Fernando Oliveira Baptista e o Estudo da Floresta Portuguesa. Um percurso*. *Racionalidades e Dinâmicas Em Espaço Rural*, June, 51–65.
- Ribeiro, L. M., Rodrigues, A., Lucas, D., & Viegas, D. X. (2020). *The impact on structures of the Pedrógão Grande fire complex in June 2017 (Portugal)*. *Fire*, 3(4), 1–22. <https://doi.org/10.3390/fire3040057>
- Rocha, J., Gomes, E., Boavida-Portugal, I., Viana, C. M., Truong-Hong, L., & Phan, A. T. (2023). *GIS and Spatial Analysis*.
- Sá, A. C. L., Benali, A., Aparicio, B. A., Bruni, C., Mota, C., Pereira, J. M. C., & Fernandes, P. M. (2023). *A method to produce a flexible and customized fuel models dataset*. *MethodsX*, 10(January). <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102218>
- Salis, M., Ager, A. A., Arca, B., Finney, M. A., Bacciu, V., Duce, P., & Spano, D. (2013). *Assessing exposure of human and ecological values to wildfire in Sardinia, Italy*. *International Journal of Wildland Fire*, 22(4), 549–565. <https://doi.org/10.1071/WF11060>
- Salis, M., Arca, B., Del Giudice, L., Palaiologou, P., Alcasena-Urdiroz, F., Ager, A., Fiori, M., Pellizzaro, G., Scarpa, C., Schirru, M., Ventura, A., Casula, M., & Duce, P. (2021). *Application of simulation modeling for wildfire exposure and transmission assessment in Sardinia, Italy*. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 58, 102189. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102189>
- San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Libertà, G., Branco, A., de Rigo, D., Ferrari, D., Maianti, P., Artés Vivancos, T., Oom, D., Pfeiffer, H., Nuijten, D., & Leray, T. (2019). *Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2018 (EUR 29856 EN)*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/1128>

- Sánchez-Benítez, A., García-Herrera, R., Barriopedro, D., Sousa, P. M., & Trigo, R. M. (2018). *June 2017: The Earliest European Summer Mega-heatwave of Reanalysis Period*. *Geophysical Research Letters*, 45(4), 1955–1962. <https://doi.org/10.1002/2018GL077253>
- Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M. R., Delogu, G. M., Fernandes, P. M., Ferreira, C., McCaffrey, S., McGee, T. K., Parente, J., Paton, D., Pereira, M. G., Ribeiro, L. M., Viegas, D. X., & Xanthopoulos, G. (2018). *Defining extreme wildfire events: Difficulties, challenges, and impacts*. *Fire*, 1(1), 1–28. <https://doi.org/10.3390/fire1010009>
- Turco, M., Jerez, S., Augusto, S., Tarín-Carrasco, P., Ratola, N., Jiménez-Guerrero, P., & Trigo, R. M. (2019). *Climate drivers of the 2017 devastating fires in Portugal*. *Scientific Reports*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50281-2>
- Vasconcelos, A. (2013). *Avaliação da suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais no concelho de Leiria*. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, 83 p.
- Verde, J. (2015). *Wildfire Susceptibility Modelling in Mainland Portugal*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Especialidade em Geografia Física, 226p.
- Verde, J. C., & Zêzere, J. L. (2010). *Assessment and validation of wildfire susceptibility and hazard in Portugal*. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(3), 485–497. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-485-2010>

Legislação consultada

- Decreto Lei nº 124/2006, de 28 de Junho. Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios.
- Decreto Lei nº 82/2021, de 13 de Outubro. Sistema Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 71-A/2021. (2021). Diário da República n.º 110/2021, 1º Suplemento, Série I de 2021-06-08.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 25/2021. (2021). Diário da República n.º 56/2021, Série I de 2021-03-22.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 45-A/2020. (2020). Diário da República n.º 115/2020, 1º Suplemento, Série I de 2020-06-16.

Anexos

Anexo 1 - Script em Python para a definição de áreas de proteção e calculo da perigosidade e exposição estrutural

```
1. # -*- coding: iso-8859-1 -*-
2. # -----
3.
4. # Import arcpy module
5. import arcpy, os
6. from arcpy import env
7. from arcpy.sa import *
8.
9. #Permitir reescrever documentos
10. arcpy.env.overwriteOutput = True
11.
12. #Confirmar extensões
13. arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
14.
15. #Definir diretorio trabalho
16. arcpy.env.workspace = "C:\\Dissertacao\\AEdif_Pop21_Chaves\\Tipo2_100"
17. workspace = arcpy.env.workspace
18. print ("Estou a trabalhar em " + workspace)
19.
20. #Definir variáveis
21. AEdif11_21_Chaves_Pop21 = workspace + "\\AEdif11_21_Chaves_Pop21.shp"
22. Tipo2_100 = workspace + "\\Tipo2_100.shp"
23. Split_Tipo2_100 = workspace + "\\Split_Tipo2_100"
24. Perigosidade = workspace + "\\perigo_c18.tif"
25. Merge_Tipo2_100 = workspace + "\\Merge_Tipo2_100.shp"
26. print ("variáveis definidas")
27.
28. #Process: Select - poligonos com o Tipo_p 2
29. arcpy.Select_analysis(AEdif11_21_Chaves_Pop21, Tipo2_100, "\"TIPO_p\" = 2 AND \"AreaHa\" >=
0.3")
30. print ("select feito")
31.
32. #Para poder correr o script e não criar a mesma pasta
33. if os.path.isdir(Split_Tipo2_100):
34.     print("pasta ja existe")
35. else:
36.     os.mkdir(Split_Tipo2_100)
37. print ("pasta criada")
38.
39. #Process: Split - um ficheiro para cada poligono
40. arcpy.Split_analysis(Tipo2_100, Tipo2_100, "ID", Split_Tipo2_100, "")
41. print ("split feito")
42.
43. #Alterar o workspace para criar a lista de shapefiles
44. arcpy.env.workspace = "C:\\Dissertacao\\AEdif_Pop21_Chaves\\Tipo2_100\\Split_Tipo2_100"
45. workspace = arcpy.env.workspace
46.
47. #Criar lista de shapefiles onde vou aplicar as funções
48. shapes = arcpy.ListFeatureClasses()
49. print (shapes)
50.
51. #Process: Iterator (loop)
52. #os.path.splitext para conseguir transformar o nome dos outputs de cada ferramenta
53. for shape in shapes:
54.     basename, extension = os.path.splitext(shape)
55.     Buffer = workspace + "\\Buff_Tipo2_" + basename + extension
56.     Tabulate = workspace + "\\Tab_Tipo2_" + basename + ".dbf"
57.     Export = workspace + "\\Exp_Tipo2_" + basename + extension
58.     print ("outputs definidos")
59.
```

```

60.     #Process: Buffer
61.     arcpy.Buffer_analysis(shape, Buffer, "100 Meters", "OUTSIDE_ONLY", "ROUND", "NONE", "",
"PLANAR")
62.     print ("buffer concluido para " + shape)
63.
64.     #Process: Add Field
65.     arcpy.AddField_management(Buffer, "AREA_BUFF", "DOUBLE")
66.     print ("novo campo adicionado para " + shape)
67.
68.     #Process: Calculate Field
69.     arcpy.CalculateField_management(Buffer, "AREA_BUFF", "!SHAPE.AREA@SQUAREMETERS!",
"PYTHON_9.3", "")
70.     print ("area calculada para " + shape)
71.
72.     #Process: Tabulate Area
73.     TabulateArea(Buffer, "ORIG_FID", Perigosidade, "VALUE", Tabulate, 25)
74.     print ("tabuate concluido " + shape)
75.
76.     #Process: Join Field
77.     arcpy.management.JoinField(Buffer, "ORIG_FID", Tabulate, "ORIG_FID", "")
78.     print ("int e tab juntos " + shape)
79.
80.     #Process: Copy
81.     arcpy.Copy_management(Buffer, Export, "")
82.     print ("export concluido " + shape)
83.
84. #Criar lista de shapefiles onde vou aplicar as funções (wildcard)
85. Export = arcpy.ListFeatureClasses("Exp_Tipo2_*")
86. print (Export)
87.
88. #Process: Merge
89. arcpy.Merge_management(Export, Merge_Tipo2_100, "")
90. print ("merge concluido")
91.
92. #Process: Add Field
93. arcpy.AddField_management(Merge_Tipo2_100, "VALUE4_5", "DOUBLE")
94. print ("novo campo adicionado")
95.
96. #Process: Calculate Field
97. arcpy.CalculateField_management(Merge_Tipo2_100, "VALUE4_5",
"(([VALUE_4]+[VALUE_5])/[AREA_BUFF])")
98. print ("area calculada")
99.
100. #Process: Add Field
101. arcpy.AddField_management(Merge_Tipo2_100, "EXP ESTRUT", "DOUBLE")
102. print ("novo campo adicionado")
103.
104. #Process: Calculate Field
105. arcpy.CalculateField_management(Merge_Tipo2_100, "EXP ESTRUT",
"(([Pop_Poli21]+([Edf_Poli21]*0.75))*[VALUE4_5])")
106. print ("area calculada")
107.
108. #Process: Add Field
109. arcpy.AddField_management(Merge_Tipo2_100, "EXP_NORM", "DOUBLE")
110. print ("novo campo adicionado")
111.
112. #Process: Calculate Field
113. arcpy.CalculateField_management(Merge_Tipo2_100, "EXP_NORM", "([EXP ESTRUT]/10.6885)")
114. print ("area calculada")
115.

```

Anexo 2 - Ficheiro do modelo de combustíveis (.fmd)

Número	Código	Carga (t ha ⁻¹)					Tipo	RSV (m ⁻¹)			Prof (m)	Hx (%)	Conteúdo calorífico		Modelo
		1 h	10 h	100 h	herb	arb		1 h	herb	arb			kJ	kg ⁻¹	
211	FM211	4.63	2.96	1.27	0.00	1.12	static	42000	0	50000	32.00	26	21000	21000	F-EUC
221	FM221	4.54	1.87	0.61	0.00	9.08	static	60000	0	50000	63.00	30	20000	20000	M-CAD
222	FM222	5.65	1.50	0.48	0.00	7.89	static	50000	0	55000	50.00	25	20500	20500	M-ESC
223	FM223	8.37	3.81	0.00	0.00	4.51	static	47000	0	50000	64.00	32	21000	21000	M-EUC
224	FM224	1.37	2.89	1.59	0.00	1.84	static	45000	0	50000	40.00	26	21000	21000	M-EUCd
227	FM227	7.21	3.00	0.00	0.00	6.89	static	55000	0	60000	50.00	40	21000	21000	M-PIN
231	FM231	0.65	0.15	0.00	2.35	0.40	static	40000	55000	40000	60.00	24	19000	19000	V-Ha
232	FM232	0.30	0.00	0.00	1.20	0.00	static	60000	60000	0	35.00	24	19000	19000	V-Hb
233	FM233	9.50	2.50	0.00	0.00	14.00	static	35000	0	40000	105.00	35	21000	21000	V-MAa
234	FM234	6.00	0.50	0.00	0.00	7.50	static	45000	0	45000	50.00	35	21000	21000	V-MAb
235	FM235	1.00	1.00	0.00	1.50	5.50	static	45000	85000	40000	55.00	25	19500	19500	V-MH
236	FM236	6.00	4.00	0.00	0.00	13.00	static	25000	0	30000	170.00	25	20500	20500	V-MMa
237	FM237	4.00	0.50	0.00	0.00	7.00	static	30000	0	30000	90.00	20	20500	20500	V-MMb
238	FM238	7.00	7.00	5.00	0.00	0.00	static	55000	0	0	30.00	30	22000	22000	RESE-01
239	FM239	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	static	60000	0	0	140.00	40	22700	22700	MAT-03
240	FM240	8.00	3.00	6.00	0.00	0.00	static	55000	0	0	25.00	40	20000	20000	EUC-04

Anexo 3 - Script em Python para a elaboração do ficheiro *landscape*

```
1. # -*- coding: iso-8859-1 -*-
2. # -----
3.
4. # Import arcpy module
5. import arcpy, os
6. from arcpy import env
7. from arcpy.sa import *
8.
9. #Permitir reescrever documentos
10. arcpy.env.overwriteOutput = True
11.
12. #Confirmar extensões
13. arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
14.
15. #Definir directorio trabalho
16. env.workspace = "D:\\FlamMap\\Monchique_Landscape"
17. workspace = env.workspace
18. print ("estou a trabalhar em " + workspace)
19.
20.
21. # PREPARAR TOPOGRAFIA
22.
23. #definir variáveis
24. Altit_Monchique = workspace + "\\Altit_Monchique.tif"
25. print ("variáveis definidas")
26.
27. #Declive
28. #Process: Slope
29. Decl_Monchique = Slope(Altit_Monchique,"DEGREE","METER")
30. Decl_Monchique.save ("D:\\FlamMap\\Monchique_Landscape\\Decl_Monchique.tif")
31. print ("Slope feito")
32.
33. #Exposição de vertentes
34. #Process: Aspect
35. Aspect_Monchique = Aspect(Altit_Monchique, "PLANAR", "METER")
36. Aspect_Monchique.save ("D:\\FlamMap\\Monchique_Landscape\\Aspect_Monchique.tif")
37. print ("Aspect feito")
38.
39.
40. # PREPARAR MODELO DE COMBUSTIVEIS
41.
42. #definir variáveis
43. AltitM_point = workspace + "\\AltitM_point.shp"
44. ModComb100_Monchique = workspace + "\\ModComb100_Monchique.tif"
45. ModComb100M_Point = workspace + "\\ModComb100M_Point.shp"
46. ModComb25_Monchique = workspace + "\\ModComb25_Monchique.tif"
47.
48. #Process: Raster to Point - Converter a Altitude (raster) num ficheiro de pontos
49. arcpy.conversion.RasterToPoint(Altit_Monchique, AltitM_point)
50. print ("Raster To Point feito")
51.
52. #Process:Extract Values to Points - Extrair valores do raster ModComb100_Monchique para os
pontos do AltitM_point
53. ExtractValuesToPoints(AltitM_point, ModComb100_Monchique, ModComb100M_Point)
54. print ("Extract Values To Point feito")
55.
56. #Process: Point To Raster - Converter ModComb100M_Point num ficheiro raster
57. arcpy.conversion.PointToRaster(ModComb100M_Point, "RASTERVALU", ModComb25_Monchique, "",
"", 25)
58. print ("Point To Raster feito")
59.
60.
61. # PREPARAR COBERTURA DE COPAS
62.
63. # Tratar do IFN15
64.
```

```

65. #definir variáveis
66. IFN15_Monchique = workspace + "\\IFN15_Monchique.shp"
67. IFN15M_grelha = workspace + "\\IFN15M_grelha.tif"
68. IFN15M_Polyg = workspace + "\\IFN15M_Polyg.shp"
69. IFN15M_join = workspace + "\\IFN15M_join.shp"
70. IFN15M_Floresta = workspace + "\\IFN15M_Floresta.shp"
71. IFN15_Split = workspace + "\\IFN15_Split"
72. print ("variáveis definidas")
73.
74. #Process: Point to Raster - converter IFN15_Monchique de pontos para raster
75. arcpy.conversion.PointToRaster(IFN15_Monchique, "FID", IFN15M_grelha, "MOST_FREQUENT", "",
500, "BUILD")
76. print ("point to raster feito")
77.
78. #Process: Raster to Polygon - converter IFN15_Monchique de raster para poligono
79. arcpy.conversion.RasterToPolygon(IFN15M_grelha, IFN15M_Polyg, "SIMPLIFY", "value")
80. print ("Raster To Polygon feito")
81.
82. #Process: Join Field - Juntar e exportar a informação do IFN15_Monchique ao IFN150_Polyg
83. arcpy.management.JoinField(IFN15M_Polyg, "FID", IFN15_Monchique, "FID")
84. print ("Join feito")
85.
86. #Process: Copy
87. arcpy.management.Copy(IFN15M_Polyg, IFN15M_join)
88. print ("Copy feito")
89.
90. #Retiral atributos "null" e "Plantaeno/Sementeira"
91. with arcpy.da.UpdateCursor(IFN15M_join, "perccobert") as cursor:
92.     for row in cursor:
93.         if row[0] == 'NULL' or row [0] == 'Plantaeno/Sementeira':
94.             cursor.deleteRow()
95. print ("Delete feito")
96.
97. #Process: Add Field - Adicionar novo campo "MEDIA"
98. arcpy.management.AddField(IFN15M_join, "MEDIA", "DOUBLE")
99. print ("Field feito")
100.
101. #Process: Calculate Field - Calcular a media de perccobert
102. codeblock = """
103. def media(perccobert):
104.     if (perccobert == "< 5%"):
105.         return 3
106.     elif (perccobert == "[5, 10[ %"):
107.         return 7.5
108.     elif (perccobert == "[10, 20[ %"):
109.         return 15
110.     elif (perccobert == "[20, 30[ %"):
111.         return 25
112.     elif (perccobert == "[30, 40[ %"):
113.         return 35
114.     elif (perccobert == "[40, 50[ %"):
115.         return 45
116.     elif (perccobert == "[50, 60[ %"):
117.         return 55
118.     elif (perccobert == "[60, 70[ %"):
119.         return 65
120.     elif (perccobert == "[70, 80[ %"):
121.         return 75
122.     elif (perccobert == "[80, 90[ %"):
123.         return 85
124.     elif (perccobert == "[90, 100] %"):
125.         return 95
126.     else:
127.         return 0"""
128. arcpy.management.CalculateField(IFN15M_join, "MEDIA", "media(!perccobert!)", "PYTHON3",
codeblock)
129. print ("Calculo feito")
130.
131. #Process: Select - Exportar apenas atributos cujo "usulo = Floresta"
132. arcpy.analysis.Select(IFN15M_join, IFN15M_Floresta, "'usosolo' = \'Floresta\'")

```

```

133. print ("Select feito")
134.
135. #Separar o IFN15M_Floresta segundo a sua ocupprinci
136. #Para poder correr o script e não criar a mesma pasta
137. if os.path.isdir(IFN15_Split):
138.     print("Pasta ja existe")
139. else:
140.     os.mkdir(IFN15_Split)
141. print ("Pasta criada")
142.
143. #Process: Split by Attributes
144. arcpy.analysis.SplitByAttributes(IFN15M_Floresta, IFN15_Split, "ocupprinci")
145. print ("Split feito")
146.
147.
148. # Tratar da COS18
149.
150. ###definir variáveis
151. COS2018_Monchique = workspace + "\\COS2018_Monchique.shp"
152. COS18M_Floresta = workspace + "\\COS18M_Floresta.shp"
153. COS18_Split = workspace + "\\COS18_Split"
154. print ("variáveis definidas")
155.
156. arcpy.analysis.Select(COS2018_Monchique, COS18M_Floresta, '"COS2018_n1" = \'5.Florestas\')
157. print ("Select feito")
158.
159. #Separar o COS18M_Floresta segundo COS2018_Lg
160. #Para poder correr o script e não criar a mesma pasta
161. if os.path.isdir(COS18_Split):
162.     print("Pasta ja existe")
163. else:
164.     os.mkdir(COS18_Split)
165. print ("Pasta criada")
166. #Process: Split by Attributes
167. arcpy.analysis.SplitByAttributes(COS18M_Floresta, COS18_Split, "COS2018_Lg")
168. print ("Split feito")
169.
170.
171. # Juntar o IFN floresta com a COS18 Floresta
172.
173.
174. #definir variáveis do IFN15
175. Acocias_IFN = workspace + "\\IFN15_Split\\Acocias.shp"
176. Azinheira_IFN = workspace + "\\IFN15_Split\\Azinheira.shp"
177. Carvalhos_IFN = workspace + "\\IFN15_Split\\Carvalhos.shp"
178. Eucaliptos_IFN = workspace + "\\IFN15_Split\\Eucaliptos.shp"
179. Outras_folhosas_IFN = workspace + "\\IFN15_Split\\Outras_folhosas.shp"
180. Outras_resinosas_IFN = workspace + "\\IFN15_Split\\Outras_resinosas.shp"
181. Pinheiro_bravo_IFN = workspace + "\\IFN15_Split\\Pinheiro-bravo.shp"
182. Pinheiro_manso_IFN = workspace + "\\IFN15_Split\\Pinheiro-manso.shp"
183. Sobreiro_IFN = workspace + "\\IFN15_Split\\Sobreiro.shp"
184. print ("variáveis do IFN15 definidas")
185.
186. #definir variáveis do COS18
187. Especie_invasoras_COS = workspace +
"\\COS18_Split\\5_1_1_6_Florestas_de_especies_invasoras.shp"
188. Azinheira_COS = workspace + "\\COS18_Split\\5_1_1_2_Florestas_de_azinheira.shp"
189. Carvalhos_COS = workspace + "\\COS18_Split\\5_1_1_3_Florestas_de_outros_carvalhos.shp"
190. Eucaliptos_COS = workspace + "\\COS18_Split\\5_1_1_5_Florestas_de_eucalipto.shp"
191. Outras_folhosas_COS = workspace + "\\COS18_Split\\5_1_1_7_Florestas_de_outras_folhosas.shp"
192. Outras_resinosas_COS = workspace +
"\\COS18_Split\\5_1_2_3_Florestas_de_outras_resinosas.shp"
193. Pinheiro_bravo_COS = workspace + "\\COS18_Split\\5_1_2_1_Florestas_de_pinheiro_bravo.shp"
194. Pinheiro_manso_COS = workspace + "\\COS18_Split\\5_1_2_2_Florestas_de_pinheiro_manso.shp"
195. Sobreiro_COS = workspace + "\\COS18_Split\\5_1_1_1_Florestas_de_sobreiro.shp"
196. print ("variáveis do COS18 definidas")
197.
198. #definir variáveis do SpatialJoin
199. Especie_invasoras_SJ = workspace + "\\Especie_invasoras_SJ.shp"
200. Azinheira_SJ = workspace + "\\Azinheira_SJ.shp"

```

```

201. Carvalhos_SJ = workspace + "\\Carvalhos_SJ.shp"
202. Eucaliptos_SJ = workspace + "\\Eucaliptos_SJ.shp"
203. Outras_folhosas_SJ = workspace + "\\Outras_folhosas_SJ.shp"
204. Outras_resinosas_SJ = workspace + "\\Outras_resinosas_SJ.shp"
205. Pinheiro_bravo_SJ = workspace + "\\Pinheiro_bravo_SJ.shp"
206. Pinheiro_manso_SJ = workspace + "\\Pinheiro_manso_SJ.shp"
207. Sobreiro_SJ = workspace + "\\Sobreiro_SJ.shp"
208. print ("variáveis do SpatialJoin definidas")
209.
210.
211. #Process: Spatial Join - Juntar informacao do IFN15 com a do COS18
212. arcpy.analysis.SpatialJoin(Especie_invasoras_COS, Acocias_IFN, Especie_invasoras_SJ,
"JOIN_ONE_TO_ONE", "KEEP_ALL", "", "INTERSECT")
213. print ("Spatial Join feito")
214.
215. arcpy.analysis.SpatialJoin(Azinheira_COS, Azinheira_IFN, Azinheira_SJ, "JOIN_ONE_TO_ONE",
"KEEP_ALL", "", "INTERSECT")
216. print ("Spatial Join feito")
217.
218. arcpy.analysis.SpatialJoin(Carvalhos_COS, Carvalhos_IFN, Carvalhos_SJ, "JOIN_ONE_TO_ONE",
"KEEP_ALL", "", "INTERSECT")
219. print ("Spatial Join feito")
220.
221. arcpy.analysis.SpatialJoin(Eucaliptos_COS, Eucaliptos_IFN, Eucaliptos_SJ,
"JOIN_ONE_TO_ONE", "KEEP_ALL", "", "INTERSECT")
222. print ("Spatial Join feito")
223.
224. arcpy.analysis.SpatialJoin(Outras_folhosas_COS, Outras_folhosas_IFN, Outras_folhosas_SJ,
"JOIN_ONE_TO_ONE", "KEEP_ALL", "", "INTERSECT")
225. print ("Spatial Join feito")
226.
227. arcpy.analysis.SpatialJoin(Outras_resinosas_COS, Outras_resinosas_IFN, Outras_resinosas_SJ,
"JOIN_ONE_TO_ONE", "KEEP_ALL", "", "INTERSECT")
228. print ("Spatial Join feito")
229.
230. arcpy.analysis.SpatialJoin(Pinheiro_bravo_COS, Pinheiro_bravo_IFN, Pinheiro_bravo_SJ,
"JOIN_ONE_TO_ONE", "KEEP_ALL", "", "INTERSECT")
231. print ("Spatial Join feito")
232.
233. arcpy.analysis.SpatialJoin(Pinheiro_manso_COS, Pinheiro_manso_IFN, Pinheiro_manso_SJ,
"JOIN_ONE_TO_ONE", "KEEP_ALL", "", "INTERSECT")
234. print ("Spatial Join feito")
235.
236. arcpy.analysis.SpatialJoin(Sobreiro_COS, Sobreiro_IFN, Sobreiro_SJ, "JOIN_ONE_TO_ONE",
"KEEP_ALL", "", "INTERSECT")
237. print ("Spatial Join feito")
238.
239. #definir variáveis do Dissolve SpatialJoin
240. Especie_invasoras_SJ_D = workspace + "\\Especie_invasoras_SJ_D.shp"
241. Azinheira_SJ_D = workspace + "\\Azinheira_SJ_D.shp"
242. Carvalhos_SJ_D = workspace + "\\Carvalhos_SJ_D.shp"
243. Eucaliptos_SJ_D = workspace + "\\Eucaliptos_SJ_D.shp"
244. Outras_folhosas_SJ_D = workspace + "\\Outras_folhosas_SJ_D.shp"
245. Outras_resinosas_SJ_D = workspace + "\\Outras_resinosas_SJ_D.shp"
246. Pinheiro_bravo_SJ_D = workspace + "\\Pinheiro_bravo_SJ_D.shp"
247. Pinheiro_manso_SJ_D = workspace + "\\Pinheiro_manso_SJ_D.shp"
248. Sobreiro_SJ_D = workspace + "\\Sobreiro_SJ_D.shp"
249. print ("variáveis do Dissolve SpatialJoin definidas")
250.
251.
252. #Process: Dissolve
253. arcpy.management.Dissolve(Especie_invasoras_SJ, Especie_invasoras_SJ_D, "ID", [{"MEDIA",
"MEAN"}, {"COS2018_n1", "FIRST"}, {"COS2018_n4", "FIRST"}, {"COS2018_Lg", "FIRST"}, {"ocupprinci",
"FIRST"}, {"perccobert", "FIRST"}])
254. print ("Dissolve feito")
255.
256. arcpy.management.Dissolve(Azinheira_SJ, Azinheira_SJ_D, "ID", [{"MEDIA",
"MEAN"}, {"COS2018_n1", "FIRST"}, {"COS2018_n4", "FIRST"}, {"COS2018_Lg", "FIRST"}, {"ocupprinci",
"FIRST"}, {"perccobert", "FIRST"}])
257. print ("Dissolve feito")

```

```

258.
259. arcpy.management.Dissolve(Carvalhos_SJ, Carvalhos_SJ_D, "ID",[[ "MEDIA",
"MEAN"],["COS2018_n1", "FIRST"],["COS2018_n4", "FIRST"],["COS2018_Lg", "FIRST"],["ocupprinci",
"FIRST"],["perccobert", "FIRST"]])
260. print ("Dissolve feito")
261.
262. arcpy.management.Dissolve(Eucaliptos_SJ, Eucaliptos_SJ_D, "ID",[[ "MEDIA",
"MEAN"],["COS2018_n1", "FIRST"],["COS2018_n4", "FIRST"],["COS2018_Lg", "FIRST"],["ocupprinci",
"FIRST"],["perccobert", "FIRST"]])
263. print ("Dissolve feito")
264.
265. arcpy.management.Dissolve(Outras_folhosas_SJ, Outras_folhosas_SJ_D, "ID",[[ "MEDIA",
"MEAN"],["COS2018_n1", "FIRST"],["COS2018_n4", "FIRST"],["COS2018_Lg", "FIRST"],["ocupprinci",
"FIRST"],["perccobert", "FIRST"]])
266. print ("Dissolve feito")
267.
268. arcpy.management.Dissolve(Outras_resinosas_SJ, Outras_resinosas_SJ_D, "ID",[[ "MEDIA",
"MEAN"],["COS2018_n1", "FIRST"],["COS2018_n4", "FIRST"],["COS2018_Lg", "FIRST"],["ocupprinci",
"FIRST"],["perccobert", "FIRST"]])
269. print ("Dissolve feito")
270.
271. arcpy.management.Dissolve(Pinheiro_bravo_SJ, Pinheiro_bravo_SJ_D, "ID",[[ "MEDIA",
"MEAN"],["COS2018_n1", "FIRST"],["COS2018_n4", "FIRST"],["COS2018_Lg", "FIRST"],["ocupprinci",
"FIRST"],["perccobert", "FIRST"]])
272. print ("Dissolve feito")
273.
274. arcpy.management.Dissolve(Pinheiro_manso_SJ, Pinheiro_manso_SJ_D, "ID",[[ "MEDIA",
"MEAN"],["COS2018_n1", "FIRST"],["COS2018_n4", "FIRST"],["COS2018_Lg", "FIRST"],["ocupprinci",
"FIRST"],["perccobert", "FIRST"]])
275. print ("Dissolve feito")
276.
277. arcpy.management.Dissolve(Sobreiro_SJ, Sobreiro_SJ_D, "ID",[[ "MEDIA",
"MEAN"],["COS2018_n1", "FIRST"],["COS2018_n4", "FIRST"],["COS2018_Lg", "FIRST"],["ocupprinci",
"FIRST"],["perccobert", "FIRST"]])
278. print ("Dissolve feito")
279.
280.
281. #Process: Calculate Field - preencher as lacunas do atributo MEAN_MEDIA
282. codeblock = ""
283. def mean_media(mean_media):
284.     if(mean_media == 0):
285.         return 70
286.     else:
287.         return mean_media""
288. arcpy.management.CalculateField(Especie_invasoras_SJ_D, "MEAN_MEDIA",
"mean_media(!mean_media!)", "PYTHON3", codeblock)
289. print ("Calculo feito")
290.
291. codeblock = ""
292. def mean_media(mean_media):
293.     if(mean_media == 0):
294.         return 27
295.     else:
296.         return mean_media""
297. arcpy.management.CalculateField(Azinhaira_SJ_D, "MEAN_MEDIA", "mean_media(!mean_media!)",
"PYTHON3", codeblock)
298. print ("Calculo feito")
299.
300. codeblock = ""
301. def mean_media(mean_media):
302.     if(mean_media == 0):
303.         return 35
304.     else:
305.         return mean_media""
306. arcpy.management.CalculateField(Carvalhos_SJ_D, "MEAN_MEDIA", "mean_media(!mean_media!)",
"PYTHON3", codeblock)
307. print ("Calculo feito")
308.
309. codeblock = ""
310. def mean_media(mean_media):

```

```

311.     if(mean_media == 0):
312.         return 46
313.     else:
314.         return mean_media"""
315. arcpy.management.CalculateField(Eucaliptos_SJ_D, "MEAN_MEDIA", "mean_media(!mean_media!)",
"PYTHON3", codeblock)
316. print ("Calculo feito")
317.
318. codeblock = """
319. def mean_media(mean_media):
320.     if(mean_media == 0):
321.         return 32
322.     else:
323.         return mean_media"""
324. arcpy.management.CalculateField(Outras_folhosas_SJ_D, "MEAN_MEDIA",
"mean_media(!mean_media!)", "PYTHON3", codeblock)
325. print ("Calculo feito")
326.
327. codeblock = """
328. def mean_media(mean_media):
329.     if(mean_media == 0):
330.         return 40
331.     else:
332.         return mean_media"""
333. arcpy.management.CalculateField(Outras_resinosas_SJ_D, "MEAN_MEDIA",
"mean_media(!mean_media!)", "PYTHON3", codeblock)
334. print ("Calculo feito")
335.
336. codeblock = """
337. def mean_media(mean_media):
338.     if(mean_media == 0):
339.         return 39
340.     else:
341.         return mean_media"""
342. arcpy.management.CalculateField(Pinheiro_bravo_SJ_D, "MEAN_MEDIA",
"mean_media(!mean_media!)", "PYTHON3", codeblock)
343. print ("Calculo feito")
344.
345. codeblock = """
346. def mean_media(mean_media):
347.     if(mean_media == 0):
348.         return 32
349.     else:
350.         return mean_media"""
351. arcpy.management.CalculateField(Pinheiro_manso_SJ_D, "MEAN_MEDIA",
"mean_media(!mean_media!)", "PYTHON3", codeblock)
352. print ("Calculo feito")
353.
354. codeblock = """
355. def mean_media(mean_media):
356.     if(mean_media == 0):
357.         return 27
358.     else:
359.         return mean_media"""
360. arcpy.management.CalculateField(Sobreiro_SJ_D, "MEAN_MEDIA", "mean_media(!mean_media!)",
"PYTHON3", codeblock)
361. print ("Calculo feito")
362.
363. #Process: Merge - Juntar todos os tipos de floresta numa so shape
364. FlorestaM_Merge = workspace + "\\FlorestaM_Merge.shp"
365. arcpy.management.Merge([Especie_invasoras_SJ_D, Azinheira_SJ_D, Carvalhos_SJ_D,
Eucaliptos_SJ_D, Outras_folhosas_SJ_D, Pinheiro_bravo_SJ_D, Pinheiro_manso_SJ_D,
Outras_resinosas_SJ_D, Sobreiro_SJ_D], FlorestaM_Merge)
366. print ("Merge feito")
367.
368. #Process: Select - Juntar a shape da Floresta com o resto do COS que não tem floresta e
converter para raster
369. COS18M_s_Floresta = workspace + "\\COS18M_s_Floresta.shp"
370. arcpy.analysis.Select(COS2018_Monchique, COS18M_s_Floresta, '"COS2018_n1" <>
\\5.Florestas\\')

```

```
371. print ("Select feito")
372.
373. #Process: Merge
374. CobCopas_Monchique = workspace + "\\CobCopas_Monchique.shp"
375. arcpy.management.Merge([FlorestaM_Merge, COS18M_s_Floresta], CobCopas_Monchique)
376. print ("Merge feito")
377.
378. #Process: Polygon to Raster
379. CobCopas_MonchiqueR = workspace + "\\CobCopas_MonchiqueR.tif"
380. arcpy.conversion.PolygonToRaster(CobCopas_Monchique, "MEAN_MEDIA", CobCopas_MonchiqueR,
"CELL_CENTER", "", 25)
381. print ("Raster feito")
382.
```

Anexo 4 – Distribuição da quantidade de elementos expostos, nos municípios de Chaves (a), Góis (b) e Monchique (c)

