

2º CICLO DE ESTUDOS
MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DE
TERRITÓRIO

O Contributo das Áreas Agrícolas na Prevenção e no Combate aos Incêndios Rurais

Evidências do Município de Mogadouro

Pedro Sales

M

2025



Pedro Sales

O Contributo das Áreas Agrícolas na Prevenção e no Combate aos Incêndios Rurais - Evidências do município de Mogadouro

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento de Território, orientada pela Professora Doutora Fantina Tedim e pela Professora Doutora Ana Teodoro

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2025

Sumário

Declaração de honra	7
Agradecimentos	8
Resumo.....	9
Abstract	10
Índice de Figuras	11
Índice de Tabelas.....	14
Lista de abreviaturas e siglas.....	15
Introdução	17
1. Metodologia	20
1.1. Área de estudo	20
1.2. Revisão da literatura	22
1.3. Recolha de dados	22
1.3.1. Dados secundários	22
1.3.1.1. Dados sobre incêndios rurais	22
1.3.1.2. Dados biofísicos	24
1.3.1.3. Dados socioeconómicos e demográficos	24
1.3.2. Dados primários	25
1.3.2.1. Trabalho de campo	25
1.4. Métodos e técnicas de análise	25
1.4.1. Imagens de satélite	25
1.4.1.1. Pré processamento e processamento das imagens de satélite e produção da cartografia de ocupação do solo	25
1.4.2. Normalized difference vegetation Index (NDVI).....	27
1.4.3. Soil adjusted vegetation Index (SAVI)	28

1.4.4.Normalized burn ratio (NBR)	28
1.4.5.Maximum likelihood classifier	29
1.4.6.Random forest classifier	29
1.4.7.Análise estatística e espacial.....	29
2.Importância das áreas agrícolas na prevenção e combate dos incêndios	30
2.1.O Uso do solo agrícola e a prevenção dos Incêndios.....	30
2.2.Contribuição da agricultura no combate aos Incêndios	31
2.2.1.Pontos de ancoragem	32
3.Caracterização da área de estudo - município de Mogadouro	34
3.1.Aspetos demográficos e socioeconômicos	34
3.2.Caracterização climática e geofísica.....	36
3.2.1.Clima	36
3.2.2.Geomorfologia e hidrografia	41
3.2.3.Ocupação do solo.....	43
3.3.Os Incêndios no contexto do município.....	50
3.3.1. Área ardida e número de ocorrências	50
3.3.3. Proporção da superfície ardida.....	53
3.3.4. Número de incêndios por classe de dimensão	54
3.3.5. Tipologia das causas.....	55
4.Caso de estudo do incêndio do dia 24 de agosto de 2023	56
4.1.Caracterização geral da ocorrência	57
4.2.Análise do impacto das áreas agrícolas com recurso a ferramentas de detecção remota	
64	
4.2.1.Cartografia existente - COS, COSc e CLC.....	64
4.2.2.Pré processamento e pocessamento dos dados	66
4.2.3.Classificação.....	71
4.3.Discussão dos resultados	75

4.3.1.Comparação dos resultados do MLC e RFC	76
5. O Impacto das áreas agrícolas no incêndio de 2023	87
5.1 Ilhas não ardidas	87
5.2 Severidade por tipologia de ocupação do solo	92
5.3 Caracterização do perímetro ardido/não ardido.....	94
Considerações Finais	98
Referências Bibliográficas	101
Anexos	104

Declaração de honra

Declaro que a presente dissertação é de minha autoria e não foi utilizada previamente noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (textos, trabalhos, ideias) respeitam escrupulosamente as regras de atribuição de autoria e encontram-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referenciação. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Declaro, ainda, que utilizei ferramentas de inteligência artificial generativa (chatbots baseados em grandes modelos de linguagem) para realização de parte(s) da presente dissertação, encontrando-se todas as interações (prompts e respostas) transcritas em Anexo ao trabalho.

Porto, setembro de 2025

Pedro Sales

Agradecimentos

Expresso o meu profundo agradecimento a todos aqueles que, de alguma forma, direta ou indireta, contribuíram para a elaboração desta dissertação de mestrado.

Em primeiro lugar queria agradecer a toda a minha família, por me ajudarem a prosseguir com os meus estudos e por me apoiarem nas minhas decisões.

À Prof.^a Doutora Fantina Tedim, por toda a sua dedicação e amizade e por me ter dado a oportunidade da elaboração deste trabalho, transmitindo-me conhecimentos e um apoio inalcançável ao longo deste percurso.

À Prof.^a Doutora Ana Teodoro expesso a minha gratidão pelo rigor científico, pela constante disponibilidade ao longo do percurso e pelos conselhos pertinentes que tanto contribuíram para a concretização desta dissertação.

E por último, mas não com menos importância à minha namorada Ana Raquel e aos meus amigos, que tanto prezo, e que também de alguma forma, contribuíram para tornar possível a realização desta dissertação, entre os quais destaco o Nelton Lacerda José Silva, o Manuel Teixeira e o José Caseiro.

Resumo

Portugal é um dos países europeus mais afetado pelos incêndios rurais, representando uma ameaça crescente, com impactos ambientais, sociais e económicos. Esta investigação, desenvolvida com foco no município de Mogadouro, procurou analisar o papel das áreas agrícolas na redução das ocorrências de incêndios, no comportamento do fogo e no apoio às estratégias de combate aos incêndios. A fim de contribuir para o conhecimento geral sobre a relação entre o abandono das áreas agrícolas e a ocorrência de incêndios rurais, através da compreensão desta hipótese será possível aferir como as características das áreas agrícolas impactam diretamente no ordenamento do território e como é que estas podem influenciar na prevenção e supressão dos incêndios rurais.

Por outro lado, práticas agrícolas ativas, quando bem administradas, contribuem para a fragmentação e redução do combustível, criando descontinuidades que podem reduzir a intensidade de propagação do fogo, possibilitando uma janela de oportunidade maior para a atuação dos operacionais em segurança.

Apesar de limitações na elaboração da cartografia produzida com base em deteção remota, a análise dos dados sugere que o aumento da área agrícola no município de Mogadouro pode ter contribuído para a redução das ocorrências e da área ardida. Entende-se que integrar práticas de gestão de combustível em áreas agrícolas nas políticas locais de ordenamento do território é crucial, promovendo paisagens em mosaico mais diversificadas e resilientes, capazes de contribuir em simultâneo na prevenção e supressão dos incêndios rurais.

Palavras-chave: Incêndios Rurais, Município de Mogadouro, Áreas Agrícolas, Mosaico Agroflorestal, Deteção Remota

Abstract

Portugal is one of the European countries most affected by rural fires, representing a growing threat with significant environmental, social, and economic impacts. This research, focused on the municipality of Mogadouro, aimed to analyze the role of agricultural areas in reducing fire occurrences, influencing fire behavior, and supporting suppression strategies. By exploring the relationship between agricultural land abandonment and the occurrence of rural fires, this study seeks to clarify how the characteristics of agricultural areas directly affect territorial planning and how they can contribute to the effectiveness of fire suppression efforts.

Findings indicate that active and well-managed agricultural practices can contribute to fuel reduction and landscape fragmentation, creating discontinuities that limit fire spread and provide safer operational windows for firefighting teams. Despite limitations in the remote-sensing-based land cover mapping, the data suggest that the expansion of agricultural land in Mogadouro may have played a role in decreasing both the number of fire events and the burned area.

Integrating fuel management practices within agricultural areas into local land-use planning policies is crucial to fostering more diversified and resilient mosaic landscapes, which can simultaneously enhance fire prevention and support efficient suppression of rural fires.

Key-words: Forest Fires, Municipality of Mogadouro, Agricultural Areas, Agroforestry Mosaic, Remote Sensing

Índice de Figuras

Figura 1- Localização e divisão administrativa do município de Mogadouro	21
Figura 2 - Exemplo de um ponto de ancoragem	33
Figura 3 - A) Evolução da população residente no município de Mogadouro, 1960-2021.; B) Evolução da mão de obra agrícola no município de Mogadouro, 1989-2019.; C) População empregada por setor de atividade económica no município de Mogadouro, 1960-2021	35
Figura 4 - Densidade Populacional do município de Mogadouro por subsecção	36
Figura 5 - Valores médios mensais da temperatura mínima, média e máxima	37
Figura 6 - Precipitação média mensal e precipitação máxima diária	39
Figura 7- A) Precipitação média mensal; B) Número médio de dias com precipitação e valor máximo de precipitação	40
Figura 8 - Hipsometria do município de Mogadouro	41
Figura 9 - Rede Hidrográfica do município de Mogadouro	42
Figura 10 - Evolução temporal da ocupação do solo de 1995 a 2018 no município de Mogadouro	44
Figura 11- Carta de Ocupação do solo (COS) em 1995 no município de Mogadouro	45
Figura 12- Carta de Ocupação do solo (COS) em 2018 no município de Mogadouro	45
Figura 13- Superfície Agrícola Utilizada no Município de Mogadouro de 1989 a 2019	46
Figura 14 - Dimensão Média das Explorações Agrícolas no Município de Mogadouro de 1989 a 2019	47
Figura 15- Distribuição anual da área ardida e número de ocorrências no município de Mogadouro de 1980 a 2023	51
Figura 16 - Área ardida no município de Mogadouro de 1980 a 2023	52
Figura 17 - Ocorrências por dimensão no município de Mogadouro de 2001 a 2023	53
Figura 18 - Proporção de superfície ardida em percentagem no município de Mogadouro de 2001 a 2023	54
Figura 19 - Número de incêndios por classe de dimensão no município de Mogadouro de 2001 a 2023	55
Figura 20 - Tipologia das causas (em percentagem) de ignição dos incêndios rurais no município de Mogadouro de 2001 a 2023	56
Figura 21 - Perímetro do incêndio de 24/08/2023	59
Figura 22 - Fita de tempo da equipa de sapadores na ocorrência do dia 24/08/2023	61

Figura 23 - Imagens do incêndio, através da perspetiva terrestre e aérea na ocorrência no dia 24/08/2023	61
Figura 24 - Perigosidade de Incêndio Rural em 2022 na área do incêndio do dia 24/08/2023	62
Figura 25 - Áreas ardidas que percorreram a mesma área do incêndio de 24/08/2023	63
Figura 26 - Estrutura da monitorização da ocupação do solo (SMOS), integrando as cartografias de uso e ocupação do solo, e os produtos cartográficos	66
Figura 27 - NDVI antes do incêndio no município de Mogadouro	67
Figura 28 - NDVI depois do incêndio no município de Mogadouro	68
Figura 29 - SAVI antes do incêndio no município de Mogadouro	69
Figura 30 - SAVI depois do incêndio no município de Mogadouro	69
Figura 31 - NBR depois do incêndio no município de Mogadouro	70
Figura 32 - Carta de ocupação do solo segundo o método do maximum likelihood classifier, antes do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro	72
Figura 33 - Carta de ocupação do solo segundo o método do maximum likelihood classifier, depois do incêndio de 24/08/ 2023 no município de Mogadouro	73
Figura 34 - Carta de ocupação do solo segundo o método do random forest classifier, antes do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro	74
Figura 35 - Carta de ocupação do solo segundo o método do random forest classifier, depois do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro	75
Figura 36 - Carta de ocupação do solo conjuntural pré-verão (A) e pós-verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro	78
Figura 37 - Carta de ocupação do solo conjuntural pré-verão (A) e pós-verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro	79
Figura 38 - Carta de ocupação do solo conjuntural pré verão (A) e pós verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro	81

Figura 39 - Carta de ocupação do solo conjuntural pré verão (A) e pós verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro	82
Figura 40 -Carta de ocupação do solo conjuntural pré verão (A) e pós verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro	84
Figura 41 -Carta de ocupação do solo conjuntural pré- verão (A) e pós- verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24 de agosto de 2023 no município de Mogadouro.....	85
Figura 42 -Carta de ocupação do solo conjuntural pré-verão (A) e pós-verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24 de agosto de 2023 no município de Mogadouro.....	86
Figura 43 - Ocupação do solo segundo a COS 2018 das ilhas não ardidas dentro da área ardida do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro	88
Figura 44 - Ocupação do solo segundo a COSc 2023 das ilhas não ardidas dentro da área ardida do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro	89
Figura 45 - Ocupação do solo segundo os métodos do maximum likelihood classifier (A) e random forest classifier (B) das ilhas não ardidas dentro da área ardida do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro.....	90
Figura 46 - DNBR da área afetada pelo incêndio no município de Mogadouro	93
Figura 47 - Ocupação do solo do perímetro do incêndio segundo a COS2018.....	95
Figura 48 - Ocupação do solo do perímetro do incêndio segundo a COSc2023	96
Figura 49 - Ocupação do solo do perímetro do incêndio segundo o método maximum likelihood classifier	97
Figura 50 - Ocupação do solo do perímetro do incêndio segundo o método random forest classifier.....	98

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valores médios mensais da temperatura mínima, média e máxima. Número médio de dias com temperatura máxima e mínima. Valores máximos da temperatura	38
Tabela 2 - Índice meteorológico de perigo de incêndio no dia 24/08/2023 – FWI	58
Tabela 3 - Área ardida por tipo de ocupação do solo	60

Lista de abreviaturas e siglas

AGIF- AGÊNCIA PARA A GESTÃO INTEGRADA DE FOGOS RURAIS

CAP - COMMON AGRICULTURAL POLICY

CIGEOE - CENTRO DE INFORMAÇÃO GEOESPACIAL DO EXÉRCITO

CLC - CORINE LAND COVER

COS - CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

COSC - CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO CONJUNTURAL

DGT – DIREÇÃO GERAL DO TERRITÓRIO

FWI - FIRE WEATHER INDEX

ICNF - INSTITUTO DA CONSERVAÇÃO DA NATUREZA E DAS FLORESTAS

INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA

IPMA - INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA

LACES - LOOKOUT, ANCHOR POINT, COMMUNICATION, ESCAPE ROUTES, SAFETY ZONE

MLC – MAXIMUM LIKELIHOOD CLASSIFIER

MSI- MULTISPECTRAL INSTRUMENT

NBR - NORMALIZED BURN RATIO

NDVI - NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX

PAC - POLÍTICA AGRÍCOLA COMUM

PMDFCI - PLANO MUNICIPAL DE DEFESA DA FLORESTA CONTRA INCÊNDIOS

SAVI - SOIL ADJUSTED VEGETATION INDEX

SGIF - SISTEMA DE GESTÃO DE INFORMAÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

SIG - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

SNAP- SENTINEL APPLICATION PLATFORM

RFC – RANDOM FOREST CLASSIFIER

TO - TEATRO DE OPERAÇÕES

U.F - UNIÃO DE FREGUESIAS

UE - UNIÃO EUROPEIA

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY

WGS- WORLD GEODETIC SYSTEM

Introdução

Na Europa Mediterrânea, os incêndios florestais representam uma crescente ameaça (Moreira et al., 2009). A problemática dos incêndios florestais causa preocupação em relação aos danos ambientais, sociais e económicos que produz. Os conceitos de incêndios florestais e incêndios rurais são utilizados em diversas obras. Em Portugal, o tipo de nomenclatura foi alterado no ano de 2017 com a Lei n.º 76/2017 de 17 de agosto, definindo-se incêndio rural como “incêndio florestal ou agrícola que decorre nos espaços rurais” (Lei n.º 76/2017, de 17 de agosto). Nesta lei consta também a definição de incêndio florestal, como subcategoria de um incêndio rural. No âmbito jurídico português, o incêndio florestal é um incêndio rural, mas nem todo o incêndio rural é classificado como florestal, pois depende da cobertura vegetal predominante ardida. No contexto científico internacional, a terminologia varia consoante o contexto geográfico, *forest fire* é mais comum na Europa, *wildfire* e *wildland fire* nos Estados Unidos da América, *bushfire* na Austrália e *veldfire* na África do Sul. Em Portugal, o termo mais utilizado em publicações científicas é o de incêndios florestais. Ambas as terminologias são válidas, e a sua utilização depende do contexto geográfico. Nesta investigação, optou-se pela utilização dos termos incêndios florestais e incêndios rurais, de forma a considerar simultaneamente a terminologia científica e a terminologia administrativa em vigor, garantindo concordância na análise.

Ainda que uma grande parte das comunidades rurais utilize tradicionalmente o fogo como uma ferramenta de gestão da paisagem, determinadas práticas podem estar associadas ao surgimento de incêndios de pequena dimensão e de baixa intensidade (Pais et al., 2020), embora o abandono das áreas agrícolas contribua para o aumento da acumulação de combustível favorecendo a propagação do fogo, a ocorrência de incêndios rurais resulta também de fatores de ignição de origem antrópica (Diaz et al., 2023).

O gradual abandono de áreas agrícolas moldou as áreas rurais montanhosas em diversas partes da Europa mediterrânea desde o século passado (Moreira et al., 2009). Isto deve-se a condicionantes de carácter socioeconómico e biofísico, tais como, a

existência de menos oportunidades de emprego que favoreceu o despovoamento, o envelhecimento da população (Pais et al., 2020), diminuição da complementaridade entre agricultura e floresta, e a desvalorização económica dos produtos agrícolas e florestais.

Portugal passou nas últimas décadas por diversas alterações no uso e cobertura do solo (Gonçalves et al., 2010) que modificaram substancialmente a paisagem e que também têm afetado o regime do fogo (Folharini et al., 2018). O incremento da disponibilidade de combustível, tanto nas florestas como nas áreas de matos, especialmente em condições de temperaturas mais elevadas e de secas mais intensas e longas, juntamente com um aumento significativo do número de ignições de incêndios, tem resultado em alterações no regime do fogo (Pais et al., 2020).

A abordagem dos incêndios rurais centra-se maioritariamente em medidas que visam a supressão (Diaz et al., 2023). Apesar do elevado investimento no combate de incêndios, a cadência de eventos extremos no regime do fogo tem aumentado nas últimas décadas. A abordagem da supressão de incêndios rurais, em detrimento da realização de uma estratégia focada na gestão integrada do território, tem contribuído para uma maior acumulação de combustível que quando combinada com secas e temperaturas extremas, favorece a ocorrência de incêndios de grandes proporções e mais severos (Pais et al., 2020).

A partir de 2017 observa-se uma mudança significativa no paradigma, verifica-se um investimento contínuo na prevenção e gestão do território. No ano de 2017, apenas cerca de 20% do capital (28 milhões de euros) e recursos estava alocado à prevenção, mas desde esse ano que o valor aumentou significativamente. Em 2024 cerca de 55% do investimento total (354 milhões de euros) foi destinado a medidas preventivas (AGIF, 2024).

Ao longo das últimas décadas o paradigma apenas se concentrou no combate dos incêndios florestais, deixando de lado a importância e o impacto das áreas agrícolas na supressão dos incêndios, permanecendo no esquecimento, apresentando-se como uma enorme lacuna. A princípio parece lógico e de carácter simples que as áreas

agrícolas possuem um impacto bastante significativo no desenvolvimento de um incêndio, seja este positivo ou negativo. É fundamental compreender como é que as áreas agrícolas impactam na gestão conjunta entre o uso do fogo e as políticas de ordenamento do território, e entender como podem contribuir positivamente para o combate aos incêndios. Pode questionar se deveriam ser elaboradas políticas especializadas para as áreas agrícolas localizadas em regiões onde se verifique um mosaico de paisagem agrícolas, para tal é necessário elaborar uma investigação robusta capaz de responder a este tipo de incongruências.

Dado que o tema abordado desponha uma infinidade de caminhos que podem ser tomados, esta investigação procura compreender em que medida a gestão e planeamento das áreas agrícolas podem contribuir para a prevenção e ancorar o combate aos incêndios rurais. Foram identificados três objetivos principais:

- Compreender o contributo das áreas agrícolas na redução da ocorrência de incêndios rurais;
- Compreender o contributo das áreas agrícolas no comportamento do fogo
- Compreender como as áreas agrícolas podem apoiar o combate aos incêndios melhorando a eficácia das estratégias adotadas.

A presente investigação incide sobre um estudo de caso localizado no município de Mogadouro. Trata-se do incêndio ocorrido a 24 de agosto de 2023 que afetou significativamente o território e motivou a análise do papel das áreas agrícolas na redução das ocorrências, no comportamento do fogo e no apoio às estratégias de combate.

Para além da introdução esta dissertação está organizada em cinco capítulos e uma conclusão. Na introdução são apresentados os objetivos e o contexto do tema a desenvolver. No primeiro capítulo apresentamos a área de estudo e descreve-se a metodologia utilizada na investigação incluindo as fontes de dados secundários e primários, o trabalho de campo e as técnicas de análise utilizadas. São descritos os

procedimentos de pré-processamento e processamento das imagens de satélite, bem como a aplicação de diferentes índices de vegetação, severidade do fogo e dos métodos de classificação utilizados, e como estes foram analisados.

No segundo capítulo é apresentado o suporte teórico sobre a importância das áreas agrícolas na prevenção e no combate dos incêndios rurais, enfatizando o papel da ocupação do solo agrícola, nomeadamente enquanto pontos de ancoragem no combate ao incêndio. No terceiro capítulo é feita a caracterização dos aspetos demográficos, socioeconómicos, climáticos e geofísicos, incluindo a ocupação do solo do município de Mogadouro. Também é apresentada uma breve análise do regime do fogo do município. No quarto capítulo é, primeiramente, feita uma descrição do incêndio do dia 24 de agosto de 2023 e de seguida, a análise do impacto das áreas agrícolas com recurso a ferramentas de detecção remota. Neste capítulo é ainda desenvolvido o pré-processamento e processamento dos dados, a aplicação dos índices de vegetação e de severidade do fogo, bem como a classificação do uso e ocupação do solo através dos métodos utilizados. O capítulo inclui uma comparação e discussão dos resultados obtidos pelos métodos de classificação.

No quinto e último capítulo é abordado o impacto das áreas agrícolas no incêndio que foi utilizado como caso de estudo, sendo analisadas as ilhas não ardidas, a severidade por tipologia de ocupação do solo e a caracterização do perímetro ardido/não ardido. Por fim, na conclusão, apresentam-se as principais conclusões do estudo procurando responder, da melhor forma possível, às questões de investigação, identificando as limitações da presente investigação e indicando perspetivas para investigações futuras.

1. Metodologia

1.1. Área de estudo

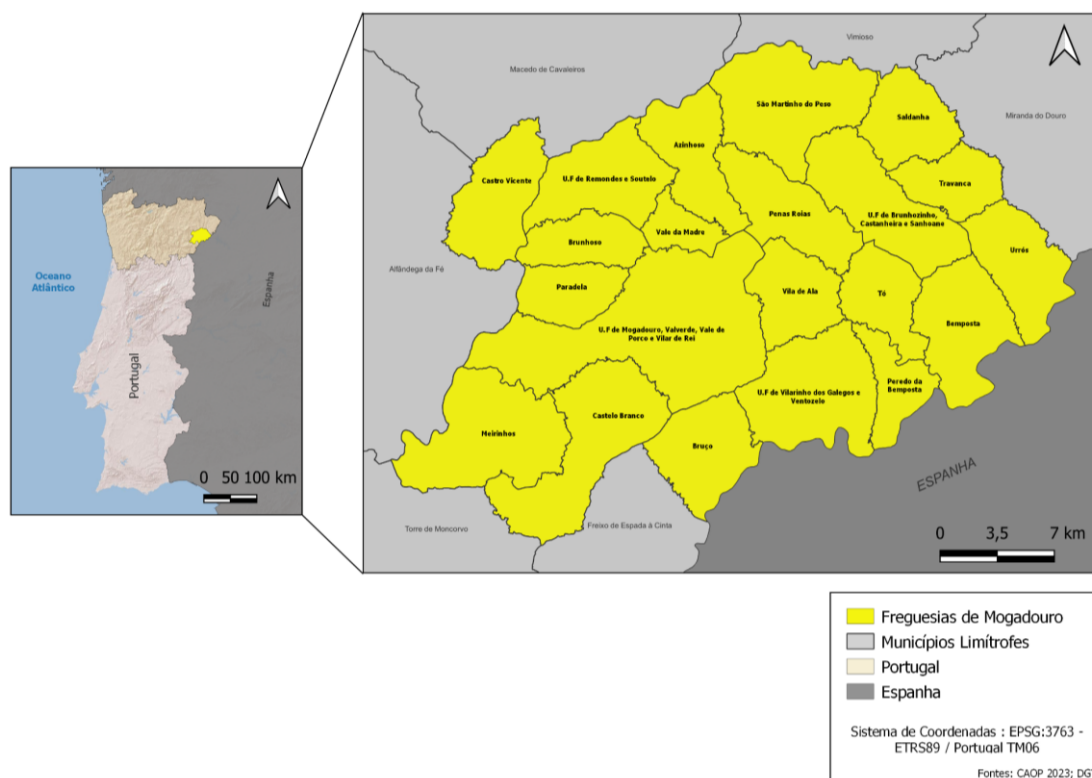
O estudo de caso é o incêndio do dia 24 de agosto de 2023 que afetou o município de Mogadouro localizado no nordeste de Portugal, no distrito de Bragança (Figura 1). Possui uma extensão de aproximadamente 760,6 km², subdividido

administrativamente em 21 freguesias. Está integrado na Comunidade Intermunicipal das Terras de Trás-os-Montes da região do Norte do país.

Os municípios limítrofes são Freixo de Espada à Cinta, Torre de Moncorvo, Alfândega da Fé, Macedo de Cavaleiros, Vimioso e Miranda do Douro. O rio Douro é o principal curso de água na região, e do município, delimitando a fronteira natural entre Portugal e Espanha. Existem ainda outros dois cursos de água com uma notória importância, o Rio Sabor e o Rio de Maçãs (Figura 9).

No distrito de Bragança existem duas zonas distintas caracterizadas pelas suas paisagens, clima e ocupação do solo. Na parte Norte do distrito localiza-se a “Terra Fria”, que se caracteriza pelo relevo mais acidentado, popularmente conhecida como “planalto transmontano” onde está inserido o município de Mogadouro, onde os invernos são longos e rigorosos. Na parte sul do distrito localiza-se a “Terra Quente”, que apresenta declives suaves, clima mais seco e quente, com verões quentes e invernos menos rigorosos.

Figura 1- Localização e divisão administrativa do município de Mogadouro



Fonte: Elaboração própria

1.2. Revisão da literatura

As áreas agrícolas possuem um papel importante na prevenção e no combate aos incêndios rurais em Portugal. Literatura científica refere que o abandono progressivo das atividades agrícolas e pastorícias tem produzido o aumento de carga e da continuidade de combustíveis, criando paisagens pouco diversificadas e, consequentemente, vulneráveis à propagação do fogo (OpenAI, 2025). A manutenção de mosaicos de paisagem agrícolas geridos, introduz descontinuidades na vegetação que reduzem a progressão dos incêndios. Este tipo de agricultura, quando bem gerida, funciona como uma barreira natural onde é possível obter janelas de oportunidade para as operações de combate ao incêndio. A eficácia da agricultura ativa depende da continuidade da sua gestão, uma vez que na ausência da mesma, os efeitos podem ser muito negativos, aumentando o desenvolvimento do incêndio. Em situações meteorológicas extremas, estas áreas podem não ser suficientes para diminuir a propagação do fogo. A integração deste tipo de práticas agrícolas nas políticas locais de ordenamento do território será fundamental.

1.3. Recolha de dados

1.3.1. Dados secundários

1.3.1.1. Dados sobre incêndios rurais

Os dados relativos aos incêndios rurais abrangem registos históricos de ocorrências de incêndio no período de 2001 a 2023, informação sobre a área ardida de 1980 a 2023, a proporção de superfície ardida de 2001 a 2023, a classificação por classes de dimensão no mesmo intervalo temporal, bem como a tipologia de causas dos incêndios. Foram integrados índices meteorológicos de perigo de incêndio referentes ao dia 24 de agosto de 2023. Todos estes dados foram obtidos através de bases de dados oficiais, nomeadamente o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) e Instituto Nacional de Estatística (INE).

É de extrema importância ressaltar que a análise dos incêndios foi bastante condicionada pela qualidade dos dados disponíveis. Ao longo do estudo foram identificadas várias lacunas nos dados disponibilizados pelo ICNF no município de Mogadouro. A área ardida disponibilizada pelo ICNF (https://geocatalogo.icnf.pt/catalogo_tema5.html) é um exemplo claro em que os dados se encontram desfasados com a própria base estatística do ICNF (<https://shre.ink/icnf>) que contém informação detalhada sobre cada ocorrência com ignição no município. Foram observados vários tipos de erros. Por um lado, verificou-se que há anos (1980; 1982; 1983; 1984; 1985; 1988; 1989; 1990; 1993;) em que a base estatística não regista qualquer ocorrência, mas nesse mesmo ano foi registada área ardida (dados em formato vetorial). Verificou-se também que em alguns anos a área total ardida em formato vetorial, não coincide com a área total ardida disponível na base estatística do ICNF. Este problema parece ter sido resolvido a partir dos anos 2000.

Quanto à localização geográfica das ocorrências, também foram identificadas discrepâncias de informação, apesar de na página web da base estatística onde consta a informação detalhada de cada incêndio rural ser referido que as ocorrências de 1980 a 2000 não possuem coordenadas X e Y, esta informação existe, mas encontra-se frequentemente incorreta. As ocorrências registadas no período de dados de 1980 a 2000 possuem coordenadas X e Y, sendo que grande parte das coordenadas repetem-se em diferentes ocorrências, originando uma sobreposição de pontos que não permitem a elaboração de cartografia de acordo com o real ponto de ignição de cada ocorrência. No conjunto de dados 2001 a 2023 seria de esperar que não existisse qualquer problema com as coordenadas X e Y (World Geodetic System (WGS) 84) tal como é descrito no site do ICNF. Através da representação cartográfica verificou-se que os dados não se encontram totalmente corretos, uma vez que as coordenadas de cada ocorrência se encontram incorretas, grande parte repetidas, promovendo a sobreposição de dados, proporcionando uma análise errada da historicidade dos incêndios, caso este erro não seja devidamente identificado. Na análise do regime do fogo foram abordados ambos os períodos de dados, no sentido de proporcionar

robustez na qualidade da investigação, sendo o período de 2001 a 2023 analisado com mais detalhe, devido à melhor qualidade dos dados disponíveis.

A caracterização deste tema encontra-se estritamente condicionada pela disponibilidade e qualidade dos dados, como tal, salientamos que um dos dados mais utilizados em todo o tipo de análise de incêndios em Portugal apresenta lacunas. Os valores de área ardida disponíveis no site do ICNF encontram-se bastante desfasados com os dados da própria base de dados estatística do ICNF (nesta base de dados não são registados valores de área ardida referentes a incêndios com origem fora do município), como tal foram utilizados os dados de ambas as fontes, a fim de identificar as lacunas de ambas as partes para melhorar o conhecimento do regime do fogo neste município. A elaboração da cartografia relacionada com as áreas ardidas teve como base os dados do geocatálogo do ICNF, sendo que o período em análise foi de 1980 a 2023. Em relação às ocorrências, os dados utilizados são provenientes da base estatística do ICNF/SGIF, que possui informação detalhada sobre cada ocorrência com início no município. Sendo um bom exemplo a Figura 17 que não se encontra totalmente correta, uma vez que, as coordenadas de 2001 a 2023 de cada ocorrência se encontram incorretas, grande parte são repetidas e os dados sobrepõem-se.

1.3.1.2. Dados biofísicos

Os dados biofísicos utilizados na investigação, compreendem um conjunto de variáveis relacionadas com as características físicas e ambientais da área de estudo, incluindo a rede hidrográfica, clima de 1971 a 2010, hipsometria, uso e ocupação do solo de 1995 a 2018, superfície agrícola utilizada de 1989 a 2019, dimensão média das explorações agrícolas no mesmo intervalo temporal, bem como o tipo de culturas permanentes e temporárias e a rede viária no ano de 2024. Estes elementos foram obtidos através das entidades da Direção-Geral do Território (DGT), INE, Centro de Informação Geoespacial do Exército (CIGeoE) e Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).

1.3.1.3. Dados socioeconómicos e demográficos

Estes dados correspondem à informação estatística sobre a população, tais como população residente entre 1960 e 2021, densidade populacional no ano de 2021,

atividade económica entre o período de 1960 a 2021, mão de obra agrícola de 1989 a 2021 e taxa de variação da população residente de 2011 a 2021. Estes indicadores, obtidos maioritariamente através do (INE), permitiram caracterizar a dinâmica territorial e socioeconómica da área de estudo.

1.3.2. Dados primários

1.3.2.1. Trabalho de campo

O trabalho de campo consistiu em observações diretas das áreas em análise, com recolha de registos fotográficos, coordenadas geográficas e notas sobre a tipologia de vegetação, uso e ocupação do solo. Esta abordagem permitiu validar os dados secundários e a cartografia produzida, ajustando a análise espacial à realidade observada no terreno.

Foram também realizadas entrevistas semiestruturadas a uma equipa de sapadores florestais que esteve presente no teatro de operações do incêndio. Isto permitiu recolher informações qualitativas sobre a ocorrência, práticas de combate a incêndios, e perceções do risco. Este procedimento contribuiu para enriquecer a investigação, proporcionando uma perspetiva mais contextualizada da realidade e das dificuldades.

1.4. Métodos e técnicas de análise

1.4.1. Imagens de satélite

1.4.1.1. Pré processamento e processamento das imagens de satélite e produção da cartografia de ocupação do solo

Para a elaboração da cartografia com recurso à detecção remota foi necessário extrair dados da coleção Copernicus Sentinel-2, 1 MultiSpectral Instrument (MSI) Level-2A (L2A), uma vez que este tipo de imagens já possui correção atmosférica. Estes dados são compostos por duas imagens, sendo uma pré-incêndio (22/08/2023) e a outra pós-incêndio (01/09/2023). As imagens multiespectrais possuem uma resolução espacial

que varia entre os 10 e os 60 metros, dependendo das bandas utilizadas, uma vez que o Sentinel-2 é composto por 13 bandas espectrais (12 bits). A seleção das imagens teve como princípio fundamental a qualidade dos dados, priorizando-se as imagens com a menor cobertura de nuvens possível a fim de garantir uma análise detalhada da informação, ambas as imagens possuem uma cobertura máxima de 10%.

A utilização dos dados de nível 2A (L2A) desempenha um papel fundamental no processo de produção dos resultados. Este tipos de dados já vêm pré-processados, incluindo as correções atmosféricas e geométricas, não sendo necessário realizar qualquer tipo de tarefa de pré-processamento, uma vez que a reflectância da superfície da terra já se encontra estimada. Este passo permitiu um maior foco no processamento dos dados, recorrendo ao software SNAP (Sentinel Application Platform).

As imagens utilizadas cobrem integralmente o perímetro do incêndio do dia 24 de agosto de 2023 e não abrangem totalmente o município de Mogadouro uma vez que as restantes imagens disponíveis não apresentavam condições de nebulosidade suficientemente baixa para serem utilizadas na investigação. As imagens pós-incêndio disponíveis com um nível de nebulosidade aceitável encontravam-se significativamente afastadas da data do incêndio. Sendo um dos objetivos da investigação a recolha de dados o mais próximo possível da ocorrência, de modo a não comprometer a qualidade dos resultados, foram utilizadas as imagens com a data mais próxima ao evento. A área de estudo da ocorrência do dia 24 de agosto de 2023 encontra-se totalmente dentro das imagens selecionadas, não sofrendo qualquer tipo de impacto com o problema descrito anteriormente.

Na realização do processo de classificação de imagens, foram selecionados dois algoritmos de classificação supervisionada, em função dos objetivos da investigação e da literatura consultada, por se revelarem adequados à categorização das diferentes classes de ocupação do solo, sendo eles o Maximum Likelihood Classifier (MLC) (Duda, Hart e Stork, 2001) e Random Forest Classifier (RFC) (Breiman, 2001). Para executar estes algoritmos foi necessário criar diversas amostras de cada classe espalhadas por todo o município, consideradas como áreas de treino, tendo como base produtos

cartográficos confiáveis (Carta de ocupação do solo (COS) 2018 e Carta de Ocupação do Solo Conjuntural (COSc) 2023). A COS e a COSc são cartografias de referência a nível nacional e foram utilizadas como o input inicial para a realização da respetiva comparação/confrontação dos resultados obtidos, entre os dois produtos cartográficos elaborados. No total foram criadas sete classes, sendo estas: *Florestas, Matos, Superfícies sem vegetação, Água, Áreas agrícolas, Áreas artificializadas e Área afetada*. A classe da área afetada apenas aparece na cartografia do pós-incêndio. A fim de obter um resultado mais pormenorizado foram utilizadas as bandas com a maior resolução espacial (B2, B3, B4 e B8) de 10 metros. Os resultados foram gerados através de mapas temáticos que representam as diferentes classes de ocupação do solo na área de estudo. Estes resultados de classificação foram convertidos em mapas temáticos, utilizando sistemas de informações geográficas para a visualização e análise espacial dos mesmos (SNAP e QGIS). A validação e precisão dos resultados foi avaliada comparando os resultados com dados recolhidos no campo e dois produtos cartográficos de referência (COS 2018 e COSc 2023). Foram selecionados aleatoriamente seis locais distintos no município de Mogadouro e os resultados obtidos com os modelos MLC e RFC foram comparados com a COS 2018 e com a COSc 2023 pré-verão e pós-verão.

De forma a complementar os principais objetivos desta investigação, foram elaborados os índices: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) e Normalized Burn Ratio (NBR) que permitem uma análise mais pormenorizada do tema em questão.

1.4.2. Normalized difference vegetation Index (NDVI)

O NDVI (Rouse et al., 1974) é um dos índices de vegetação mais utilizados no âmbito da monitorização agrícola e análises de mudanças na ocupação do solo para quantificar a vitalidade e a densidade da vegetação. Nesta investigação, este índice foi utilizado para observar as dinâmicas da vegetação no pré-incêndio no dia 22/08/2023 e no pós-incêndio dia 01/09/2023. O cálculo do NDVI é feito com base na seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

O NIR e Red representam, respetivamente, a reflectância de superfície da banda do infravermelho próximo (NIR) e da banda do vermelho (Red). O NDVI assume valores entre -1 e +1, em que a vegetação densa e saudável apresenta valores mais elevados (próximos de 1 e geralmente, superiores a 0,2), as áreas sem vegetação (solo exposto) assumem valores mais baixos (inferiores a 0,2). Este índice tem ainda a vantagem de minimizar diversos efeitos, como variações na irradiância direta/difusa, condições atmosféricas, topografia e atenuação atmosférica (Teodoro et al., 2019).

1.4.3. Soil adjusted vegetation Index (SAVI)

O índice SAVI (Huete, 1988) tem como fundamento de utilização a influência do brilho do solo devido ao município possuir vastas áreas que não possuem cobertura vegetal (áreas agrícolas aradas e solo exposto). O seu objetivo é avaliar a densidade e a vitalidade da vegetação (OpenAI, 2025). Este índice, perante as características descritas anteriormente, consegue obter melhores resultados do que o NDVI, pois permite ir além das suas limitações. A sua fórmula consiste em:

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red} + L)) \times (1 + L)$$

Neste índice a variável L é um fator de correção para minimizar a influência do solo (habitualmente L = 0,5).

1.4.4. Normalized burn ratio (NBR)

O NBR (Key & Benson, 2006) foi utilizado de forma a destacar e quantificar a área queimada, indexando a severidade do incêndio através das imagens de satélite. Nesse sentido foi calculado a diferença entre o NBR pré-incêndio e pós-incêndio (dNBR) para determinar de forma mais detalhada a severidade da ocorrência, como tal, foi exportada a área consumida pelo incêndio e quantificada com base nos valores propostos pela United States Geological Survey (USGS). A sua fórmula consiste em:

$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

$$\text{dNBR} = \text{NBR}_{\text{pré-incêndio}} - \text{NBR}_{\text{pós-incêndio}}$$

O SWIR corresponde à reflectância no infravermelho de ondas curtas (OpenAI, 2025).

1.4.5. Maximum likelihood classifier

O Maximum Likelihood (MLC) sustenta-se na teoria bayesiana, presumindo que os dados de cada classe seguem uma distribuição normal multivariada, para cada uma das classes de referência consideradas, as estatísticas das classes são obtidas a partir dos dados de treino (Foody et al., 1992). Este algoritmo calcula a probabilidade que um pixel tem de pertencer a cada classe e este é atribuído à classe com a maior probabilidade. O MLC caracteriza-se pela sua capacidade de apresentar valores confiáveis quando as classes possuem distribuições gaussianas distintas, embora este algoritmo seja sensível à qualidade das amostras de treino o que pode impactar o produto final.

1.4.6. Random forest classifier

O algoritmo Random Forest Classifier (RFC) consiste numa combinação de classificadores em formato de árvore de decisão, em que cada classificador é gerado a partir de um vetor aleatório, amostrado de forma independente a partir do vetor de entrada, e cada árvore atribui um voto unitário para a classe mais popular para classificar um vetor de entrada (Pal, 2005). Este algoritmo recorre a técnicas de aprendizagem de *bagging*, *boosting* e *stacking*, e o resultado final é proveniente dos resultados ponderados gerados pelos modelos combinados. Este algoritmo destaca-se pela sua capacidade de lidar com grande volume de dados, sem degradação do desempenho, graças aos métodos de aprendizagem por conjunto de decisão. Uma vez que a previsão final resulta da média de vários modelos, o RFC é mais robusto a valores extremos e produz resultados precisos. Por sua vez, o RFC não consegue prever valores além do intervalo de características presente nas amostras de treino.

1.4.7. Análise estatística e espacial

Com o intuito de realizar uma análise gráfica através de um método espacial, foi necessário recorrer a processos que foram viabilizados através de softwares SIG, como o ArcGIS (ArcMap) e QGIS ferramentas fundamentais na elaboração de cartografia. Com os dados estatísticos disponíveis, realizamos uma análise estatística descritiva e posteriormente uma representação gráfica de alguns resultados obtidos, simplificando assim toda a informação. Para o efeito, foi utilizada a ferramenta Microsoft Excel.

2. Importância das áreas agrícolas na prevenção e combate dos incêndios

2.1.O uso do solo agrícola e a prevenção dos incêndios

No contexto dos incêndios rurais na Europa, considera-se que a agricultura esteja intrinsecamente relacionada com este tema, sendo ainda das principais causas de ignição de incêndios. Além disso, o êxodo rural exacerbou o abandono das terras agrícolas e a falta de políticas de promoção de reflorestação aumentam a probabilidade de ocorrência de incêndios, promovendo o crescimento espontâneo da vegetação e a acumulação contínua de combustível (Moreira, 2018).

Várias práticas do tratamento de combustíveis (desde as queimadas controladas, desbaste florestal e corte raso) para reduzir a quantidade dos mesmos, têm vindo a ser implementadas (Pais et al., 2020). A utilização do fogo controlado é cada vez mais comum, sendo uma ferramenta eficaz para aumentar a fertilidade do solo, alterar a estrutura e composição da vegetação e limpar a biomassa lenhosa indesejada (Bertomeu et al., 2022).

A agricultura possui características específicas que fazem parte da solução para a prevenção dos incêndios, as áreas agrícolas com culturas de árvores de fruto (irrigadas ou não irrigadas) e pastagens, são muito menos propícias à ocorrência de incêndios (Moreira, 2018).

Na região de Trás-os-Montes, os mosaicos paisagísticos têm-se alterado cada vez mais. São visíveis cada vez mais mudanças na interface da ocupação do solo agrícola e

florestal, acabando por coexistirem no mesmo espaço as áreas florestais, áreas agrícolas e áreas agroflorestais. Os mosaicos agroflorestais que são compostos por uma mistura de diferentes tipos de ocupação do solo, são considerados menos propensos ao fogo do que as florestas (Bertomeu et al., 2022).

Para Moreira et al. (2018), *“Common Agricultural Policy [CAP] should promote agricultural use in the wildland urban interface, mainly around villages in remote areas where the historical surrounding agricultural area has been lost, resulting in vegetation succession and an increased risk of economic damage and loss of human lives, as fires enter villages.”* (p.1001).

2.2.Contribuição da agricultura no combate aos incêndios

As áreas agrícolas dispõem de características únicas que utilizadas de forma adequada e em concordância com políticas de carácter preventivo de combate aos incêndios rurais, podem apresentar resultados bastante satisfatórios. A política agrícola europeia poderia adaptar as diretrizes da supressão dos incêndios, com soluções que integrassem de forma ativa a natureza. As paisagens onde se verifiquem mosaicos multifuncionais e resistentes ao fogo, podem estabelecer uma ligação entre os recursos naturais e cultivados, que reduzem a intensidade do fogo e dos danos posteriores à passagem de um incêndio (Moreira, 2018).

Um dos projetos que possui resultados extremamente satisfatórios é o de Bertomeu et al. (2022), na serra da Gata, Espanha, que se baseia em atividades agrícolas e também florestais (áreas de pastagem, plantações, colheitas de produtos florestais) implementadas pelos próprios agricultores residentes tendo por base o planeamento e das ideias do autor Fernando Pulido (mentor do projeto), que funcionarão como faixas de gestão de combustível produtivas no contexto económico, reduzindo o risco de incêndio. Segundo o mesmo autor, as interrupções de manchas contínuas de uma determinada espécie, cultura e pastagens interrompem a continuidade de combustíveis perigosos, proporcionando locais seguros para a supressão dos incêndios. Foram utilizadas simulações do comportamento do fogo, de forma a

comparar os cenários antes e depois do projeto. Os resultados demonstram uma melhoria na capacidade da extinção dos incêndios, uma vez que as interrupções reduziram significativamente a extensão das chamas e a velocidade de propagação, facilitando e criando oportunidades de combate em caso de incêndios. Neste mesmo estudo, foi considerado que a eficácia da agricultura e das áreas de pastagens, dependem do tipo de combustível, considerando que plantações, árvores de fruto (chama alta, propagação ligeiramente mais lenta) possuem características diferentes da vegetação herbácea das áreas de pecuária (chama baixa, combustível fino que quando está seco apresenta alto teor de propagação). O tipo de espécies plantadas e a maneira como se cultivam, são os fatores principais que definem o tipo de impacto da agricultura. Culturas permanentes, como por exemplo: vinha, castanheiro, amendoeira, oliveira, quando irrigadas ou aradas e inseridas num mosaico de paisagem agrícola, servem como “barreiras” naturais que criam descontinuidades de combustível.

Este projeto é um caso prático que demonstra a eficácia na mitigação do risco de incêndios, promovendo a criação de mosaicos produtivos. O estudo recomenda abordagens colaborativas comunitárias de gestão do território, combinando a diversificação do uso do solo na prevenção de incêndios florestais (OpenAI, 2025).

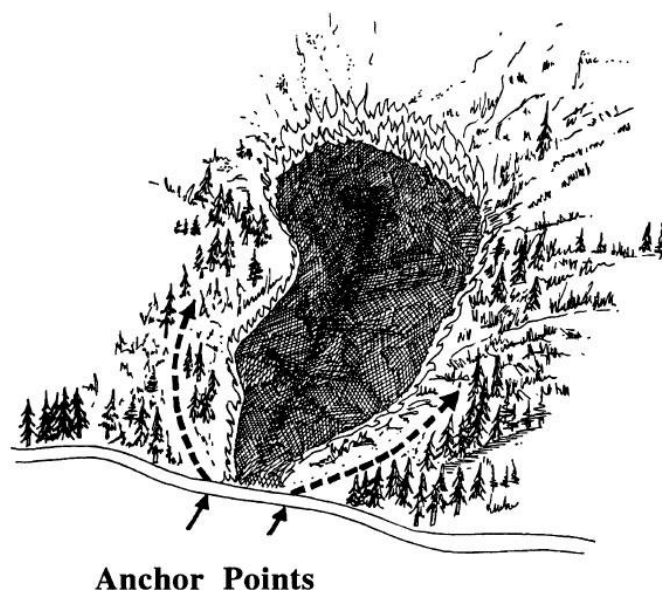
2.2.1. Pontos de ancoragem

Sendo os pontos de ancoragem um fundamento básico do conceito LACES (*Lookouts, Awareness, Communications, Escape Routes, Safety Zones*) é essencial que quando se procede ao combate de um incêndio este princípio esteja presente na consciência de quem os combate e que existam pontos de ancoragem no terreno. Estes pontos baseiam-se em locais seguros, que em hipótese alguma irão ser consumidos pelas chamas no caso de o incêndio mudar de direção e surpreender as equipas de combate (Figura 2).

“An anchor point serves as a barrier to fire spread and is employed as a starting point to begin fire suppression work in order to minimize the chance of being outflanked by

a fire while line is being systematically constructed, thereby decreasing the likelihood of being entrapped or burned-over by a spreading wildfire”(Alexander et al., 2015, p. 121).

Figura 2 - Exemplo de um ponto de ancoragem



Fonte: National Wildfires Coordinating Group

Neste contexto, a presença de áreas agrícolas é imprescindível, pois estas podem apresentar segurança para que a realização da supressão do incêndio seja iniciada e terminada com sucesso. As parcelas agrícolas cultivadas com plantações (em que a terra esteja arada, ou, irrigada) e hortícolas são recursos valiosos para iniciar um combate seguro, uma vez que estas parcelas em regra geral possuem acessos. Estes acessos, podem também servir como pontos de ancoragem e permitir às equipas presentes no teatro de operações obter uma maior janela de oportunidade de ataque às frentes de incêndio. A integração de discontinuidades no combustível com recurso a parcelas agrícolas cultivadas de acordo com o tipo de agricultura e das espécies plantadas, seria uma forma natural de obter resultados favoráveis à segurança dos operacionais, viabilizando um baixo custo na prevenção dos incêndios e uma excelente ferramenta na supressão dos mesmos.

“In most cases where natural fuel types prevail there will be breaks in the fuel continuity by roads, agricultural land, or streams. These are excellent breaks from which to make a stand against the fire and should be used where possible”. (NWCG, 1996, p.319).

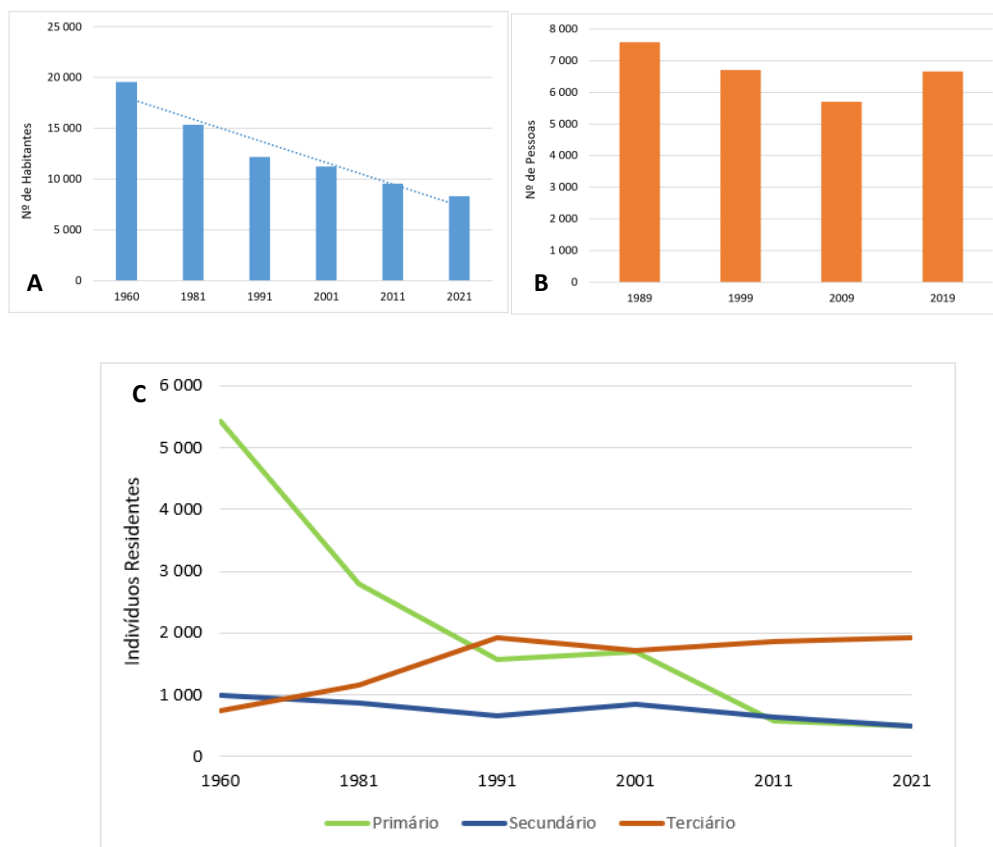
3. Caracterização da área de estudo - município de Mogadouro

3.1.Aspetos demográficos e socioeconômicos

A população residente expressa uma tendência clara de decréscimo desde 1960 (Figura 3 A). Nesse ano Mogadouro possuía 19 571 habitantes, mas em 2021 só foram contabilizados 8 301 residentes o que representa um elevado decréscimo de 56%. A redução de mais de metade da população em apenas 61 anos, representa uma perda de mão-de-obra, envelhecimento da população e uma quebra na taxa de natalidade, comprometendo a vitalidade da economia do município a longo prazo.

A evolução da população ativa por setores de atividade em Mogadouro revela uma mudança na estrutura económica e social do município ao longo dos anos, com uma diminuição na dependência do setor primário (17% em 2021) e secundário (16,6% em 2021) e uma tendência de aumento no setor dos serviços (66,4% em 2021) (Figura 3 C). De 1981 a 2021, houve uma queda acentuada no número de pessoas empregadas no setor primário atingindo o valor mais baixo em 2021 (493 indivíduos, 17%). Esta tendência poderá resultar da mecanização da agricultura, pela tendência do êxodo rural, que tem como consequência o abandono das propriedades agrícolas, ao longo das décadas no município, tendência que se verifica um pouco por todo o distrito de Bragança. Todavia, a análise dos dados dos Recenseamentos Agrícolas evidenciam um comportamento diferente. Se a mão-de-obra agrícola, apresenta também uma tendência de decréscimo até ao ano de 2009, em 2019 (6 652) registou um crescimento aproximando-se do valor verificado em 1999 (6 710) (Figura 3 B).

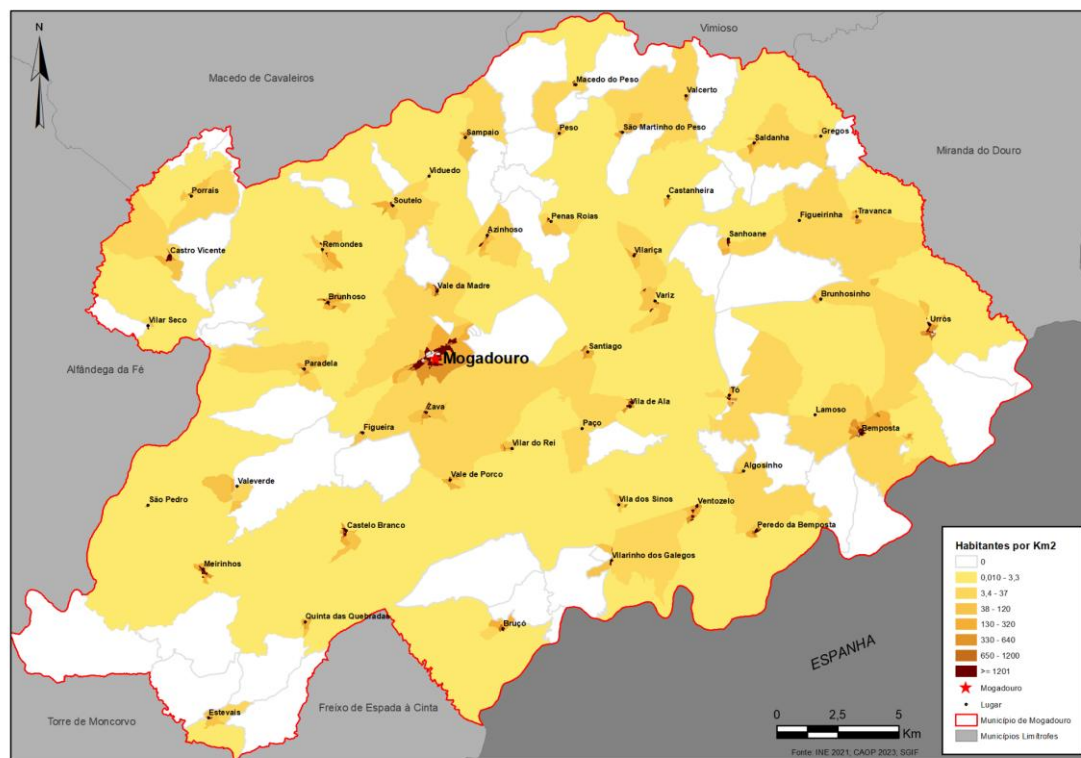
Figura 3 - A) Evolução da população residente no município de Mogadouro, 1960-2021.; B) Evolução da mão de obra agrícola no município de Mogadouro, 1989-2019.; C) População empregada por setor de atividade económica no município de Mogadouro, 1960-2021



Fonte: Recenseamento da População, 1960-2021. Recenseamentos Agrícolas, 1960-2021, INE

A distribuição da população no município de Mogadouro é bastante concentrada, sendo a sede do município o principal núcleo urbano. Verificam-se ainda pequenos núcleos urbanos na zona este do município de Mogadouro, sendo a proximidade ao país vizinho (Espanha) o principal fator explicativo para este fenómeno (Figura 4).

Figura 4 - Densidade populacional do município de Mogadouro por subsecção



Fonte: Recenseamento da População, 2021, INE

Através de uma análise mais pormenorizada à escala da freguesia, são claramente visíveis as mudanças em relação à variação da população entre o período de 2011-2021. Apenas duas freguesias apresentaram valores positivos, nomeadamente: União de Freguesias de Vilarinho dos Galegos e Ventozelo (6,25%) e a freguesia de Vale da Madre (5,77%) (Anexo A.3). Através dos dados analisados, estes revelam que uma parte significativa do concelho se encontra num processo muito acelerado de redução populacional.

3.2. Caracterização climática e geofísica

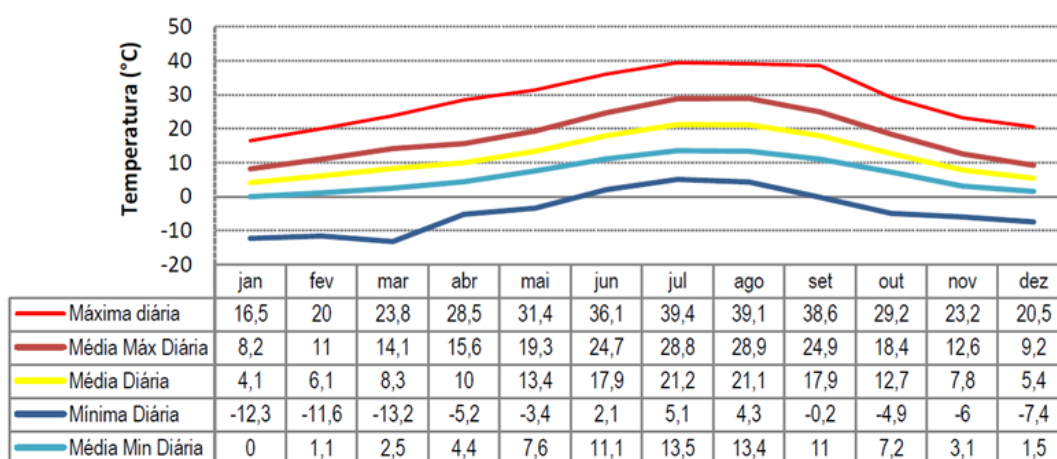
3.2.1. Clima

Não existe uma estação meteorológica no município, pelo que a caracterização climática é feita com base na informação proveniente da estação meteorológica de Miranda do Douro (1971-2010).

O clima em Mogadouro caracteriza-se como mediterrânico, com influência continental. Os meses de verão são quentes e secos e o inverno é bastante rigoroso, com precipitação moderada, sendo frequentes temperaturas negativas (PMDFCI, 2021).

Os valores da temperatura média diária variam bastante, entre os 4,1°C de janeiro e os 21,2°C de agosto. A temperatura média mínima diária mais baixa ocorre em janeiro (0°C) e fevereiro (1,1°C) embora se registem ao longo dos meses de inverno valores mais negativos das mínimas diárias, -11,6°C (fevereiro), -12,3°C (janeiro), -13,2°C (março) (Figura 5). É de realçar que apenas nos meses de junho, julho e agosto não ocorrem temperaturas mínimas negativas. Os valores das temperaturas máximas diárias mais elevados verificam-se nos meses de julho (28,8°C), agosto (28,9°C) e setembro (24,9°C), são também nestes meses que se registaram os valores máximos de temperatura: julho (39,4°C), agosto (39,1°C) e setembro (38,6°C) (PMDFCI, 2021).

Figura 5 - Valores médios mensais da temperatura mínima, média e máxima



Fonte: Normais climatológicas da Estação Meteorológica de Miranda do Douro, 1971-2000.
PMDFCI, 2021

Em relação aos dados entre 1981 – 2010 (Tabela 1) verifica-se uma amplitude térmica média que varia entre os 4,3°C e os 21,9°C e uma temperatura média anual de 12,5 °C, sendo o mês de julho o que possui uma temperatura média diária mais elevada (21,9°C), bem como a temperatura máxima diária (29,8°C). Acerca da temperatura mínima média anual, esta ronda os 6,5 °C, com julho a registar a maior média (13,9 °C) e o mês de janeiro a menor (0,1 °C).

Tabela 1 - Valores médios mensais da temperatura mínima, média e máxima. Número médio de dias com temperatura máxima e mínima. Valores máximos da temperatura

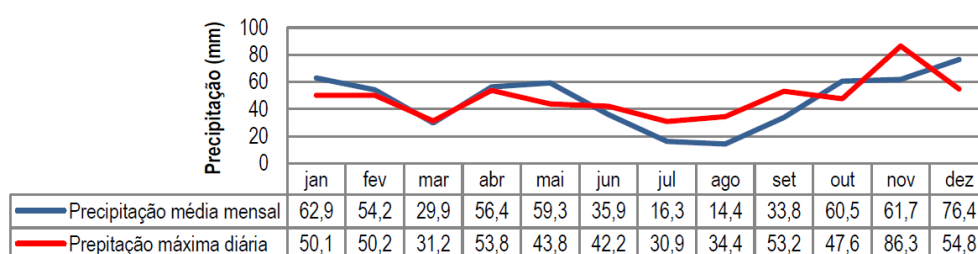
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
TT [°C]	4.3	5.8	8.8	10.4	14.0	18.8	21.9	21.6	18.2	13.1	8.0	5.2	12.5
TX [°C]	8.5	11.1	14.9	16.2	20.2	26.1	29.8	29.5	25.3	18.7	12.6	9.3	18.5
TN [°C]	0.1	0.6	2.8	4.6	7.7	11.5	13.9	13.8	11.1	7.5	3.5	1.1	6.5
Número de dias [dias]													
TX ≥ 25 °C	0.0	0.0	0.0	1.0	5.9	18.5	26.8	27.0	16.9	2.4	0.0	0.1	98.7
TX ≥ 30 °C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	7.7	16.3	14.8	5.5	0.0	0.0	0.1	45.5
TX ≥ 35 °C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	3.5	2.9	0.4	0.0	0.0	0.1	7.8
TN ≥ 20 °C	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	1.3
TN < 0 °C	16.5	12.4	6.0	2.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	6.7	12.7	57.4
Extremos da Temperatura do ar [°C]													
Maior TX	16.6	20.5	24.1	29.2	33.7	38.3	39.5	39.5	38.6	30.2	23.2	20.5	39.5
Dia Ano	24 2004	28 1997	18 2005	29 2005	29/2001 30/2001	21 2003	17 2006	03 2003	08 1988	03 1983	01 1981	02 1985	17/07/2006 03/08/2003
Menor TX	-1.8	0.1	2.4	3.0	6.6	11.5	14.6	15.7	12.9	5.9	2.5	-1.2	-1.8
Dia Ano	01 1983	11 1983	01 1993	03 1989	18 1984	02 1984	04 1988	18 2006	28 1984	31 2008	27 1999	31 1982	01/01/1983
Maior TN	10.4	10.1	11.4	12.3	18.4	21.3	23.2	22.1	20.7	16.4	15.1	12.5	23.2
Dia Ano	04 1998	25 1983	21 2005	11/1982 29/2010	31 2001	23 2005	21 1989	14 1987	09 2009	01 1985	07 1985	25 1995	21/07/1989
Menor TN	-9.9	-11.6	-10.9	-4.4	-3.4	2.1	4.8	5.3	2.0	-2.1	-10.3	-10.6	-11.6
Dia Ano	15 1985	12 1983	02 2005	01 2007	05 1982	16 1987	09/2004 20/2007 08/2008	25 1985	25 1984	31 1996	18 2007	22 2001	12/02/1983

Fonte: Normais climatológicas da Estação Meteorológica de Miranda do Douro, 1981-2010. IPMA ¹

¹ TT [°C]- Média da Temperatura Média Diária do ar; TX [°C]-Média da Temperatura Máxima Diária do ar; TN [°C]- Média da Temperatura Mínima Diária do ar; TX ≥ 25 °C - Número médio de dias com Temperatura máxima do ar superior ou igual a 25 °C – Dias de verão; TX ≥ 30 °C - Número médio de dias com Temperatura máxima do ar superior ou igual a 30 °C – Dias quentes; TX ≥ 35 °C - Número médio de dias com Temperatura máxima do ar superior ou igual a 35 °C – Dias muito quentes; TN ≥ 20 °C- Número médio de dias com Temperatura mínima do ar superior ou igual a 20 °C – Noites tropicais; TN < 0 °C - Número médio de dias com Temperatura mínima do ar inferior a 0 °C – Dias de geada; Maior TX - Maior valor da Temperatura Máxima Diária do ar; Menor TX - Menor valor da Temperatura Máxima Diária do ar; Maior TN - Maior valor da Temperatura Mínima Diária do ar; Menor TN - Menor valor da Temperatura Mínima Diária do ar

No que diz respeito à precipitação, o valor médio anual (562 mm) é relativamente baixo. Segundo os dados disponíveis no PMDFCI (2021), julho e agosto são os meses com menor precipitação média mensal (16 mm e 14 mm), sendo que a partir do mês de setembro os valores médios mensais de precipitação aumentem gradualmente até ao mês de dezembro, sendo neste mês que se verifica o valor máximo da precipitação, com uma média mensal de 76,4 mm.

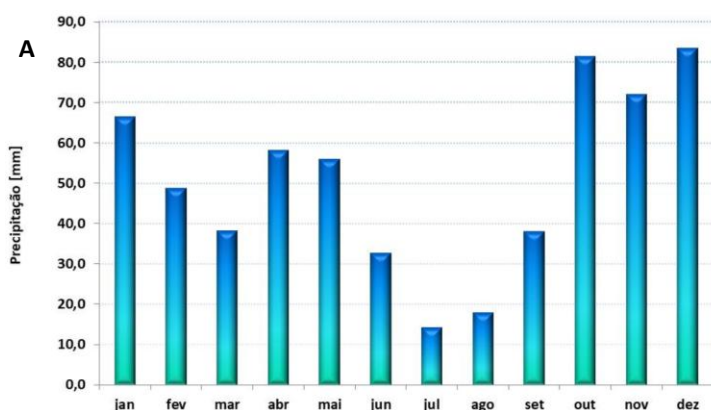
Figura 6 - Precipitação média mensal e precipitação máxima diária



Fonte: Normais climatológicas da Estação Meteorológica de Miranda do Douro, 1971-2000. PMDFCI, 2021

No segundo período em análise (1981-2010) verifica-se uma média anual de precipitação de 607,2 mm (Figura 7 A e B). Os meses de outono (outubro e novembro) até ao início do inverno (dezembro) são os que registam valores mais elevados de precipitação, sendo que o maior valor de precipitação diária registado neste período foi de 63.4 mm (outubro). Quando comparado este período de dados com o período entre 1971-2000, verificamos que os meses em que menos ocorreu precipitação (julho e agosto) se assemelham aos valores médios registados anteriormente.

Figura 7- A) Precipitação média mensal.; B) Número médio de dias com precipitação e valor máximo de precipitação



B	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Prec [mm]	66.5	48.8	38.2	58.2	55.9	32.6	14.1	17.9	38.0	81.5	72.1	83.5	607.2
Número de dias [dias]													
P ≥ 1 mm	8.7	7.3	6.6	9.2	8.8	4.6	2.2	2.7	5.0	9.2	8.4	9.3	81.9
P ≥ 10 mm	2.2	1.5	1.0	1.8	1.6	1.2	0.4	0.6	1.2	2.7	2.3	2.8	19.2
P ≥ 20 mm	0.5	0.2	0.1	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.4	1.0	0.8	1.0	5.4
P ≥ 30 mm	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.4	0.3	0.4	1.9
Extremos da Precipitação [mm]													
Maior P	39.4	28.1	36.3	53.8	43.8	38.1	29.2	32.6	53.2	63.4	55.0	63.2	63.4
Dia Ano	28 1990	06 1988	04 2001	22 1983	09 1995	01 1998	01 1998	29 2001	18 1986	23 2006	25 2006	29 2009	23/10/2006

Fonte: Normais climatológicas da Estação Meteorológica de Miranda do Douro. 1981-2010.

IPMA ²

Durante a maioria do ano a orientação dos ventos é proveniente do quadrante oeste (entre março e setembro). Estes ventos caracterizam-se por serem ligeiramente mais

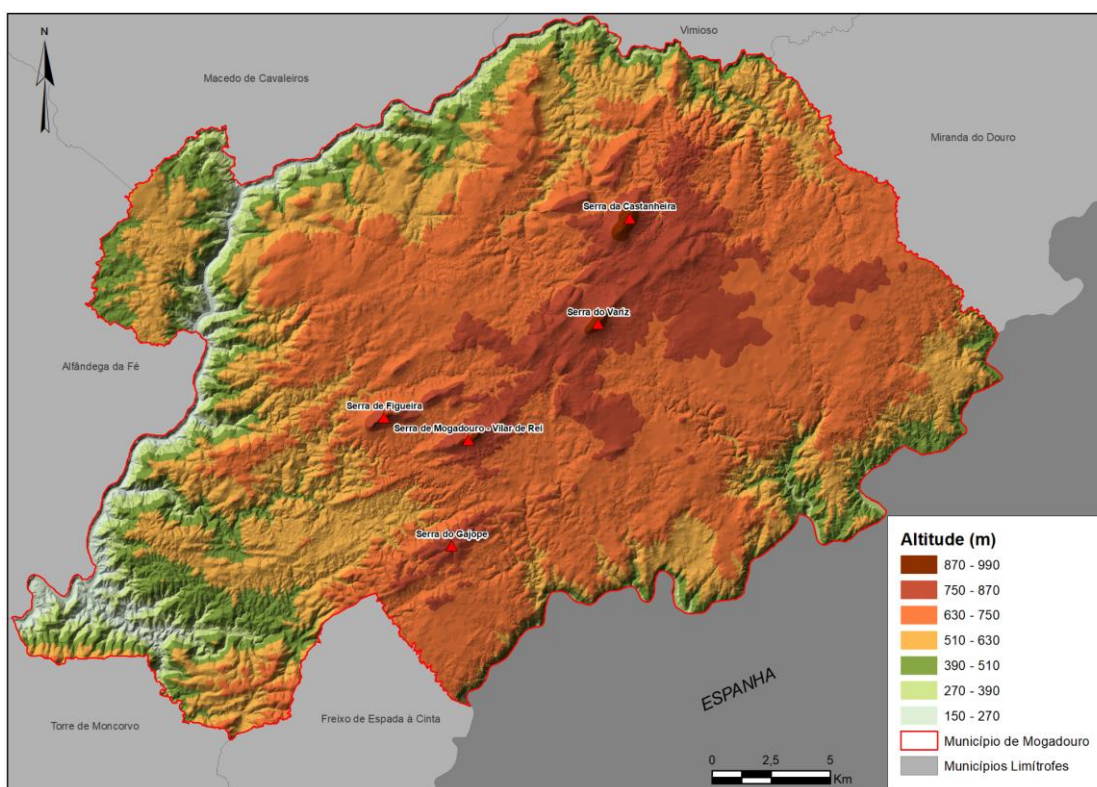
² Prec [mm] - Média da quantidade de Precipitação Total; P ≥ 1 mm - Número médio de dias com Precipitação superior ou igual a 1 mm – Dias de chuva; P ≥ 10 mm - Número médio de dias com Precipitação superior ou igual a 10 mm – Dias chuvosos; P ≥ 20 mm - Número médio de dias com Precipitação superior ou igual a 20 mm – Dias muito chuvosos; P ≥ 30 mm - Número médio de dias com Precipitação superior ou igual a 30 mm – Dias extremamente chuvosos; Maior P - Maior valor da quantidade de Precipitação Diária

frescos e húmidos do que os ventos provenientes de este. A partir do mês de junho verifica-se ainda a presença de ventos vindos de nordeste e de leste. Nesta época os ventos caracterizam-se por serem quentes e secos. A velocidade média do vento apresenta o mesmo padrão que a direção dos ventos. Estes ventos oriundos de oeste chegam a atingir valores médios de 19 km/h (PMDFCI, 2021).

3.2.2. Geomorfologia e hidrografia

O município de Mogadouro é caracterizado por um relevo acidentado, sendo que cerca de 80% do território se localiza entre os 500 e os 800 metros de altitude (PMDFCI, 2021). Através da Figura 8 é visível que existe um aumento de altitude entre os vales dos rios Douro e Sabor em direção ao centro do município, onde se localizam as vertentes com maior altitude (Serra da Castanheira, com 995 m; Serra do Variz, com 994; Serra do Gajope, Castelo Branco - Bruçó, com 948 m; Serra de Mogadouro - Vilar de Rei, com 922 m e a Serra de Figueira, com 918 m). A orientação destas serras é nordeste - sudoeste.

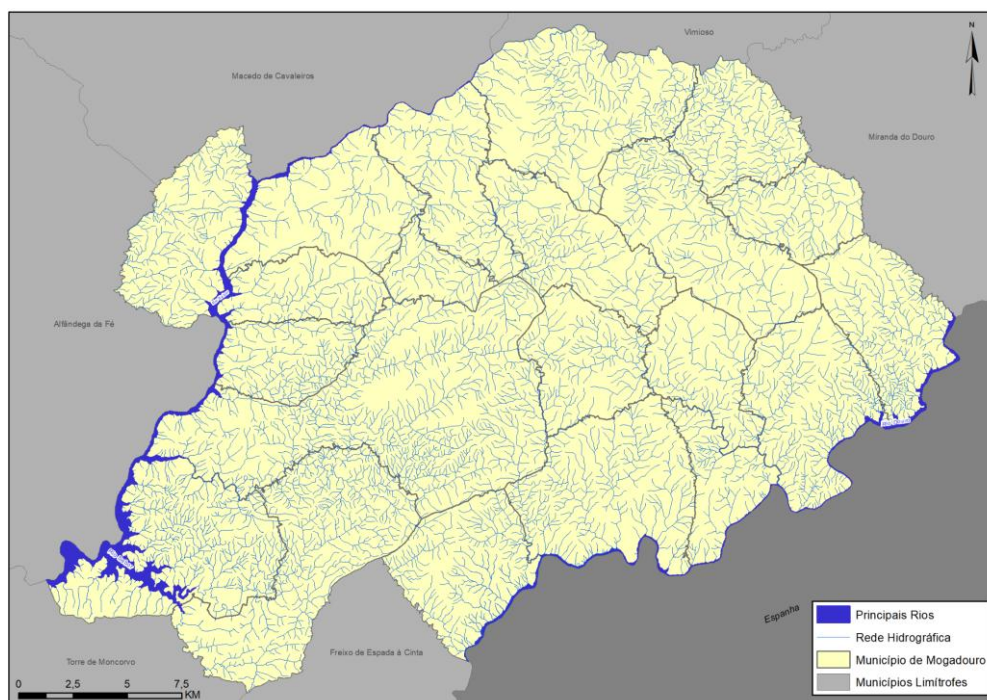
Figura 8 - Hipsometria do município de Mogadouro



Fonte: Carta Militar de Portugal, Série M888

As linhas de água que se encontram localizadas no município de Mogadouro pertencem à bacia hidrográfica do rio Douro, sendo esta a segunda maior bacia hidrográfica de Portugal. O Rio Douro, localizado no extremo leste do município, é o principal curso de água do município. Existem ainda outros dois cursos de água que atravessam o município de Mogadouro: o Rio Sabor e o Rio Maçãs, localizados a oeste (Figura 9). Embora as linhas de água pertençam às bacias hidrográficas dos principais cursos de água referidos anteriormente, existem linhas de água que são consideradas como não permanentes, pois os seus caudais são quase insignificantes ou até inexistentes nos meses de seca estival (PMDFCI, 2021).

Figura 9 - Rede Hidrográfica do município de Mogadouro



Fonte: Carta Militar de Portugal, Série M888

3.2.3. Ocupação do Solo

De acordo com Figueiredo (2015) citado em Cavalli (2019), este afirma que o distrito de Bragança é uma das divisões administrativas com maior número de áreas suscetíveis à desertificação do solo, no norte do país. Esta situação pode-se agravar com as mudanças no uso do solo, uma vez que ações como o abandono de áreas agrícolas ocasionam o crescimento contínuo de zonas de matos e resultam na acumulação de biomassa, que potencia a ocorrência de incêndios rurais (Cavalli et al., 2019).

A partir da análise da Figura 10 é possível verificar que a área agrícola continua a ser a ocupação dominante no município, embora tenha tido flutuações ao longo dos anos, (45,7% em 1995 para 42,7% em 2018). No período em análise, as freguesias com maior percentagem de área agrícola são: Vale da Madre (68,5%), Vila de Ala (57,5 %), e União de Freguesias (U.F) de Brunhozinho, Castanheira e Sanhoane (55,8 %) (Anexo A.5).

As manchas florestais aumentaram significativamente ao longo do período em análise (26,7% em 1995 para 32,9% em 2018) apresentando uma maior representação nas freguesias de Castelo Branco (49,2%), São Martinho do Peso (50,1%) e Paradela (39,2%). Verificou-se um aumento expressivo das áreas de pinheiro-bravo (+52,4%), pinheiro manso (+55,9%), castanheiro (+55,8%) e de florestas de folhosas (+35,3%). O eucalipto registou um ligeiro crescimento de apenas 3,02%, o sobreiro manteve-se estável (+1,5%), enquanto a azinheira foi a única espécie a apresentar uma redução (-3,6%) de 1995 a 2018.

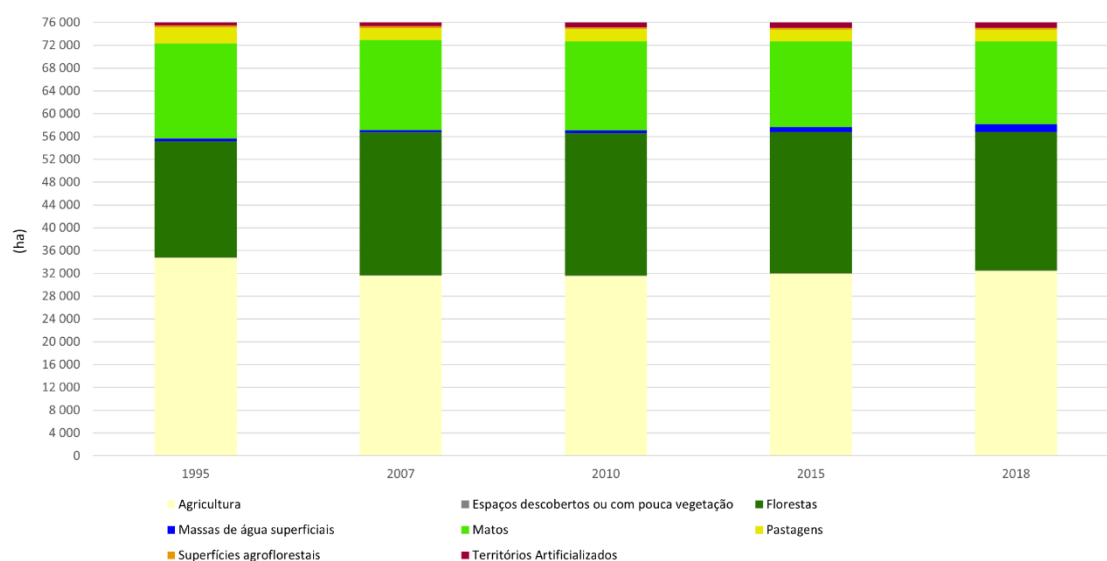
A percentagem de matos segue um padrão de diminuição, verificando-se um valor de 22% em 1995 e 19,1% no ano de 2018. A superfície das pastagens reduziu gradualmente ao longo do período em análise de 3,6% em 1995 para os 2,8% desde 2007, mantendo-se até 2018.

As massas de água superficiais apresentaram um ligeiro aumento de 0,6% em 1995 para 1,8% em 2018, sendo que neste tipo de tipologia é raro existirem grandes variações, neste caso em específico deve-se à construção da barragem do Baixo Sabor que aumentou significativamente a albufeira desse rio.

No que diz respeito aos espaços descobertos/com pouca vegetação, estes não apresentam quaisquer mudanças no período analisado, mantendo-se com uma ocupação de 0,1% do território do município de Mogadouro. Também as superfícies agroflorestais se mantiveram com valores constantes que rondam os 0,4%, apesar de existir uma ligeira queda em relação ao ano de 1995 (0,5%). A classe dos territórios artificializados apresentou um pequeno crescimento de 0,7% em 1995 para 1,2% em 2018 da área total do município.

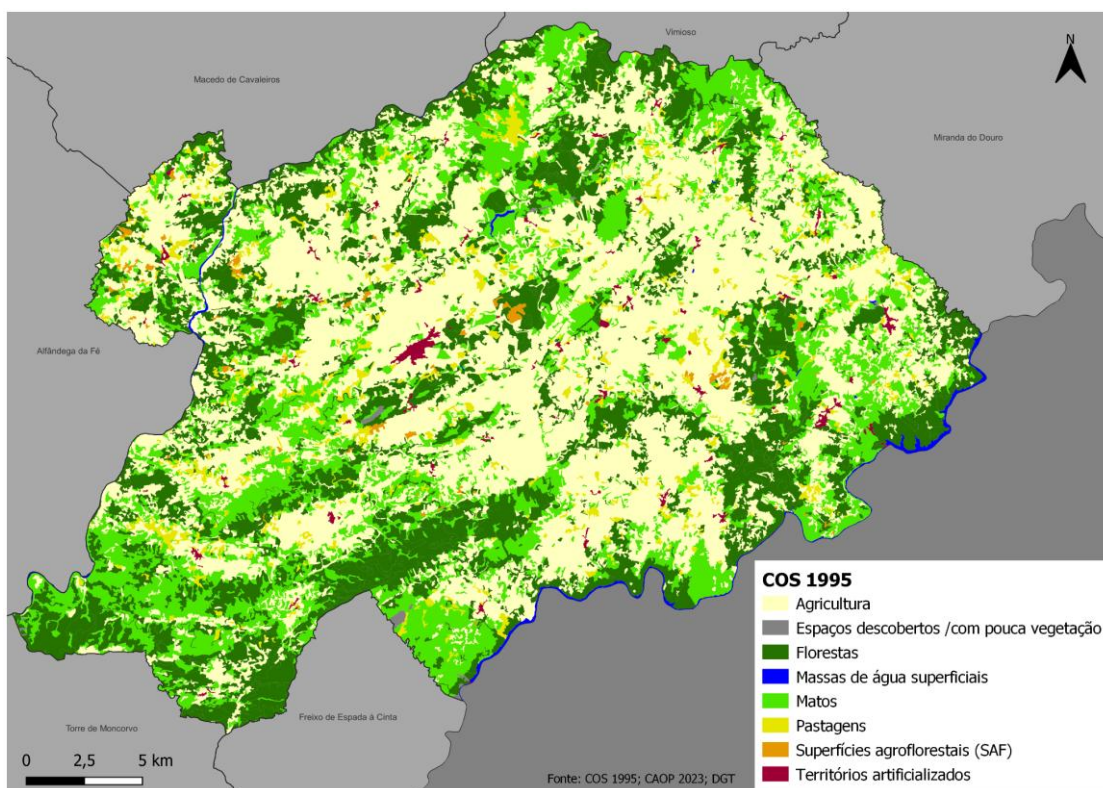
A representação espacial deste dado é fundamental para a realização de uma análise detalha. Com recurso às Figuras 11 e 12 constata-se uma mudança gradual da ocupação do solo, a expansão dos povoamentos florestais fica evidente, em detrimento das áreas agrícolas, pastagens e matos. A tendência do aumento dos povoamentos florestais está associada a diversas razões, seja o despovoamento rural e o inerente abandono da agricultura e a florestação de terrenos agrícolas que é estimulado pela Política Agrícola Comum (PAC) e que muitas vezes compromete a compartimentação do território em matéria de defesa da floresta contra os incêndios rurais (PMDFCI, 2021).

Figura 10 - Evolução temporal da ocupação do solo de 1995 a 2018 no município de Mogadouro



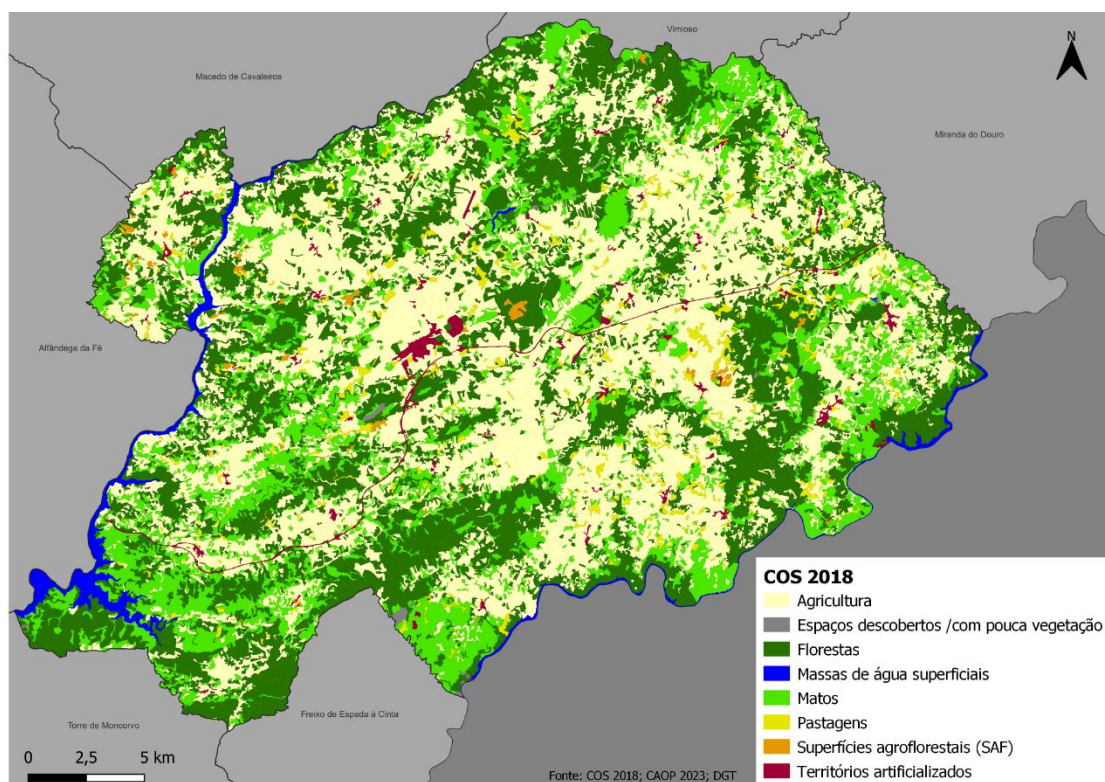
Fonte: COS, 1995, 2007, 2010, 2015, 2018, DGT. Elaboração própria

Figura 11- Carta de Ocupação do solo (COS) em 1995 no município de Mogadouro



Fonte: COS, 1995, DGT. Elaboração própria

Figura 12- Carta de Ocupação do solo (COS) em 2018 no município de Mogadouro

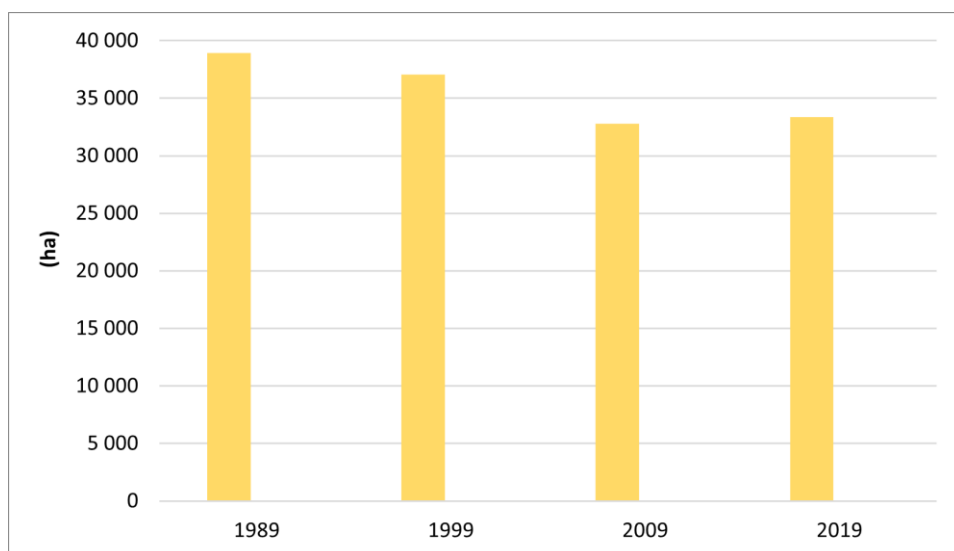


Fonte: COS, 2018, DGT. Elaboração própria

No contexto da variação da área agrícola, todas as freguesias diminuíram esta classe à exceção de duas freguesias, Bruçó aumentou 5% e Castelo Branco possui uma variação positiva de 10% face a 1995 (Anexo A.5). A classe de florestas obteve valores positivos em todas as freguesias, com exceção de Meirinhos que possui uma variação negativa de -12%. Os maiores aumentos ocorreram nas freguesias de São Martinho do Peso (37%), Paradela (32%), Bruço (26%) e Travanca (23%) (Anexo A.6).

A superfície agrícola utilizada (SAU) segundo os recenseamentos agrícolas é um indicador relevante para a análise da ocupação do solo. É visível uma diminuição gradual entre os anos de 1989 até 2009 (32 797 ha), no ano de 2019 (33 355 ha) verifica-se uma quebra nesta tendência, devido a um aumento do valor, ainda que este seja menor que o registado em 1989 (38 912 ha) (Figura 13).

Figura 13- Superfície Agrícola Utilizada no Município de Mogadouro de 1989 a 2019

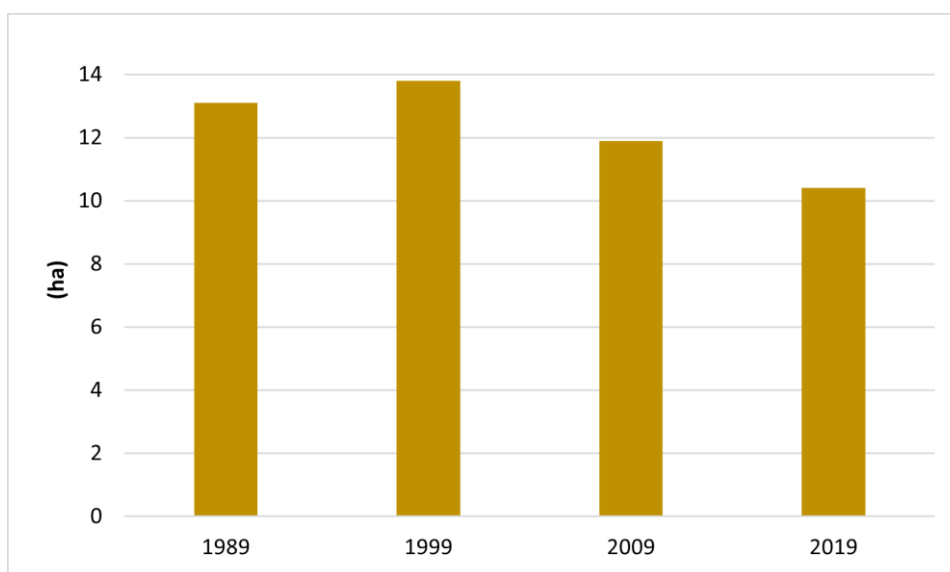


Fonte: Recenseamentos agrícolas, INE

A dimensão média das explorações agrícolas permite identificar diversas dinâmicas agrícolas e económicas, que por consequência influenciam as políticas de gestão da

ocupação do solo. Verifica-se uma tendência de aumento da dimensão média das explorações agrícolas em Mogadouro, entre 1989 (13,1 ha) e 1999 (13,8 ha), a partir deste ano verificou-se uma diminuição até ao último ano da análise (2019, 10,4 ha) (Figura 14).

Figura 14 - Dimensão Média das Explorações Agrícolas no Município de Mogadouro de 1989 a 2019



Fonte: INE

No seguimento dos dados abordados anteriormente é necessário compreender quais as culturas mais produzidas no município, desde 1989 até 2019, estes dados encontram-se representados em percentagem uma vez que facilitam a sua compreensão.

A distribuição das culturas permite identificar a variedade e especializações agrícolas das freguesias do município de Mogadouro, sendo as freguesias de Castro Vicente e Paradela excelentes exemplos da diversificação agrícola (1989), apresentando uma diversificação significativa em três categorias distintas: frutos de casca rija, olival e vinha (Anexo A.12). Através desta análise verificou-se que existem freguesias “especializadas” num tipo de cultura; Peredo da Bemposta, Bemposta e Urrós destacam-se pelo cultivo da vinha como cultura predominante no ano de 1989 (Anexo A.12).

No ano de 1999 a cultura com maior crescimento foi o Olival (Anexo A.13), ainda que a vinha também tenha apresentado valores de crescimento em relação a 1989, verificam-se ainda freguesias com elevado grau de “especialização” de uma determinada cultura (Peredo da Bemposta, Urrós, Brunhoso, entre outras). Em suma verificam-se mudanças substanciais em determinadas freguesias do Município.

Em 2009 verifica-se com maior expressão a tendência de “especialização” de uma determinada cultura permanente por cada freguesia do município, o Olival é a cultura que ocupa a maioria da área das explorações agrícolas em Mogadouro (Anexo A.14). É também a partir deste ano que a cultura dos frutos de casca rija começa a manifestar-se com maior evidência.

No último ano da análise (2019) o padrão das culturas permanentes é bastante distinto do verificado no ano de 1989, destaca-se a cultura dos frutos de casca rija, devido ao seu crescimento percentual na grande maioria das freguesias do município (Anexo A.15). Destaca-se a freguesia de Peredo da Bemposta pela produção de vinha (11,4%) e de Olival (15,5%). Este fenómeno acaba por equilibrar a tendência de “especialização” de uma determinada cultura por freguesia, permitindo que cada freguesia não esteja apenas dependente de uma determinada cultura e fique suscetível a qualquer tipo de volatilidade que a mesma possa apresentar durante um período de instabilidade na sua produção (seca extrema, volatilidade do mercado, custos de produção). Este tipo de fenómenos de diversificação e especialização refletem uma correlação entre as condições locais para a produção (clima, tipos de solos, disponibilidade de água, entre outros) e a lei de oferta e procura no mercado nacional e internacional.

No que diz respeito à distribuição das culturas temporárias, estas não possuem tanta diversificação quanto as culturas permanentes, verifica-se que no ano de 1989 todas as freguesias do município de Mogadouro possuíam como cultura temporária predominante os cereais de grão, destacando-se a U.F de Brunhozinho, Castanheira e Sanhoane (26,8%), Vila de Ala (24,4%) e U.F de Vilarinho dos Galegos e Ventozelo (21,5%). Este tipo de culturas é muito suscetível ao fogo, não só pelo baixo teor de humidade, mas também pela facilidade de propagação, podendo alterar rapidamente

a direção do fogo quando sujeito à ação do vento. A sua colheita é no período de verão, com recurso à mecanização, que pontualmente origina ignições de incêndios. As culturas forrageiras destacam-se como a segunda cultura mais produzida em 1989 em Mogadouro, uma vez que eram destinadas à alimentação do gado (Anexo A.16). As culturas como Batata, Prados Temporários e Leguminosas Secas para Grão possuem uma pequena relevância na produção das culturas temporárias no ano de 1989.

No ano de 1999 verificam-se alterações bastante significativas. A cultura dos cereais de grão prevalece como a principal cultura temporária em ambas as décadas (Anexo A.17), apesar do decréscimo de produção em quase todas as freguesias. Sucede-se um elevado aumento das culturas forrageiras em todo o município, sendo que os prados temporários, se mantiveram constantes em relação ao ano de 1989, apresentando apenas algumas flutuações de valores.

Em 2009, observa-se um padrão de depreciação dos valores de produção de culturas temporárias em todo o município (Anexo A.18), houve um aumento substancial das culturas forrageiras. Entre 1999 e 2009 consta uma elevada redução percentual na produção da cultura de cereais para grão. As culturas como batata, prados temporários e leguminosas secas para grão vêm perdendo cada vez mais relevância em todas as freguesias.

O último ano desta análise é 2019, quando comparado com o ano de 1989 contempla-se um cenário completamente distinto, a cultura que mais era produzida (cereais para grão) é agora uma das menos produzidas, indicando uma possível mudança na prioridade de cultivo por parte dos agricultores. Atualmente as culturas forrageiras são as culturas mais produzidas, no que diz respeito às culturas temporárias, U.F de Brunhozinho, Castanheira e Sanhoane (19,3%), Pena Roias (18,5%) e Saldanha (17,5%). Os prados temporários mantiveram uma representação constante, apresentando um pequeno crescimento em 2019 (Anexo A.19). Quanto à batata, leguminosas secas para grão e culturas hortícolas estas possuem apenas uma pequena relevância no contexto geral da produção no município. Entre 1989 e 2019 os padrões agrícolas das culturas temporárias alteraram-se completamente neste município, possivelmente pelas mesmas razões que foram apresentadas na mudança dos padrões das culturas

permanentes (condições locais de produção e pelas condições de oferta e procura no mercado nacional e internacional).

3.3. Os incêndios no contexto do município

3.3.1. Área ardida e número de ocorrências

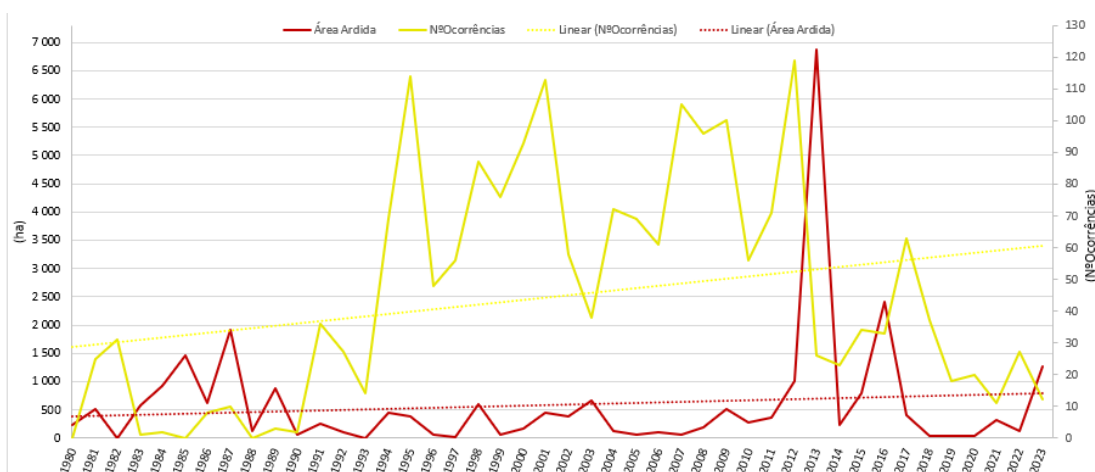
A fim de obter uma investigação robusta e adequada ao tipo de análise realizada, foi necessário recorrer à historicidade dos dados e entender a influência dos incêndios no município de Mogadouro.

A área ardida entre 1980 e 2023 (tendo como base a informação vetorial e estatística disponibilizada pelo ICNF) no município apresenta variabilidade ao longo dos anos com uma ligeira tendência linear de crescimento. Entre 1980 e 2010 verificam-se algumas flutuações de valores (Figura 15), sendo que a partir do ano de 2010 se verifica um aumento significativo, destacando-se o ano de 2013 com aproximadamente 7 000 ha de área ardida. Neste ano foi registado um incêndio que possui extrema importância na historicidade de incêndios no município de Mogadouro. Este incêndio teve origem fora dos limites do município, todavia consumiu cerca de 6 852 ha só no município de Mogadouro. O incêndio afetou a zona sul do município (zona com maior número de área ardida no período em análise), bem como os incêndios de 2010, 2016 e 2017, todos estes provenientes de outros municípios. A Figura 16 demonstra que as áreas ardidadas se distribuem de forma desigual, verifica-se uma clara concentração a sudoeste e sul do município, onde as condições topográficas, tipo de ocupação do solo e a presença de povoamentos florestais mais homogêneos favorecem condições para incêndios de grande magnitude. A norte e a leste, os incêndios rurais apresentam-se mais fragmentados, embora persistentes ao longo das décadas.

No período em análise foram registadas 1964 ocorrências. O número de ocorrências apresenta uma elevada variabilidade inter-anual, com uma média de 45 ocorrências por ano. Na distribuição anual das ocorrências de incêndios rurais identificam-se três períodos distintos. Entre 1983-1990 observaram-se poucas ocorrências (número máximo de 11 ocorrências anuais) apesar de possuírem elevada área ardida (valor máximo de 1 900 ha) quando comparados com o período de maior número de

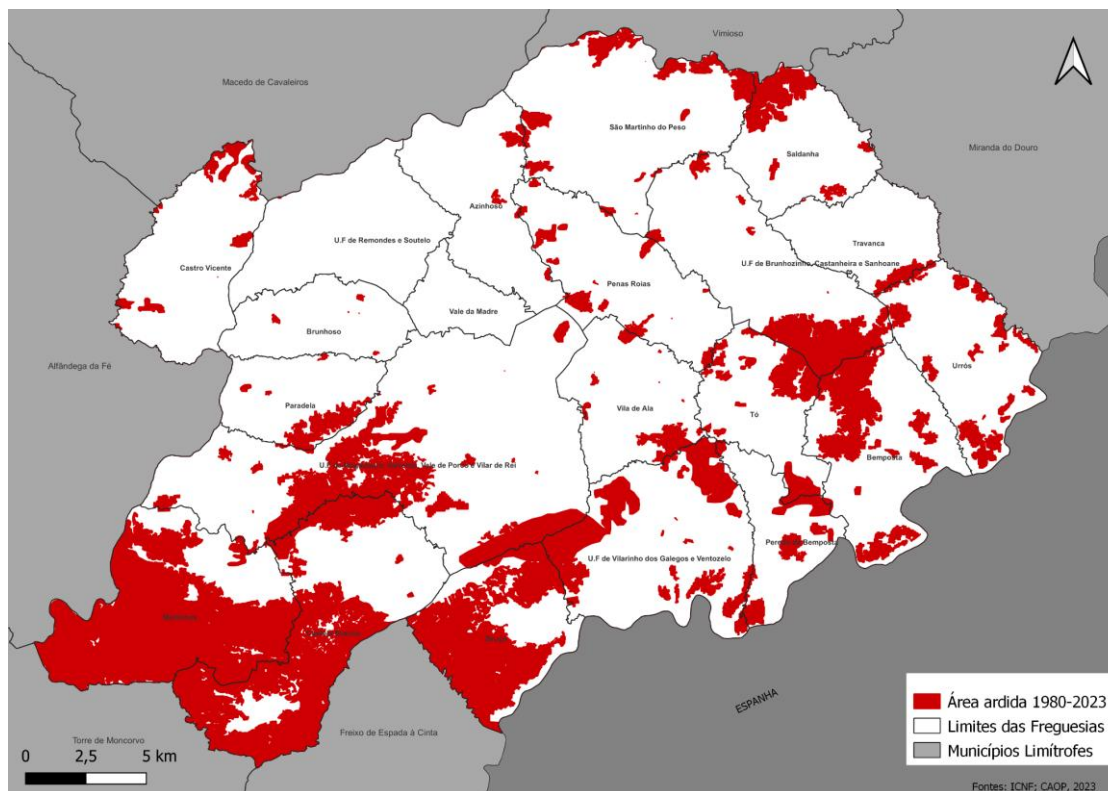
ocorrências (1991-2012, valor varia entre 115 e 125 ocorrências) que possuem uma menor área ardida (valores variam entre os 100 e 700 ha). A partir de 2013 o número de ocorrências diminuiu, registando-se apenas um valor mais elevado em 2017 (62 ocorrências) e a tendência atual é de um ligeiro aumento, apesar de que nos últimos anos as maiores áreas ardidas no município, são provenientes de incêndios com início em outros municípios (PMDFCI, 2021). A flutuação de ocorrências pode indicar melhorias nas estratégias de prevenção e vigilância aos incêndios ou pela redução do uso do fogo como instrumento de gestão da paisagem, pois registou-se um aumento da área ocupada por culturas permanentes.

Figura 15- Distribuição anual da área ardida e número de ocorrências no município de Mogadouro de 1980 a 2023



Fonte: ICNF, SIGF

Figura 16 - Área ardida no município de Mogadouro de 1980 a 2023

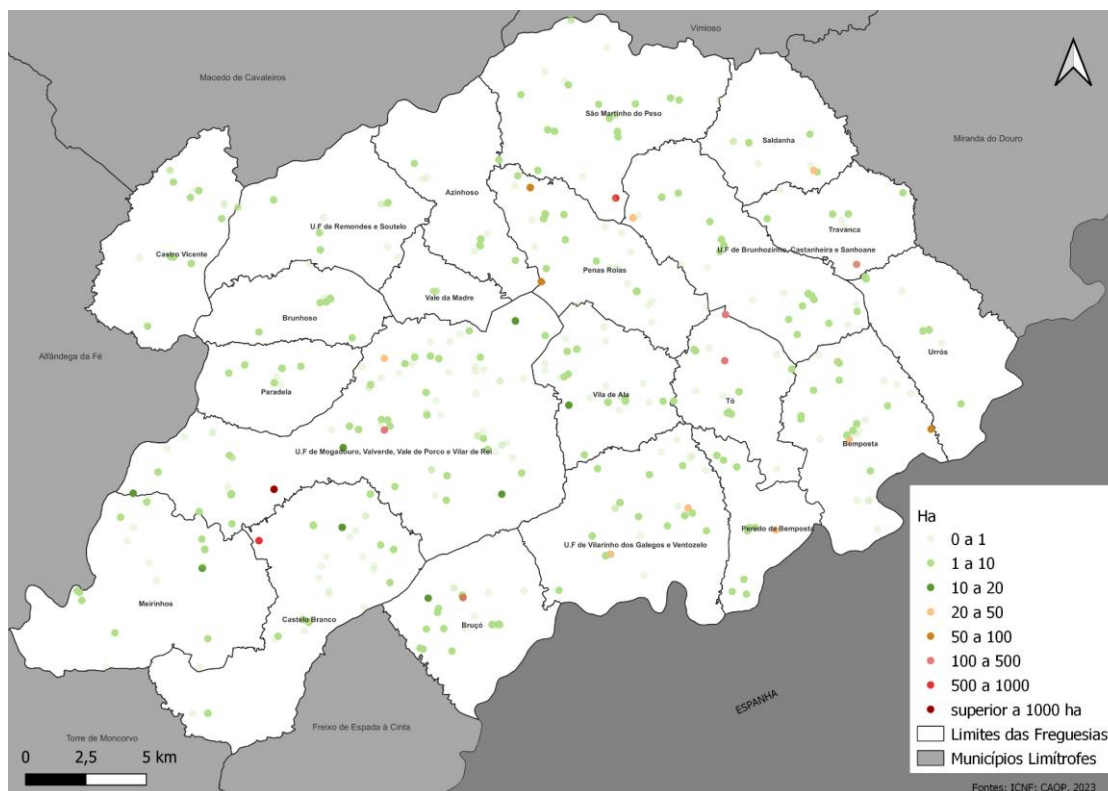


Fonte: ICNF

Relativamente à dispersão geográfica das ocorrências, apesar de se encontrarem sobrepostas devido ao erro detectado anteriormente, é visível uma concentração das mesmas no centro do município, nomeadamente nas freguesias: U.F de Mogadouro, Valverde, Vale de Porco e Vilar de Rei (205 ocorrências); Bruço (107 ocorrências); Castelo Branco (82 ocorrências) e Vila de Ala (73 ocorrências) (Figura 17). As zonas menos afetadas tanto pelo número de ocorrências como de área ardida localiza-se a noroeste e oeste do município. De acordo com as Figuras 16 e 17 é possível verificar que as freguesias com maior área ardida (Meirinhos 5 814 ha; Castelo Branco 4 621 ha e Bruço 5 148 ha), não são as mesmas que possuem maior número de ocorrências. É possível concluir que as freguesias que possuem maior número de ocorrências, são afetadas por incêndios rurais que se caracterizam por áreas ardidas muito pequenas. É de salientar que a maioria destas ocorrências foram registadas durante o período de verão nos meses de julho, agosto e também setembro. Contudo os meses de julho e

agosto são os que registam os valores de temperatura extremos máximos mais elevados (PMDFCI, 2021).

Figura 17 - Ocorrências por dimensão no município de Mogadouro de 2001 a 2023



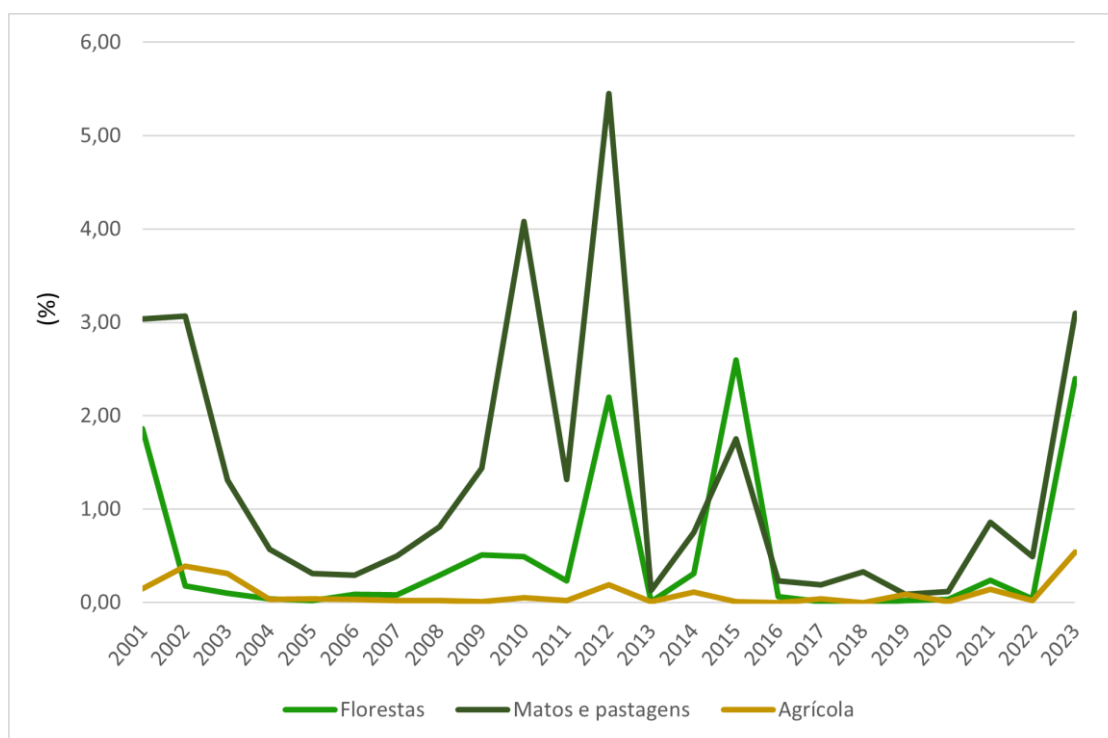
Fonte: ICNF, SGIF

3.3.3. Proporção da superfície ardida

Com base na proporção de superfície ardida por tipologias, é possível observar que os matos e pastagens são a classe mais afetada (valor máximo de 4,1% em 2010), embora não sejam as classes predominantes de ocupação do solo no município. É de salientar que estes dados são provenientes do INE que por sua vez coleta os dados do ICNF, condicionando a exatidão dos mesmos, uma vez que o ano de 2013 foi o ano em que foi registada a maior área ardida em Mogadouro desde que há registos e nesta (Figura 18) não é apresentado o valor real ardido por tipologia. Contudo, mediante os dados disponíveis, é notável que na maioria dos anos os povoamentos florestais são menos afetados que a tipologia dos matos e pastagens. As áreas agrícolas apresentam valores

satisfatórios uma vez que é necessário ter em consideração que são a classe de ocupação do solo predominante, destaca-se o ano de 2023 com um valor de 0,54%, revelando uma ligeira subida.

Figura 18 - Proporção de superfície ardida em percentagem no município de Mogadouro de 2001 a 2023



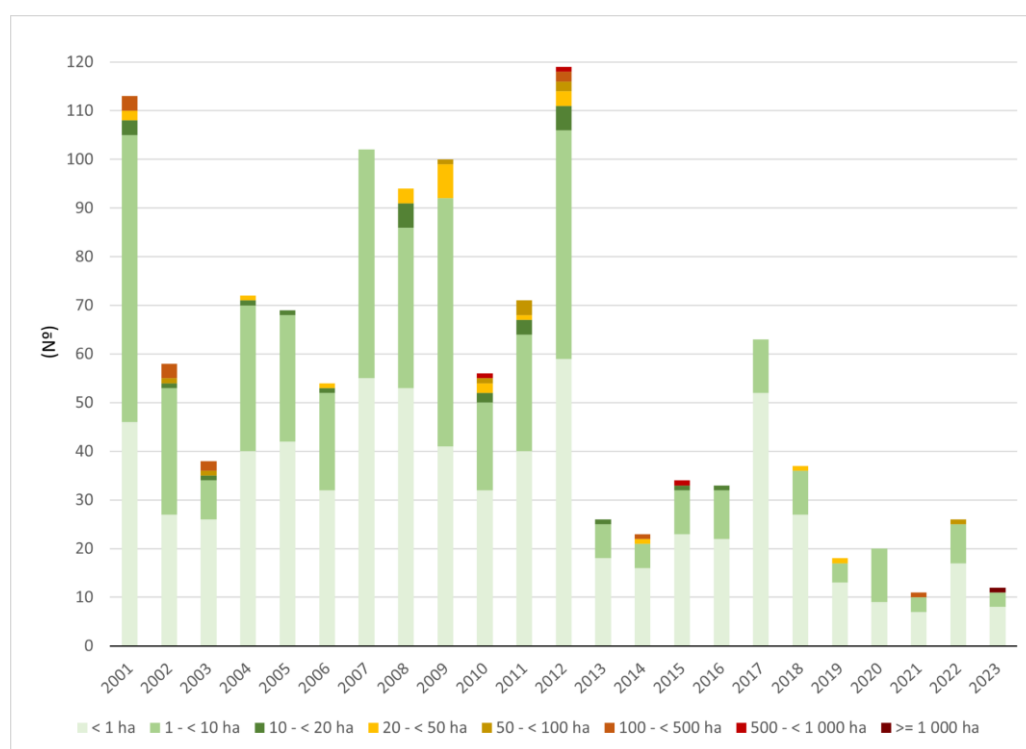
Fonte: INE

3.3.4. Número de incêndios por classe de dimensão

A dimensão das ocorrências é algo fundamental para tentar compreender a influência dos incêndios num determinado local. Apesar de se verificarem flutuações consideráveis no período em análise, entre 2001-2012 foram registadas muitas ocorrências, algumas das quais caracterizadas por possuírem elevadas áreas ardidas. Neste período é onde se verificam incêndios com maior dimensão, uma vez que as classes de 50- <100 ha- 100 - <500 ha e 500 - <1 000 ha são claramente identificáveis. Segundo estes dados (apenas incêndios com início de ocorrência dentro dos limites do

município), a classe de incêndios superior a 1 000 ha apenas foi registada uma vez (2023). Os incêndios mais pequenos, nomeadamente a classe de <1 hectare ardido constitui a maior proporção em praticamente todos os anos, bem como a classe entre 1 - < 10 ha que é também recorrente em quase todos os anos. A tendência a partir do ano de 2012 é uma quebra tanto no número de ocorrências, como na dimensão das mesmas (Figura 19).

Figura 19 - Número de incêndios por classe de dimensão no município de Mogadouro de 2001 a 2023



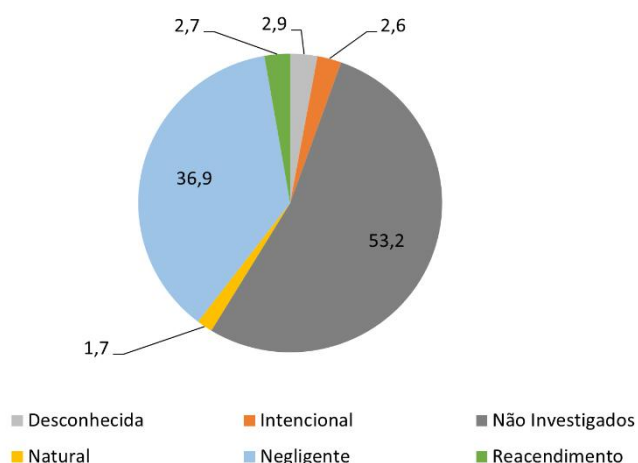
Fonte: INE

3.3.5. Tipologia das causas

Em relação às causas de ocorrências de incêndios rurais, foi também analisado o período entre 2001 - 2023 uma vez que só a partir do ano de 2001 é que este dado foi parametrizado pelo ICNF no que diz respeito às codificações e definições das categorias das causas de incêndios rurais. Este conjunto de dados permite obter

algumas conclusões, ainda que muitas vezes a origem de uma ocorrência seja difícil de identificar. Posto isto, é perceptível que mais de metade (53,2%) das 1 249 ocorrências totais registadas no período em análise (2001-2023) não sejam investigadas ou sejam consideradas como desconhecidas (2,9%). O fator negligente representa um elevado volume de ocorrências em Mogadouro (36,9 %). Muitas destas ocorrências estão relacionadas com a agricultura, devido à prática de queimadas de sobranes e restolhos, ou ainda à utilização de máquinas agrícolas em períodos críticos de seca. A má manipulação do fogo em períodos críticos origina várias vezes ocorrências neste município. Considera-se que o tipo de causa intencional representa apenas 2,6% das ocorrências e as causas relacionadas ao reacendimento dos incêndios 2,7%. As causas naturais apresentam um valor comum, apenas com 1,7% do total das ocorrências (Figura 20).

Figura 20 - Tipologia das causas (em percentagem) de ignição dos incêndios rurais no município de Mogadouro de 2001 a 2023



Fonte: ICNF

4. Caso de estudo do incêndio do dia 24 de agosto de 2023

4.1.Caracterização geral da ocorrência

No dia 24 de agosto de 2023 foi dado o alerta pelas 12 horas e 47 minutos de incêndio rural que teve origem numa zona de mato em Valverde (U.F de Mogadouro, Valverde, Vale de Porco e Vilar do Rei) no município de Mogadouro. Este incêndio rapidamente tomou proporções elevadas (Figura 21), uma vez que se fazia sentir elevada velocidade do vento, vegetação bastante seca e o início da ocorrência foi no horário de pico de temperatura. No dia 22 de agosto de 2023 foi registada em Mogadouro a temperatura máxima do ar, mais elevada alguma vez registada no mês de agosto, atingindo os 40,0°C. No dia 31 de agosto cerca de 97% do território encontrava-se em seca meteorológica, sendo dos quais 46% nas classes de seca severa e extrema (IPMA,2023).

Esta conjuntura de fatores favoreceu o surgimento de duas frentes ativas e que obrigou várias vezes ao reposicionamento dos meios devido à velocidade do vento e à projeção de matéria incandescente (Lusa, 2023). Neste dia o incêndio chegou a ter duzentos e dezassete operacionais a atuar na ocorrência, apoiados por sessenta e oito meios terrestres, seis máquinas de rastos e onze meios aéreos (ANEPC,2023).

Durante a ocorrência os meios terrestres utilizaram várias vezes as parcelas agrícolas cultivadas e aradas para iniciar o combate ao incêndio em segurança (Figuras 22 e 23), sendo este trabalho dificultado pela presença de parcelas contínuas de mato, sendo que a localização da ocorrência se caracteriza por estar inserida num mosaico de paisagem agrícola. As condições da orografia do terreno também dificultaram a movimentação dos meios terrestres, a existência de vales por onde seguem pequenas linhas de água (secas nessa altura do ano) apresentam vegetação herbácea mais densa e seca, promovendo a rápida propagação do fogo. A ocorrência foi dada como extinta no dia 25 de agosto de 2023 pelas 07 horas e 08 minutos, totalizando aproximadamente 19 horas de trabalhos de combate ao incêndio.

No contexto dos índices de perigo foi analisado o *Fire Weather Index* (FWI) que avalia o risco de incêndios rurais, tendo como base variáveis meteorológicas. O índice é composto por três códigos de humidade do combustível e três índices de

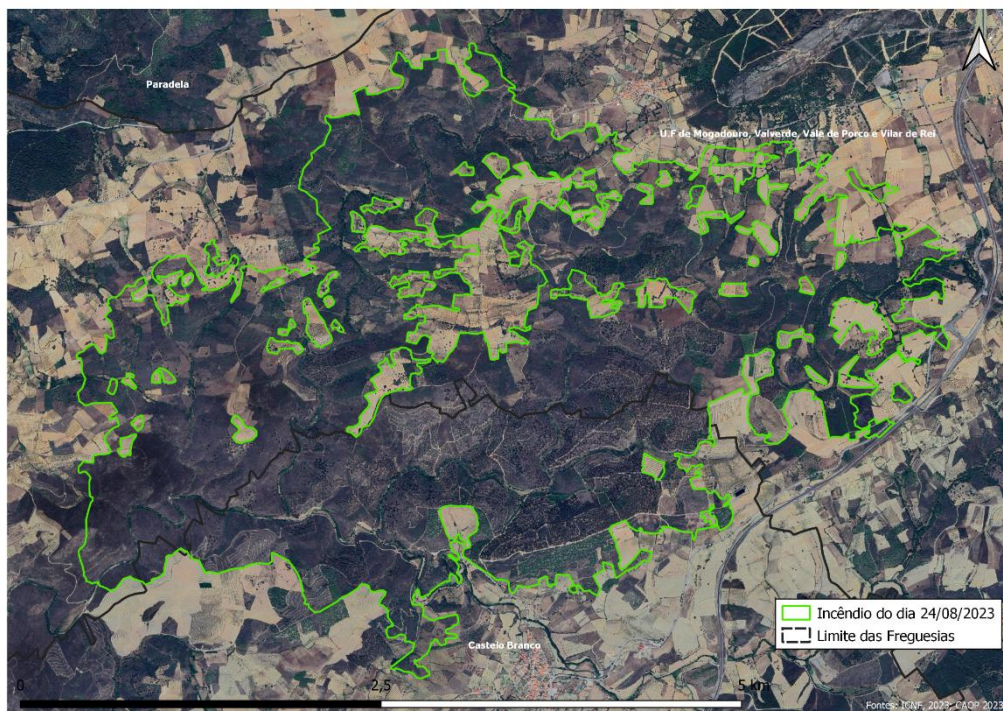
comportamento do fogo. Cada um dos códigos de humidade representa o teor de humidade de camadas distintas da vegetação: o *Fine Fuel Moisture Code* (FFMC) para os combustíveis superficiais finos mortos; o *Duff Moisture Code* (DMC) para a camada de detritos vegetais pouco compactados e de profundidade moderada; e o *Drought Code* (DC) para o material orgânico profundo e mais compactado (Pereira, et al., 2020). O *Buildup Index* (BUI) é a combinação do DMC e o DC, que indica a disponibilidade de combustível para a combustão. A *Daily severity rating* (DSR) é uma função de potência do FWI e serve para avaliar a dificuldade de supressão do incêndio. O FFMC, combinado com a velocidade do vento, é usado para estimar a taxa de propagação inicial do incêndio através do *Initial Spread Index* (ISI). Em suma o FWI é uma combinação do ISI e do BUI, estimando a intensidade potencial de um incêndio rural em propagação. Com base na tabela 2 o valor do FWI (66,80) apresenta um cenário de extremo risco de incêndio, sendo que todos os elementos que compõem este índice, apresentam valores muito elevados o que pode desencadear um comportamento do fogo extremo.

Tabela 2 - Índice meteorológico de perigo de incêndio no dia 24/08/2023 – FWI

DSR	FWI	ISI	DC	DMC	FFMC	BUI
46,18	66,80	22,83	687,20	331,40	97,10	330,40

Fonte: ICNF, SGIF

Figura 21 - Perímetro do incêndio de 24/08/2023



Fonte: ICNF. Elaboração própria

Segundo os dados disponibilizados pelo ICNF que caracterizam a ocorrência, este incêndio percorreu uma área total de 1273,522 ha, dos quais 588,471 ha de matos, 175,755 ha de área agrícola e 503,392 ha de povoamentos florestais. Os povoamentos florestais mais afetados foram os de eucalipto (256,781 ha) e os de pinheiro-bravo (90,973 ha) (Tabela 3). Ambos os povoamentos estavam inseridos em manchas contínuas, em que não existiam descontinuidades de combustível proporcionais à dimensão das manchas florestais. As áreas onde existia algum tipo de gestão de combustível, eram parcelas de eucalipto que pertencia à empresa de celulose de papel (*The Navigator Company*) e que foram menos afetadas, no que diz respeito à severidade do incêndio, do que parcelas de eucalipto anexas a estas, mas de particulares, que apresentavam menor, e em alguns casos nenhum tipo de gestão de combustível.

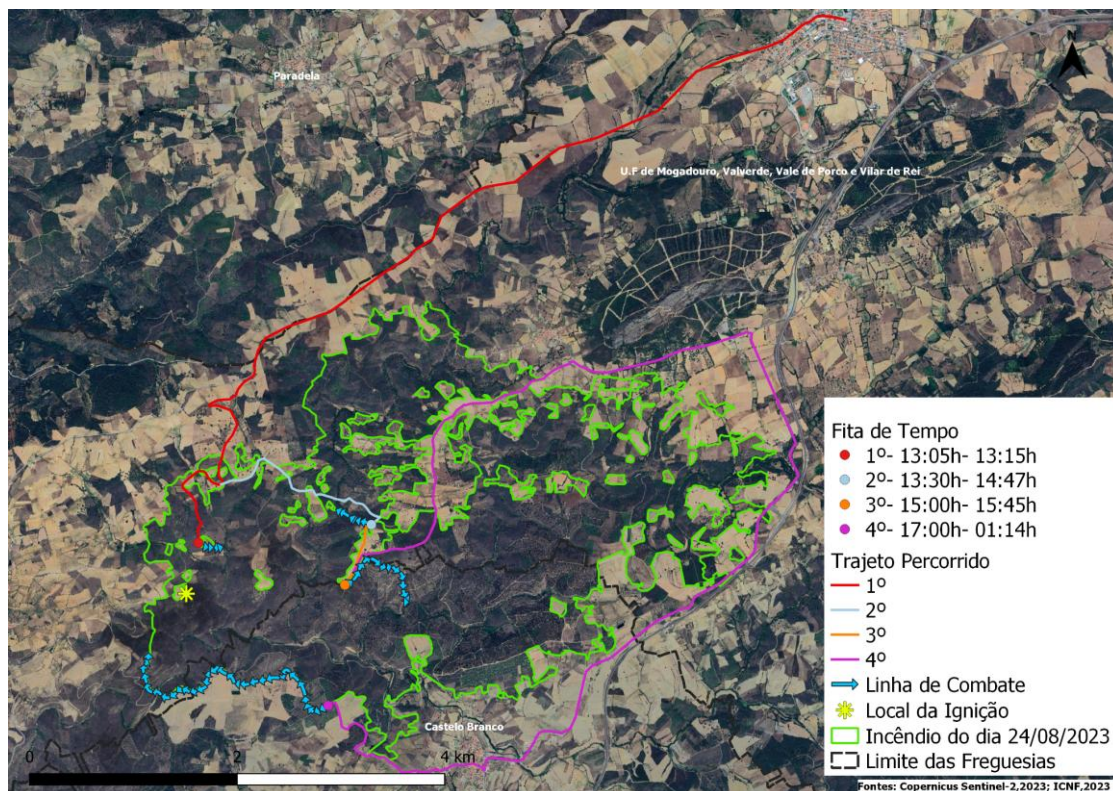
Tabela 3 - Área ardida por tipo de ocupação do solo

Área ardida					
Tipo	Pública	Ocupação	Área(ha)	Idade(anos)	Densi.(n/ha)
Espécie a Espécie, Matos	sim	Mato	588.471	0	0
Espécie a Espécie, Eucalipto	sim	Povoamento	256.781	0	0
Espécie a Espécie, Agrícola	sim	Agrícola	175.755	0	0
Espécie a Espécie, Pinheiro Bravo	sim	Povoamento	90.973	0	0
Espécie a Espécie, Sobreiro	sim	Povoamento	78.92	0	0
Espécie a Espécie, Outras Resinosas	sim	Povoamento	32.713	0	0
Espécie a Espécie, Carvalho	sim	Povoamento	22.08	0	0
Espécie a Espécie, Outras Folhosas	sim	Povoamento	14.044	0	0
Espécie a Espécie, Carvalho	sim	Povoamento	5.999	0	0
Espécie a Espécie, Rede Viária	sim	Urbano	5.904	0	0
Espécie a Espécie, Pinheiro Manso	sim	Povoamento	1.794	0	0
Espécie a Espécie, Castanheiro	sim	Povoamento	0.088	0	0
Área Total			1273.522		

Fonte: ICNF

Os dados para a reconstrução da seguinte fita de tempo, tiveram como base informações fornecidas por uma equipa de sapadores que atuaram no incêndio, permitindo uma representação real das dificuldades da ocorrência. Através da Figura 22 é possível verificar o percurso da equipa ao longo de quatro fases temporais distintas, a chegada ao teatro de operações (TO) foi por volta das 13:05h e o objetivo era começar a combater o incêndio pelo flanco esquerdo em direção à frente de incêndio, algo que não foi possível executar devido à rápida propagação do incêndio, obrigado a equipa a reposicionar-se várias vezes. A estratégia de combate pelos flancos em direção à frente de incêndio foi tentada várias vezes, sem sucesso. Com reforço de meios, a equipa atuou com elevado sucesso no flanco direito entre o período das 17:00h até às 01:14h. Com recurso a uma das máquinas de rastos presente no TO, foi construído um perímetro com o objetivo de conter a propagação do fogo no flanco direito. Em colaboração com a equipa de sapadores florestais, foram aplicadas técnicas de ataque direto e indireto.

Figura 22 - Fita de tempo da equipa de sapadores na ocorrência do dia 24/08/2023



Fonte: Elaboração própria

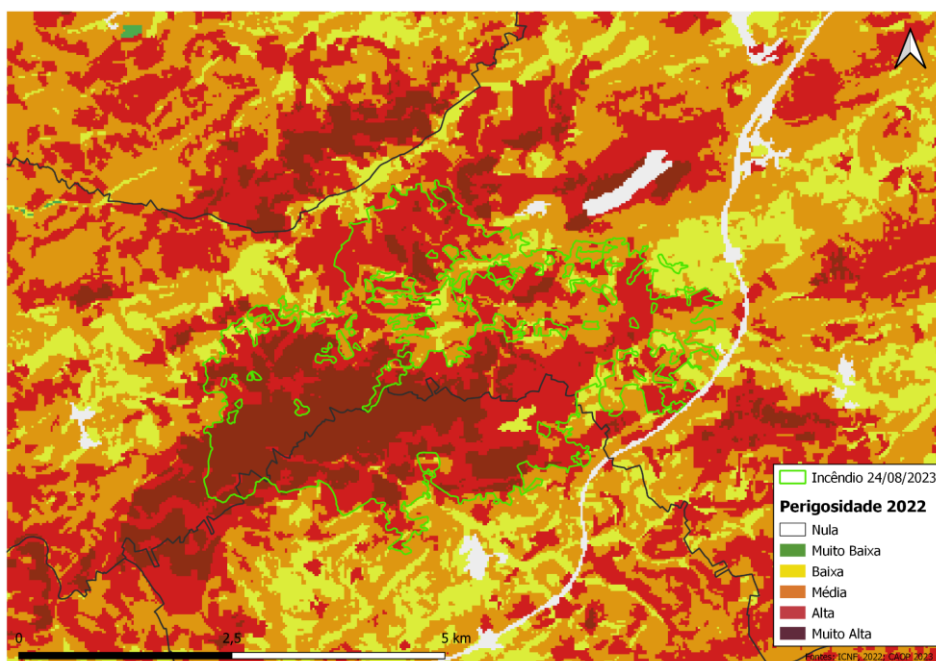
Figura 23 - Imagens do incêndio, através da perspetiva terrestre e aérea na ocorrência no dia 24/08/2023



Fonte: Equipa de sapadores que esteve na ocorrência

Nesta investigação recorreu-se à carta de perigosidade elaborada anualmente pelo ICNF. Através de uma breve análise verifica-se que no ano anterior à ocorrência a área que foi afetada pelo incêndio em 2023, possuía elevadas áreas de perigosidade, desde áreas com um nível de perigosidade “muito alta” e “alta”, até áreas com perigosidade “baixa” (Figura 24 e Anexo A.24). Uma vez que este incêndio cruzou uma vasta área de matos, de carácter arbustivos, estes possuem uma capacidade de regeneração rápida, sendo que na carta de perigosidade do ano de 2023 já se verificam áreas com perigosidade “baixa” (Figura 23).

Figura 24 - Perigosidade de Incêndio Rural em 2022 na área do incêndio do dia 24/08/2023

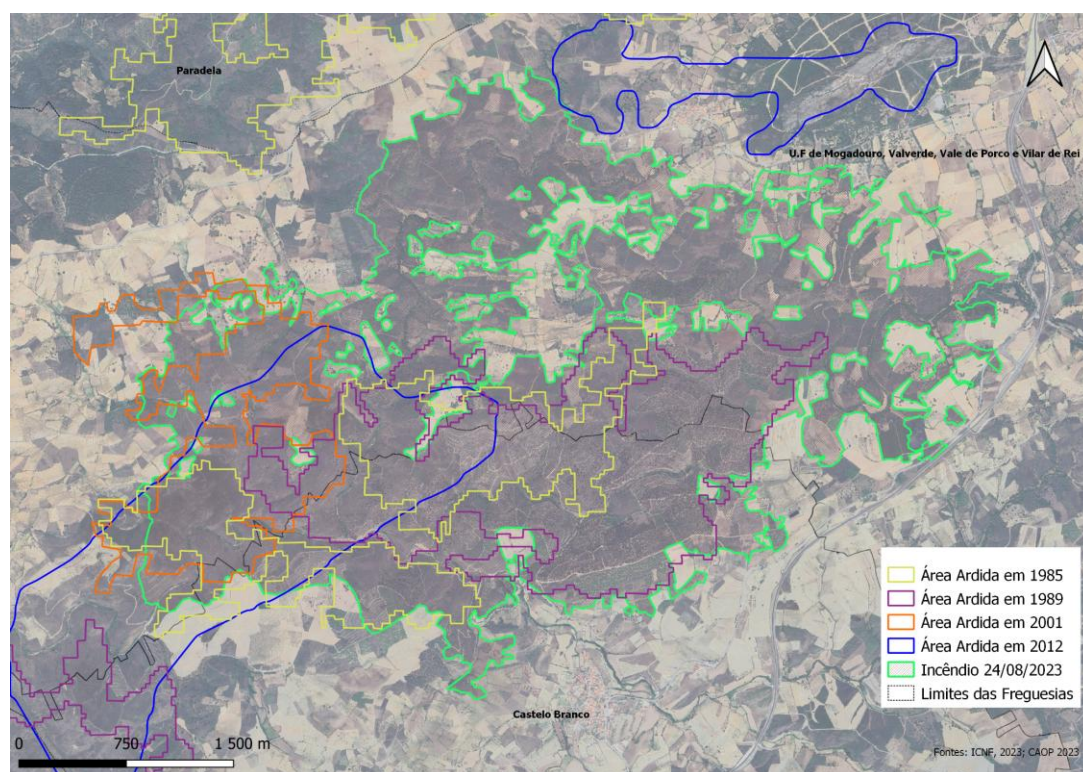


Fonte: ICNF

Recorrendo à cronologia histórica de áreas ardidas (Figura 25), constata-se uma determinada recorrência da área que foi percorrida pelo incêndio de 24 de agosto de 2023. Uma grande parte da área que foi consumida pelas chamas em 2023, já tinha sido afetada anteriormente, pelo menos desde o ano de 1985. Até ao ano de 2001

todas as áreas ardidas nesta localização, possuem uma geometria bastante semelhante, o que pode indicar a existência de barreiras naturais que não permitem a progressão do fogo. A geometria do incêndio do ano de 2012 que intersesta a área ardida de 2023 é curiosa, uma vez que o incêndio teve a sua origem o mais distante de todos os outros anos e mesmo assim acabou por percorrer uma área que já tinha sido ardida em 1985, 1989 e 2001. Esta localização geográfica apresenta uma vulnerabilidade à recorrência de incêndios, possivelmente devido a fatores como a presença de vegetação altamente inflamável com elevada capacidade de regeneração, orografia, condições ambientais e por ausência de gestão florestal adequada.

Figura 25 - Áreas ardidas que percorreram a mesma área do incêndio de 24/08/2023



Fonte: ICNF

Mediante uma análise posterior ao incêndio, é perceptível a importância das áreas agrícolas como barreiras naturais para a diminuição da intensidade do incêndio. Estas permitiram uma dupla vantagem, a atuação em segurança por parte dos operacionais no terreno e a própria barreira natural que impacta a propagação do fogo. As “ilhas” não ardidas, são em grande parte parcelas agrícolas com culturas permanentes, estas encontram-se lavradas por parte dos agricultores, uma vez que com a chegada dos meses de verão, o fim da primavera é a época do ano adequada para lavrar a terra. Os agricultores utilizam esta prática agrícola como parte da prevenção no caso da ocorrência de incêndio, uma vez que as culturas não são tão afetadas em caso de incêndio (Anexo A.38).

4.2. Análise do impacto das áreas agrícolas com recurso a ferramentas de detecção remota

4.2.1. Cartografia existente - COS, COSc e CLC

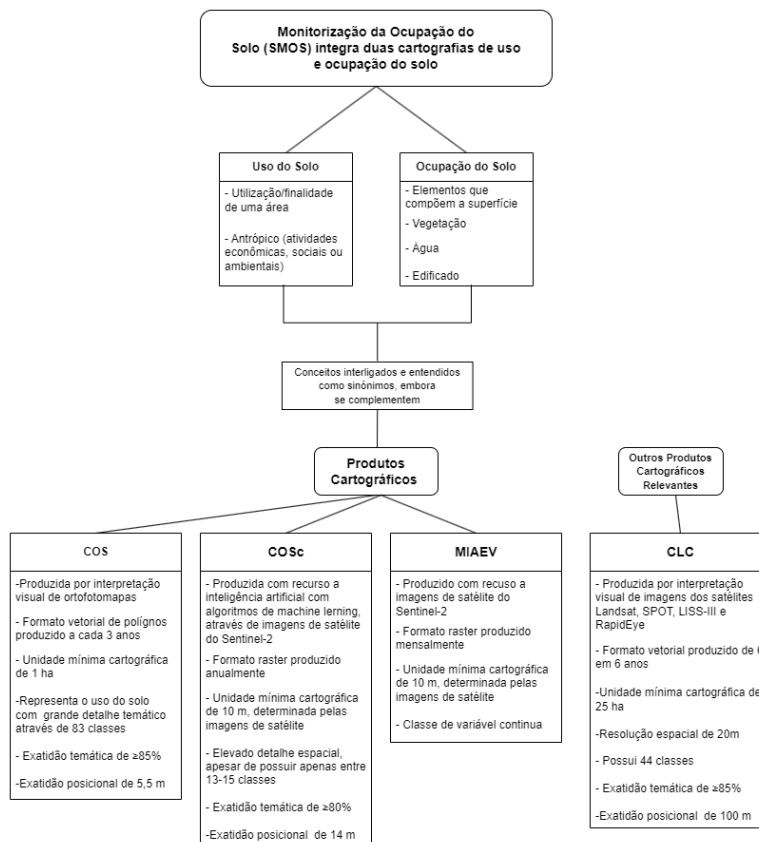
A cartografia de uso e de ocupação do solo é uma ferramenta fundamental para o ordenamento do território, permitindo a representação da realidade do terreno, das atividades aí implementadas e da distribuição espacial dos fenómenos (Mota et al., 2012). Esta ferramenta é constantemente utilizada pelas entidades oficiais como pelo meio académico para a realização de análises e produção de cartografia. É crucial que esta informação tenha de corresponder à realidade da ocupação do solo e seja atualizada regularmente. De acordo com Mota (2012) verifica-se uma infinidade de metodologias distintas para a elaboração de cartografia de ocupação do solo, originando assim inconvenientes na sua utilização, uma vez que cada entidade que realiza este produto define as suas classes para fazer a correspondência entre o terreno e a sua representação cartográfica. No contexto europeu foi uma das medidas do programa *Co-ordination of Information on the Environment* (CORINE) que permitiu a criação de um produto cartográfico único, o projeto CORINE Land Cover (CLC), produziu uma cartografia de uso e ocupação do solo à escala 1/100 000 para os países

da união europeia (UE) datada de um ano próximo de 1990, apelidada de CLC90 (Mota et al., 2012).

Com o propósito de entender como as áreas agrícolas podem impactar num incêndio, foi necessário recorrer à utilização da COS, uma vez que esta é a cartografia de referência a nível nacional. Compreender qual a dispersão geográfica e a dimensão que cada classe possui é imprescindível para cruzar essa informação com os dados das áreas ardidas, sendo possível através de uma relação temporal e geográfica. Apesar da COS só ser atualizada a cada cinco anos, esta ainda representa um papel fundamental no que diz respeito à qualidade e fiabilidade dos dados, como tal, foi utilizada como ponto de “ancoragem” para a criação e validação da cartografia da ocupação do solo elaborada nesta investigação. A condição temporal da COS foi um dos motivos que promoveu a elaboração de cartografia própria, no contexto da ocupação do solo, dado que no caso dos incêndios se encontram contabilizados anualmente, é difícil e pode até ser considerado incorreto a análise pormenorizada de um determinado incêndio no caso da cartografia do uso e ocupação do solo se encontram desatualizada. O nível de detalhe fornecido pela COS (Figura 26) fica também aquém das expectativas quando o contexto requer uma análise minuciosa à escala de cada classe e que tipo de classe é que o incêndio consumiu, sendo este um handicap que a cartografia elaborada visa solucionar.

A COSc é um produto cartográfico que contempla as lacunas detetadas na COS e que permite uma análise totalmente detalhada sobre uma determinada ocorrência. Neste contexto, a utilização deste tipo de cartografia foi estritamente necessária para a validação das cartas de uso e ocupação elaboradas.

Figura 26 - Estrutura da monitorização da ocupação do solo (SMOS), integrando as cartografias de uso e ocupação do solo, e os produtos cartográficos



Fonte: Elaboração própria

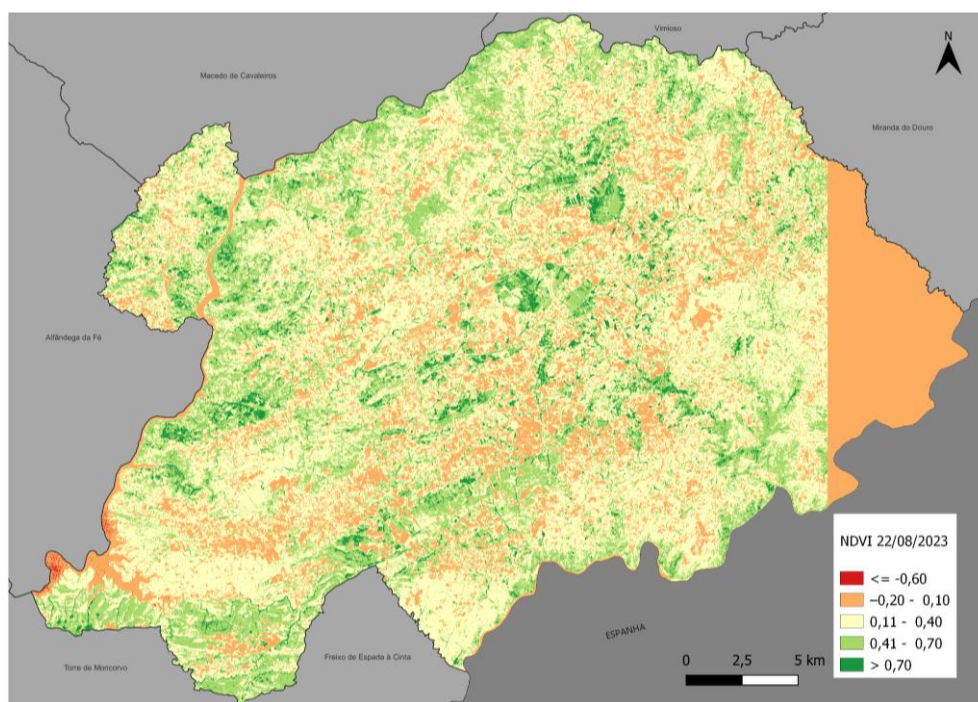
4.2.2. Pré processamento e processamento dos dados

4.2.2.1. Normalized difference vegetation Index - NDVI

As Figuras 27 e 28 representam as dinâmicas da vegetação entre o pré-incêndio (22/08/2023) e pós-incêndio (01/09/2023). A área de estudo encontrava-se com áreas residuais que indicavam vegetação densa e saudável (maioritariamente a oeste do município) e bastante área de vegetação moderadamente saudável e solo exposto (região centro e sul do município). Na Figura 28 que corresponde ao após incêndio verifica-se uma expansão das áreas com valores elevados ($> 0,70$), o que não é habitual num curto período de 10 dias, este fenómeno poderá estar relacionado com a alta reflectância no NIR de áreas com solo exposto que podem ser confundidas com vegetação saudável pelo algoritmo do NDVI, sendo isto visível no caudal do rio Sabor.

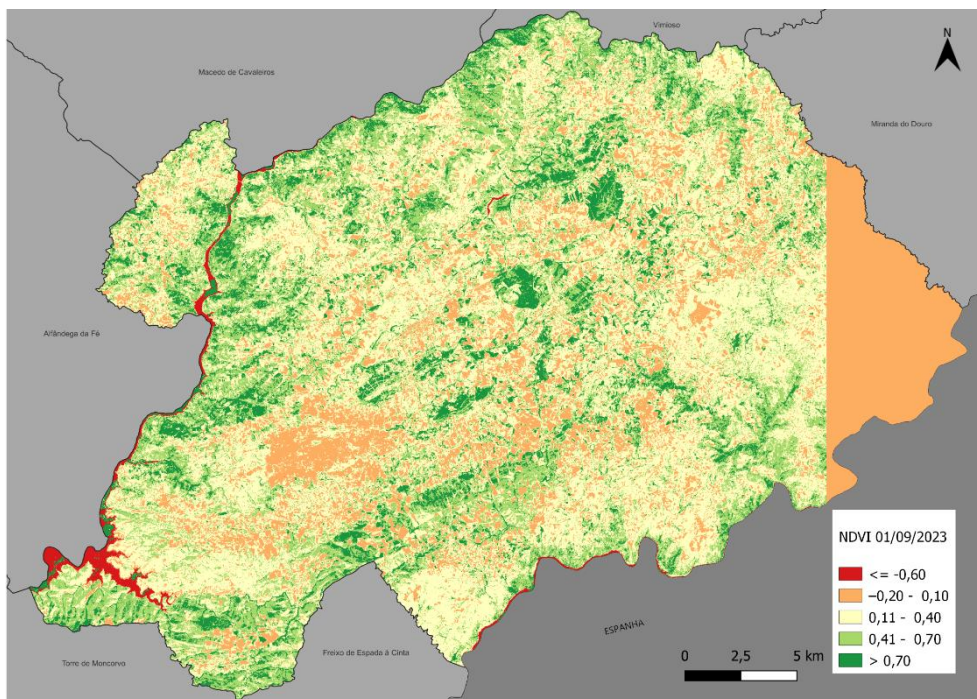
Contudo, é perceptível a área consumida pelo incêndio, resultando numa mancha contínua a sudoeste do município na classe de valores entre -0,20 a -0,10 (Figura 27 e Anexo A.25).

Figura 27 - NDVI antes do incêndio no município de Mogadouro



Fonte: Sentinel-2, Copernicus

Figura 28 - NDVI depois do incêndio no município de Mogadouro

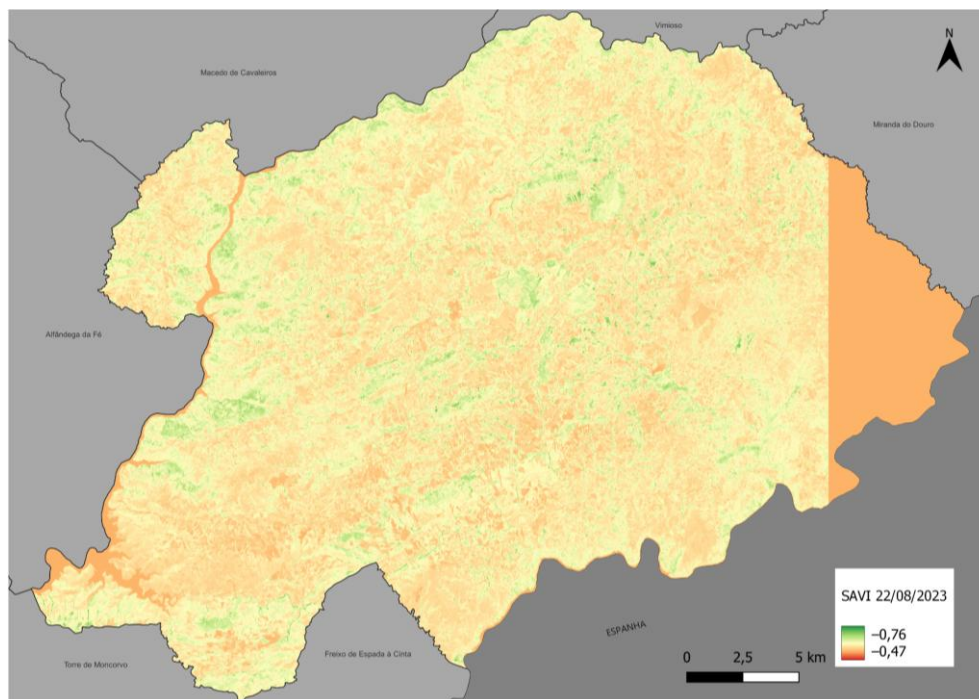


Fonte: Sentinel-2, Copernicus

4.2.2.2. Soil adjusted vegetation Index - SAVI

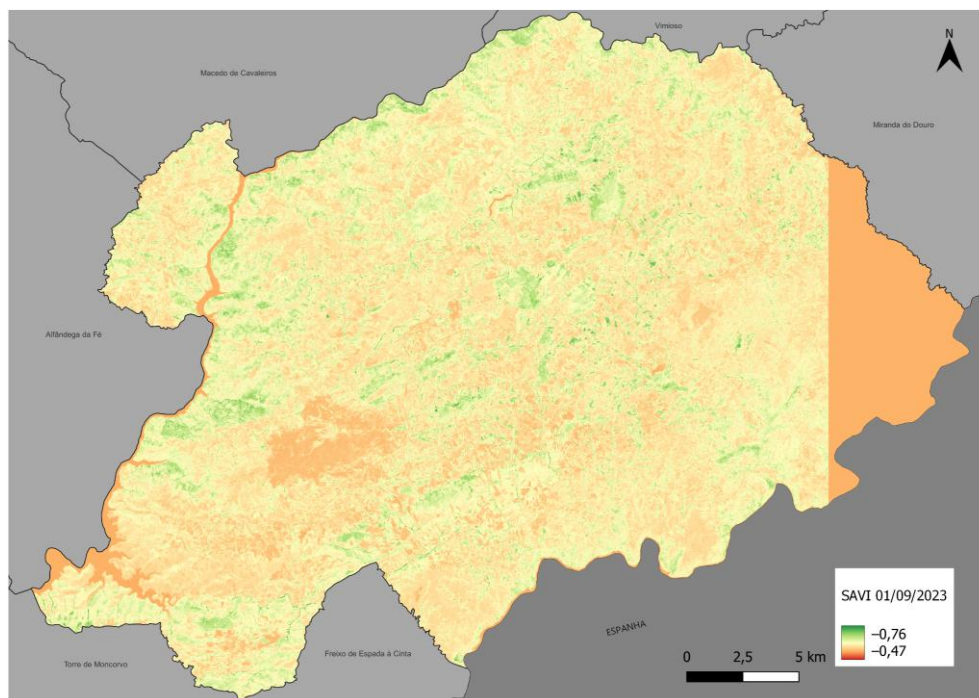
Através deste índice (Figuras 29 e 30) é notória a influência que o incêndio possuiu entre o pré-incêndio e o pós-incêndio, uma vez que a mancha localizada a sudoeste do município na Figura 30 é na sua totalidade solo sem qualquer tipo de vegetação. Quanto à análise estatística (Anexo A.26) o valor mínimo (-0.2789) torna-se mais elevado após o incêndio (-0.4707), uma vez que uma vasta área perdeu drasticamente vegetação, e a restante área do município manteve-se com valores similares à normalidade antes da ocorrência.

Figura 29 - SAVI antes do incêndio no município de Mogadouro



Fonte: Sentinel-2, Copernicus

Figura 30 - SAVI depois do incêndio no município de Mogadouro

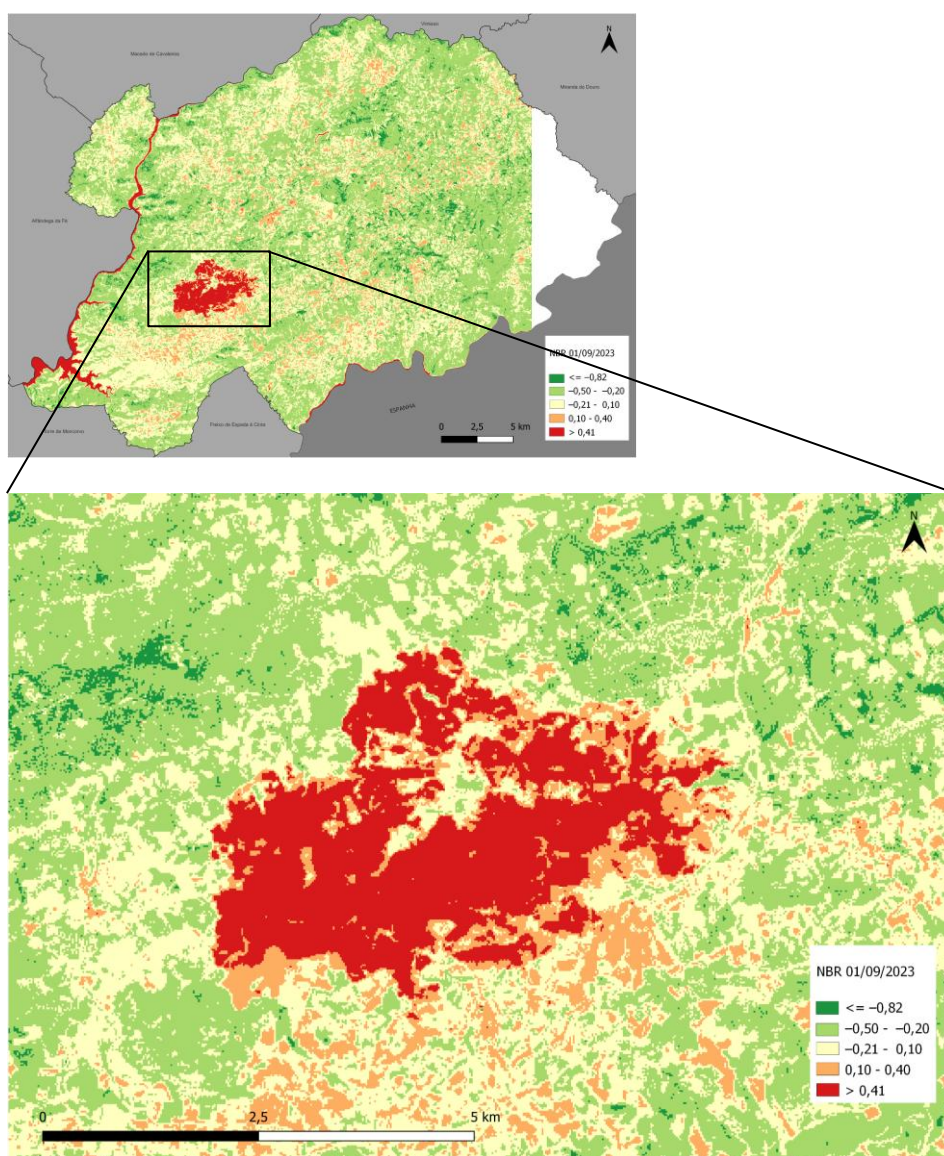


Fonte: Sentinel-2, Copernicus

4.2.2.3. Normalized burn ratio - NBR

Através da Figura 31 é possível verificar a área consumida pelo incêndio, no que diz respeito à severidade. Este incêndio caracteriza-se quase na sua totalidade como um evento na classe de severidade “média”, ainda que os valores estatísticos apresentem um valor máximo de 0,7563, que corresponde a um nível de “Elevada severidade” segundo a classificação utilizada (Anexo A.27).

Figura 31 - NBR depois do incêndio no município de Mogadouro



Fonte: Sentinel-2, Copernicus

4.2.3. Classificação

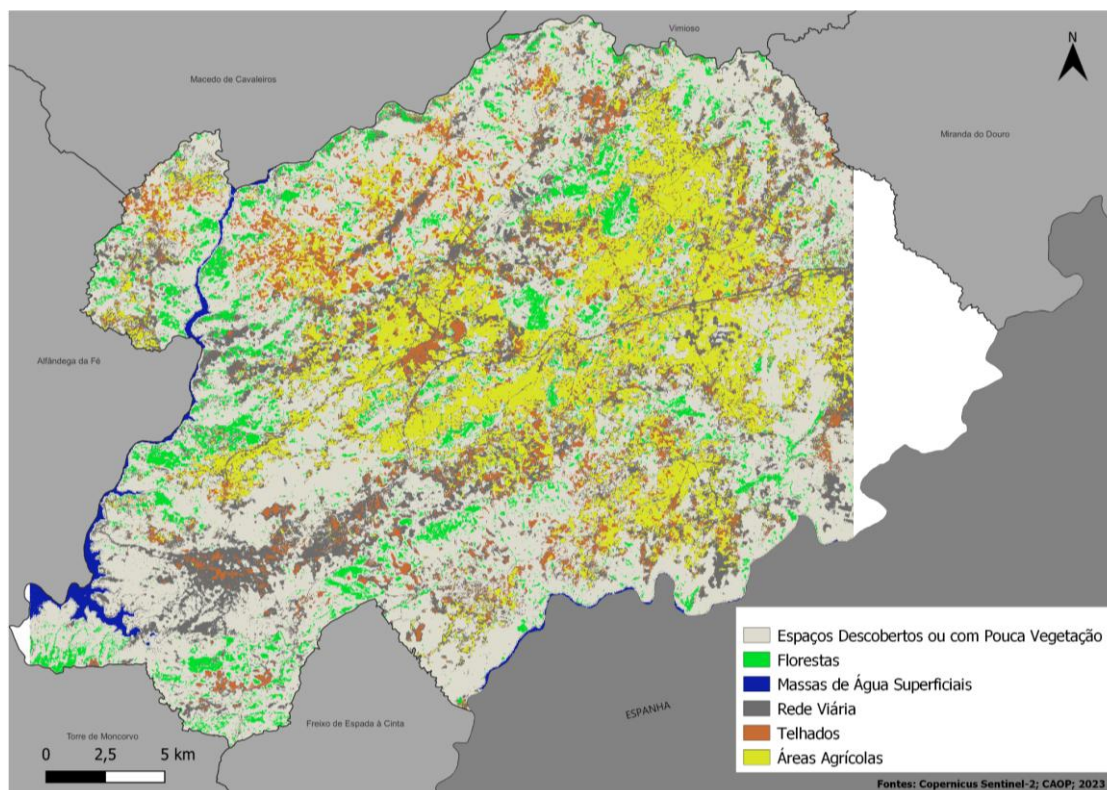
4.2.3.1. Maximum Likelihood Classifier

Através da aplicação do algoritmo MLC para a área de estudo, obteve-se uma exatidão global da classificação de 97,43% pré-incêndio e de 90,08% após o incêndio (Anexo A.30). Os dados estatísticos por classe permitem compreender com mais detalhe a qualidade da classificação, sendo que, de um modo geral, todas as classes apresentam valores bastante elevados.

Para a cartografia elaborada pré-incêndio (Figura 32) todas as classes apresentam valores elevados de exatidão, as que mais se destacam pela positiva foram as *Massas de Água Superficiais* (99%), *Áreas Agrícolas* (99%) e *Rede Viária* (99%); as restantes classes tiveram uma exatidão de 98%.

Através da Figura 32 é visível a predominância da classe de *Espaços Descobertos ou Com Pouca Vegetação* uma vez que esta classe se define como mais abrangente que todas as outras, ainda que o algoritmo possa ter alguma dificuldade em distinguir esta classe das *Áreas Agrícolas* aradas. A classe dos *Telhados* quando comparada com a realidade, apresenta um exagero visual na cartografia produzida uma vez que no município de Mogadouro esta classe deveria encontrar-se mais uniforme e não tão segregada, pois os principais núcleos urbanos são de aldeias que se encontram concentradas. Esta classe é a que possui maior nível de detalhe, daí surgir um valor de erro mais elevado.

Figura 32 - Carta de ocupação do solo segundo o método do maximum likelihood classifier, antes do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro



Fonte: Sentinel-2, Copernicus

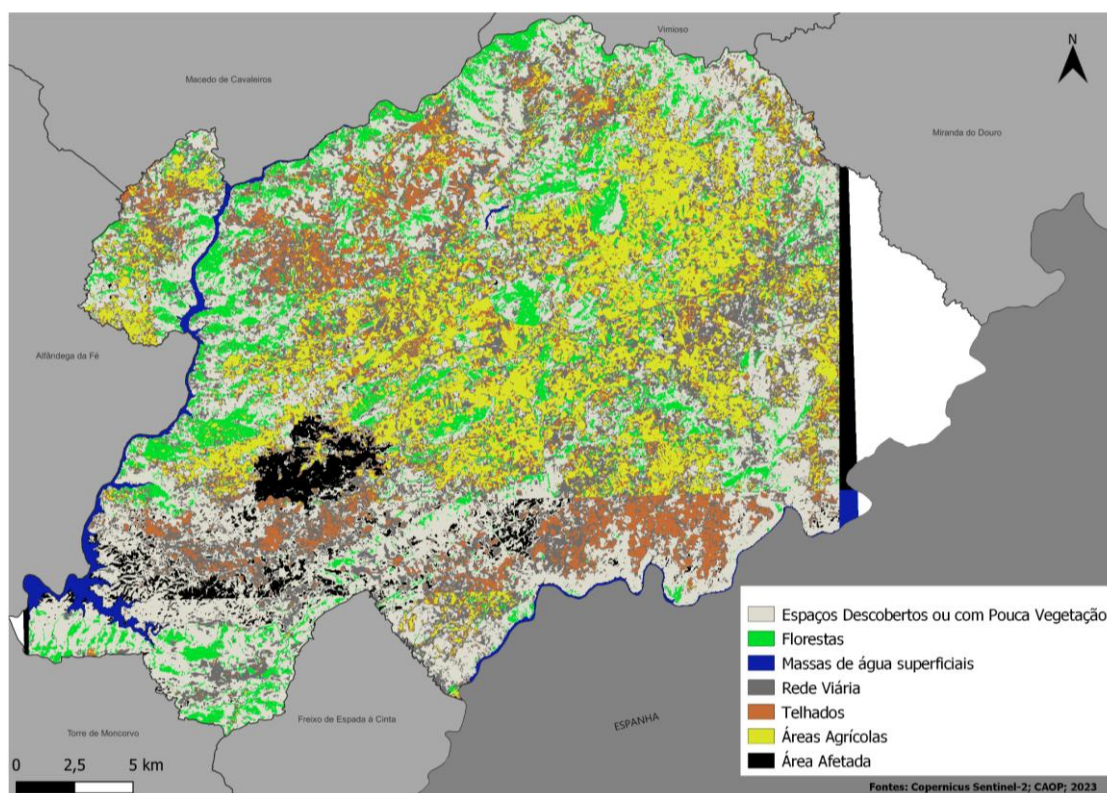
Na elaboração do algoritmo MLC no pós- incêndio, a exatidão global diminui de forma considerável, uma vez que foi introduzida uma nova classe (*Área Afetada*) refletindo-se num aumento da complexidade de classificação após o incêndio.

Para a cartografia elaborada após incêndio (Figura 33) algumas classes apresentam valores elevados de exatidão, enquanto outras apresentam valores ligeiramente mais baixos. A classe de *Massas de Água Superficiais* possui um valor de exatidão de 99%, a classe de *Florestas* possui 99%, os *Espaços descobertos ou com pouca vegetação* possuem 96%, enquanto todas as outras classes possuem valores que variam entre 95% a 94%.

Na Figura 33 a classe de *Área Afetada* é delimitada com bastante precisão (98% de exatidão), embora se verifiquem vários píxeis que foram considerados como área ardida de forma errada. Estas potenciais causas da confusão podem relacionar-se com

a presença de áreas mais escuras e que podem ser confundidas com a área ardida, sendo um bom exemplo as sombras topográficas que é precisamente onde se localiza esse erro (sudoeste do município - encostas do rio Sabor). Todavia esta classe apresenta uma elevada exatidão no aspecto global, sendo visível a substituição das classes pré-existentes, compostas maioritariamente pela classe de *Espaços descobertos ou com pouca vegetação e floresta*.

Figura 33 - Carta de ocupação do solo segundo o método do maximum likelihood classifier, depois do incêndio de 24/08/ 2023 no município de Mogadouro



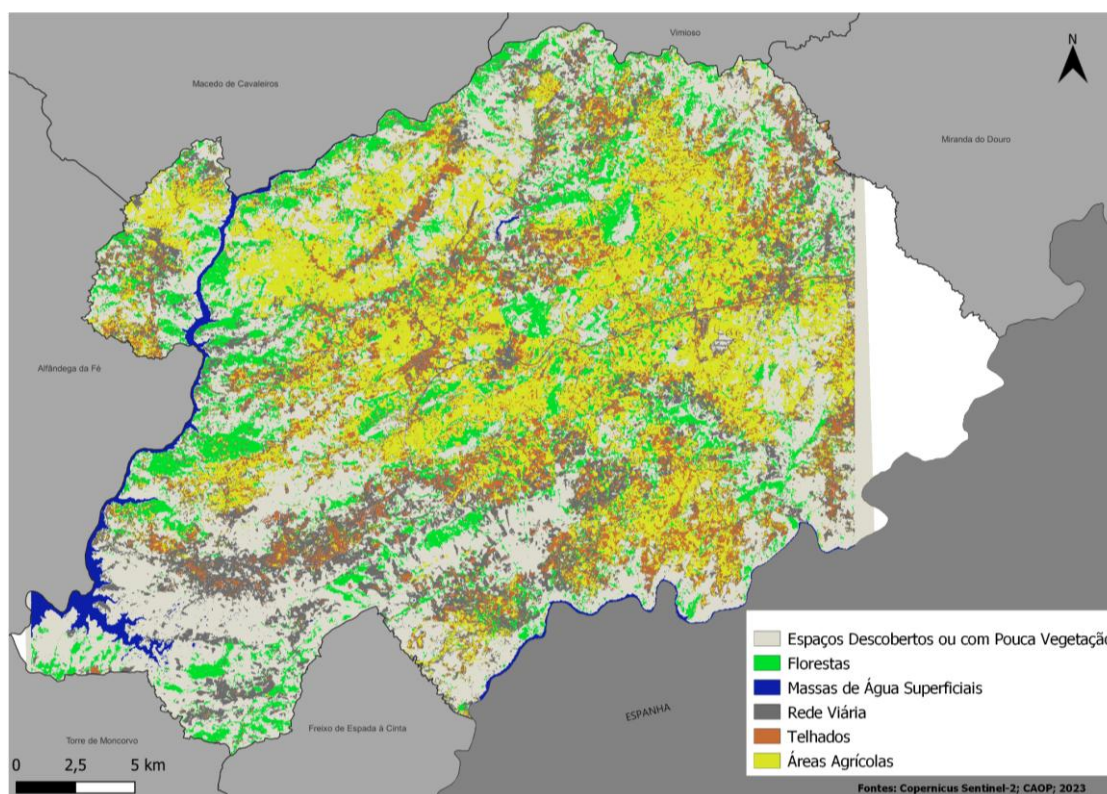
Fonte: Sentinel-2, Copernicus 2023

4.2.3.2. Random Forest Classifier

O algoritmo RFC aplicado na área de estudo, possui uma exatidão global da classificação de 98,51% pré-incêndio e de 96,51% pós-incêndio (Anexo A.31). No que diz respeito aos dados estatísticos por classe, que permitem a elaboração de uma análise mais detalhada, os resultados foram bastante positivos, com todas as classes entre os 99% e 98% de exatidão.

De acordo com a Figura 34 é visível a precisão que este algoritmo possui no que diz respeito à delimitação das classes de *Massas de Água Superficiais*. Destaca-se a classe de *Áreas Agrícolas* (99% exatidão) que possui uma vasta área no município de Mogadouro. As classes da *Rede Viária* e *Telhados* são as que apresentam um erro mais elevado (cerca de 1,11% para *Rede Viária* e 0,96% para *Telhados*), demonstrando várias manchas contínuas de ambas as classes que não estão de acordo com a realidade. A distribuição espacial das classes foi, em regra geral, coerente com a configuração real da ocupação do solo.

Figura 34 - Carta de ocupação do solo segundo o método do random forest classifier, antes do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro

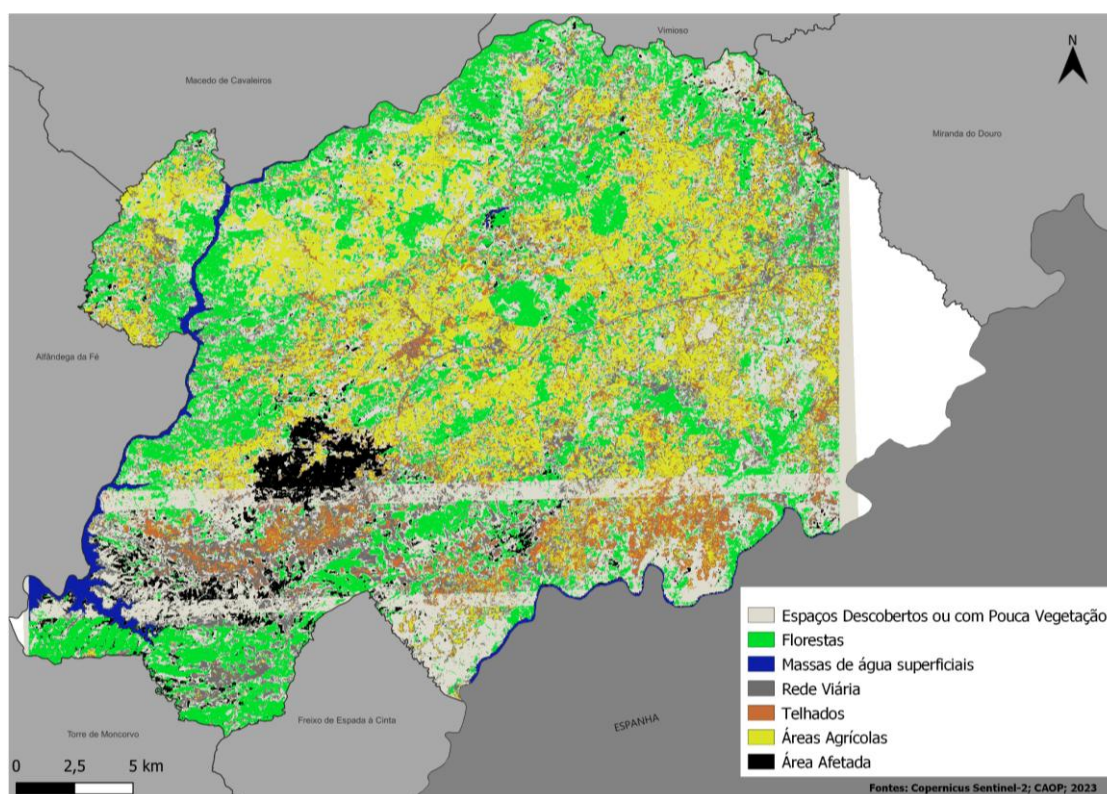


Fonte: Sentinel-2, Copernicus

Na elaboração do algoritmo RFC para o pós-incêndio (Figura 35) verifica-se uma ligeira diminuição da exatidão global (96,51%), tendo em consideração que foi introduzida

uma nova classe (*Área Afetada*), aumentando a complexidade de classificação no pós-incêndio. A exatidão das classes após o incêndio também se manteve bastante elevada. A classe das *Massas de Água Superficiais* alcançou os 99%, *Área Afetada* 99% e as *Florestas* 98%. A classe que obteve menor exatidão foi a *Rede viária* com 97%, embora seja um valor adequado dentro do padrão.

Figura 35 - Carta de ocupação do solo segundo o método do random forest classifier, depois do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro



Fonte: Sentinel-2, Copernicus

4.3. Discussão dos resultados

Analisando os índices aplicados (NDVI, SAVI, NBR), verifica-se que o NBR (e o dNBR) foram os que apresentaram maior sensibilidade de valores com a ocorrência do incêndio. A diferença é visível em áreas de vegetação densa que foram consumidas pelo fogo. Em todos os índices registaram-se quedas significativas, sendo o NBR o que evidencia essas mudanças de forma mais clara. O NDVI e o SAVI apresentam algumas

fragilidades em áreas com pouca vegetação. Essas áreas já possuem valores baixos mesmo antes do incêndio de modo que a redução pós-fogo pode diminuir dentro da variação natural. Uma área com pouca vegetação e que seja queimada pode ter um NDVI pós-fogo similar a outra área não ardida igualmente com pouca vegetação, dificultando a distinção apenas usando o NDVI e o SAVI.

Em suma, o NDVI e o SAVI registam a dimensão básica da perda ou ganho de vegetação. O NBR (e dNBR) apresentam resultados mais claros, que evidenciam as mudanças após um incêndio, sobretudo em áreas geográficas mediterrâneas e semiáridas como o da área de estudo.

4.3.1. Comparação dos resultados do MLC e RFC

Nesta investigação foram utilizados dois algoritmos distintos (RFC e MLC) para a classificação da ocupação do solo antes e depois do incêndio. Ambos os algoritmos apresentaram elevada exatidão global, destacando-se o *random forest classifier*, uma vez que obteve melhores resultados, tanto no pré-incêndio como no pós-incêndio. O MLC apresentou resultados menos precisos na classificação para o pós- incêndio, apresentando mais sensibilidade da classificação à alteração da ocupação do solo.

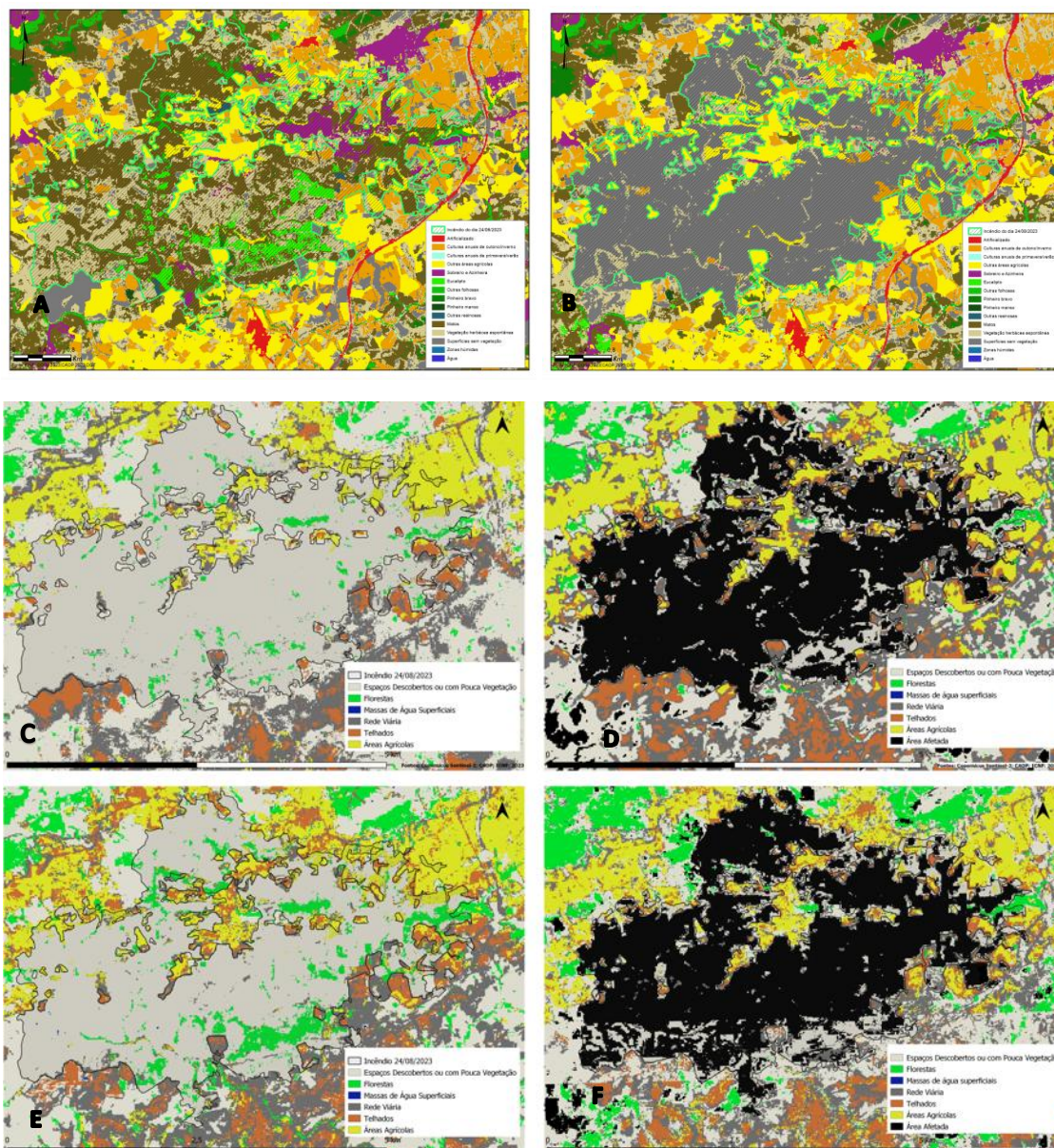
Além disso, o impacto do incêndio na classificação da ocupação do solo é visível nos dois algoritmos com a classe da *Área afetada*. As drásticas mudanças desta classe podem apresentar semelhanças de reflectância com áreas de pouca vegetação e solo exposto o que torna ainda mais difícil a sua distinção, implicando confusão na classificação das classes. Este erro é visível em ambos os algoritmos (Figuras 33 e 35), destacando-se pela negativa o MLC (Figura 33) que fez classificações de píxeis incorretos onde algumas áreas não ardidas foram classificadas como ardidas. O RFC conseguiu um melhor desempenho neste aspeto, considerando menos falsos positivos (área ardida). Esta diferença de capacidade de resposta entre os dois algoritmos evidencia a importância da utilização de mais do que um algoritmo, uma vez que um incêndio altera o cenário da classificação, classes previamente bem definidas podem confundir-se espectralmente, exigindo algoritmos flexíveis e até dados adicionais para complementar de forma mais correta o resultado final.

As classes que demonstraram mais problemas em ambos os algoritmos foram a *Rede Viária e Telhados*, sobretudo após o incêndio. Verificou-se uma confusão destas classes com as demais classes, possivelmente por este tipo de elementos (estradas, telhados) possuírem menor dimensão em relação à escala das restantes classes, que são mais evidentes de serem classificadas. A resolução espacial de 10 metros das imagens do Sentinel-2 pode ser uma das causas da confusão entre estas classes, que requerem imagens com maior detalhe, uma vez que se no mesmo pixel existir uma estrada ou um telhado e vegetação o algoritmo irá ter bastante dificuldade para atribuir a esse pixel a devida ocupação do solo (designado por *spectral unmixing*). Estas duas classes possuem ainda refletâncias similares, podendo ser facilmente confundidas entre si em áreas urbanas ou semi-urbanas.

Em suma, verificaram-se algumas limitações na classificação sendo a principal, a resolução espacial das imagens de satélite utilizadas, dado que alguns dos elementos classificados são de dimensão espacial bastante reduzida quando comparada com a resolução do sensor utilizado neste trabalho. Seria também viável utilizar dados complementares (imagens de alta resolução espacial, como por exemplo fotografias aéreas) para aumentar detalhe ao produto final.

Através da observação da Figura 36 é possível efetuar uma comparação visual entre a cartografia produzida com os algoritmos MLC e RFC e com a COSc. O algoritmo que se destaca pelos resultados positivos é o RFC antes do incêndio, uma vez que a disposição das classes dentro da área do incêndio se assemelha bastante com a COSc pré-verão. No pós-incêndio o MLC obteve uma mancha de área afetada mais uniforme que o RFC, embora em ambos os algoritmos foram considerados como superfície afetada, áreas que não foram consumidas pelo incêndio. Com esta comparação direta verificamos como cada algoritmo conseguiu detetar as mudanças de classes com a ocorrência do incêndio, tendo como base de comparação um produto com bastante detalhe e de elevada confiabilidade (COSc).

Figura 36 - Carta de ocupação do solo conjuntural pré-verão (A) e pós-verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro

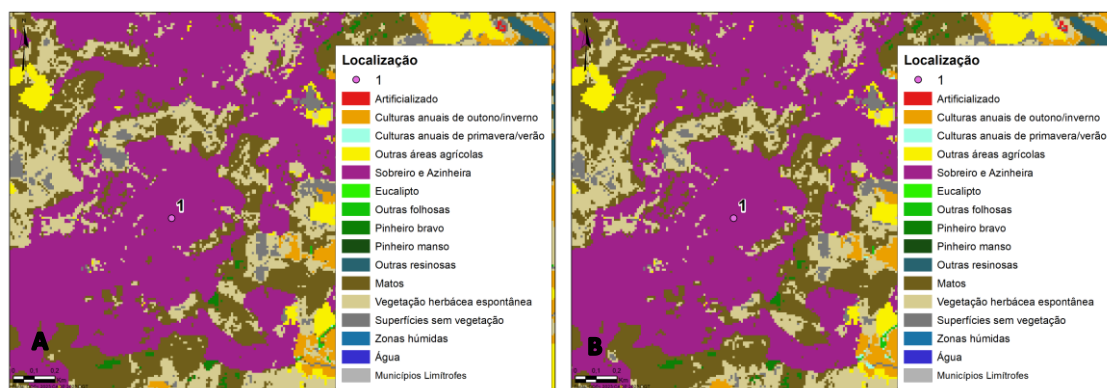


Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus

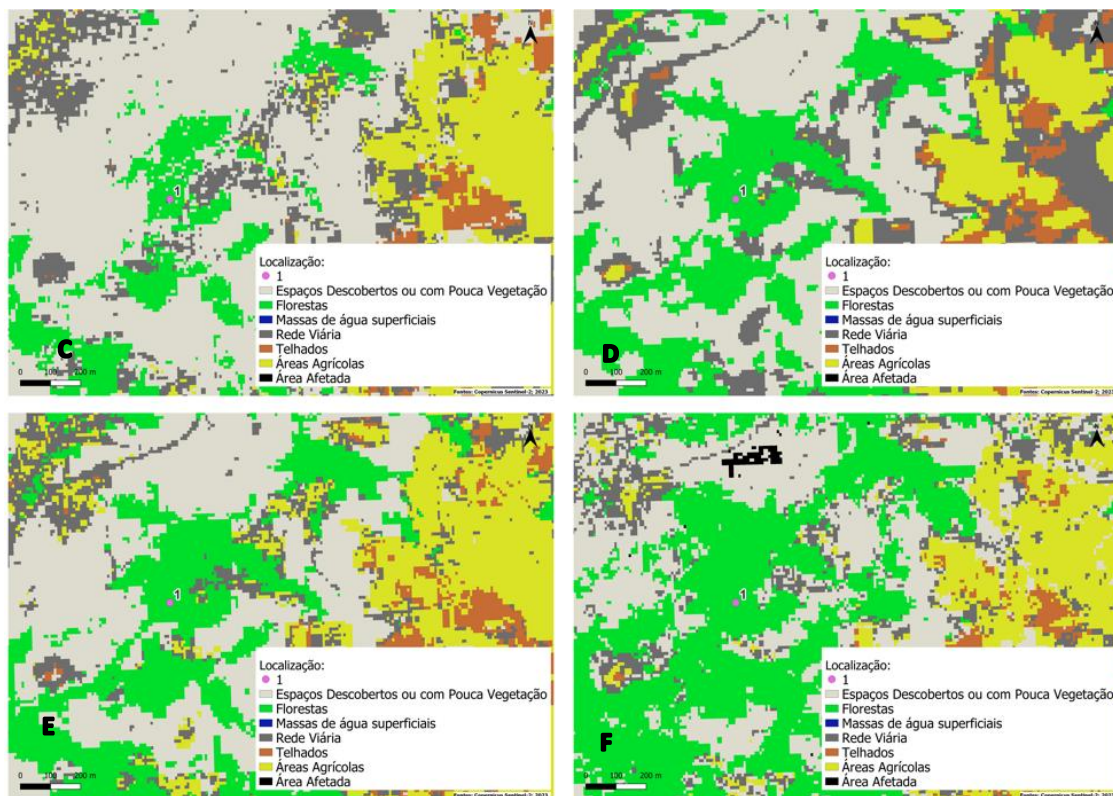
Mediante os dados recolhidos no terreno foi possível realizar uma comparação com uma validação confiável, demonstrando os resultados das classificações dos algoritmos MLC e RFC. Segundo a COSc na primeira área de validação (Figura 37 -

41°20'55.2"N 6°46'41.5"W) a classe predominante é de *Sobreiro e azinheira*, tanto no pré-incêndio como no pós-incêndio. Segundo os algoritmos MLC e RFC, a classe predominante é *Florestas*, seja no pré-incêndio como no pós-incêndio; verifica-se ainda nas proximidades da área de validação a classe de *Espaços Descobertos ou com Pouca Vegetação*. Os resultados destas análises estão de acordo com a realidade presente no terreno, como é possível observar com recurso aos Anexos A.52, A.53 e A.54.

Figura 37 - Carta de ocupação do solo conjuntural pré-verão (A) e pós-verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro



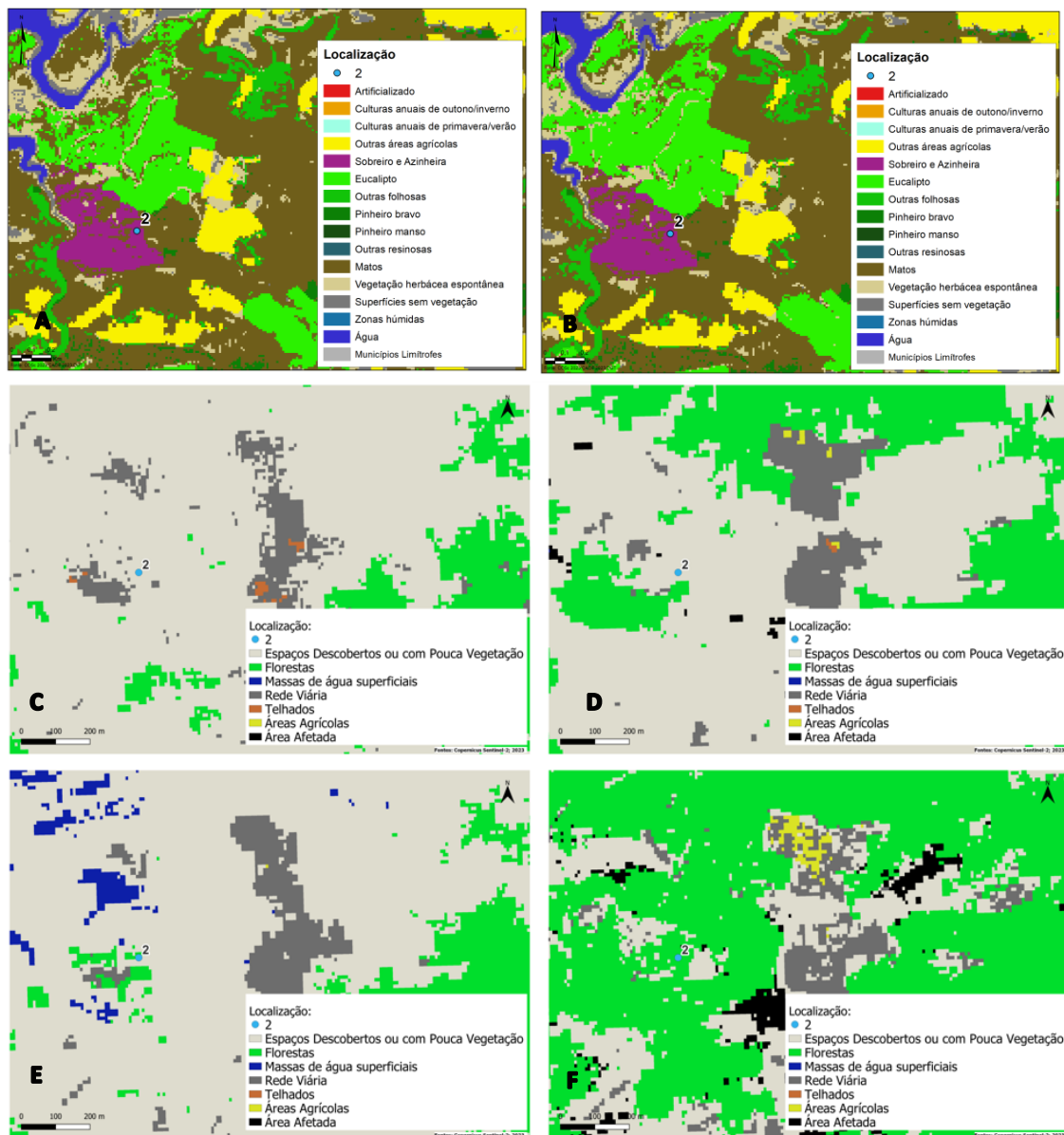
Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus



Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus

A Figura 38 ilustra a segunda área de validação (41°13'38.0"N 6°50'30.8"W). As classes predominantes segundo a COSc são: *Sobreiro e azinheira, Matos e Eucalipto*, tanto no pré-incêndio como no pós-incêndio. Nos algoritmos MLC pré-incêndio as classes predominantes são os *Espaços Descobertos ou com Pouca Vegetação, Rede Viária e Florestas*. No pós-incêndio mantém-se a predominância das mesmas classes, embora apresentem uma disposição geográfica diferente. O RFC no pré-incêndio possui como classes predominantes os *Espaços Descobertos ou com Pouca Vegetação, Massas de Água Superficiais, Rede Viária e Florestas*. No pós-incêndio as classes predominantes são a *Floresta e Espaços Descobertos ou com pouca vegetação*, ainda que se verifiquem algumas manchas da classe *Área Afetada* que não correspondem à realidade uma vez que nenhuma área foi consumida pelo incêndio neste local (Anexos A.55, A.56, A.57 e A.58). Esta localização possui uma interface de várias classes na mesma área geográfica, o que pode ter originado uma confusão de classes em ambos os algoritmos, distorcendo o resultado final.

Figura 38 - Carta de ocupação do solo conjuntural pré verão (A) e pós verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro

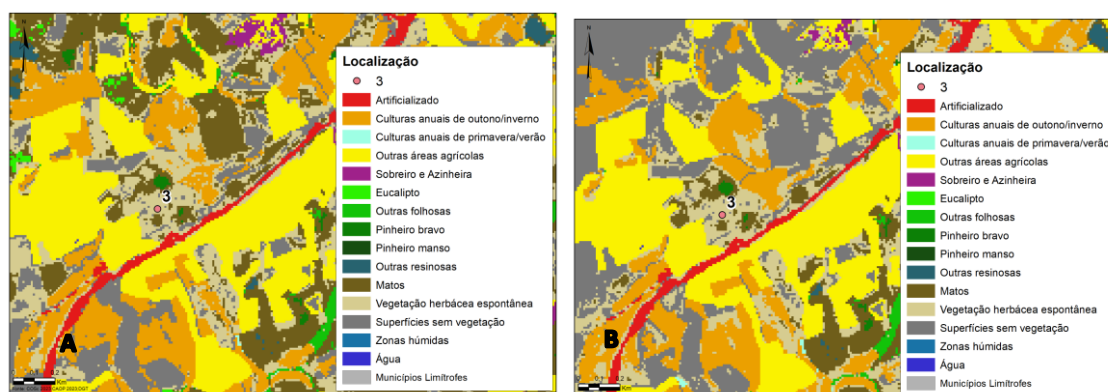


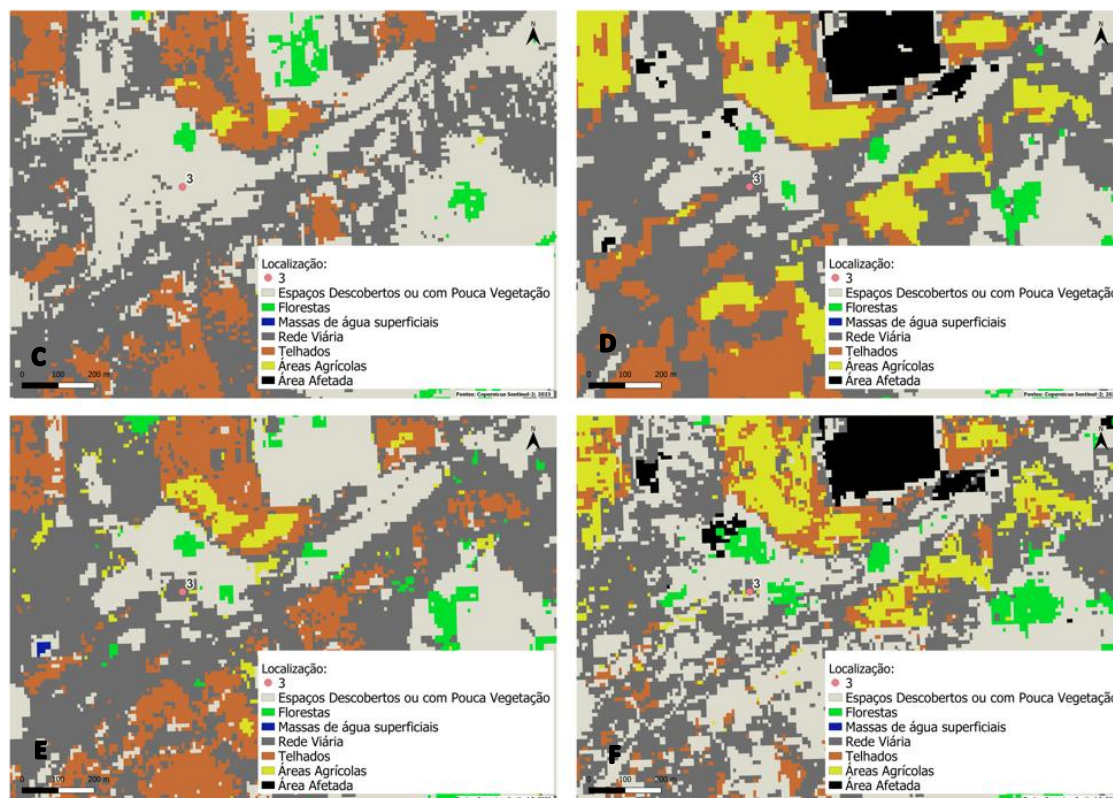
Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus

Na terceira área de validação (Figura 39 - 41°17'23.9"N 6°44'04.2"W), de acordo com a COSc existem diversas classes, sendo as predominantes a *Vegetação herbácea e espontânea* e *Áreas agrícolas* (Outras áreas agrícolas, culturas anuais de outono/inverno). Quando comparadas com os algoritmos MLC e RFC, estes

consideram como classes predominantes os *Espaços Descobertos ou Com Pouca Vegetação*, *Rede viária* e *Telhados*. De acordo com o registo fotográfico do local (Anexos A.59, A.60 e A.61) esta área é composta por vegetação espontânea/matos e por uma pequena mancha de sobreiros. Os algoritmos usados não apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que consideraram áreas com *Vegetação Herbácea* e *Áreas agrícolas* como *Rede viária* e *Telhados*. Os resultados dos algoritmos pós-incêndio demonstram uma pequena mancha que foi afetada pelo incêndio e que de acordo com a realidade esta não foi consumida pelas chamas.

Figura 39 - Carta de ocupação do solo conjuntural pré verão (A) e pós verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro

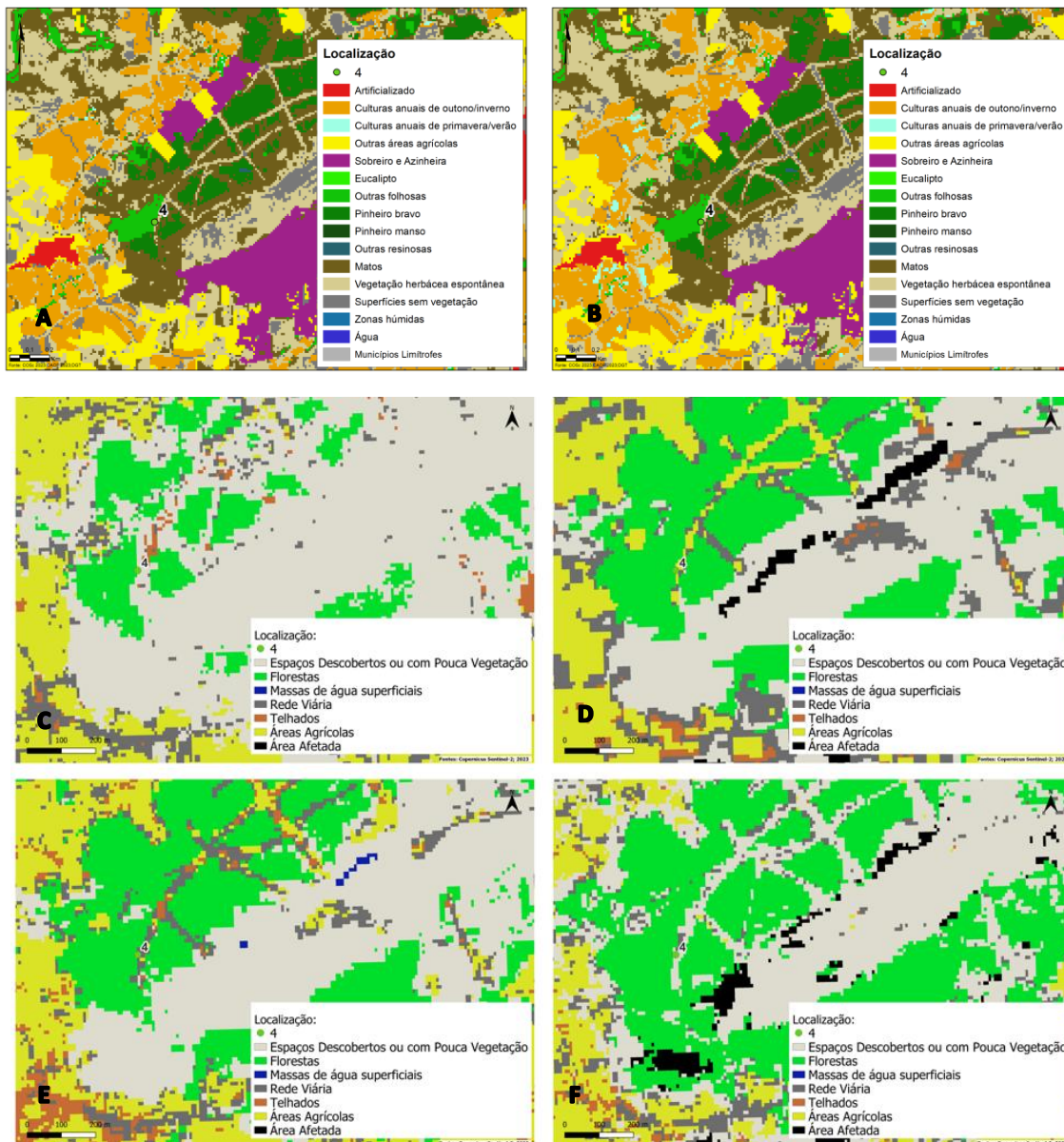




Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus

Ao observar a Figura 40 verificamos que ambos os algoritmos obtiveram um bom desempenho na representação da ocupação do solo na quarta área de validação ($41^{\circ}18'54.4''N$ $6^{\circ}44'26.9''W$). Na COSc a área é caracterizada por possuir eucalipto e pinheiro-bravo. Destaca-se pela positiva o algoritmo MLC pela classificação da classe *Florestas*, e por ter obtido uma maior capacidade de distinção entre as classes envolventes, apesar de terem sido consideradas como *Rede Viária* e *Telhados*, o que não corresponde à realidade (Anexos A.62, A.63 e A.64).

Figura 40 - Carta de ocupação do solo conjuntural pré verão (A) e pós verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro

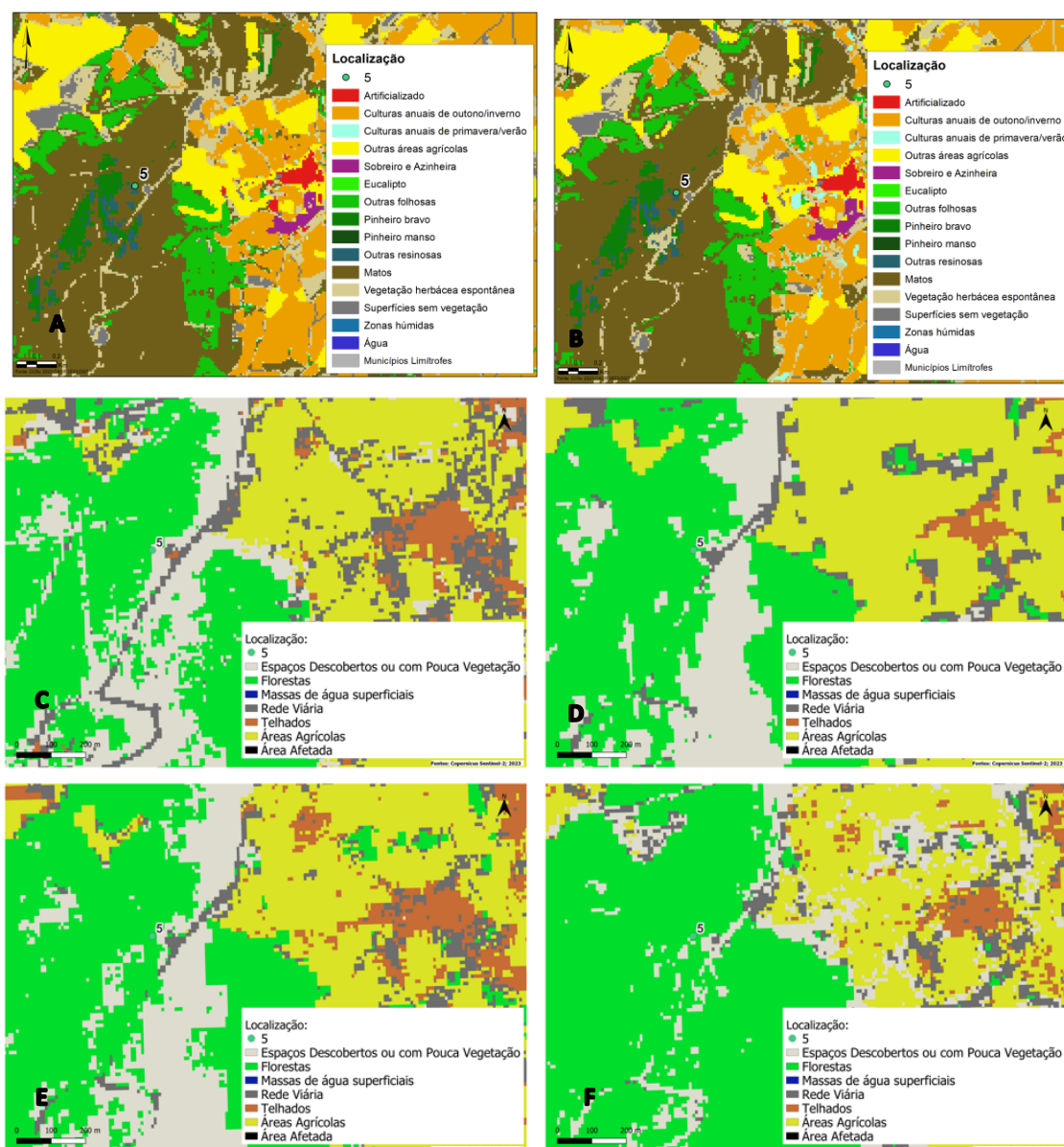


Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus

No que diz respeito à quinta área de validação (Figura 41- 41°23'53.3"N 6°36'18.4"W), a COSc caracteriza o local com a predominância das classes *Matos*, *Pinheiro bravo* e *Áreas Agrícolas* (Outras áreas agrícolas, culturas anuais de outono/inverno), o que corresponde à realidade de acordo com os Anexos A.64, A.65, A.66 e A.67. Ambos os

algoritmos apresentam resultados muito satisfatórios, tanto no pré-incêndio como no pós-incêndio. Os dois caracterizam a área com as classes de *Espaços descobertos ou com pouca vegetação*, *Florestas* e *Rede Viária*. O RFC pré-incêndio revela um nível de detalhe superior à COSc, por exemplo, a estrada em calçada que foi considerada como *Rede Viária* pelo algoritmo e que na COSc foi caracterizada como Vegetação herbácea espontânea.

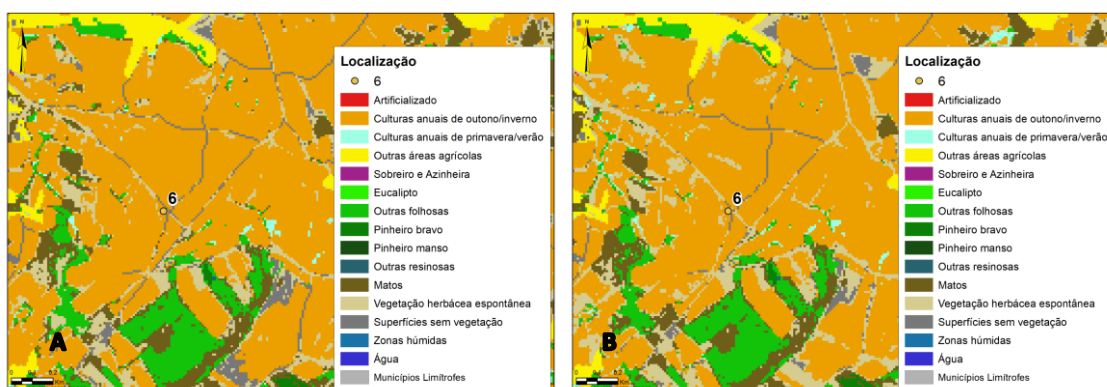
Figura 41 -Carta de ocupação do solo conjuntural pré- verão (A) e pós- verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24 de agosto de 2023 no município de Mogadouro

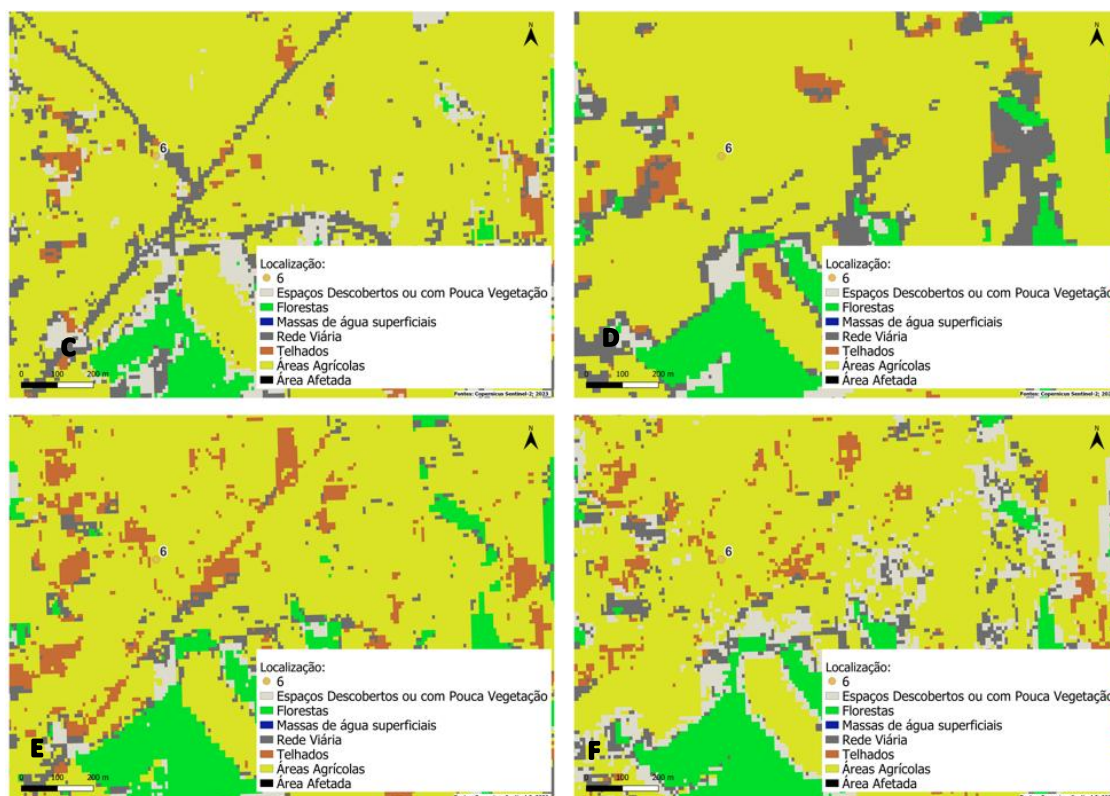


Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus

Na sexta área de validação (Figura 42 - 41°23'27.4"N 6°35'02.7"W) de acordo com a COSc é visível uma predominância das classes de *Áreas Agrícolas* (Outras áreas agrícolas, culturas anuais de outono/inverno) que vai ao encontro do registo fotográfico do local (Anexos A.68 e A.69). Os dois algoritmos apresentam resultados bastante satisfatórios, seja no pré-incêndio como no pós-incêndio. Os dois caracterizam a área com a classe predominante de *Áreas Agrícolas*. Destaca-se novamente pela positiva o RFC pré-incêndio que obteve maior detalhe na estrada alcatroada que existe no local. O algoritmo classificou-a como *Rede Viária* e a COSc classificou-a com as classes: *Vegetação herbácea espontânea* e *Superfícies sem vegetação*.

Figura 42 -Carta de ocupação do solo conjuntural pré-verão (A) e pós-verão (B) e carta de ocupação do solo segundo os métodos de maximum likelihood classifier (C) e random forest classifier (D), antes (E) e depois (F) do incêndio de 24 de agosto de 2023 no município de Mogadouro





Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus

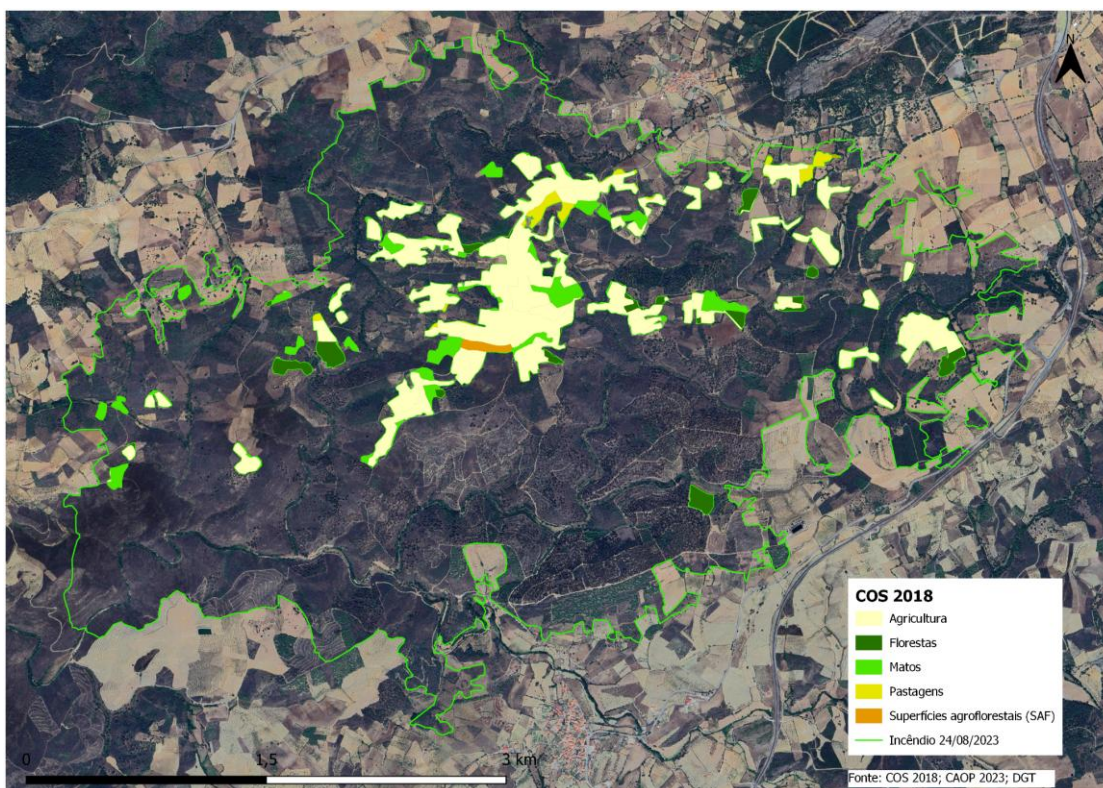
5. O impacto das áreas agrícolas no incêndio de 2023

5.1 Ilhas não ardidas

Durante a análise da área afetada pelo incêndio verificamos a presença de áreas não ardidas, frequentemente designadas de “ilhas” (Anexo A.38). Foram identificados cerca de 141,68 ha não ardidos. Este tipo de fenómeno pode ocorrer por diversas razões, sendo as mais importantes, a tipologia de ocupação do solo a parcela não ardida e estado do combustível.

Tendo como base a COS 2018 (Figura 43), a classe da *Agricultura* ocupa a maior parte da área não ardida (103,95 ha, cerca de 73,3% do total não ardido), os *Matos* representam 19,60 ha e as *Florestas* abrangem 11,77 ha, as restantes classes apresentam valores residuais (Anexo A.39).

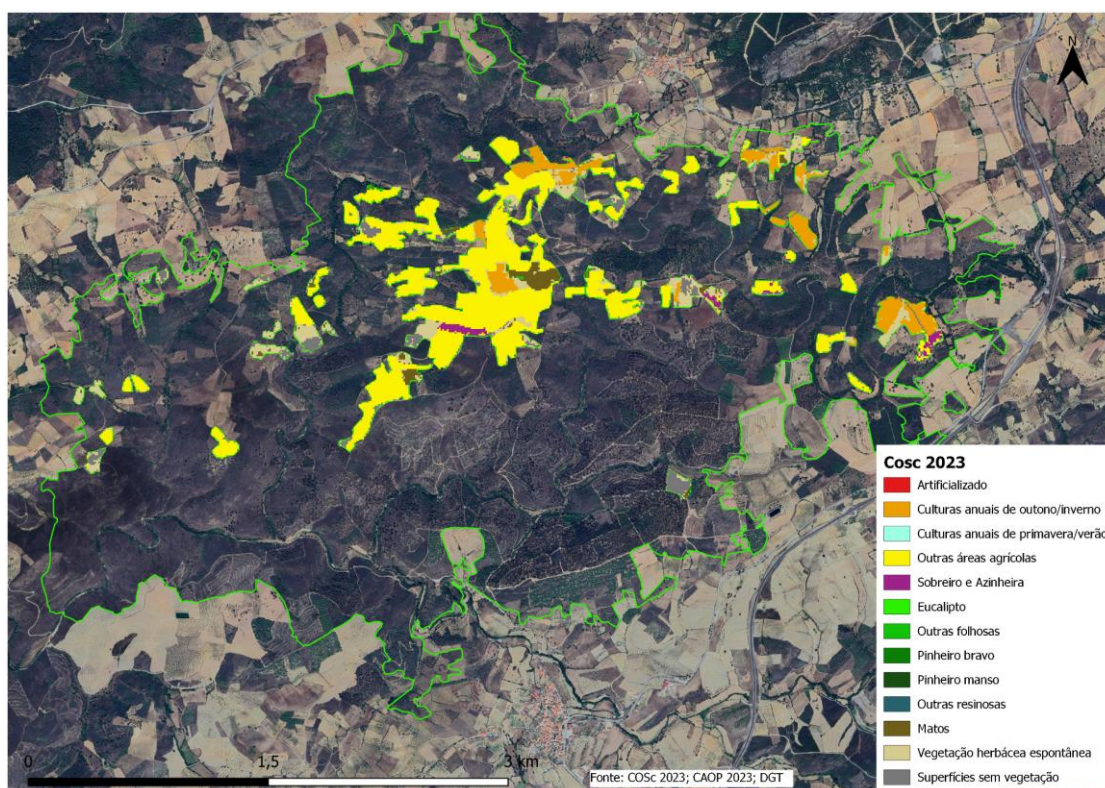
Figura 43 - Ocupação do solo segundo a COS 2018 das ilhas não ardidas dentro da área ardida do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro



Fonte: COS, DGT, ICNF

No que diz respeito à análise segundo a COSc 2023 (Figura 44) esta permite uma caracterização mais detalhada da ocupação do solo em comparação à COS 2018. Destacam-se as tipologias: *Outras áreas agrícolas* (81,16 ha, cerca de 57,2% do total não ardido), *Vegetação herbácea espontânea*: 22,22 ha e as *Culturas anuais de outono/inverno* 18,19 ha (Anexo A.40). Verificamos que as áreas agrícolas se encontram maioritariamente no limite ardido, enquanto as classes de *Matos* (5,87 ha), *Sobreiro e azinheira* (2,71 ha) surgem completamente envolvidas por áreas agrícolas, o que contribui para preservar a sua integridade (Figura 43).

Figura 44 - Ocupação do solo segundo a COSc 2023 das ilhas não ardidas dentro da área ardida do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro

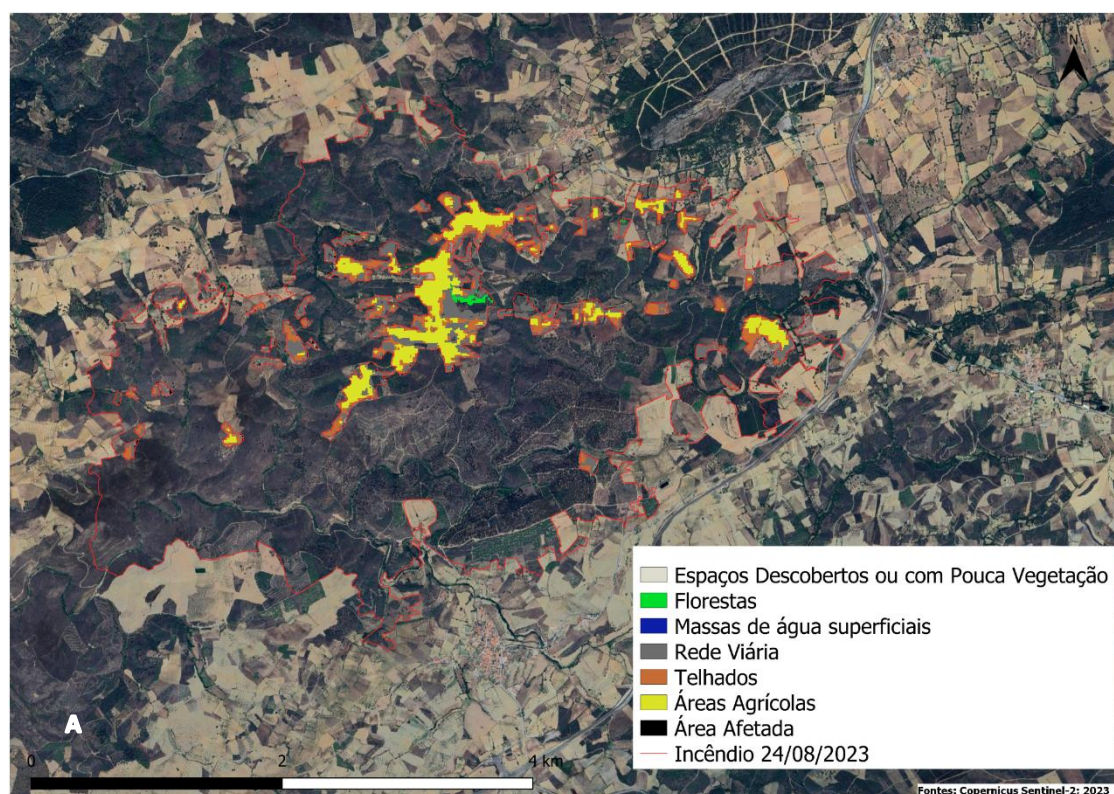


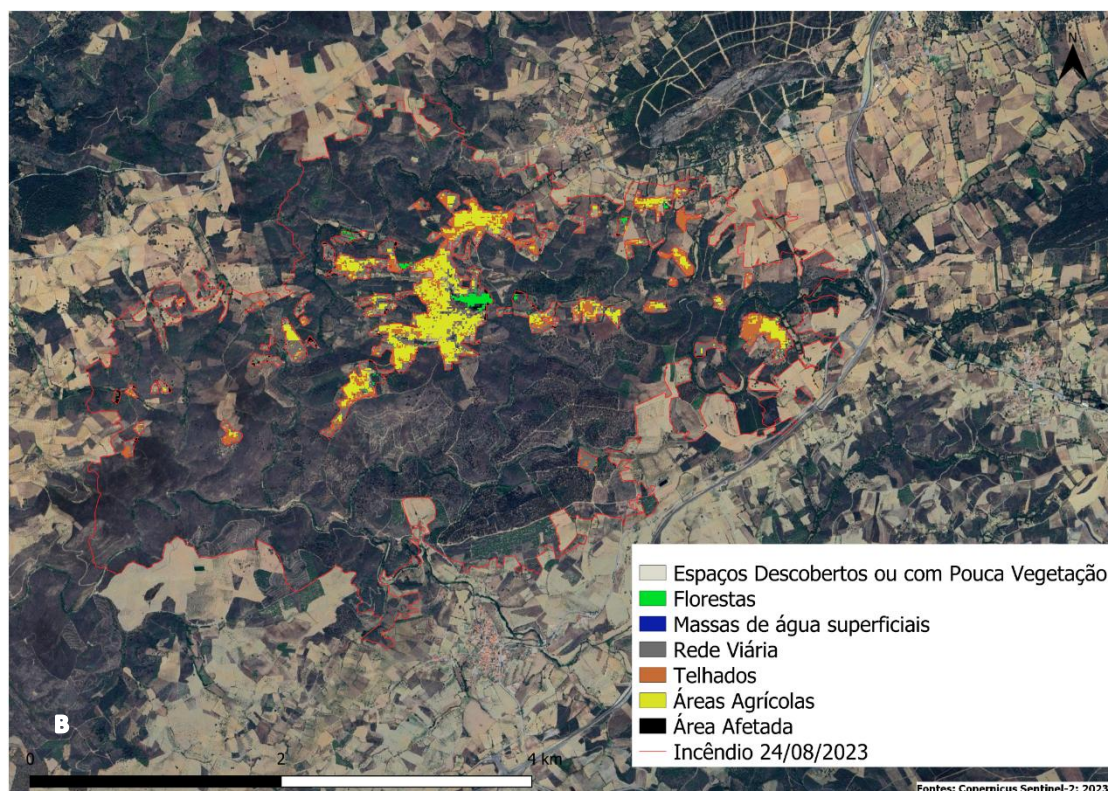
Fonte: COSc, DGT, ICNF

Segundo a aplicação do método MLC foram identificados cerca de 141,55 ha de ilhas não ardidas. Destacam-se as classes das *Áreas agrícolas* (65,10 ha, cerca de 46,0% do total não ardido), *Telhados* (32,53 ha), *Rede viária* (30,10 ha), *Espaços descobertos ou com pouca vegetação* (12,10 ha), *Florestas* (1,72 ha) e *Área afetada* (1,45 ha) (Anexo A.41). Este método classificou uma vasta área com as classes de Telhados e Rede Viária que não correspondem à real ocupação do solo, verificando assim uma confusão na classificação das classes quando comparamos os resultados com produtos de referência como a COS 2018 e COSc 2023 (Figura 45 A). O mesmo ocorreu no método RFC (Figura 45 B), apesar da classificação geral ser mais semelhante à COS 2018 e a COSc 2023. Este método considerou um total de 140,92 ha de ilhas não ardidas, das quais, 49,55 ha (35,2% do total não ardido) como *Áreas agrícolas*, 29,40 ha como

Espaços descobertos ou com pouca vegetação, 28,55 ha Rede viária, 27,81 ha Telhados, 5,61 ha Florestas e 3,21 ha de Área afetada (Anexo A.42).

Figura 45 - Ocupação do solo segundo os métodos do maximum likelihood classifier (A) e random forest classifier (B) das ilhas não ardidas dentro da área ardida do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro





Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus

Apesar da robustez estatística de ambos os métodos, o desempenho da cartografia produzida ficou aquém das expectativas, quando comparado com a realidade cartográfica (COS 2018 e COSc 2023), sobretudo pela resolução das imagens disponíveis (10 m do Sentinel-2) que quando considera elementos de pequena dimensão (estradas, telhados, vegetação) ou com refletâncias semelhantes num só pixel, provoca confusões entre classes que fragiliza a qualidade dos resultados.

Apesar das limitações intrínsecas da cartografia produzida, a utilização de cartografia de base como a COSc e COS permitiu confirmar que a matriz agrícola assume um papel central na resiliência do território, sobretudo quando parcelas com diferentes tipos de ocupação do solo coexistem e se confrontam no mesmo espaço. Tendo em consideração que as áreas agrícolas apresentam diferentes padrões de combustível, dependendo do tipo de cultura produzida, o que influencia diretamente a dinâmica do

fogo, bem como a sua propagação em paisagens com características de parcelas com diferentes tipos de ocupação do solo que coexistem e se confrontam.

A existência desta dualidade indica que as áreas agrícolas contribuem de formas diferentes para o desenvolvimento de um incêndio, revelando-se necessário intervenções de gestão combustível adaptadas às necessidades da tipologia de ocupação do solo, inclusive em áreas agrícolas.

5.2 Severidade por tipologia de ocupação do solo

No contexto da distribuição da área ardida por classe de severidade do incêndio, realizamos uma primeira abordagem, priorizando a cartografia disponível como maior detalhe. Através da COS 2023 (Figura 46) é evidente uma predominância das classes de severidade “Baixa” (387,42 ha) e “Média” (777,2 ha), que, em conjunto, representam a maior parte da superfície ardida. Verificaram-se ainda cerca de 127,09 ha na classe “Elevada” e apenas 9,33ha na classe “Muito Elevada”.

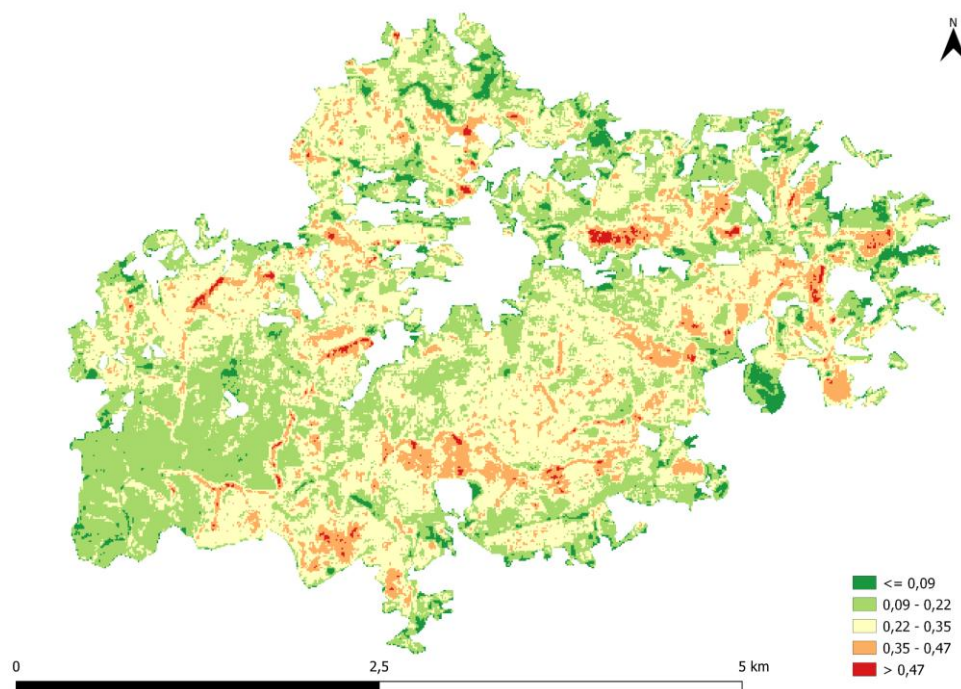
As áreas agrícolas, especialmente as *culturas anuais* e *outras áreas agrícolas*, foram pouco afetadas, concentram-se principalmente entre as classes "Baixa" e "Média", com valores muito residuais nas classes superiores de severidade (Elevada e Muito Elevada), indicando uma vez mais que possui áreas com diferentes tipos de combustíveis, sendo que em algumas condições apresentam boa capacidade de resiliência face à progressão do fogo (Anexo A.44). As classes de *Vegetação herbácea espontânea* e *Matos* destacam-se como as tipologias mais afetadas, com uma elevada concentração de área ardida nas classes "Baixa" e "Média", podendo indicar que a presença de combustíveis finos e contínuos favoreceu a propagação do incêndio em intensidade moderada. No enquadramento florestal, tipologias como *Sobreiro* e *azinheira*, *Eucalipto* e *Outras folhosas* registam igualmente áreas significativas nas classes "Média" e “Elevada” e até valores, ainda que pouco impactantes, na classe “Muito Elevada”, refletindo o seu potencial de combustível em determinadas condições específicas.

No mesmo contexto tendo como referência a COS 2018, observa-se uma clara predominância das classes de severidade “Baixa” (390,53 ha) e “Média” (694,05 ha). Para além destas, registaram-se 126,85 ha na classe “Elevada”, enquanto nas classes extremas os valores são bastante menores: 66,86 ha em “Muito Baixa” e apenas 8,85 ha em “Muito Elevada” (Anexo A.43).

A tipologia da *Agricultura* apresentou valores com algum impacto, maioritariamente associados às classes de severidade “Baixa” e “Média”. Esta tipologia representa um papel importante, pois possui áreas com diferentes tipos de combustíveis, que impactam positivamente ou negativamente o desenvolvimento do incêndio. As classes mais afetadas foram os *Matos* (310,80 ha em severidade “Média” e 189,49 ha em severidade “Baixa”) e as *Florestas* (sobretudo em severidade média, 288,87 ha).

Em termos gerais, a tipologia da ocupação do solo e a continuidade dos combustíveis são fatores determinantes na intensidade e severidade da propagação do fogo. Através da análise à COS 2023 e da COS 2018, fica evidente que a matriz do território condiciona a severidade do fogo.

Figura 46 - DNBR da área afetada pelo incêndio no município de Mogadouro



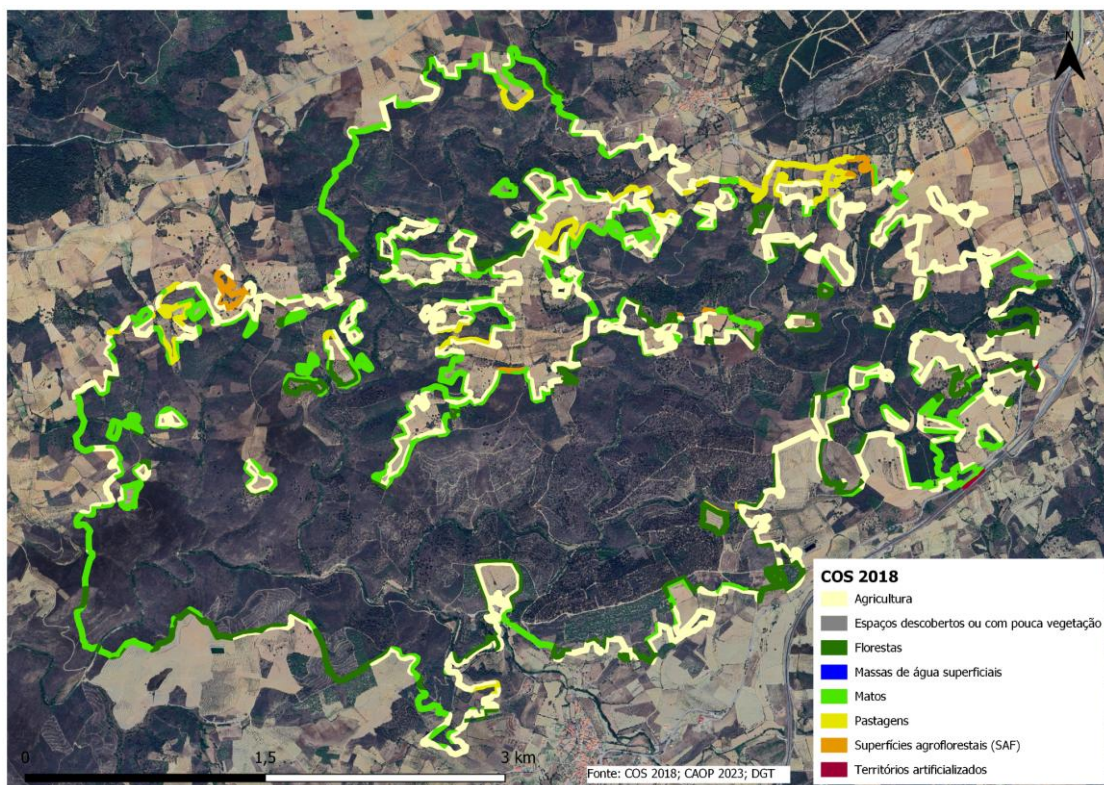
Fonte: ICNF, Sentinel-2, Copernicus

5.3 Caracterização do Perímetro Ardido/Não Ardido

Foi realizada uma análise da ocupação do solo do perímetro do incêndio, tendo como base a COS2018 e a COSc2023. O buffer de 20 metros visa caracterizar o contexto em que o fogo foi extinto, sendo que a identificação das classes de ocupação do solo adjacentes permite avaliar a continuidade e o tipo de combustível junto ao limite ardido, bem como inferir o potencial efeito de áreas agrícolas.

Através da análise à Figura 47, fica evidente que o espaço imediatamente adjacente à área ardida é dominado por classes seminaturais, com destaque para os Matos (90,46 ha), Florestas (51,29 ha) e Agricultura (154,49 ha). Observa-se um mosaico com parcelas agrícolas intercaladas com manchas contínuas de matos e alguns povoamentos florestais. Este tipo de configuração caracteriza-se por uma elevada continuidade de combustível, apenas parcialmente interrompido por áreas agrícolas e pastagens. Apesar das áreas agrícolas poderem introduzir descontinuidades, a matriz dominante da vegetação nativa (matos) e a carga de combustíveis, possuem características de propagação favorável do fogo.

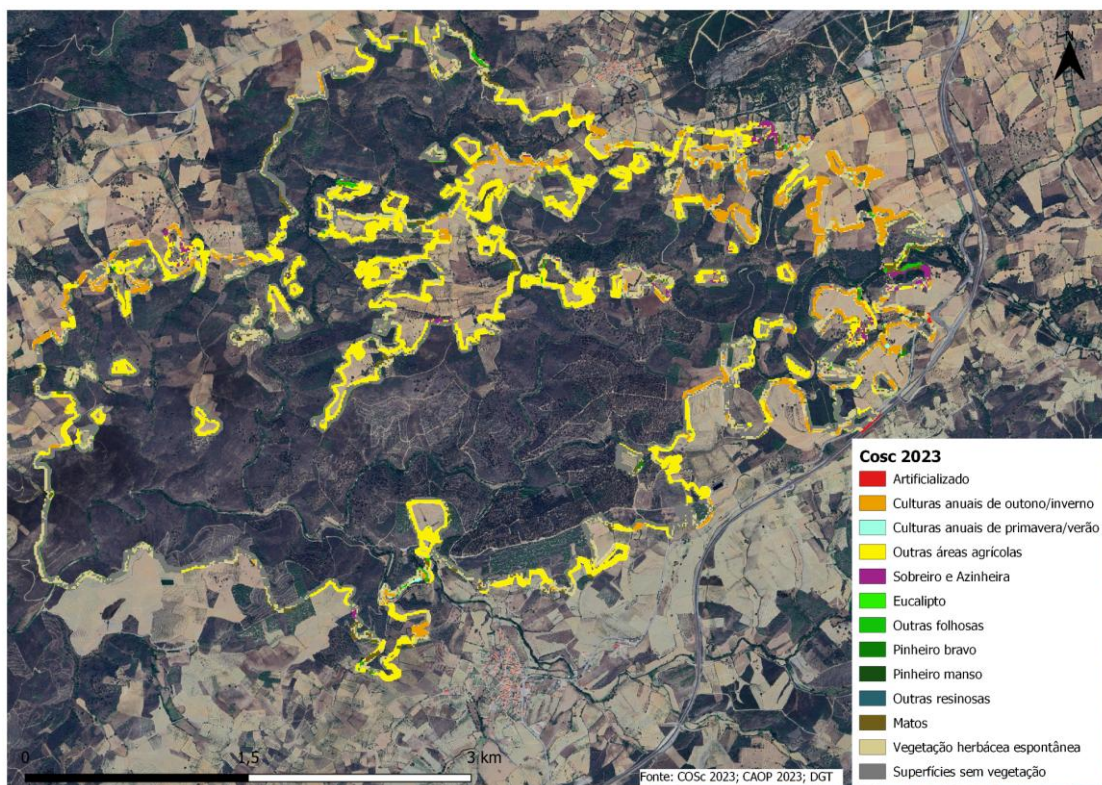
Figura 47 - Ocupação do solo do perímetro do incêndio segundo a COS2018



Fonte: COS, DGT, ICNF

No que diz respeito à ocupação do solo do perímetro do incêndio segundo a COSc2023, os resultados são parcialmente idênticos aos observados na COS2018. A cartografia utilizada permite discriminar o tipo de cultura anual dentro da classe das áreas agrícolas, desde que existam na área em análise (Figura 48). Neste caso constata-se que ardeu uma área significativamente superior de culturas anuais de outono/inverno (36,24 ha) face às culturas anuais de primavera/verão (0,73 ha). A classe “Outras áreas agrícolas” é a maioritária no perímetro do incêndio (100,16 ha) e poderá ter atuado como faixa tampão, contribuindo para a diminuição da progressão do fogo. Ainda assim, esta hipótese depende do tipo de cultura praticada e da carga de combustível presente nas parcelas agrícolas.

Figura 48 - Ocupação do solo do perímetro do incêndio segundo a COSc2023

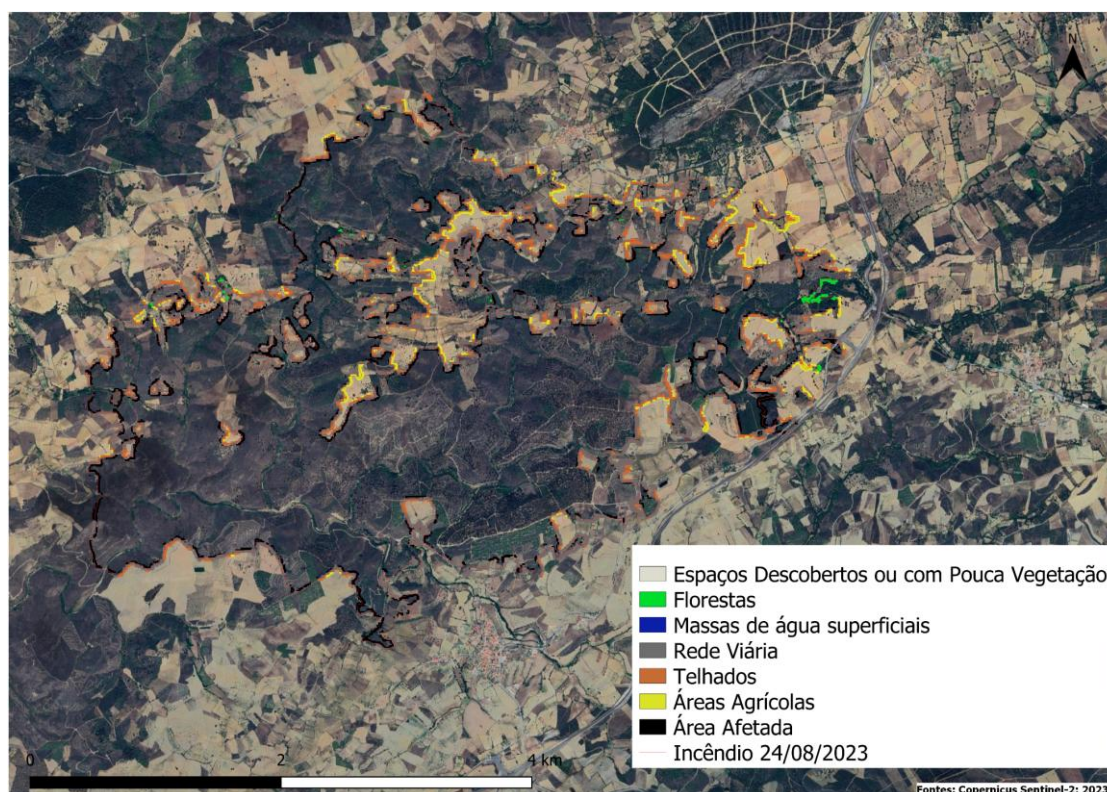


Fonte: COSc, DGT, ICNF

Após a análise da cartografia de referência, elaboramos a análise da cartografia produzida segundo os métodos do MLC e RFC. Contudo, não foi possível realizar uma análise estatística tão detalhada dos resultados obtidos, devido à resolução espacial das imagens de satélite utilizadas, cada pixel corresponde ao tamanho de 10 por 10 m, enquanto que o buffer definido possui 20 m de largura. Esta discrepância reduz substancialmente a representatividade estatística, limitando os resultados da comparação de produtos. Em ambos os métodos os resultados espaciais não representam um detalhe tão preciso quanto as cartografias de referência analisadas anteriormente. Ambas as Figuras 49 e 50 demonstram as fragilidades dos métodos quando existe necessidade de obter conclusões à escala de maior pormenor. O MLC classificou a maior parte do perímetro com a classe *Telhados* o que não corresponde à realidade. O RFC aparenta possuir melhores resultados quanto à classificação, sendo

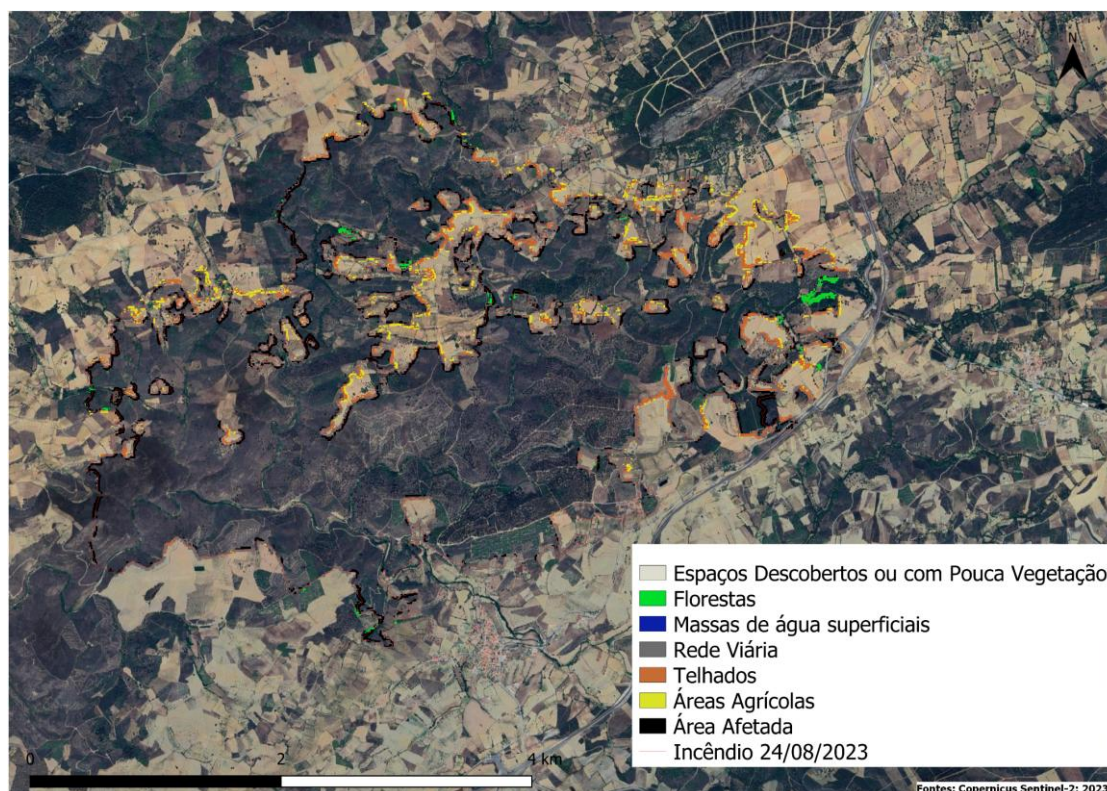
visível na classe *Áreas agrícolas* que se encontra mais presente que a de *Telhados*, indo ao encontro da cartografia homologada.

Figura 49 - Ocupação do solo do perímetro do incêndio segundo o método Maximum Likelihood Classifier



Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus

Figura 50 - Ocupação do solo do perímetro do incêndio segundo o método Random Forest Classifier



Fonte: DGT, ICNF, Sentinel-2, Copernicus

Considerações Finais

Com base nesta pesquisa realizada a partir de evidências no município de Mogadouro, entende-se que as áreas agrícolas desempenham um papel importante na prevenção, evolução do fogo (dependendo da disponibilidade de combustível) e no combate aos incêndios rurais. Observou-se que na última década as ocorrências têm diminuído progressivamente, assim como a dimensão de área ardida por ocorrência. Ainda que a superfície agrícola utilizada tenha aumentado neste período, é questionável se existe algum tipo de relação direta com a ocorrência desse fenómeno, algo difícil de determinar, ainda que a correlação estatística se encontre limitada pela qualidade dos dados históricos anteriores a 2001. Este fenómeno possui bastante complexidade e diversos layers de influência alheios aos dados disponíveis. Contudo, é possível que o

crescimento das áreas agrícolas tenha contribuído de forma positiva para a diminuição de ocorrências e na dimensão da área ardida por ocorrência.

No contexto do combate aos incêndios, e tendo como principal exemplo o incêndio analisado na investigação, é evidente a importância das áreas agrícolas, não apenas pelas características da tipologia, mas também pelo papel indireto que as áreas agrícolas agregam neste contexto.

A rede viária de caminhos rurais e as parcelas agrícolas aradas são elementos imprescindíveis para o posicionamento dos meios de combate, bem como a garantia de locais seguros, sem combustível em caso de mudança de direção do fogo. Os pontos de água em locais onde existem plantações contínuas, que tem como propósito a sua irrigação, são também fundamentais no contexto do reabastecimento dos meios aéreos, que porventura impactam na rapidez da extinção do incêndio. Na área de estudo, a predominância de paisagem em mosaicos com características agrícolas, representa uma dualidade de cenários, já que podem contribuir tanto de forma positiva, para travar a propagação do incêndio, como de forma negativa, favorecendo a sua progressão. Todos estes elementos impactam no comportamento do fogo, sendo que as parcelas agrícolas, pela sua configuração espacial inseridas em mosaicos de paisagem agrícola e pelas práticas de gestão de vegetação do solo, revelaram-se capazes de fragmentar a continuidade do combustível. Em determinadas disposições alinhadas com as condições naturais, atuam como retardantes naturais, sendo que a área afetada por este caso de estudo apresenta uma geometria idêntica em todos os anos que ardeu. Em outros casos, quando a cultura cultivada possui maior inflamabilidade, disponibilidade de combustível ou quando há presença de vegetação herbácea não arada, podem surgir mosaicos que aceleram a propagação do fogo, dificultando a progressão de combate ao mesmo.

Estes resultados reforçam a importância de manter práticas agrícolas direcionadas para a gestão do combustível, em conformidade com as necessidades das comunidades rurais que habitam nesse território. Seria essencial integrar a gestão agrícola nas políticas locais de ordenamento do território, em territórios com características de mosaicos de paisagem agrícolas como é o caso de Mogadouro. O

desenvolvimento de “faixas agrícolas ou ilhas agrícolas” com características de baixa propagação, poderiam proporcionar uma série de vantagens para mitigação da probabilidade de incêndio e corredores seguros para a supressão dos incêndios, contribuindo para uma paisagem rural diversificada, resiliente e segura.

De modo geral, através da elaboração da cartografia de ocupação do solo dos métodos MLC e RFC foram identificadas algumas limitações, nomeadamente no que diz respeito à resolução espacial das imagens disponíveis pelo Sentinel-2, que são de 10 metros. Este aspeto explica a confusão observada entre as classes de ocupação do solo, dado que elementos de menor dimensão espacial, como estradas ou telhados, quando coexistem no mesmo pixel com vegetação, dificultam o trabalho do algoritmo para identificar corretamente o tipo de ocupação do solo (fenómeno designado por *spectral unmixing*). Além disso, determinadas classes apresentam assinaturas espectrais semelhantes, o que pode levar a confusões de classificação em contextos urbanos ou semi-urbanos.

Assim, recomendamos a utilização de cartografia de referência (COS e COSc) e que em trabalhos futuros sejam utilizados dados complementares com maior resolução espacial, como fotografias aéreas ou imagens de satélite de alta resolução. Isto irá permitir aumentar o nível de detalhe da classificação e, consequentemente, melhorar a confiabilidade e a precisão do produto cartográfico final.

Referências Bibliográficas

AGIF, Agência de Gestão Integrada de Fogos Rurais. Relatórios anuais. 2024.

Alexander, Martin E.; Thorburn, William R. — LACES: Adding an “A” for Anchor point(s) to the LCES wildland firefighter safety system. In: LEBLON, Brigitte; ALEXANDER, Martin E. (eds.) — Current International Perspectives on Wildland Fires, Mankind and the Environment. 2015. p. 121-144.

Bertomeu, Manuel; Pineda, Javier; PULIDO, Fernando — Managing Wildfire Risk in Mosaic Landscapes: A Case Study of the Upper Gata River Catchment in Sierra de Gata, Spain. Land. 2022. Vol. 11, n.º 3, p. 465.

Breiman, Leo — Random forests. Machine Learning. ISSN 0885-6125. Vol. 45, nº 1 (2001), p. 5–32.

Cavalli, A.; Figueiredo, T.; Fonseca, F.; Hernández, Z. (2019). Incêndios e Áreas Ardidas Nos Últimos 25 Anos no Distrito de Bragança, Portugal: Análise e Estimativa de Consequências Para o Recurso Solo. Territorium, 26 (I), 123-132.

Díaz, J.; Amil, M.; Aquilué, N.; Sil, A.; Brotons, L.; Regos, A.; Touza, J. (2023). Incorporating fire-smartness into agricultural policies reduces suppression costs and ecosystem services damages from wildfires. Journal of Environmental Management, 337, 1-12.

Duda, Richard O.; Hart, Peter E.; STORK, David G. — Pattern classification. 2.ª ed. New York: Wiley-Interscience, 2001. ISBN 978-0-471-05669-0.

Folharini, S.; Vieira, A.; Gonçalves, B. (2018). Severidade dos incêndios florestais nos distritos do norte de Portugal (Porto, Vila Real, Braga, Bragança e Viana do Castelo) no período 2013 - 2016 utilizando o índice NBR. Atas do II Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente. CEGOT-UMinho, Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade do Minho. Guimarães. 1127-1133.

Foody, G. M.; Campbell, N. A.; Trodd, N. M.; Wood, T. F. — Derivation and Applications of Probabilistic Measures of Class Membership from the Maximum-

Likelihood Classification. Remote Sensing of Environment. 1992. Vol. 41, n.º 2-3, p. 253-267.

Gonçalves, A.; Vieira, A.; Leite, F.; Martins, C.; Silva, F. (2010). A desestruturação do mundo rural em áreas de montanha e o risco de incêndio – O caso da Serra da Cabreira (Vieira do Minho). *Territorium*, 17, 109-117.

Huete, A. R. – A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment. ISSN 0034-4257. Vol. 25, n.º 3 (1988), p. 295–309.

Instituto Português Do Mar E Da Atmosfera, I.P. — Boletim Climático. Portugal Continental: agosto 2023. Lisboa: IPMA, 2023. 22 p.

Key, C. H.; Benson, N. C. – Landscape assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. In: LUTES, D. C. et al. (Eds.). FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006. General Technical Report RMRS-GTR-164-CD, p. LA-1–LA-51.

LEI n.º 76/2017, de 17 de agosto. D.R. — I Série, n.º 158 (2017-08-17) 4734-4762.

Moreira, F.; Vaz, P.; Catry, F.; Silva, J. (2009). Regional variations in wildfire susceptibility of land-cover types in Portugal: implications for landscape management to minimize fire hazard. *International Journal of Wildland Fire*, 18, 563-574.

Moreira, Francisco; Pe'er, Guy — Agricultural policy can reduce wildfires. *Science*. 2018. Vol. 359, n.º 6379, p. 1001.

Mota, Andreia; Bento-Gonçalves, António; Vieira, António — Uso e ocupação do solo em Portugal – aspetos metodológicos para atualização de cartografia temática. *aurora – geography journal*. 2012. n.º 4, p. 101-113.

National Wildfire Coordinating Group — Wildland Fire Suppression Tactics Reference Guide. Boise (ID): National Interagency Fire Center, 1996.

OpenAI. ChatGPT. 2025.

Pais, S.; Aquilué, N.; Campos, J.; Sil, A.; Marcos, B.; Freiría, F.; Domínguez, J.; Brotons, J.; Honrado, J.; Regos, A. (2020). Mountain farmland protection and fire-smart management jointly reduce fire hazard and enhance biodiversity and carbon sequestration. *Ecosystem Services*, 44, 1-29.

Pal, M. — Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*. 2005. Vol. 26, n.º 1, p. 217-222.

PMDFCI. (2021). Plano Municipal De Defesa Da Floresta Contra Incêndios - Caderno I.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. — Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*. Greenbelt: NASA SP-351, 1974. p. 309–317.

Teodoro, Ana; Amaral, Ana — A Statistical and Spatial Analysis of Portuguese Forest Fires in Summer 2016 Considering Landsat 8 and Sentinel 2A Data. *Environments*. 2019. Vol. 6, n.º 3, p. 30.

Anexos

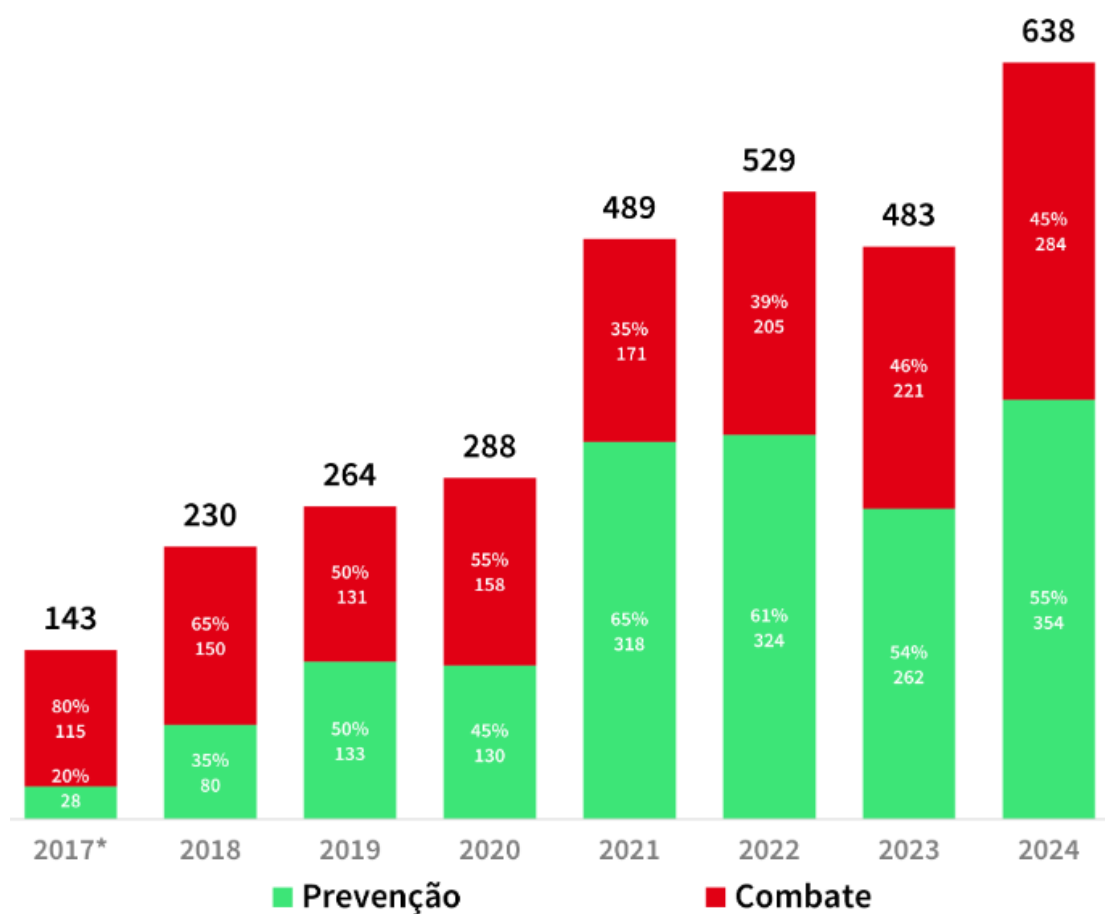
A.1 Dados utilizados na investigação

Sigla	Designação	Fonte	Período
BGRI	Base Geográfica de Referenciação de Informação	INE	2021
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal	DGT	2023
COS	Cartografia de Uso e Ocupação do Solo	DGT	1995-2018
COSc	Carta de Ocupação do Solo Conjuntural	DGT	2023 - Pré Verão/Verão
-	Rede Hidrográfica	Prof.Dr. José Teixeira, Universidade do Porto	-
-	Hipsometria	Prof.Dr. José Teixeira, Universidade do Porto	-
-	Rede Viária	GEOFABRIK	2024

Sigla	Designação	Fonte	Período	Período de Análise Detalhada
-	Área Ardida	ICNF	1980-2023	
-	Cartografia de perigosidade conjuntural	ICNF	2022- 2023	-
-	Nº de incêndios por classe de dimensão	INE	2001-2023	-
-	Proporção de superfície ardida	INE	2001-2022	-
-	Registos individuais de incêndios	ICNF	1980-2023	2001-2023

Fonte: Elaboração própria

A.2 Evolução da despesa do Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais de 2017 a 2024
em milhões de euros



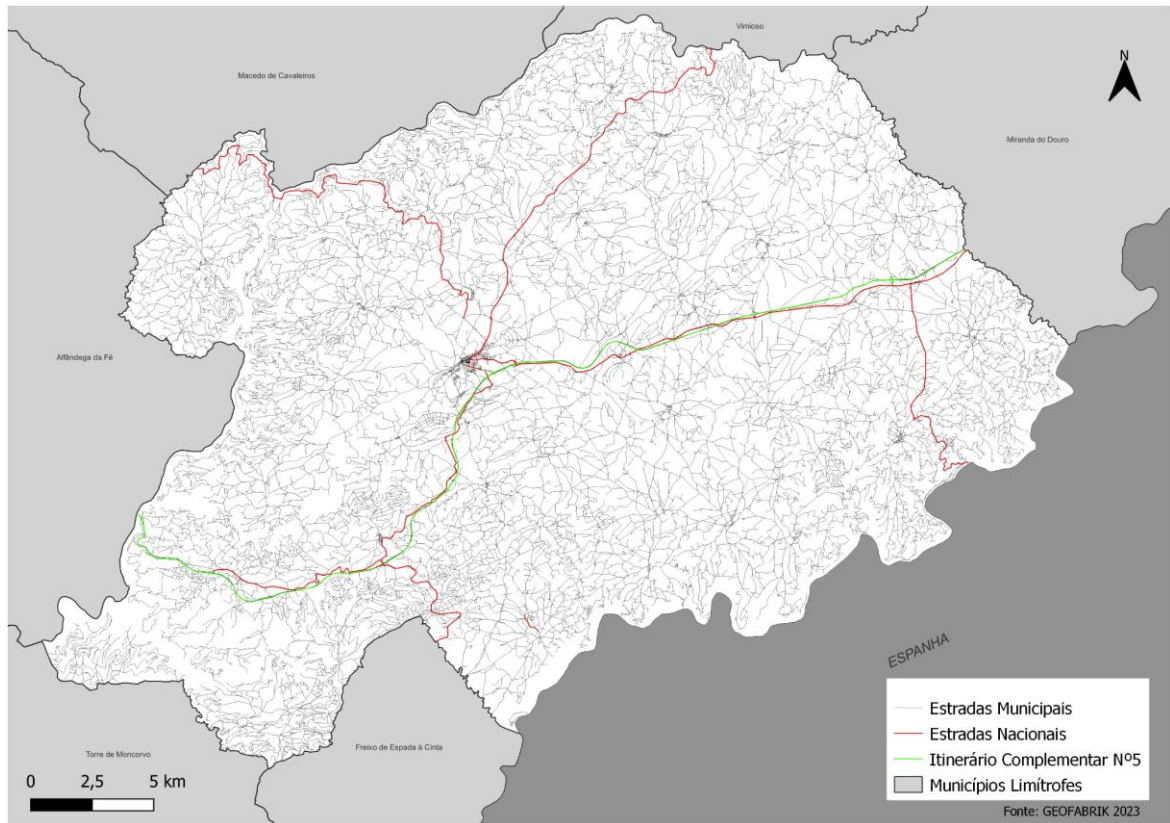
Fonte: Relatório de Atividades do SGIFR, AGIF

A.3 Taxa de variação da população residente de 2011 e 2021

Freguesias de Mogadouro	%	Valor Absoluto
Azinhoso	-21,50	241
Bemposta	-17,44	497
Bruçó	-21,33	166
Brunhoso	-1,85	212
Castelo Branco	-26,50	330
Castro Vicente	-21,36	265
Meirinhos	-12,89	250
Paradela	-18,59	127
Penas Roias	-27,23	278
Peredo da Bemposta	-1,60	185
Saldanha	-19,39	133
São Martinho do Peso	-28,17	255
Tó	-11,69	136
Travanca	-30,81	119
U.F de Brunhozinho, Castanheira e Sanhoane	-25,26	216
U.F de Mogadouro, Valverde, Vale de Porco e Vilar de Rei	-7,31	3603
U.F de freguesias de Remondes e Soutelo	-16,42	285
U.F de freguesias de Vilarinho dos Galegos e Ventozelo	6,25	357
Urrós	-21,38	250
Vale da Madre	5,77	165
Vila de Ala	-1,28	231

Fonte: Recenseamento da População, INE

A.4 Rede viária do município de Mogadouro



Fonte: Geofabrik

A.5 Variação da área agrícola (ha), em percentagem, no município de Mogadouro, entre 1995 e 2018

	1995	2018	
Agricultura	Ha	Ha	%
Azinhoso	1579	1473	-7
Bemposta	1179	1160	-2
Bruçó	821	864	5
Brunhoso	1187	1059	-11
Castelo Branco	1450	1600	10
Castro Vicente	1632	1562	-4
Meirinhos	1061	992	-6
Paradela	838	771	-8
Penas Roias	1866	1810	-3
Peredo da Bemposta	768	731	-5
Saldanha	1099	1023	-7
São Martinho do Peso	1650	1446	-12
Tó	1310	1225	-6
Travanca	1397	1134	-19
U.F de Brunhozinho, Castanheira e Sanhoane	2749	2385	-13
U.F de Mogadouro, Valverde, Vale de Porco e Vilar de Rei	5285	4994	-5
U.F de Remondes e Soutelo	2087	1951	-7
U.F de Vilarinho dos Galegos e Ventozelo	2857	2662	-7
Urrós	1372	1283	-7
Vale da Madre	858	792	-8
Vila de Ala	1688	1536	-9

Fonte: INE

A.6 Variação da área florestal (ha), em percentagem, no Município de Mogadouro, entre 1995 e 2018

	1995	2018	
Floresta	Ha	Ha	%
Azinhoso	767	1059	18
Bemposta	1071	1215	12
Bruçó	892	1106	26
Brunhoso	525	621	8
Castelo Branco	2599	2672	5
Castro Vicente	978	1121	9
Meirinhos	1929	1806	-12
Paradela	540	806	32
Penas Roias	546	840	16
Peredo da Bemposta	667	674	1
Saldanha	460	624	15
São Martinho do Peso	2009	2617	37
Tó	647	696	4
Travanca	303	619	23
U.F de Brunhozinho, Castanheira e Sanhoane	717	1120	15
U.F de Mogadouro, Valverde, Vale de Porco e Vilar de Rei	2196	2640	8
U.F de Remondes e Soutelo	953	1102	7
U.F de Vilarinho dos Galegos e Ventozelo	977	1084	4
Urrós	912	985	5
Vale da Madre	162	218	7
Vila de Ala	491	614	7

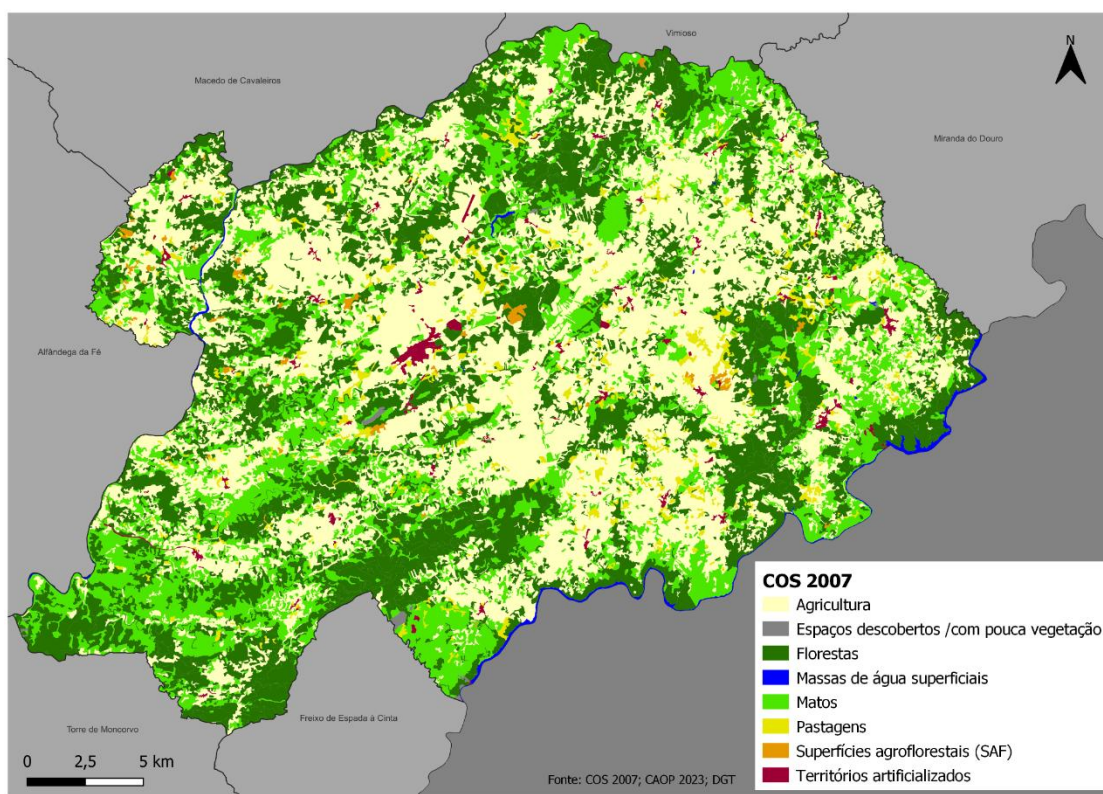
Fonte: COS, DGT

A.7 Evolução da área (ha) ocupada por diferentes espécies florestais no Município de Mogadouro, entre 1995 e 2018, segundo dados da COS

Florestas	1995	2018	%
Florestas de azinheira	412,44	397,27	-3,68
Florestas de castanheiro	236,82	369,08	55,85
Florestas de eucalipto	2138,08	2202,68	3,02
Florestas de outras folhosas	1801,26	2438,79	35,39
Florestas de outros carvalhos	4780,47	5185,69	8,48
Florestas de sobreiro	6017,82	6111,91	1,56
Florestas de pinheiro bravo	5251,33	8004,69	52,43
Florestas de pinheiro manso	23,03	35,92	55,94
Florestas de outras resinosas	1475,85	1786,17	21,03

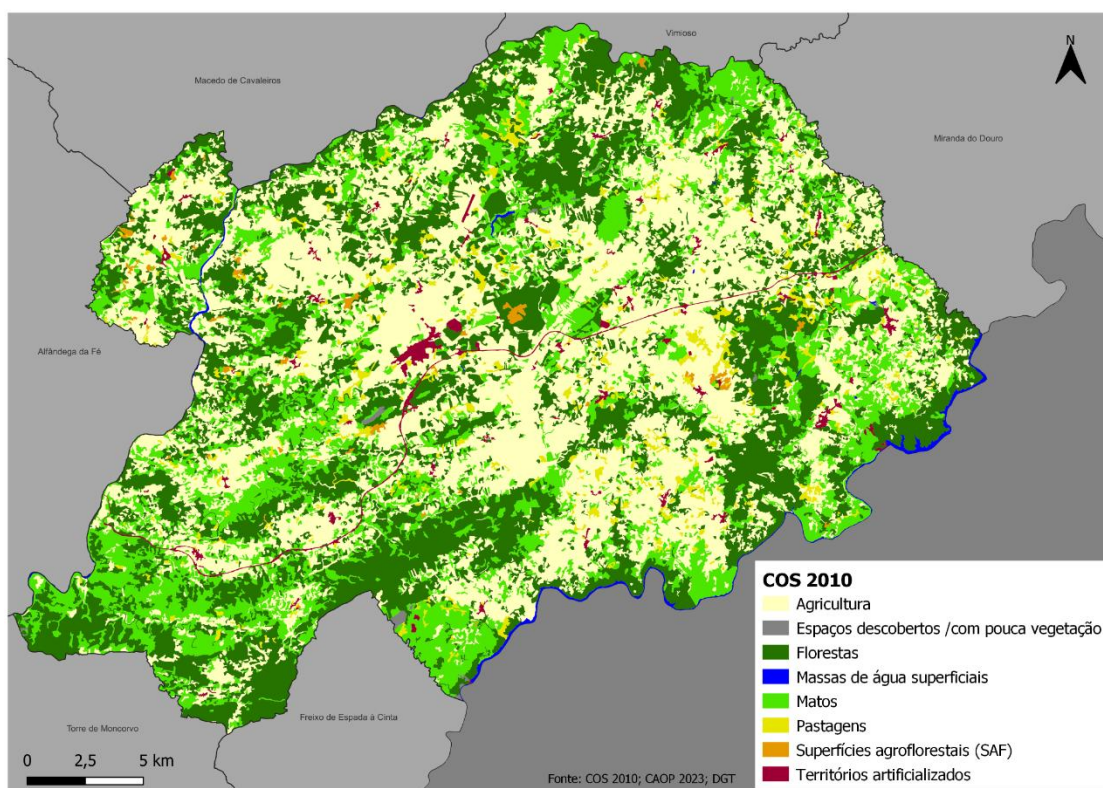
Fonte: COS, DGT

A.8 Carta de Ocupação do solo em 2007 no município de Mogadouro



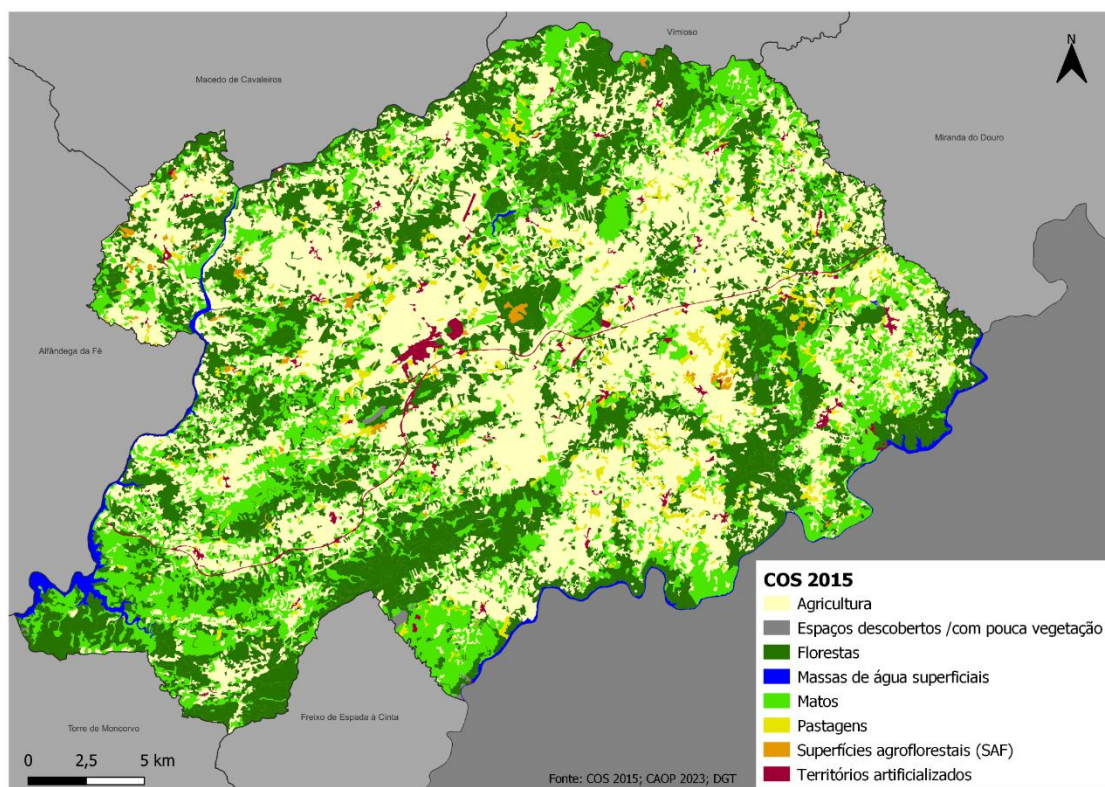
Fonte: COS, DGT

A.9 Carta de Ocupação do solo em 2010 no município de Mogadouro



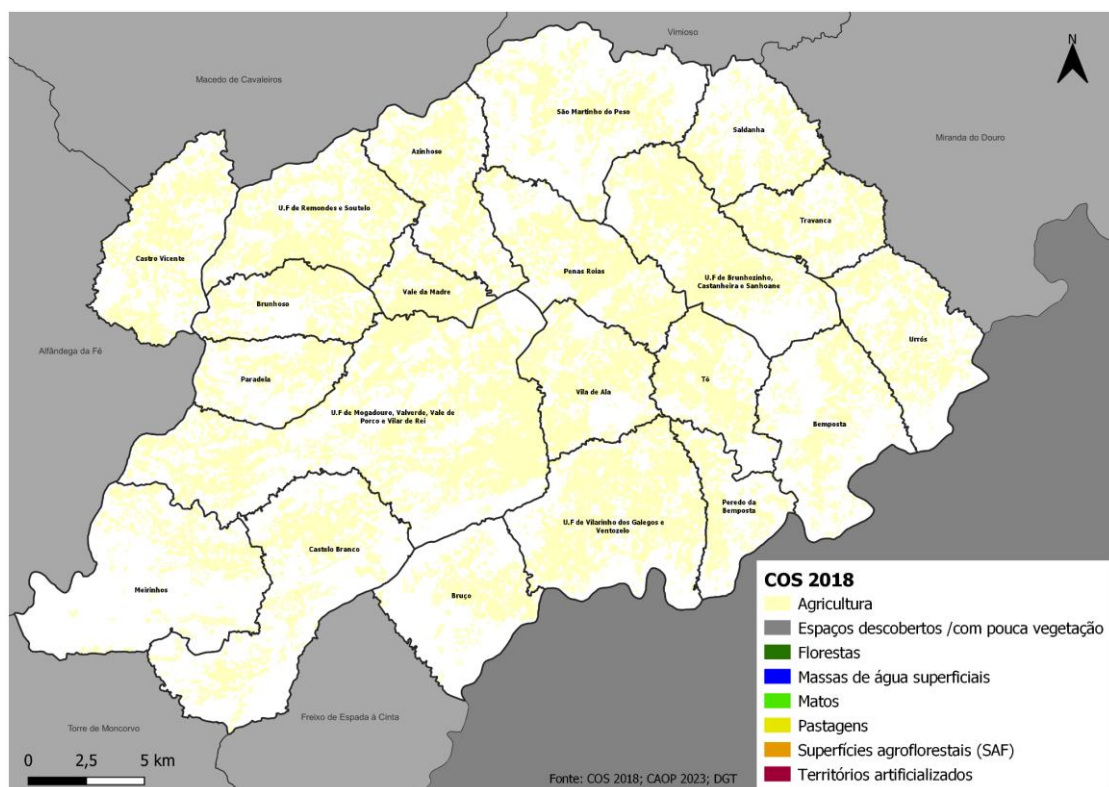
Fonte: COS, DGT

A.10 Carta de Ocupação do solo em 2015 no município de Mogadouro



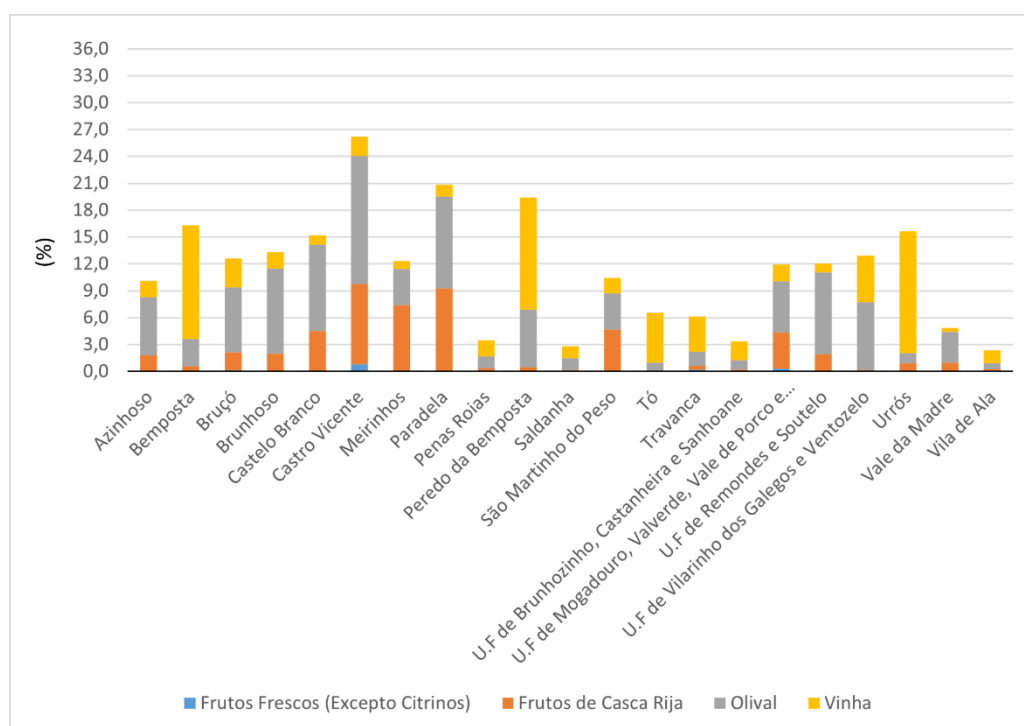
Fonte: COS, DGT

A.11 Área Agrícola da Carta de Ocupação do solo em 2018 no município de Mogadouro



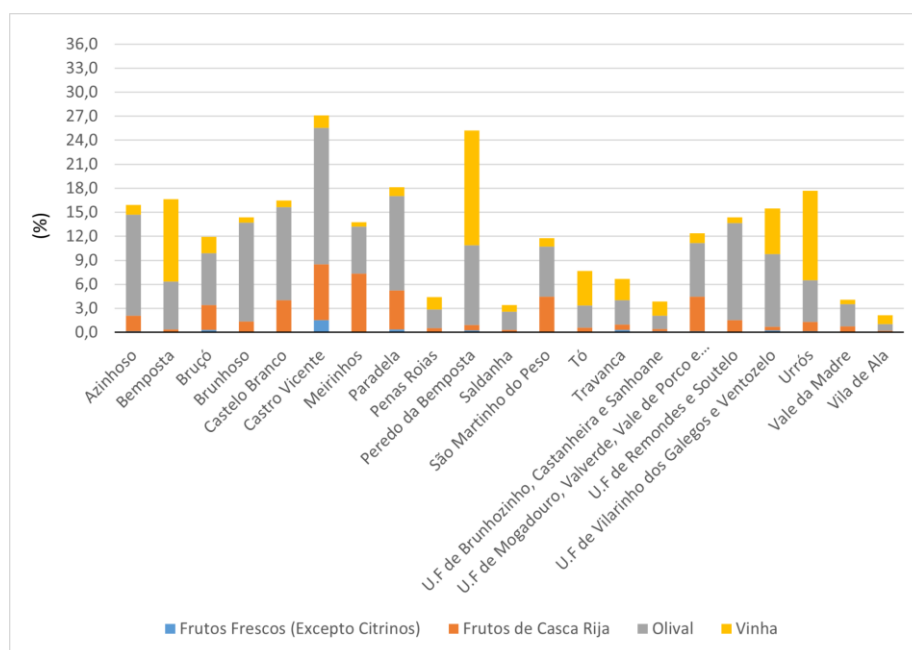
Fonte: COS, DGT

A.12 Tipo de Culturas Permanentes Produzidas no Município de Mogadouro, por Freguesia em Percentagem do seu território, no ano de 1989



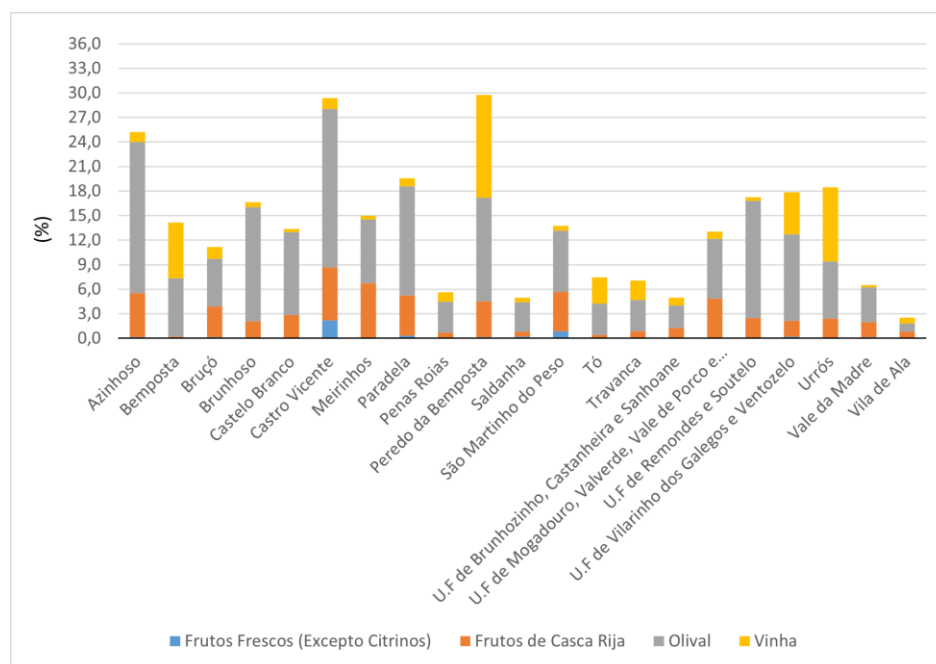
Fonte: Recenseamento Agrícola de 1989, INE

A.13 Tipo de Culturas Permanentes Produzidas no Município de Mogadouro, por Freguesia em Percentagem no ano de 1999



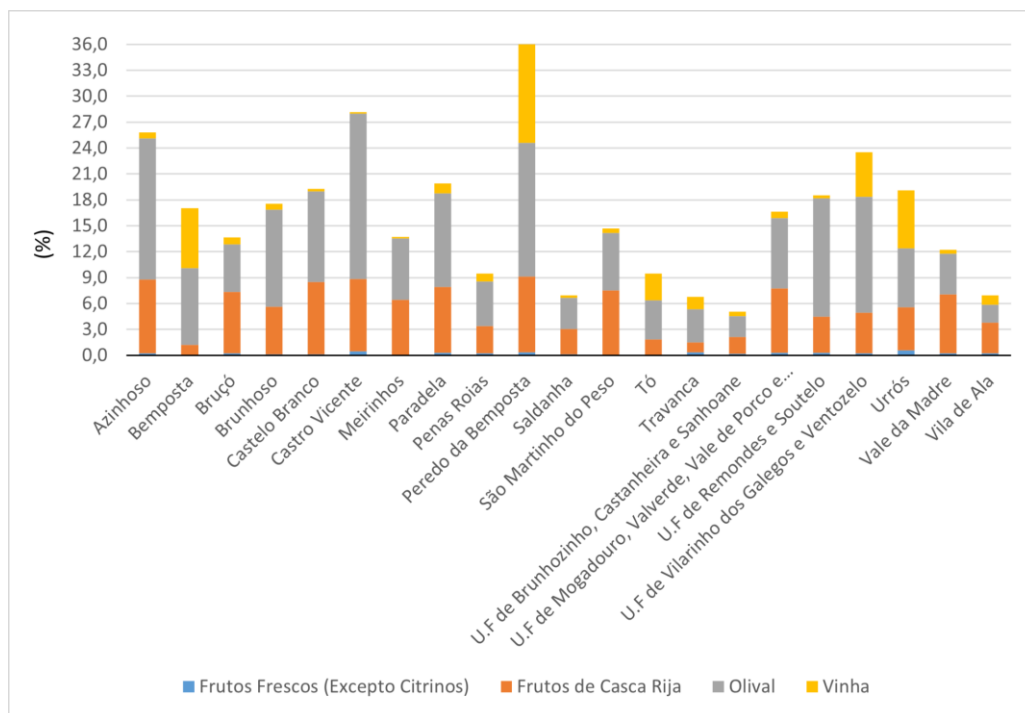
Fonte: Recenseamento Agrícola de 1999, INE

A.14 Tipo de Culturas Permanentes Produzidas no Município de Mogadouro, por Freguesia em Percentagem no ano de 2009



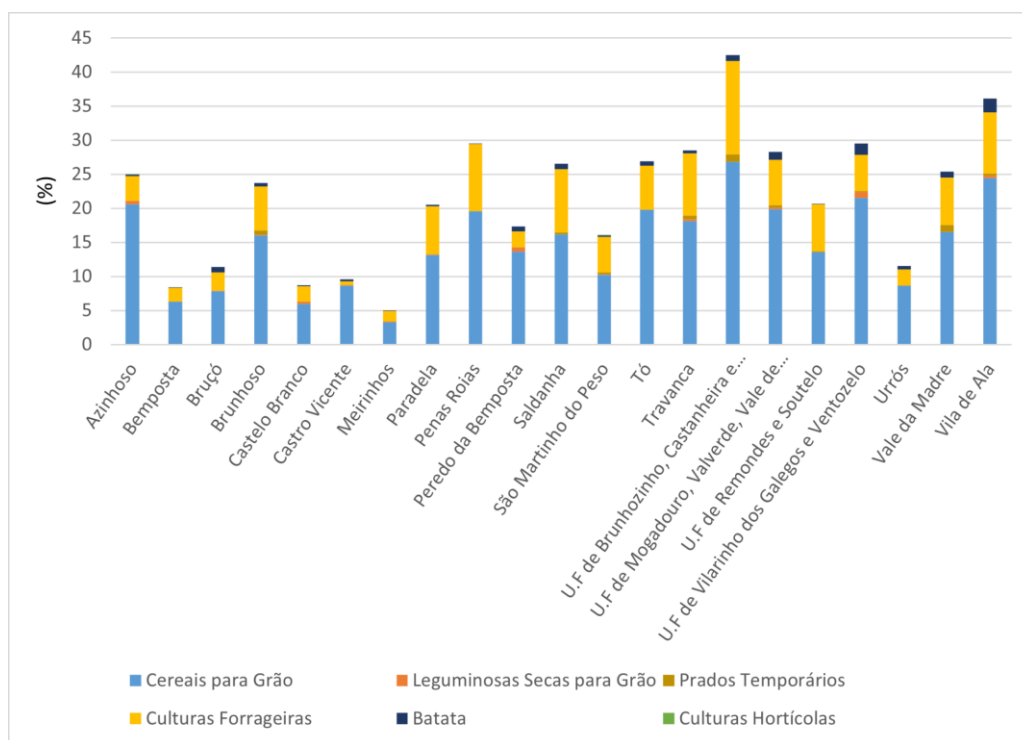
Fonte: Recenseamento Agrícola de 2009, INE

A.15 Tipo de Culturas Permanentes Produzidas no Município de Mogadouro, por Freguesia em Percentagem no ano de 2019



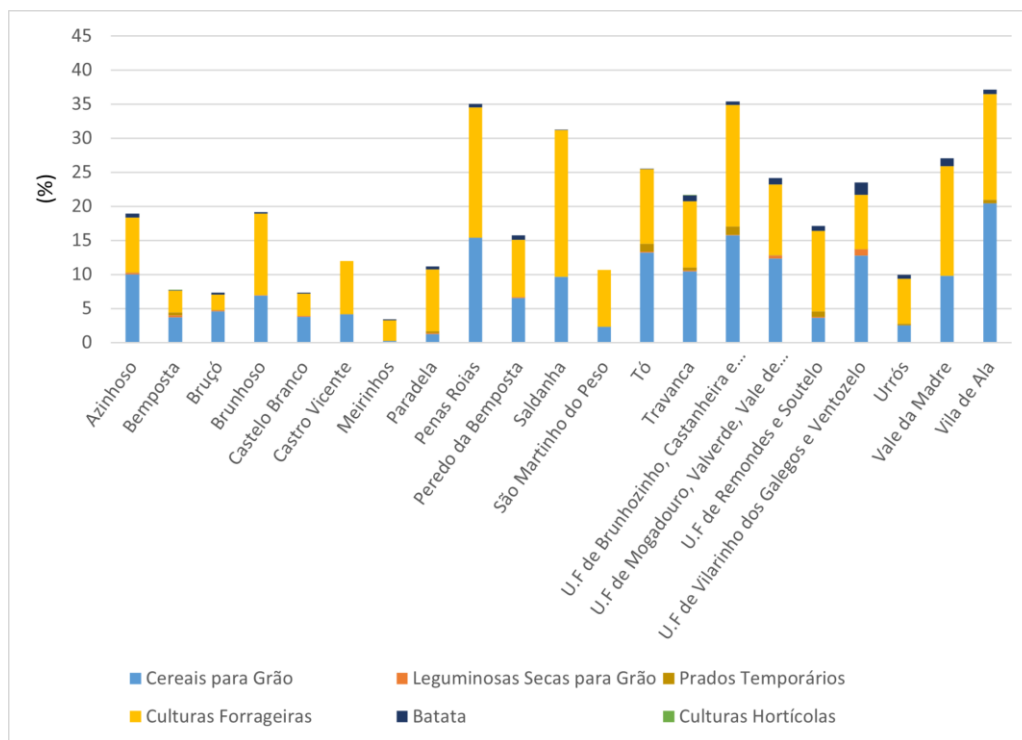
Fonte: Recenseamento Agrícola de 2019, INE

A.16 Tipo de Culturas Temporárias Produzidas no Município de Mogadouro, por Freguesia em Percentagem do seu território no ano de 1989



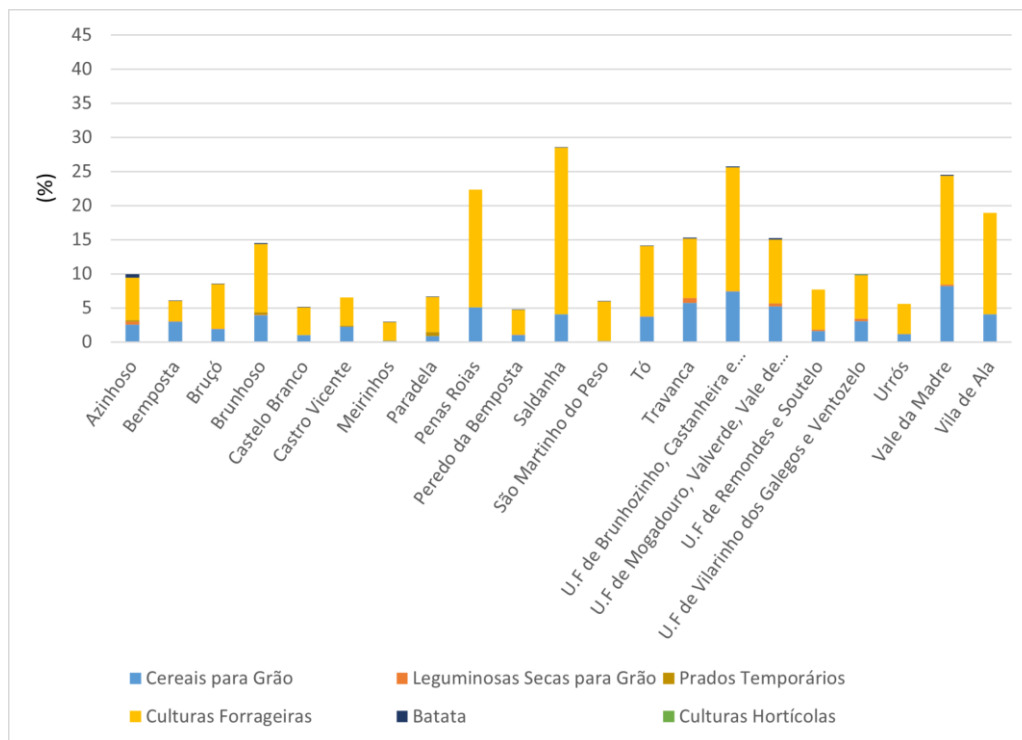
Fonte: Recenseamento Agrícola de 1989, INE

A.17 Tipo de Culturas Temporárias Produzidas no Município de Mogadouro, por Freguesia em Percentagem do seu território no ano de 1999



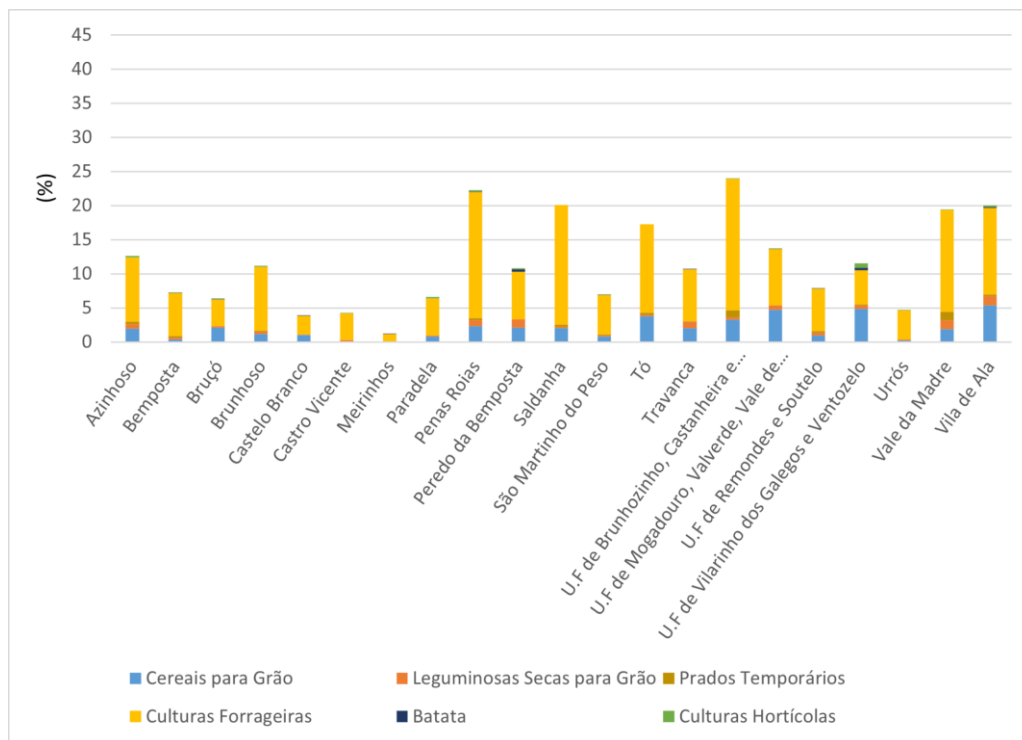
Fonte: Recenseamento Agrícola de 1999, INE

A.18 Tipo de Culturas Temporárias Produzidas no Município de Mogadouro, por Freguesia em Percentagem do seu território no ano de 2009



Fonte: Recenseamento Agrícola de 2009, INE

A.19 Tipo de Culturas Temporárias Produzidas no Município de Mogadouro, por Freguesia em Percentagem do seu território no ano de 2019



Fonte: Recenseamento Agrícola de 2019, INE

A.20 Variação percentual de Culturas Permanentes Produzidas no Município de Mogadouro, por Freguesia entre 2019-1989

	Frutos Frescos (Excepto Citrinos)	Frutos de Casca Rija	Olival	Vinha
Azinhoso	0,1	372	152	-67
Bemposta	0,0	140	197	-46
Bruçó	0,0	255	-24	-75
Brunhoso	0,1	189	18	-61
Castelo Branco	0,1	87	9	-70
Castro Vicente	-38	-6	34	-95
Meirinhos	0,1	-15	73	-78
Paradela	0,1	-18	6	-8
Penas Roias	100	967	292	-44
Peredo da Bemposta	200	2100	142	-9
Saldanha	0,1	1350	177	-77
São Martinho do Peso	0	63	65	-71
Tó	0	2	350	-45
Travanca	50	200	138	-64
U.F de Brunhozinho, Castanheira e Sanhoane	0	850	140	-76
U.F de Mogadouro, Valverde, Vale de Porco e Vilar de Rei	0	83	42	-58
U.F de Remondes e Soutelo	0,1	121	51	-70
U.F de Vilarinho dos Galegos e Ventozelo	100	4600	76	-2
Urrós	500	525	518	-51
Vale da Madre	0,1	580	34	0
Vila de Ala	200	3500	200	-29

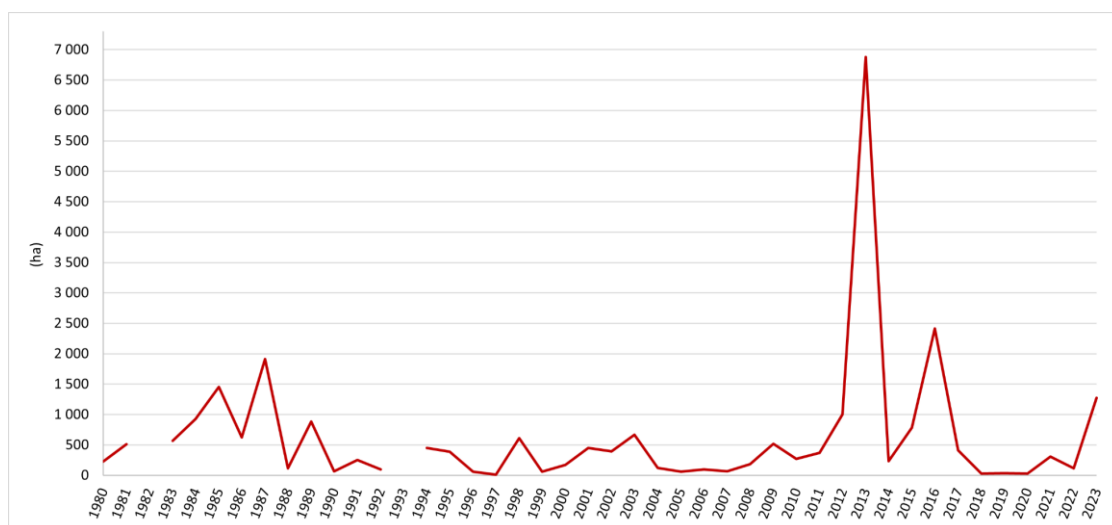
Fonte: Recenseamentos Agrícolas. INE

A.21 Variação percentual de Culturas Temporárias Produzidas no Município de Mogadouro, por Freguesia entre 2019-1989

	Cereais para Grão	Leguminosas Secas para Grão	Prados Temporários	Culturas Forrageiras	Batata	Culturas Horticolas
Azinhoso	-90	20	0,1	161	-100	0,1
Bemposta	-94	0,1	0,1	215	-100	0
Bruçó	-73	100	0	44	-88	0,1
Brunhoso	-93	0,1	-67	47	-100	0,1
Castelo Branco	-83	-67	0	17	0	0,1
Castro Vicente	-99	0,1	-100	700	-100	0,1
Meirinhos	-97	-100	0	-27	-100	0,1
Paradela	-94	0	0	-23	-100	0,1
Penas Roias	-88	1	0,1	87	0	0,1
Peredo da Bemposta	-85	100	0	192	-57	0,1
Saldanha	-88	0,1	0	88	-100	0,1
São Martinho do Peso	-92	0,1	-67	12	-100	0,1
Tó	-81	0,1	0,1	103	-100	0,1
Travanca	-89	233	-100	-16	-100	0,1
U.F de Brunhozinho, Castanheira e Sanhoane	-88	0,1	-9	41	-100	0,1
U.F de Mogadouro, Valverde, Vale de Porco e Vilar de Rei	-76	250	-100	22	-91	0,1
U.F de Remondes e Soutelo	-93	1	0	-10	0	0,1
U.F de Vilarinho dos Galegos e Ventozelo	-78	-44	-50	-6	-75	1
Urrós	-98	0,1	-100	87	-100	0,1
Vale da Madre	-88	0,1	20	117	-100	0,1
Vila de Ala	-78	250	-33	41	-95	0,1

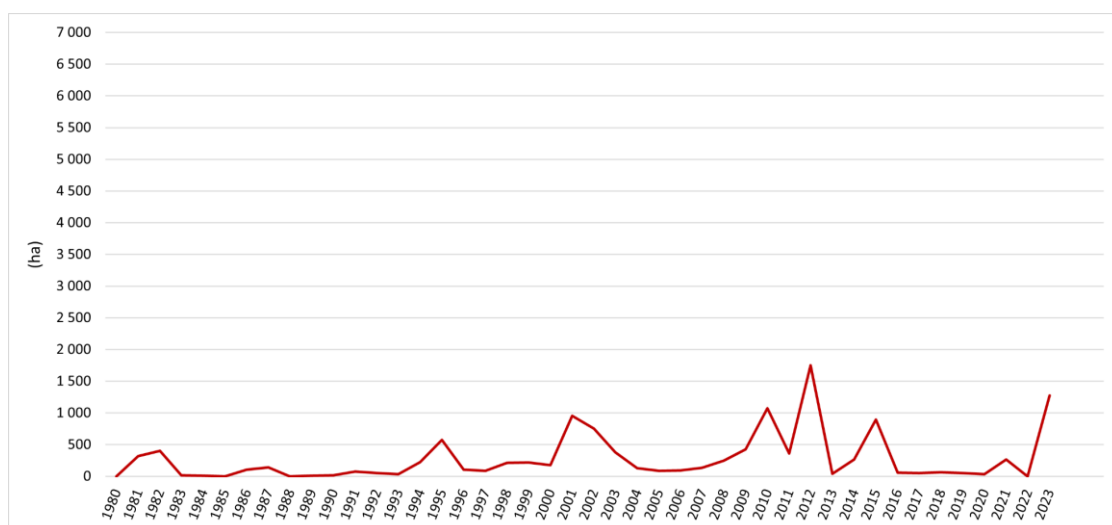
Fonte: Recenseamentos Agrícolas. INE

A.22 Área ardida segundo os dados vetoriais do ICNF



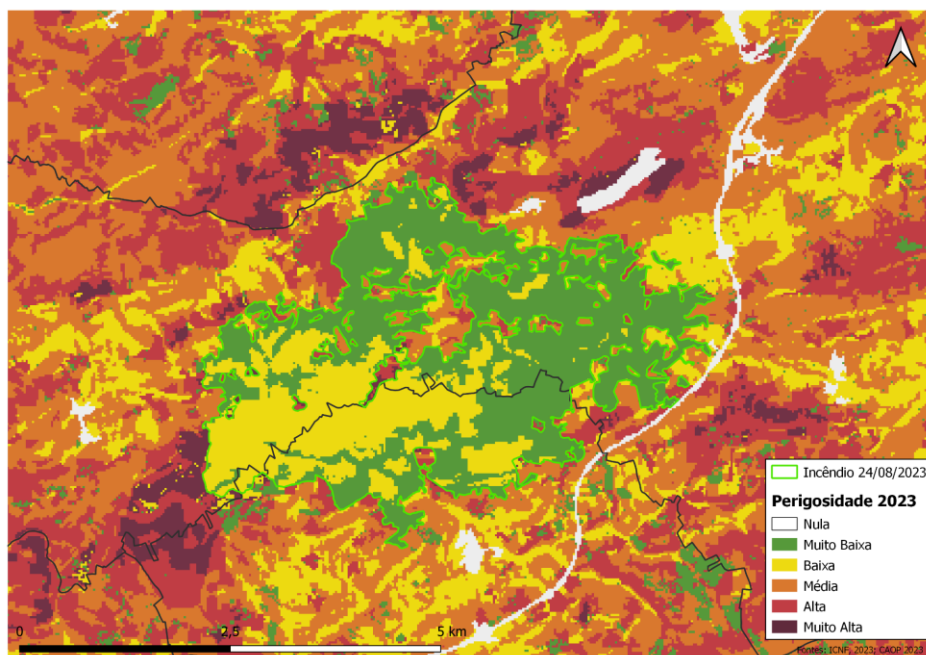
Fonte: ICNF

A.23 Área ardida segundo os dados estatísticos do ICNF (SGIF)



Fonte: ICNF, SGIF

A.24 Perigosidade de Incêndio Rural em 2023 no caso de estudo do incêndio do dia 24/08/2023



Fonte: ICNF

A.25 Análise estatística do NDVI na área de estudo

NDVI	Pré-Incêndio 2023	Após-Incêndio 2023
Mínimo	-0.4087	-0.6012
Máximo	0.8814	0.7040
Média	0.1627	0.1753
Mediana	-0.0011	-0.0011
Desvio padrão	0.2007	0.2283

Fonte: Elaboração própria

A.26 Análise estatística do SAVI na área de estudo

SAVI	Pré-Incêndio 2023	Pós-Incêndio 2023
Mínimo	-0.2789	-0.4707
Máximo	0.7216	0.7567
Média	0.0949	0.0997
Mediana	0.1022	-0.1345
Desvio padrão	0.1143	0.1227

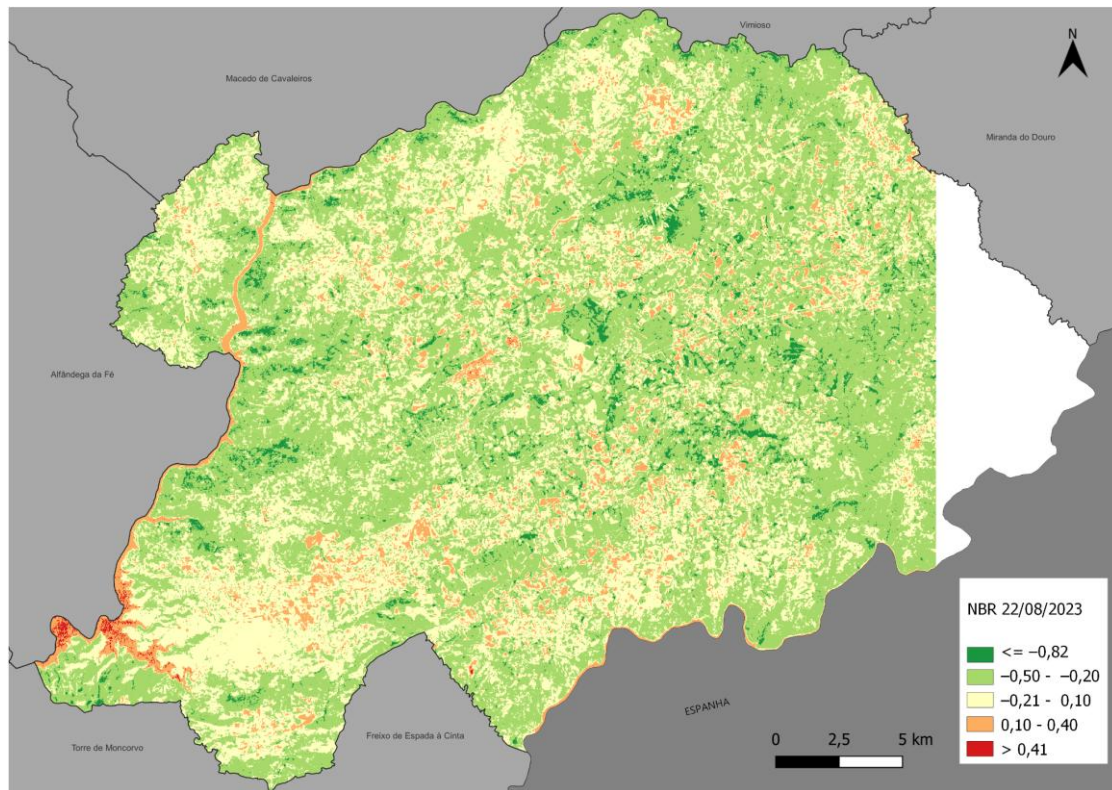
Fonte: Elaboração própria

A.27 Análise estatística do NBR na área de estudo

NBR	Pré-Incêndio 2023	Pós-Incêndio 2023
Mínimo	-0.6868	-0.8215
Máximo	0.7109	0.7563
Média	0.0741	0.0802
Mediana	0.0470	0.0547
Desvio padrão	0.1451	0.1747

Fonte: Elaboração própria

A.28 NBR antes do incêndio no município de Mogadouro



Fonte: Sentinel-2, Copernicus 2023

A.29 Níveis de Severidade do fogo segundo o USGS

Níveis de Severidade	Intervalo dNBR – USGS
Regeneração Intensificada, elevada (pós-incêndio)	< -0,250
Regeneração Intensificada, reduzida (pós-incêndio)	-0,250 a -0,101
Não queimado	-0,100 a 0,099
Baixa severidade	0,100 a 0,269
Severidade moderadamente baixa	0,270 a 0,439
Severidade moderadamente elevada	0,440 a 0,659
Elevada severidade	> 0,660

Fonte: USGS

A.30 Acurácia geral em percentagem do algoritmo Maximum Likelihood Classifier antes e depois do incêndio de 24 de agosto de 2023

Pré-Incêndio	Pós-Incêndio
97,43	90,08

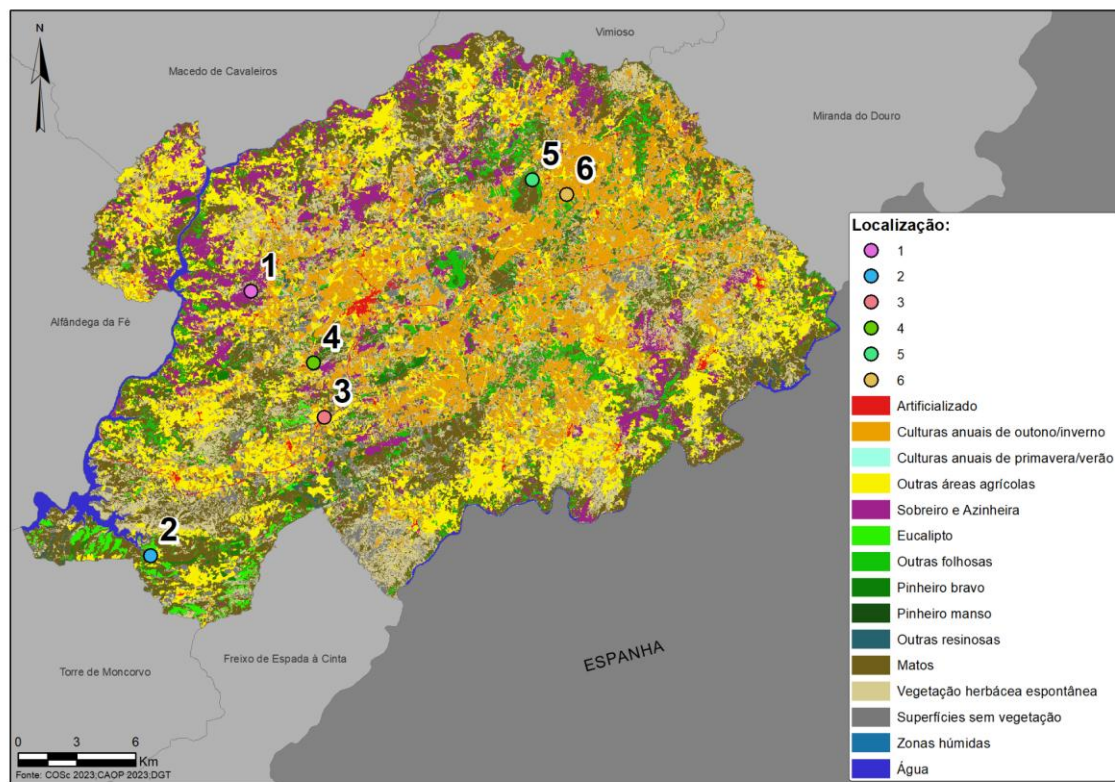
Fonte: Elaboração própria

A.31 Acurácia geral em percentagem do algoritmo Random Forest Classifier antes e depois do incêndio de 24 de agosto de 2023

Pré-Incêndio	Pós-Incêndio
98,51	96,51

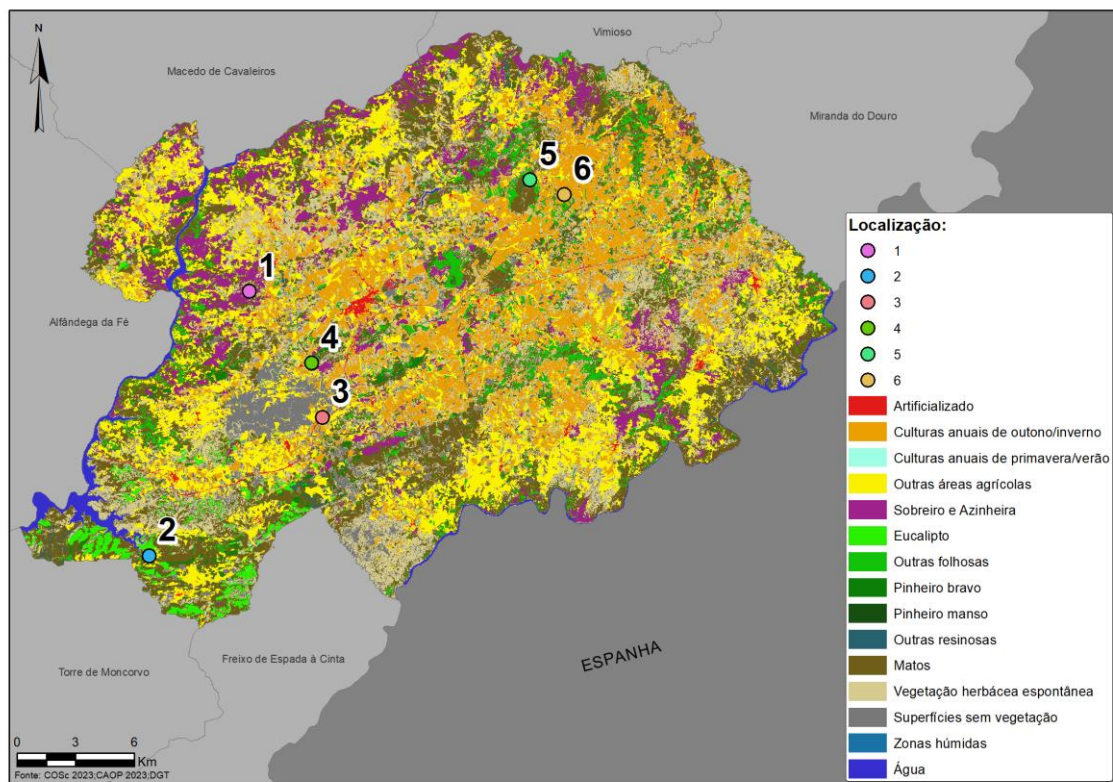
Fonte: Elaboração própria

A.32 Localização geográfica das áreas de validação na carta de ocupação do solo conjuntural pré verão, antes do incêndio no município de Mogadouro



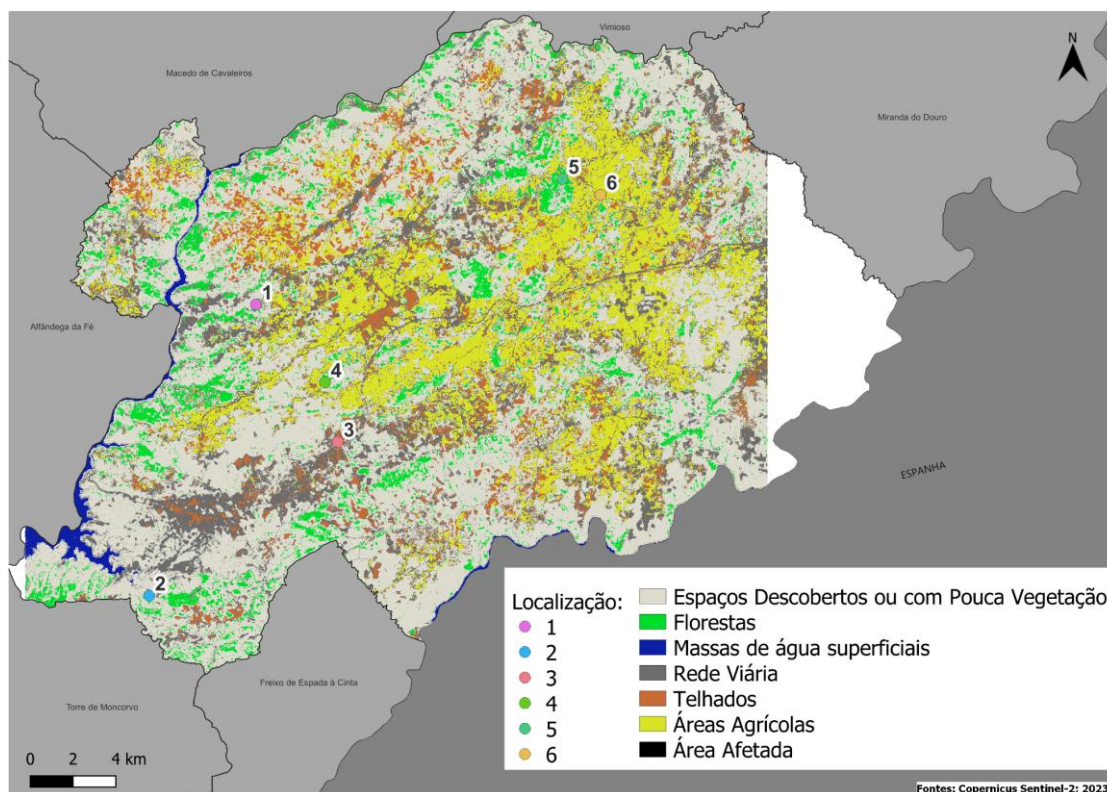
Fonte: COSc, DGT

A.33 Localização geográfica das áreas de validação na carta de ocupação do solo conjuntural pós-verão, depois do incêndio no município de Mogadouro



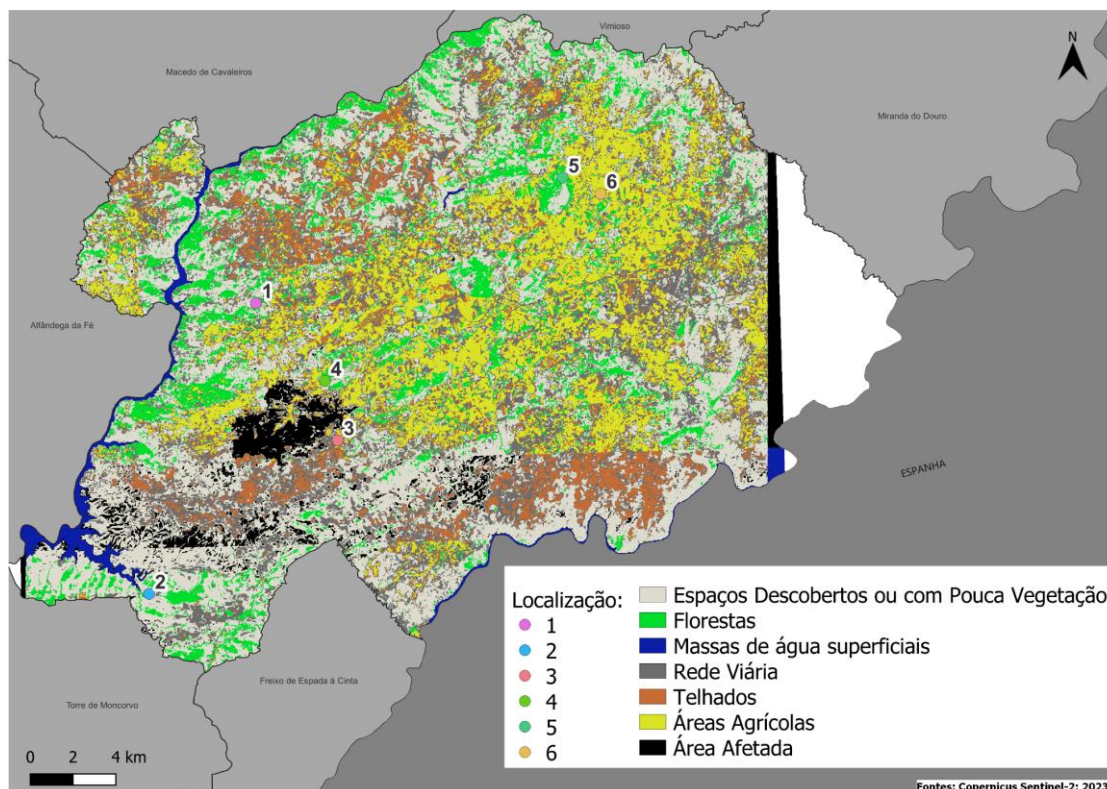
Fonte: COSc, DGT

A.34 Localização geográfica das áreas de validação na carta de ocupação do solo segundo o método do maximum likelihood classifier, antes do incêndio no município de Mogadouro



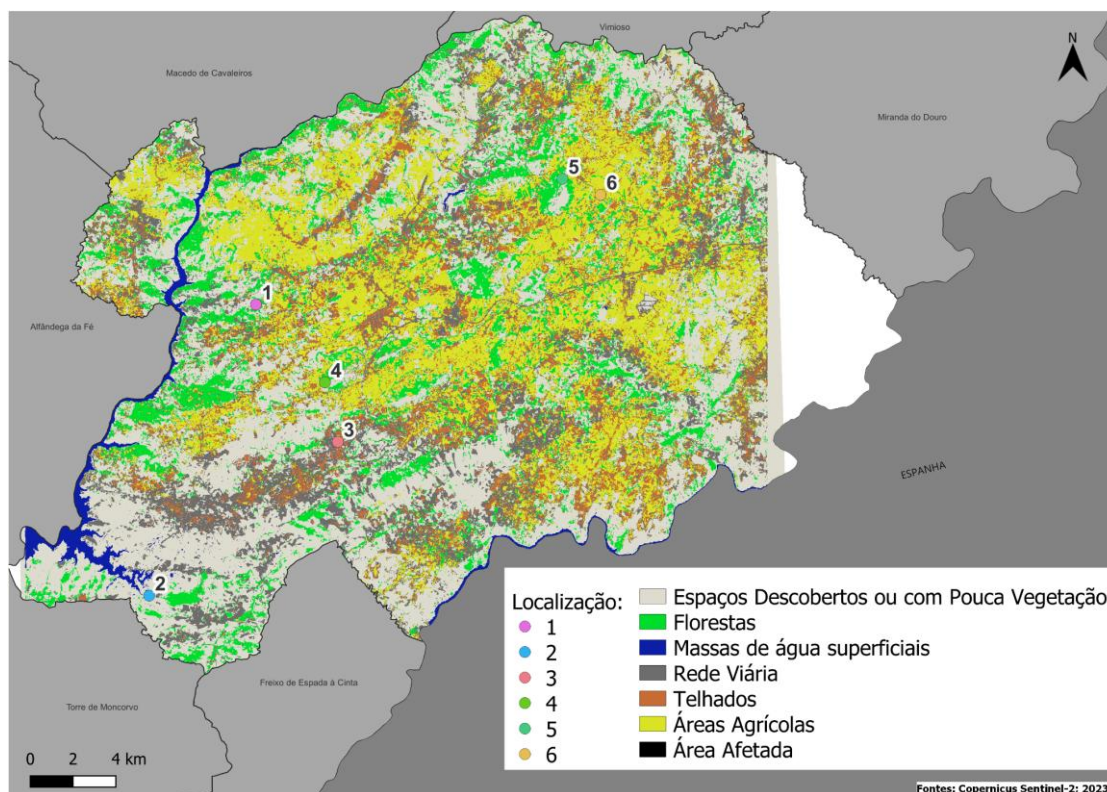
Fonte: Sentinel-2, Copernicus

A.35 Localização geográfica das áreas de validação na carta de ocupação do solo segundo o método do maximum likelihood classifier, depois do incêndio no município de Mogadouro



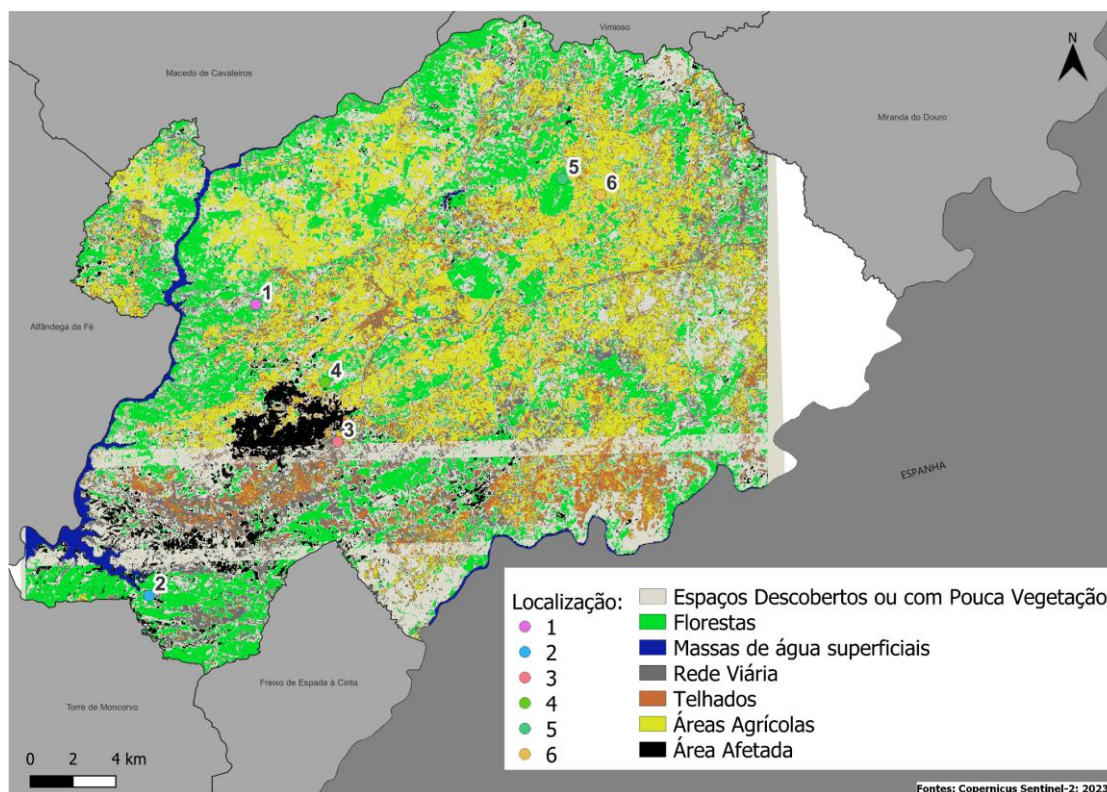
Fonte: Sentinel-2, Copernicus

A.36 Localização geográfica das áreas de validação na carta de ocupação do solo segundo o método do random forest classifier, antes do incêndio no município de Mogadouro



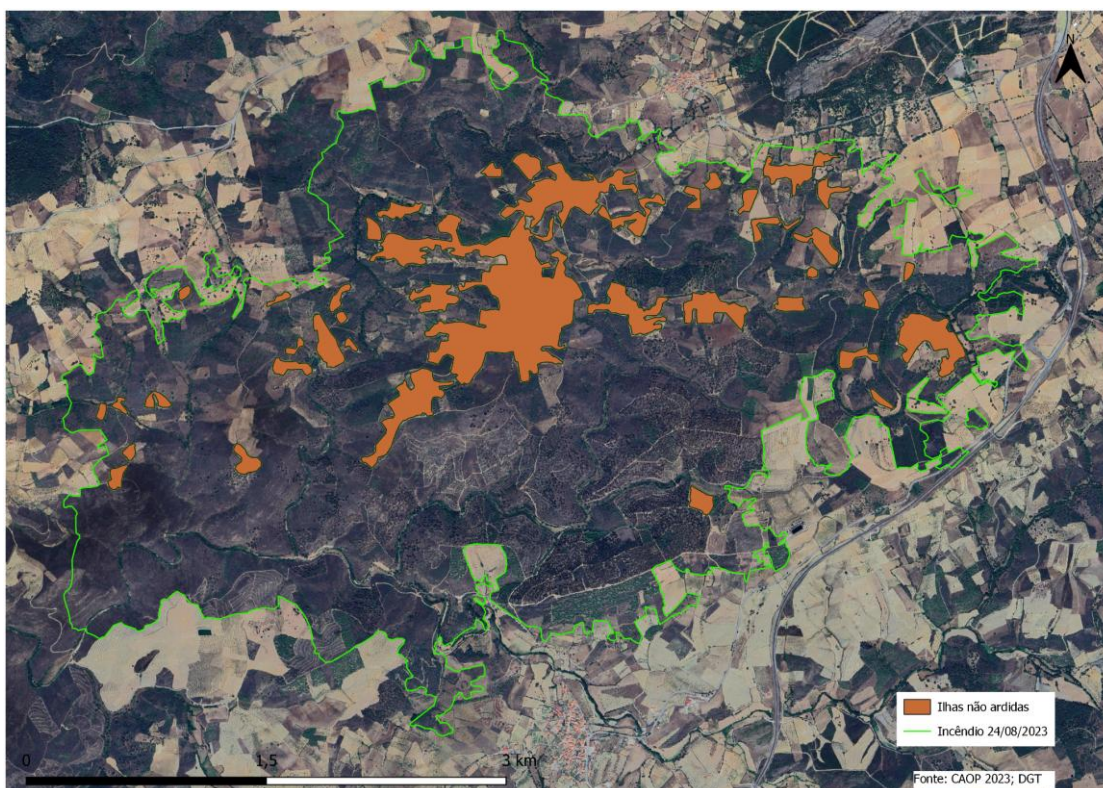
Fonte: Sentinel-2, Copernicus

A.37 Localização geográfica das áreas de validação na carta de ocupação do solo segundo o método do random forest classifier, depois do incêndio no município de Mogadouro



Fonte: Sentinel-2, Copernicus

A.38 Áreas não ardidas (ilhas) dentro da área ardida do incêndio de 24/08/2023 no município de Mogadouro



Fonte: DGT, ICNF

A.39 Ilhas não ardidas (ha) segundo a COS2018

Agricultura	103,95
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	-
Florestas	11,77
Massas de água superficiais	-
Matos	19,60
Pastagens	4,70
Superfícies agroflorestais	1,66
Territórios Artificializados	-
Total	141,68

Fonte: COS, DGT

A.40 Ilhas não ardidas (ha) segundo a COSc2023

Artificializado	-
Culturas anuais de outono/inverno	18,19
Culturas anuais de primavera/verão	0,06
Outras áreas agrícolas	81,16
Sobreiro e Azinheira	2,71
Eucalipto	-
Outras folhosas	0,43
Pinheiro bravo	0,04
Pinheiro manso	-
Outras resinosas	0,08
Matos	5,87
Vegetação herbácea espontânea	22,22
Superfícies sem vegetação	11,20
Total	141,96

Fonte: COSc, DGT

A.41 Ilhas não ardidas (ha) segundo o método maximum likelihood classifier

Espaços Descobertos ou com Pouca Vegetação	12,10
Florestas	1,72
Massas de água superficiais	-
Rede Viária	30,10
Telhados	32,53
Áreas Agrícolas	65,10
Área Afetada	1,45
Total	141,55

Fonte: Sentinel-2, Copernicus

A.42 Ilhas não ardidas (ha) segundo o método random forest classifier

Espaços Descobertos ou com Pouca Vegetação	29,40
Florestas	5,61
Massas de água superficiais	-
Rede Viária	28,55
Telhados	27,81
Áreas Agrícolas	49,55
Área Afetada	3,21
Total	140,92

Fonte: Sentinel-2, Copernicus

A.43 Distribuição da área ardida (ha) por classe de severidade do incêndio segundo a COS

	Muito Baixa	Baixa	Média	Elevada	Muito Elevada
Agricultura	25,38	70,31	73,21	10,91	1,29
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	-	-	-	-	-
Florestas	13,66	115,18	288,87	73,94	5,42
Massas de água superficiais	-	-	-	-	-
Matos	13,65	189,49	310,80	36,87	1,87
Pastagens	13,65	13,45	17,31	3,30	0,14
Superfícies agroflorestais	0,53	2,09	3,82	1,83	0,12
Territórios Artificializados	-	0,01	0,05	-	-
Total	66,858	390,527	694,054	126,853	8,846

2018

Fonte: COS, DGT

A.44 Distribuição da área ardida (ha) por classe de severidade do incêndio segundo a COSc

	Muito Baixa	Baixa	Média	Elevada	Muito Elevada
Artificializado	0	0	0	0	0
Culturas anuais de outono/inverno	4,58	22,57	15,85	0,19	0
Culturas anuais de primavera/verão	0,03	0,11	0,38	0,08	0
Outras áreas agrícolas	14,67	35,38	46,15	3,47	0,17
Sobreiro e Azinheira	2,8	6,81	31,29	13,63	2,31
Eucalipto	0	6,34	41,19	26,76	1,3
Outras folhosas	2,97	3,71	16,42	6,91	1,06
Pinheiro bravo	0,43	0,32	2,01	1,63	0,22
Pinheiro manso	0	0	0	0,02	0
Outras resinosas	0,21	0,35	2,24	2,35	0,46
Matos	8,65	119,13	418,77	63,58	3,75
Vegetação herbácea espontânea	14,02	176,86	188,65	7,88	0,06
Superfícies sem vegetação	4,4	15,84	14,25	0,59	0
Total	52,76	387,42	777,2	127,09	9,33

2023

Fonte: COSc, DGT

A.45 Ocupação do solo (ha) no limite do incêndio (buffer de 20metros) segundo a COS2018

	Cos 2018
Agricultura	154,49
Espaços descobertos/com pouca vegetação	-
Florestas	51,29
Massas de água superficiais	-
Matos	90,46
Pastagens	18,66
Superfícies agroflorestais	4,57
Territórios Artificializados	0,46

Fonte: COS, DGT

A.46 Ocupação do solo (ha) no limite do incêndio (buffer de 20metros) segundo a COSc2023

	Cosc 2023
Artificializado	0,31
Culturas anuais de outono/inverno	36,24
Culturas anuais de primavera/verão	0,73
Outras áreas agrícolas	100,16
Sobreiro e Azinheira	3,95
Eucalipto	0,03
Outras folhosas	2,31
Pinheiro bravo	0,29
Pinheiro manso	0,01
Outras resinosas	0,21
Matos	9,87
Vegetação herbácea espontânea	64,12
Superfícies sem vegetação	101,36

Fonte: COSc, DGT

A.47 Imagens posteriores à ocorrência (dia 26 de agosto de 2023)



Fonte: Elaboração própria

A.48 Imagem Nº1 tirada durante a ocorrência (dia 24/08/2023)



Fonte: Equipa de sapadores florestais

A.49 Imagem Nº2 tirada durante a ocorrência (dia 24/08/2023)



Fonte: Equipa de sapadores florestais

A.50 Imagem Nº3 tirada durante a ocorrência (dia 24/08/2023)



Fonte: Equipa de sapadores florestais

A.51 Imagem Nº4 tirada durante a ocorrência (dia 25/08/2023)



Fonte: Equipa de sapadores florestais

A.52 Imagem Nº1 da primeira área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.53 Imagem Nº2 da primeira área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.54 Imagem Nº3 da primeira área de validação



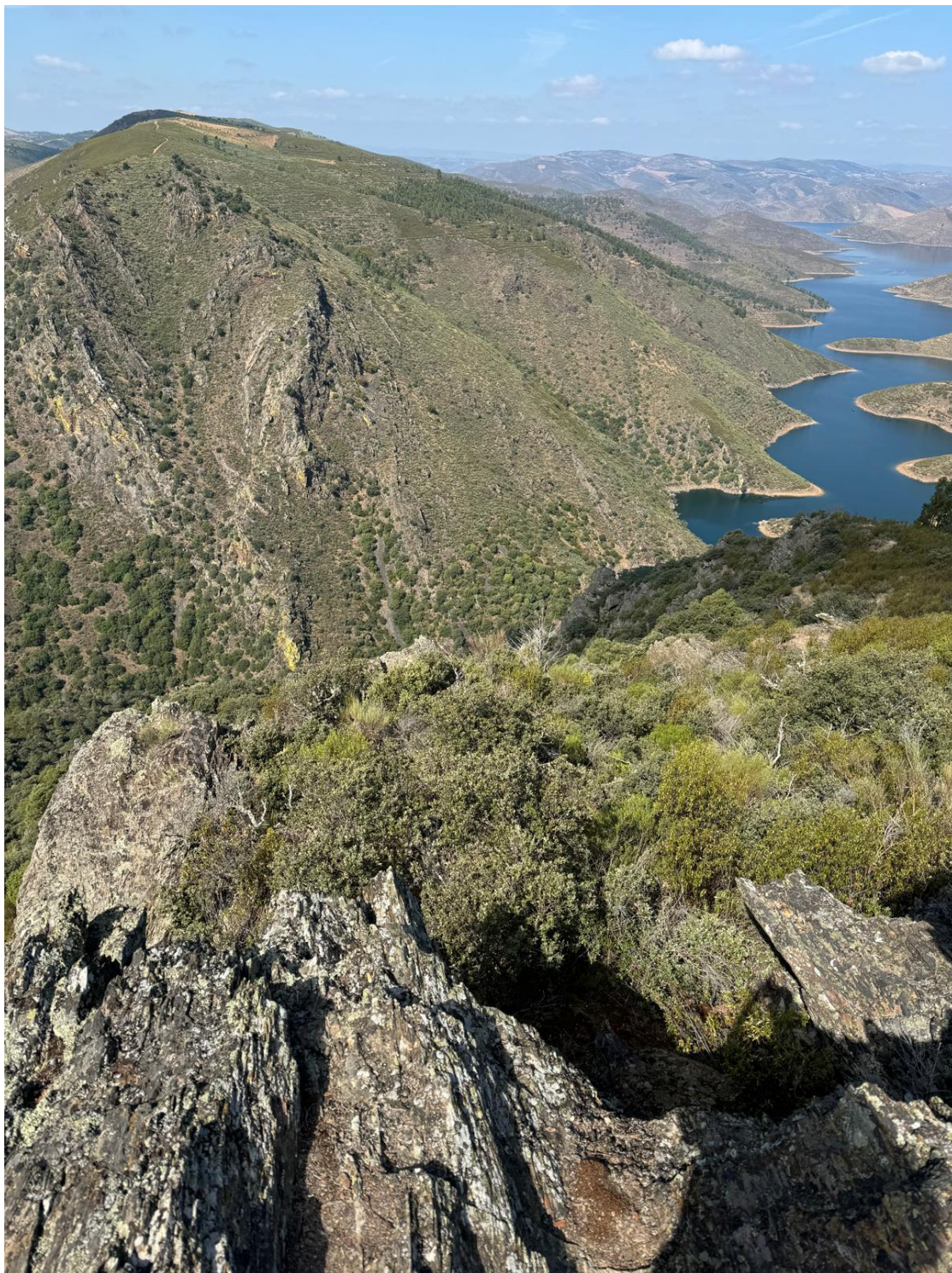
Fonte: Elaboração própria

A.55 Imagem Nº1 da segunda área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.56 Imagem Nº2 da segunda área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.57 Imagem Nº3 da segunda área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.58 Imagem Nº4 da segunda área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.59 Imagem Nº1 da terceira área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.60 Imagem Nº2 da terceira área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.61 Imagem Nº3 da terceira área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.62 Imagem Nº1 da quarta área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.63 Imagem Nº2 da quarta área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.64 Imagem Nº3 da quarta área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.65 Imagem Nº1 da quinta área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.66 Imagem Nº2 da quinta área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.67 Imagem Nº3 da quinta área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.68 Imagem Nº1 da sexta área de validação



Fonte: Elaboração própria

A.69 Imagem Nº2 da sexta área de validação



Fonte: Elaboração própria