

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Perigosidade à ignição de incêndios rurais no Concelho de Resende

Andreia Viviana Silva Esteves

M

2021



Andreia Viviana Silva Esteves

Perigosidade à ignição de incêndios rurais no Concelho de Resende

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor Carlos Valdir Meneses Bateira.

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2021

Andreia Viviana Silva Esteves

Perigosidade à ignição de incêndios rurais no Concelho de Resende

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor Carlos Valdir Meneses Bateira.

Membros do Júri

Professor Doutor (escreva o nome do/a Professor/a)

Faculdade (nome da faculdade) - Universidade (nome da universidade)

Professor Doutor (escreva o nome do/a Professor/a)

Faculdade (nome da faculdade) - Universidade (nome da universidade)

Professor Doutor (escreva o nome do/a Professor/a)

Faculdade (nome da faculdade) - Universidade (nome da universidade)

Classificação obtida: (escreva o valor) Valores

Á minha família!

Sumário

Declaração de honra.....	4
Agradecimentos.....	5
Resumo	6
Abstract	7
Índice de Figuras.....	8
Índice de Tabelas	9
Índice de Anexos.....	10
Lista de abreviaturas e siglas	11
Introdução	12
1. O problema dos incêndios rurais	13
1.1.Floresta Portuguesa.....	13
1.2.Os incêndios rurais em Portugal Continental.....	14
1.2.1.Distribuição temporal.....	15
2. Modelo Conceptual	18
3. Índices Estruturais.....	20
3.1.Índices dinâmicos	21
4. Área de estudo – Concelho de Resende	23
4.1.Enquadramento geográfico do Concelho de Resende	23
4.2.Caracterização Física.....	25
4.2.1. Relevo	25
4.3.Uso e Ocupação do território	30
4.4.Os incêndios rurais no Concelho de Resende	31
5. Modelação da probabilidade de ocorrência de incêndios e suscetibilidade à ignição	
34	
5.1.Materiais e métodos.....	34
5.1.1.Seleção do modelo	34
5.1.2.Variáveis dependentes	35
5.1.3.Variáveis independentes	35
5.2.Resultados	37

5.2.1. Análise de frequências	37
5.2.2. Modelação espacial da probabilidade de ignição	42
5.3. Discussão dos resultados.....	48
Considerações Finais	49
Referências Bibliográficas.....	50
Anexos	52

54

Declaração de honra

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

[Faculdade de Letras da Universidade do Porto, setembro de 2021]

[Andreia Viviana Silva Esteves]

Agradecimentos

Em primeiro lugar o meu maior agradecimento vai para a minha família, em especial para os meus pais e irmã Viviana Esteves, pela constante motivação e carinho, que levaram à superação das dificuldades decorridas ao longo desta caminhada.

Ao professor Doutor Carlos Bateira, orientador de estágio e dissertação por parte da Faculdade de Letras da Universidade do Porto, toda a sua disponibilidade, dedicação, conhecimento e oportuna orientação científica do presente trabalho.

Um agradecimento especil também a todos os docentes que me acompanharam ao longo deste percurso de formação, em especial à professora Laura Soares, pelo facto de estar sempre disponível, inclusivé fora de horas, para prestar apoio necessário a todas as dificuldades que foram surgindo durante a elaboração do presente trabalho.

A todos os colegas e amigos, pela companhia e convivência.

O meu muito obrigada!

Resumo

A problemática dos incêndios rurais, é hoje em dia bastante falado e, trabalhado por diversos autores científicos devido à sua dimensão e frequência. Os incêndios rurais, são considerados fatores essenciais para um desenvolvimento sustentável da Floresta Portuguesa, daí existir a necessidade de os prevenir.

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação da suscetibilidade e, a análise dos padrões espaciais da ignição de incêndios rurais. Foram analisados 419 pontos de ignição que ocorreram no Concelho de Resende entre 2015 e 2019. Com recurso às técnicas de regressão logística foi possível a produção do mapa da suscetibilidade à ignição. De acordo com os resultados obtidos, podemos afirmar que existe uma relação entre as variáveis selecionadas, com o histórico, ocupação do solo, declives e distância à rede viária, o que permitiu assim identificar as áreas mais suscetíveis.

Os temas trabalhados e apresentados neste projeto de investigação, probabilidade de ignição e suscetibilidade de incêndio rural, poderão constituir uma boa ferramenta de apoio à decisão no que concerne a ações de prevenção e combate a incêndios rurais.

Palavras-chave: floresta, incêndios rurais, perigosidade, regressão logística.

Abstract

The problem of rural fires is nowadays much talked about and worked on by several scientific authors due to its dimension and frequency. Rural fires are considered essential factors for a sustainable development of the Portuguese Forest, so there is the need to prevent them.

The present work aimed to evaluate the susceptibility and to analyse the spatial patterns of rural fires ignition. We analysed 419 points of ignition that occurred in the Municipality of Resende between 2015 and 2019.

Using the techniques of logistic regression it was possible to produce the map of the susceptibility to ignition. According to the results obtained we can state that there is a relationship between the selected variables, with the history, land cover, slopes and distance to the road network which thus allowed the identification of the most susceptible areas.

The themes worked and presented in this research project, probability of ignition and susceptibility to rural fire, can be a good tool to support the decision regarding the actions of prevention and combat of rural fires.

Key-words: forest, rural fires, hazard, logistic regression.

Índice de Figuras

FIGURA 1- DISTRIBUIÇÃO ANUAL DO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS E ÁREA ARDIDA ENTRE 2001 E 2020, EM PORTUGAL CONTINENTAL.....	16
FIGURA 2- DISTRIBUIÇÃO MENSAL DO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS E ÁREA ARDIDA ENTRE 2010 E 2019, EM PORTUGAL CONTINENTAL.....	17
FIGURA 3- DISTRIBUIÇÃO SEMANAL DO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS E ÁREA ARDIDA ENTRE 2010 E 2019, EM PORTUGAL CONTINENTAL.....	18
FIGURA 4- COMPONENTES DO MODELO DE RISCO	20
FIGURA 5- ESTRUTURA DO ÍNDICE FWI, ADAPTADO DE DOMINGOS X. VIEGAS (2004)	22
FIGURA 6- CONCELHO DE RESENDE	24
FIGURA 7- MAPA HIPSOMÉTRICO DO CONCELHO DE RESENDE	26
FIGURA 8- MAPA DE DECLIVES DO CONCELHO DE RESENDE	27
FIGURA 9- TEMPERATURA MÉDIA MENSAL, REALCE DOS VALORES MÁXIMOS E VALORES MÍNIMOS	28
FIGURA 10- GRÁFICO TERMOPLUVIOMÉTRICO.....	29
FIGURA 11- DISTRIBUIÇÃO ANUAL DA ÁREA ARDIDA E DO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS, NO CONCELHO DE RESENDE, NO ANO DE 2010 A 2019.....	32
FIGURA 12- ÁREAS ARDIDAS DO CONCELHO DE RESENDE (2010-2019)	33
FIGURA 13- HIPSOMETRIA DO CONCELHO DE RESENDE (PONTOS DE IGNIÇÃO)	38
FIGURA 14- OCUPAÇÃO DO SOLO DO CONCELHO DE RESENDE (PONTOS DE IGNIÇÃO)	38
FIGURA 15- DISTÂNCIA À FLORESTA, A PARTIR DO PONTO DE IGNIÇÃO, NO CONCELHO DE RESENDE	40
FIGURA 16- CURVA ROC	43
FIGURA 17- SUSCETIBILIDADE À IGNIÇÃO DE INCÊNDIOS RURAIS NO CONCELHO DE RESENDE.....	44
FIGURA 18- PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS RURAIS, CONCELHO DE RESENDE	45
FIGURA 19- PERIGOSIDADE DE INCÊNDIOS RURAIS NO CONCELHO DE RESENDE	46

Índice de Tabelas

TABELA 1- ÁREAS POR OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO, EM MILHARES DE HECTARES, NOS INVENTÁRIOS FLORESTAIS NACIONAIS DE 2005 E 2015	13
TABELA 2- ÁREAS POR ESPÉCIE, EM MILHARES DE HECTARES, PARA AS TRÊS ESPÉCIES MAIS REPRESENTADAS, NOS INVENTÁRIOS FLORESTAIS NACIONAIS DE 2005 E 2015	14
TABELA 3- NÚMERO DE ÁREA ARDIDA E NÚMERO DE OCORRÊNCIAS, ENTRE 2001 E 2020, EM PORTUGAL CONTINENTAL.....	15
TABELA 4- FREGUESIAS DO CONCELHO DE RESENDE E RESPECTIVAS ÁREAS	24
TABELA 5- USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, NO CONCELHO DE RESENDE.....	30
TABELA 6- REGISTO DAS ÁREAS DE OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO POR FREGUESIA (HA)	31
TABELA 7- NÚMERO DE ÁREA ARDIDA E NÚMERO DE OCORRÊNCIAS, ENTRE 2001 E 2020, NO CONCELHO DE RESENDE	32
TABELA 8- VARIÁVEIS INDEPENDENTES SELECIONADAS.....	37
TABELA 9- VALORES PERCENTUAIS, VARIÁVEIS EM ESTUDO	40
TABELA 10- VALORES PERCENTUAIS, VARIÁVEIS EM ESTUDO (PRESENÇA HUMANA).....	41
TABELA 11- RESULTADOS DO MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA MULTIVARIADA	42
TABELA 12- PROBABILIDADE ESPACIAL (SUSCETIBILIDADE) (%)	47
TABELA 13- PROBABILIDADE TEMPORAL (%).....	47
TABELA 14- PERIGOSIDADE (%) DE INCÊNDIOS RURAIS NO CONCELHO DE RESENDE	48

Índice de Anexos

ANEXO 1- PONTOS DE IGNIÇÃO DE INCÊNDIO RURAL DO CONCELHO DE CINFÃES.....	53
ANEXO 2- PONTOS DE NÃO IGNIÇÃO DE INCÊNDIO RURAL DO CONCELHO DE RESENDE	54
ANEXO 3- EXPOSIÇÃO DE VERTENTES DO CONCELHO DE RESENDE (PONTOS DE IGNIÇÃO)	55
ANEXO 4- DENSIDADE POPULACIONAL DO CONCELHO DE RESENDE (PONTOS DE IGNIÇÃO)	56
ANEXO 5- DISTÂNCIA AO EDIFICADO DO CONCELHO DE RESENDE (PONTOS DE IGNIÇÃO).....	57
ANEXO 6- Nº EDIFÍCIOS POR SUBSECÇÃO ESTATÍSTICA DO CONCELHO DE RESENDE (PONTOS DE IGNIÇÃO)	58
ANEXO 7- DISTÂNCIA À REDE VIÁRIA DO CONCELHO DE RESENDE (PONTOS DE IGNIÇÃO)	59

Lista de abreviaturas e siglas

AAC – Área Abaixo da Curva

AFN – Autoridade Florestal Nacional

ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil

COS – Carta de Ocupação do Solo

DFCI – Defesa da Floresta Contra Incêndios

DGT – Direção Geral do Território

ICNF- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

NUT- Numenclatura das Unidades Territoriais para fins estatísticos

PPI- Ponto Provável de Ignição

PMDFCI – Plano Municipal de Defesa Florestal Contra Incêndios

SGIF- Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais

Introdução

A Floresta Portuguesa possui um grande valor social, económico e ambiental transformando-a num dos recursos mais importantes do nosso país. Segundo o último inventário florestal a tendência de diminuição da área florestal, que se registava desde 1995, inverteu-se em 2015, registando-se um aumento de 60 mil ha (1,9%) face a 2010 (data da última avaliação). Os incêndios rurais atuam como os principais responsáveis pela destruição anual desta riqueza, constituindo uma forte ameaça ao desenvolvimento sustentável da Floresta Portuguesa.

É fundamental ter a ideia de que o fogo não pode, nem deve ser eliminado por completo, pois é considerado um risco misto, ou seja é composto por dois tipos de desencadeamento (natural e antrópico) no ambiente mediterrâneo. A dimensão e a frequência que os incêndios rurais atingiram nas últimas três décadas, acarretaram consequências desfavoráveis à escala global a níveis de poluição, emissão de gases com efeito de estufa, bem como consequências a nível local, no que diz respeito à erosão dos solos, à perda de vidas humanas, à biodiversidade (Ferreira, 2010).

Os incêndios rurais são um tema bastante estudado por vários autores, por esse motivo o desenvolvimento do seguinte trabalho centra-se na análise da perigosidade e risco de incêndio.

A capacidade de prever ocorrências de ignições constitui um importante instrumento, ajudando desta forma os gestores na definição de prioridades e proporcionando uma melhor distribuição dos meios de combate e prevenção (Xavier Catry et al., 2004).

Partindo do facto de que nenhum incêndio rural começa sem que haja ignição, uma correta avaliação deste fenómeno implica primeiramente o conhecimento e a análise dos fatores que influenciam a ocorrência destes eventos e os seus comportamentos. O presente trabalho de investigação tem como principal objetivo avaliar a probabilidade de ignição e suscetibilidade dos incêndios rurais. Deste modo, pretende-se efectuar a construção de uma carta de suscetibilidade, com recurso a um conjunto de variáveis, uma carta da probabilidade temporal e definir a perigosidade a incêndios rurais.

1. O problema dos incêndios rurais

1.1. Floresta Portuguesa

A floresta possui enormes valores económicos e sociais, transformando-a num dos recursos mais importantes do nosso país. No entanto, em Portugal, tem-se assistido a uma perda de rentabilidade e competitividade da floresta portuguesa. Um dos principais responsáveis por esta perda são sem dúvida os incêndios rurais.

Os espaços florestais representam um considerável património natural e cultural, constituindo assim locais para a realização de atividades de lazer. No que concerne a nível ambiental, a floresta é responsável pela melhoria da qualidade da água, armazenamento do Dióxido de Carbono (CO₂) e pela preservação da biodiversidade (Alves, 2012).

Segundo o último Inventário Florestal Nacional os espaços florestais, que englobam a floresta, matos e pastagens, ocupam cerca de 5,9 milhões de hectares do território nacional continental. Neste período de 10 anos verificou-se um aumento da área de floresta (3 224,2 Mha contra 3 215,9 Mha) e um aumento da área de matos e de pastagens (2 766,2 Mha contra 2 716,7 Mha) (Tabela 1) (ICNF, 2019). Este aumento pode ser justificado pelo aumento do despovoamento, pelo êxodo rural proporcionando o aparecimento de áreas de matos, o abandono da gestão florestal tradicional (roça de matos, cortes seletivos) e a redução da pastorícia que conduzem à acumulação de biomassa (Vélez, 2000).

Tabela 1- Áreas por ocupação do território, em milhares de hectares, nos inventários florestais nacionais de 2005 e 2015

Ocupação do solo	2005	2015	Variação
Floresta	3 215,9	3 224,2	+ 8,3
Matos e Pastagens	2 716,7	2 766,2	+ 49,5
Total	5 932,6	5 990,4	+ 57,8

Fonte: ICNF (2019)

A floresta nacional é dominada por espécies como o pinheiro bravo, eucalipto e sobreiro. De entre estas espécies apenas o eucalipto ganha área entre os dois últimos inventários (+59,1 Mha), enquanto que o pinheiro bravo perde 84,7 Mha e o sobreiro 11,3 Mha (Tabela 2).

Tabela 2- Áreas por espécie, em milhares de hectares, para as três espécies mais representadas, nos inventários florestais nacionais de 2005 e 2015

Espécie	2005	2015	Variação
Pinheiro bravo	798,0	713,3	- 84,7
Eucalipto	785,9	845,0	+ 59,1
Sobreiro	731,2	719,9	-11,3

Fonte: ICNF

1.2. Os incêndios rurais em Portugal Continental

Entende-se como incêndio rural, o incêndio que ocorre em espaços florestais, ou que se inicie noutra área, mas que acaba por atingir espaços florestais (ISA, 2005). Estes desastres normalmente ocorrem com frequência e intensidade nos períodos de tempo seco.

Os incêndios podem iniciar-se de forma natural ou ser consequência de atos humanos, no entanto os fatores climáticos e ambientais são definitivos para a sua propagação. A propagação de um incêndio está aliada a um conjunto de condições meteorológicas (direção e velocidade do vento, humidade relativa, temperatura), da severidade de seca e do tipo de coberto vegetal, características do terreno, acessibilidade ao local do incêndio, tempo de intervenção por parte dos operacionais, entre muitos outros fatores (Lourenço, 2002).

Portugal é um dos países do sul da Europa mais afetado pela ocorrência de incêndios rurais, somando um elevado número de ocorrências e grandes manchas de áreas ardidas (Pereira, 2006).

1.2.1. Distribuição temporal

No período compreendido entre 2001 e 2020, segundo os dados disponibilizados pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), arderam em Portugal Continental cerca de 2 898 321 hectares de espaços florestais. Os anos mais críticos em termos de área ardida foram 2003, 2005 e 2017. No ano de 2003 foram registados 471 750,05 ha de área ardida, em 2005 cerca de 346 717,82 ha e, por fim, o ano de 2017 539 920,995 ha (tabela 3). Estes valores podem ser explicados e, analisando os boletins climatológicos, no ano de 2003, Portugal foi atingido por uma onda de calor de intensidade e duração (entre 29 de julho e 13 de agosto). Já no ano de 2005 o país passou por uma situação de seca extrema.

No que diz respeito ao número de ocorrências, nos anos de 2005, 2009 e 2011 o número de ocorrências tem vindo a diminuir. Destacam-se os anos de 2005, 2009 e 2011 em que foram registadas 41 689 ocorrências, 29 783 ocorrências e, 29 782 ocorrências, respetivamente.

Estes números podem estar relacionados com diversos fatores, desde o decréscimo sucessivo da população residente nos espaços rurais que por consequência levam ao abandono das áreas cultivadas (Antonio Dimuccio et al., 2008).

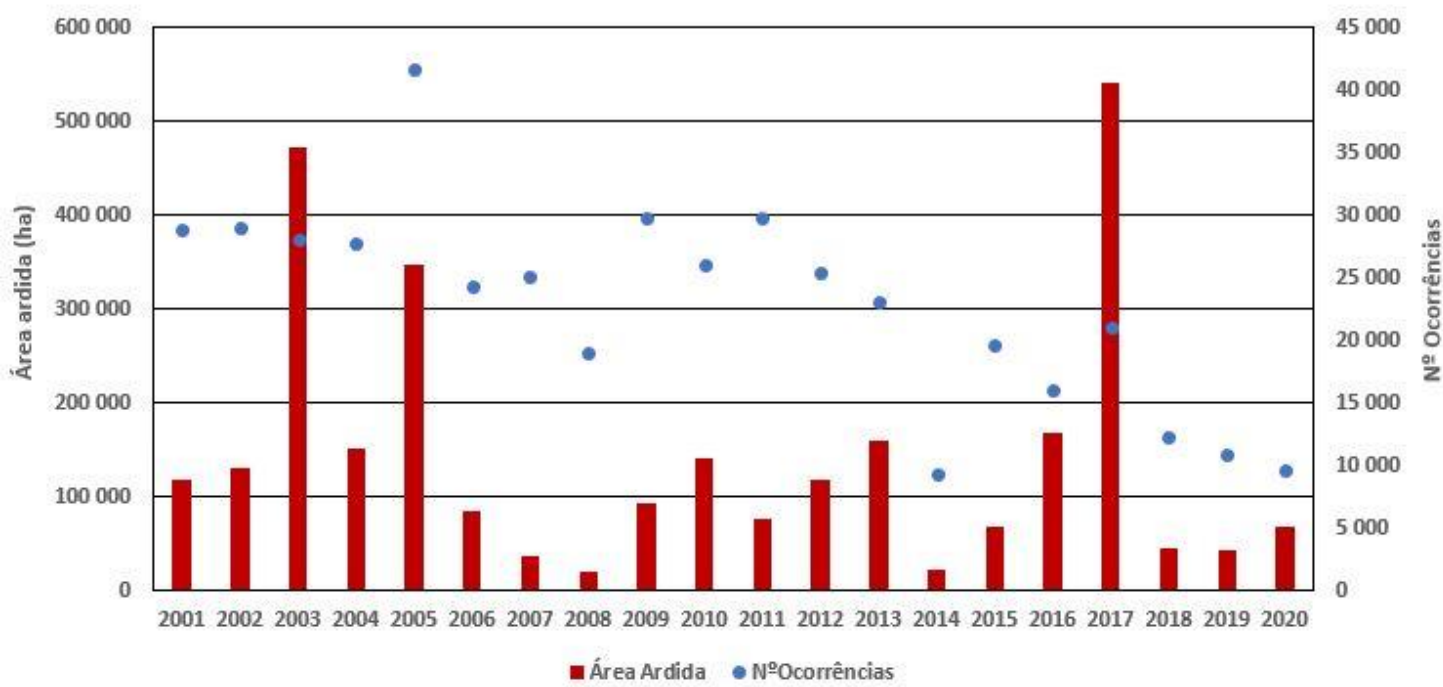
Tabela 3- Número de área ardida e número de ocorrências, entre 2001 e 2020, em Portugal Continental

Ano	Área ardida (ha)	Nº Ocorrências
2001	117 485	28 915
2002	130 849	28 993
2003	471 750	28 087
2004	151 369	27 829
2005	346 717	41 689
2006	83 705	24 243
2007	36 411	25 132
2008	19 897	18 958

2009	92 125	29 783
2010	140 953	26 113
2011	77 103	29 782
2012	117 984	25 352
2012	117 984	25 352
2013	160 387	23 129
2014	22 819	9 388
2015	67 200	19 643
2016	167 807	16 104
2017	539 921	21 006
2018	44 577	12 273
2019	42 083	10 832
2020	67 169	9 620

Fonte: SGIF, 2020

Figura 1- Distribuição anual do número de ocorrências e área ardida entre 2001 e 2020, em Portugal Continental

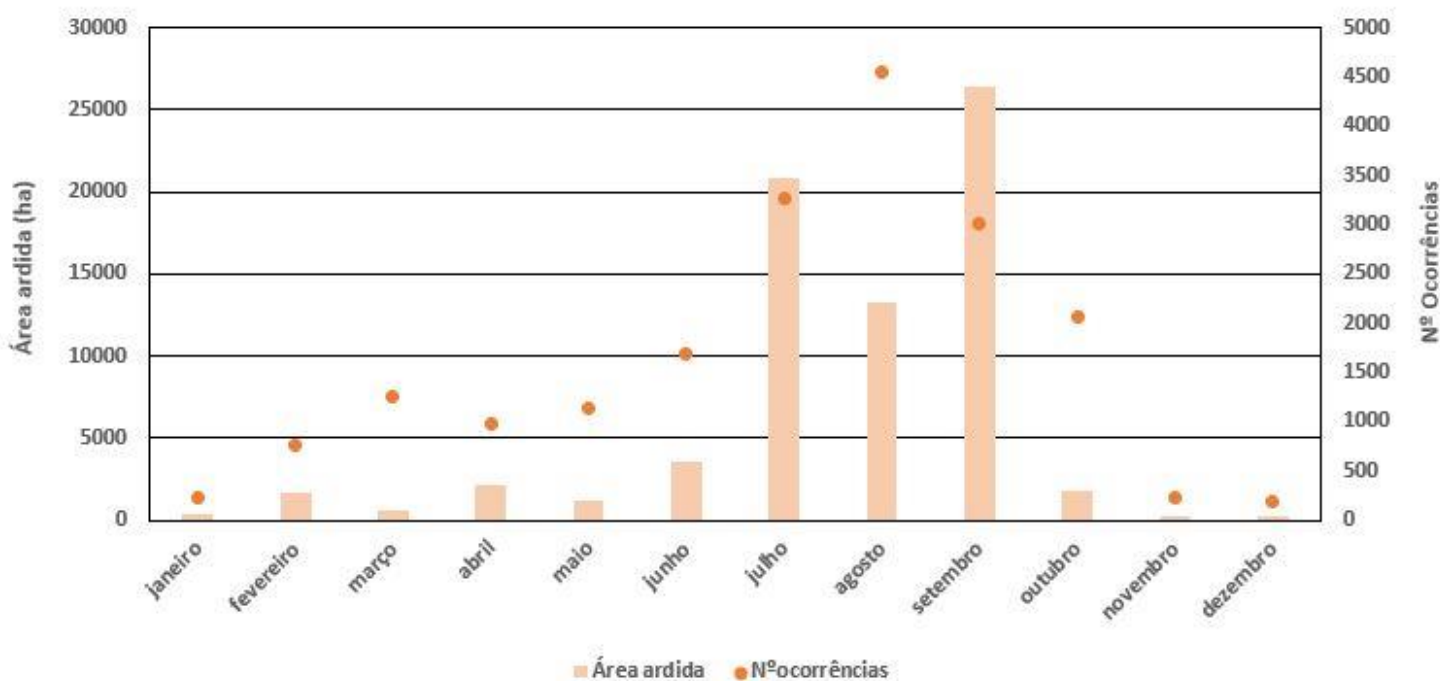


Fonte: SGIF, 2020

No que se refere à distribuição do número de ocorrências de incêndios rurais por mês, verifica-se que é nitidamente sazonal, concentrando-se um maior número de ocorrências nos meses de julho, agosto, setembro (figura 2). Mais de metade do número

de ocorrências, foram contabilizadas na estação seca (56%) e, uma parte muito significativa da área ardida (83%). Este fenómeno é em parte explicado pelas condições meteorológicas que se fazem sentir neste período.

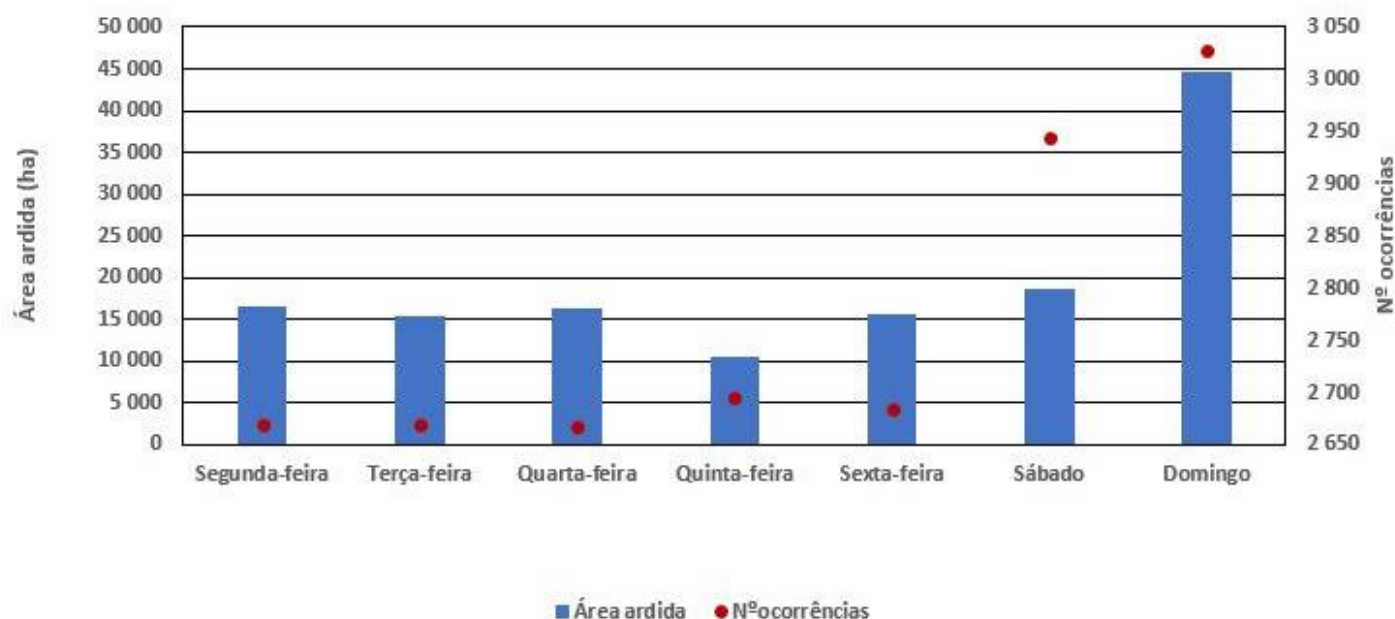
Figura 2- Distribuição mensal do número de ocorrências e área ardida entre 2010 e 2019, em Portugal Continental



Fonte: SGIF, 2019

Em relação à forma como estes se distribuem pelos dias da semana, verifica-se que se distribuem de forma homogénea, com exceção dos dias de fim de semana, em que se regista um aumento significativo tanto de área ardida (ha) como do número de ocorrências. De uma maneira geral ao longo da semana foram registados um total de área ardida de 74 761,92 ha e 13 387 ocorrências. Só no fim de semana (sábado e domingo) foram registados 63 321,99 ha (45% do total) e 5 972 ocorrências (31% do total) (figura 3).

Figura 3- Distribuição semanal do número de ocorrências e área ardida entre 2010 e 2019, em Portugal



Fonte: SGIF, 2019

2. Modelo Conceptual

Ao longo dos últimos anos diversos autores têm-se centrado no estudo aprofundado da problemática dos incêndios rurais. Contudo existe uma diversidade de trabalhos publicados havendo uma grande dificuldade em obter consenso no que se refere à terminologia a adotar para os conceitos de suscetibilidade, perigosidade e risco de incêndio rural.

A suscetibilidade de um determinado território expressa as diversas condições que os territórios apresentam para a ocorrência e potencial de um fenómeno adverso (AFN, 2012). Para Julião, Nery (2009) a suscetibilidade consiste na *“incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a*

probabilidade de ocorrência” (Julião, 2009) . Deste modo a suscetibilidade pode ser vista como a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado acontecimento/evento, atendendo às características do território em causa.

A perigosidade designada de risco, é para Varnes (1984) a probabilidade de ocorrência de fenómenos potencialmente devastadores, num determinado intervalo de tempo e numa determinada área. Para Julião, Nery (2009) a perigosidade representa a *“probabilidade de ocorrência de um processo ou ação (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou para provocar danos) com uma determinada severidade numa dada área e num dado período de tempo”*.

A vulnerabilidade segundo Varnes (1984) e Cardona (2003) expressa o grau de perda a que um determinado elemento está exposto em face da ocorrência de um fenómeno. Expressa-se numa escala que varia entre zero (não ocorre dano) e um (dano é total).

O conceito de risco é utilizado de forma indiferenciada para expor situações de dano potencial e probabilidades de ocorrência. O termo risco, segundo João Verde (2008) é rapidamente utilizado para referir ocorrência de fenómenos, como para referir perdas, sejam elas financeiras, materiais ou pessoais.

Segundo Bachmann e Allgower (2001), o risco de incêndio florestal define-se como “a probabilidade de que um incêndio rural ocorra num local específico, sob determinadas circunstâncias, e as suas consequências esperadas, caracterizadas pelos impactes nos objetos afetados” (Veneman et al., 2001).

A figura 4 apresenta o modelo de risco que orienta este estudo, o modelo conceptual da ANEPC. No âmbito desta dissertação, avaliar-se-á apenas a perigosidade. No entanto, as seguintes componentes, poderão ser tratadas mais tarde em novos estudos que se sirva deste como base.

Figura 4- Componentes do Modelo de Risco



Fonte: AFN (2012)

3. Índices Estruturais

Os incêndios rurais constituem um dos desastres naturais mais estudados pela comunidade científica.

O desenvolvimento de um índice de risco de incêndios implica o estudo de um considerável conjunto de fatores, que contribuem para a propagação dos incêndios rurais (Guiomar et al., 2008). Deste modo, a abordagem aos incêndios rurais necessita de ser efetuada perante duas perspetivas: a análise dinâmica, que incide em aspetos meteorológicos e a análise estrutural, que avalia o quanto o território é suscetível à ocorrência do fenómeno (Carlos, 2008).

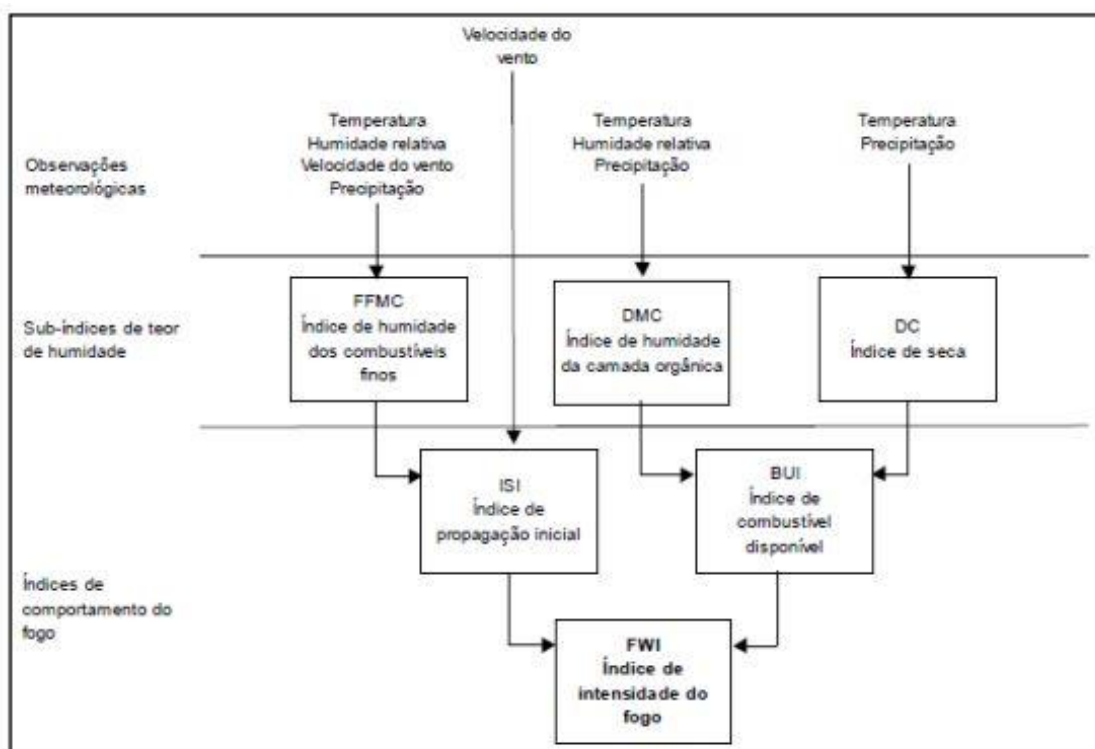
3.1. Índices dinâmicos

Diversos autores têm desenvolvido teorias com o objetivo de avaliar e quantificar quais os fatores mais significativos nas ocorrências, comportamento e efeitos dos incêndios rurais. O risco é a probabilidade de que um incêndio rural ocorra num local próprio, sob determinadas condições, e as suas consequências esperadas, caracterizadas pelos impactes nos objetos afetados (Veneman et al., 2001).

Os índices dinâmicos variam muito pouco no período temporal, condigno de elementos, como o relevo, condições climáticas, uso e ocupação do território, densidade demográfica e a ocorrência a incêndios rurais.

Em Portugal, o IPMA utiliza o índice meteorológico de risco de incêndio do sistema canadiano *Fire Weather Index* (FWI). Este índice foi desenvolvido pelo Serviço Canadiano de Florestas e é utilizado por diversos países do mundo, em particular na Europa. Através da utilização deste índice é exequível estimar um determinado risco de incêndio a partir do estado dos inúmeros combustíveis presentes no solo florestal, estando esse estipulado indiretamente através das observações de elementos meteorológicos. Para este sistema entram em consideração todos os valores registados, às 12UTC, da temperatura do ar, da humidade relativa, da velocidade do vento e da quantidade de precipitação ocorridas nas últimas 24 horas – 12/12 UTC (Viegas et al., 2004).

Figura 5- Estrutura do Índice FWI, adaptado de Domingos X. Viegas (2004)



O Índice FWI é composto por 6 subíndices que são calculados com base em valores meteorológicos que posteriormente avaliam os diferentes estados possíveis do solo. Deste modo, este índice é distribuído segundo a escala distrital de risco de incêndio por um conjunto de cinco classes de risco, sendo elas, Reduzido, Moderado, Elevado, Muito elevado e Máximo, que equivalem à escala usada durante a época de verão, entre 15 de maio e 14 de outubro (IPMA, 2021).

O Índice FWI é composto por:

FMC (Índice de Humidade dos Combustíveis Finos) - índice que classifica os combustíveis finos mortos, de secagem rápida, quanto ao seu conteúdo em humidade. Corresponde, deste modo, ao grau de inflamabilidade destes combustíveis. O conteúdo de humidade destes combustíveis às 12 UTC de um determinado dia, estão dependentes da humidade a essa mesma hora, do dia anterior, da precipitação (mm) ocorrida em 24 horas (12/12 UTC) e da temperatura (°C) e, ainda da humidade relativa do ar (%) às 12

UTC do próprio dia. A intensidade do vento influencia apenas na velocidade de secagem destes materiais.

ISI (Índice de propagação inicial) – Índice que depende apenas do subíndices FPMC e da intensidade do vento (Km/h) às 12 UTC.

BUI (Índice de Combustível Disponível) – Fator de avaliação dos vegetais que podem alimentar um fogo (combustíveis “pesados” que se encontram no solo) e são calculados a partir de dois subíndices: DMC e DC.

DC (Índice de Húmus) – Este índice traduz o conteúdo de humidade do húmus e materiais lenhosos de tamanho médio que se encontram abaixo da superfície do solo até cerca de 8 cm. Este índice é calculado a partir da precipitação ocorrida em 24 horas (12/12 UTC), da temperatura e humidade relativa do ar às 12 UTC e do índice de húmus da véspera.

DMC (Índice de seca) – Índice considerado um bom indicador dos efeitos da seca sazonal nos combustíveis florestais, que se encontram abaixo da superfície do solo, entre 8 e 20 cm de profundidade. Este índice é obtido através da precipitação gerada em 24 horas, da temperatura às 12 UTC e do índice de seca verificada na véspera.

FWI (Índice Meteorológico de Risco de Incêndio) – Índice final do sistema Canadano, sendo calculado em função dos subíndices ISI e BUI.

4. Área de estudo – Concelho de Resende

4.1. Enquadramento geográfico do Concelho de Resende

O Concelho de Resende, situado na Região Norte (NUT II), integra a sub-região do Tâmega e Sousa, correspondendo à NUT III, de acordo com as Nomenclaturas de Unidades Territoriais para fins estatísticos (NUT'S). Resende, faz parte do distrito de Viseu e, faz fronteira, a norte pelos concelhos de Baião (distrito do Porto) e Mesão Frio (distrito de Vila Real), a leste por Lamego (distrito de Viseu), a sul por Castro Daire (distrito de Viseu) e a oeste por Cinfães (distrito de Viseu).

O Concelho de Resende, encontra-se localizado na Serra de Montemuro e ao longo de aproximadamente 17 Km da margem sul do rio Douro. O Concelho possui uma extensão de 123,35 Km², sendo composto, após a Reorganização Administrativa Territorial Autárquica (Lei nº 11-A/2013, de 28 de janeiro) por 11 freguesias (figura 6 e tabela 4).

Figura 6- Concelho de Resende

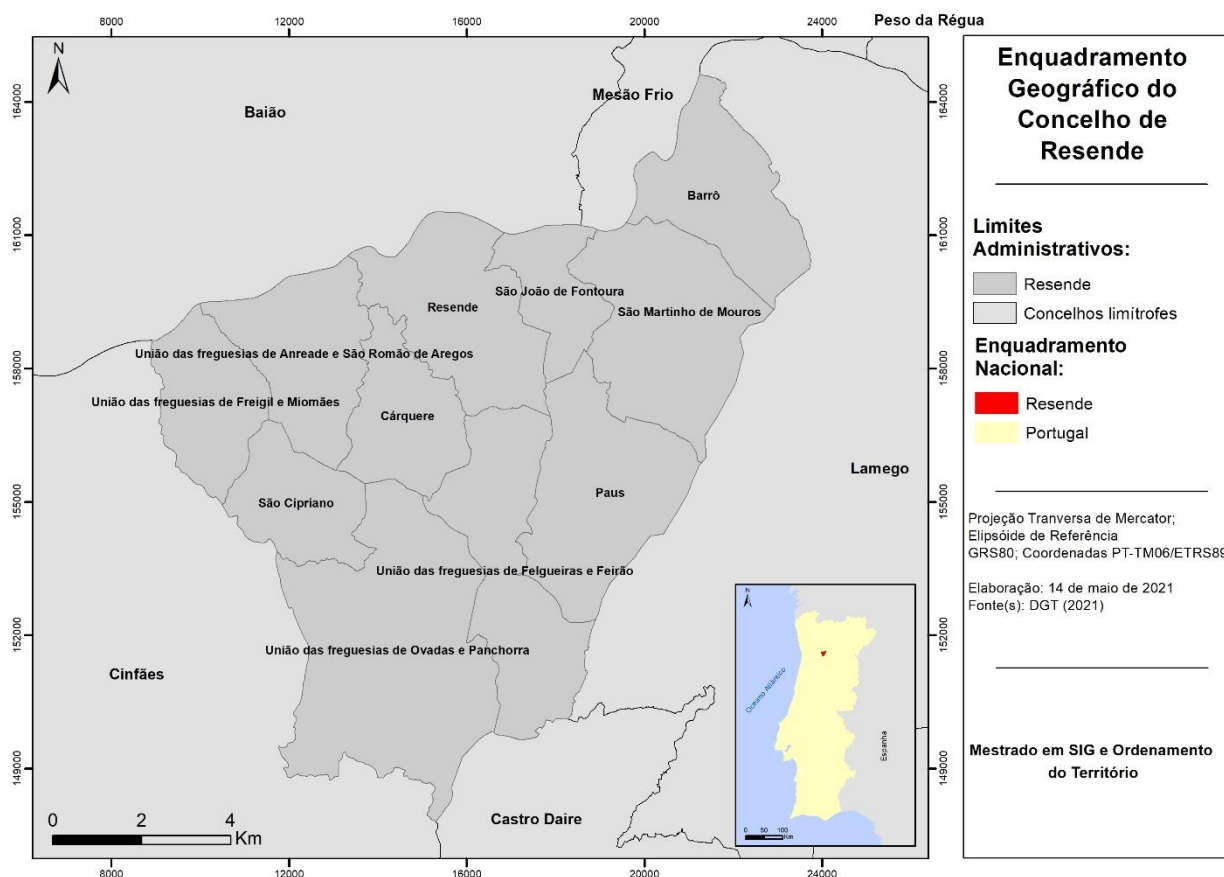


Tabela 4- Freguesias do Concelho de Resende e respetivas áreas

Freguesia	Área (Km ²)
Barrô	10,04
Cárquere	7,50
Paus	13,40
Resende	11,88
São Cipriano	6,70
São João de Fontoura	5,06
São Martinho de Mouros	14,41

União das freguesias de Anreade e São Romão de Aregos	9,83
União das freguesias de Felgueiras e Feirão	13,28
União das freguesias de Freigil e Miomães	7,43
União das freguesias de Ovadas e Panchorra	23,82

Fonte: Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP); Direção Geral do Território

4.2. Caracterização Física

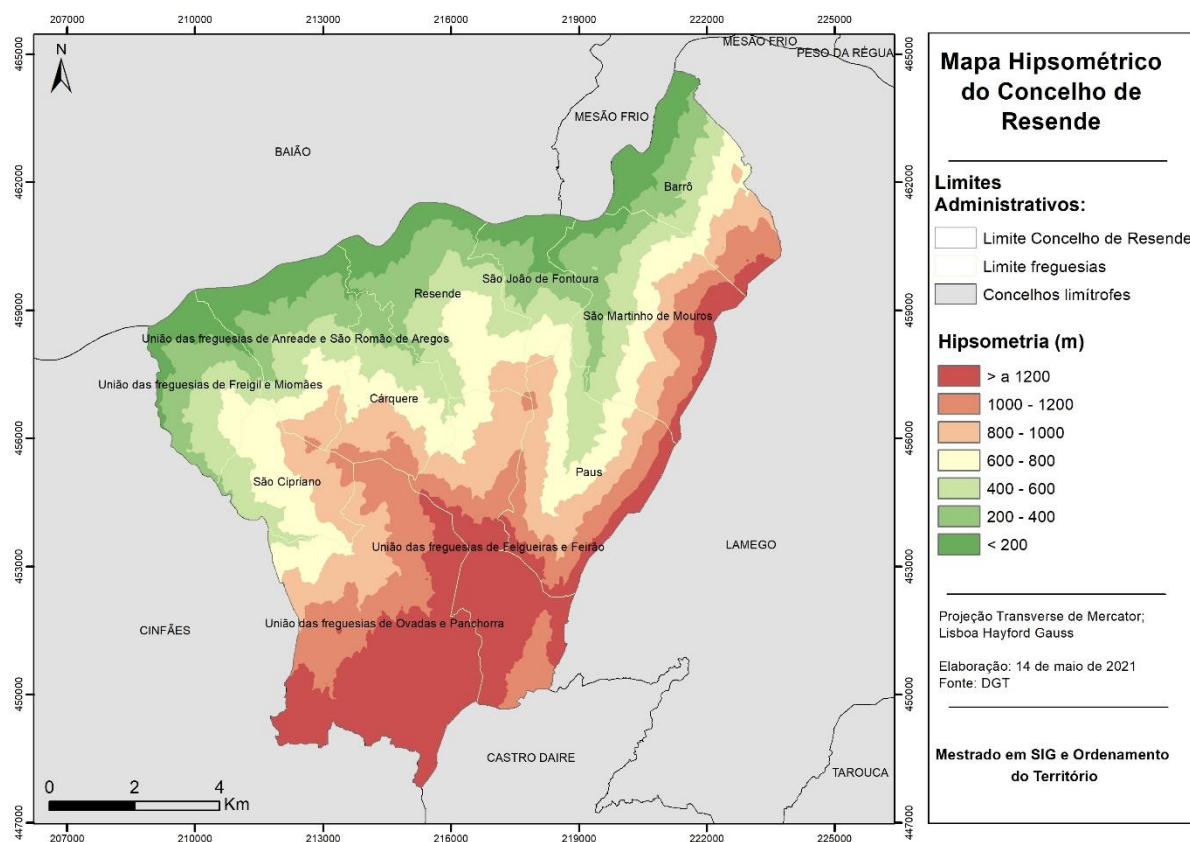
4.2.1. Relevo

O concelho de Resende, é composto por vales mais ou menos profundos, resultantes da erosão de pequenos e grandes cursos de água. Estes vales, encontram-se distintos devido às diversas divisões da Serra do Montemuro, no sentido sul/norte, sueste/noroeste e sudoeste/nordeste. Estas divisões conferem um aspeto muito acidentado neste concelho, destacando-se a Serra das Meadas, com aproximadamente 1 000 metros de altitude e que separa o concelho de Resende do concelho de Lamego; a Serra da Mesquitela, com cerca de 734 metros de altitude; o Monte de São Cristóvão, com uma altitude de aproximadamente 1 142 metros e, por fim, o Monte de Pena, com cerca de 893 metros de altitude (Resende, 2016).

A diferença altimétrica do concelho de Resende é de 1166 metros, sendo a altitude mais baixa de 50 metros (Rio Douro) e a mais elevada de 1216 metros (Monte Ladário).

Como é possível verificar na figura 7, observa-se um contraste entre as áreas a norte e noroeste do concelho, onde se encontram as altitudes com valores mais reduzidos, com as áreas mais a sul e este, que apresentam os valores mais elevados, com classes altimétricas superiores a 1 000 metros. De referir ainda que, uma parte do concelho tem altitudes inferiores a 200 metros (ocupando cerca de 18,30% do território concelhio), seguindo-se em seguida a classe dos 600 – 800 metros (16,18% do território).

Figura 7- Mapa hipsométrico do Concelho de Resende



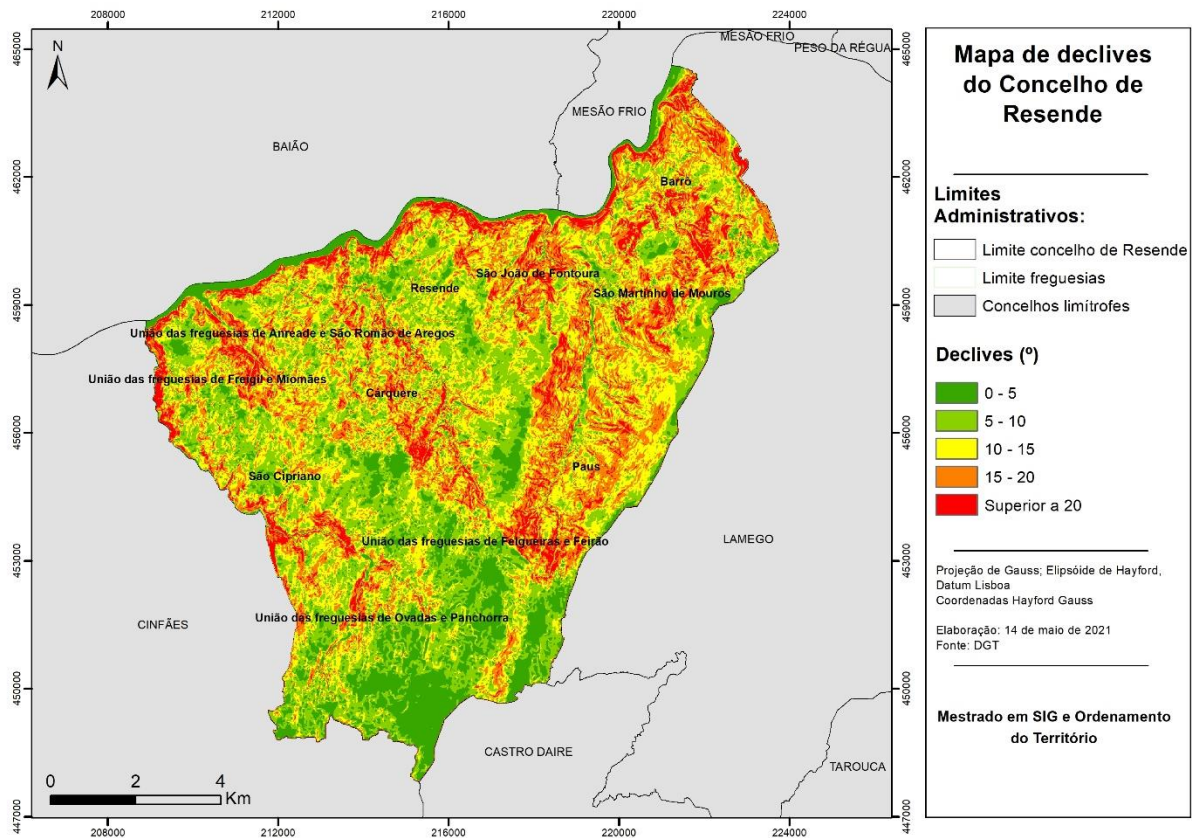
Como se pode observar na figura 8, o Concelho de Resende, apresenta uma área elevada com declives acentuados, consequência das características montanhosas desta área.

No que diz respeito à distribuição da área ocupada por cada classe de declives, a classe dos 10 aos 15 graus representa 29,11% do total do concelho, seguindo-se a classe dos 5 aos 10 graus (26,22%) e, por último, a classe superior a 20 graus (8,65%).

Por vezes, os declives associados condições climáticas adversas, favorecem a velocidade dos ventos e consequentemente a propagação dos incêndios. Assim, nas áreas com

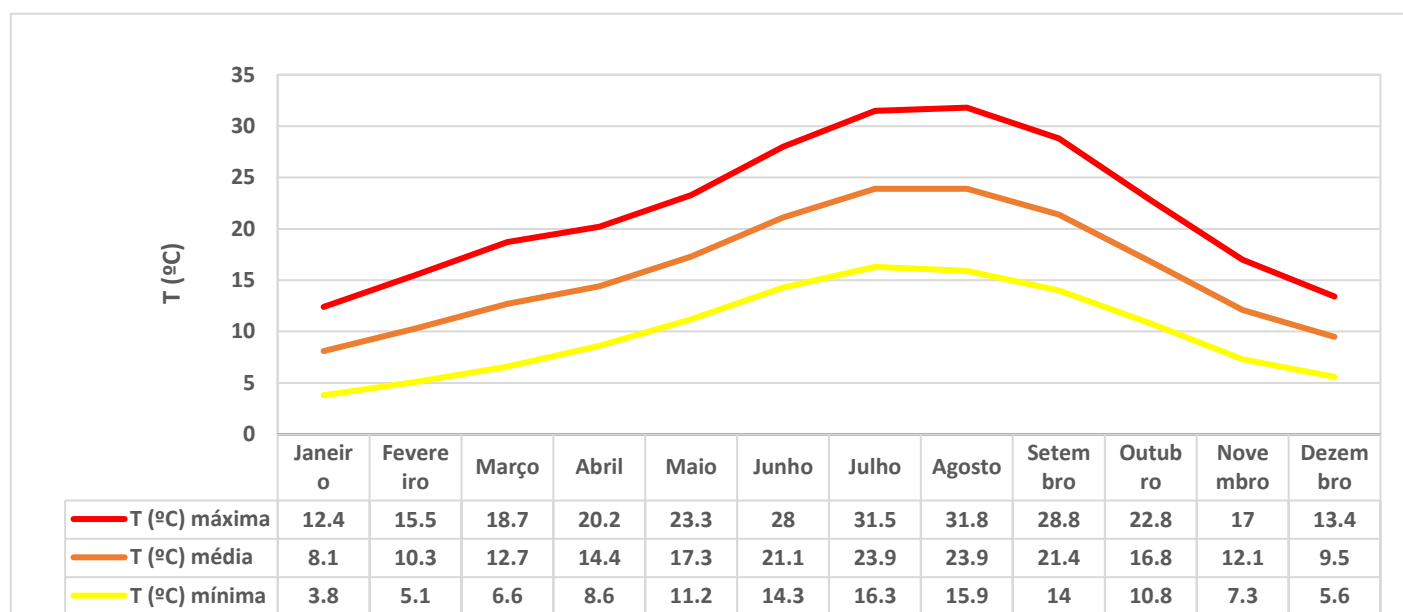
declives mais acentuados, a velocidade de propagação do fogo poderá ser maior (Resende, 2016).

Figura 8- Mapa de declives do Concelho de Resende



Os fatores climáticos, são um dos principais condicionantes para a propagação dos incêndios rurais. Para a análise destas variáveis foram utilizados os valores das normais climatológicas do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) relativos à estação da Régua (Latitude: 41°10'N; Longitude: 07°48'W; Altitude: 65 metros).

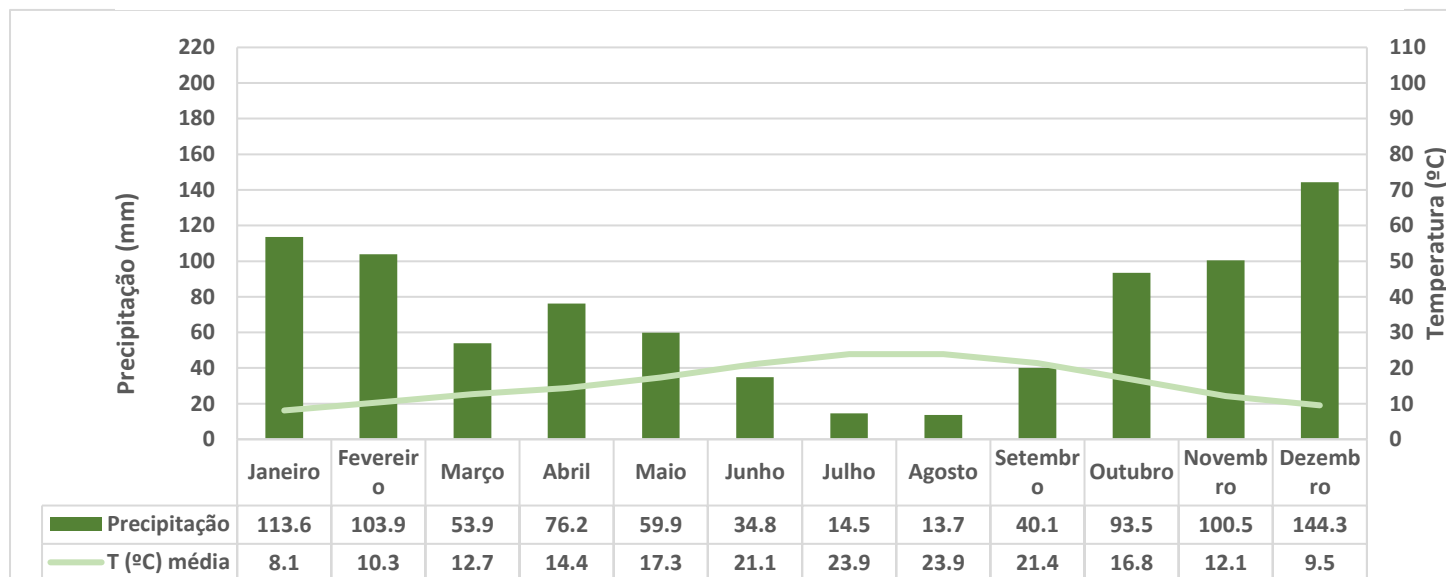
Figura 9- Temperatura média mensal, realce dos valores máximos e valores mínimos



Fonte: normais climatológicas para a Estação da Régua (1971-2000), IPMA

Os meses que registam temperaturas mais elevadas correspondem aos meses de verão (junho, julho, agosto e setembro), correspondendo aos períodos em que a probabilidade de ocorrência de incêndios é maior. Nos meses de julho e agosto observa-se a maior temperatura média (23,9 °C) e, em termos de temperaturas máximas, registam-se 31,8 °C em agosto, 31,5 °C em julho, 28,8 °C em setembro e 28,0 °C em junho. Entre junho e setembro, a temperatura mínima é igual ou superior a 14 °C (Figura 9).

Figura 10- Gráfico Termopluviométrico



Fonte: normais climatológicas para a Estação da Régua (1971-2000), IPMA

Em termos da precipitação, o período seco manifesta-se sobretudo no verão (período estival), devido à forte insolação, às elevadas temperaturas máximas e à falta de distribuição irregular das precipitações.

No que concerne à precipitação, a média anual, é de 848,9 mm. A precipitação aumenta progressivamente, entre os meses de agosto a dezembro, correspondendo ao mês a partir do qual volta a diminuir progressivamente, até atingir o valor mais baixo no mês de agosto, com apenas 13,7 mm.

No concelho de Resende, e à semelhança das regiões de clima mediterrânico, as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de junho, julho e agosto, coincidindo assim com os meses de menor precipitação (figura 10). A ausência de precipitação no período em causa conduz à possibilidade de ocorrência de incêndios, estando reunidas as condições necessárias para a sua ignição e propagação.

4.3. Uso e Ocupação do território

O concelho de Resende, com uma área de 12 334,92 ha, é na sua maioria ocupado por espaços florestais representando no seu conjunto cerca de 60,45% (floresta e incultos). A agricultura tem também um grande peso, representando 34,83%, com uma área de 4 296,47 ha. As áreas sociais, representam aproximadamente 3%, com uma área de 370,80 ha. A classe menos representativa corresponde aos improdutivos, representando estes apenas 0,15% da área em estudo, com um total de 18,61 ha (tabela 5).

Tabela 5- Uso e Ocupação do solo, no Concelho de Resende

	Área (ha)	%
Áreas Sociais	370,80	3,01
Agricultura	4 296,47	34,83
Floresta	3 406,35	27,62
Incultos	4 050,13	32,83
Improdutivos	18,61	0,15
Superfícies aquáticas	192,56	1,56
Total	12 334,92	100

Fonte: COS, 2018

Quanto à distribuição da ocupação do território por freguesia, os valores que mais se destacam concerne aos incultos, verificando-se na União das freguesias de Ovadas e Panchorra (1 477,09 ha) e União das freguesias de Felgueiras e Feirão (691,17 ha) possuindo os valores mais elevados (Tabela 6).

No que concerne à ocupação agrícola, as freguesias que registam os valores mais elevados deste tipo de ocupação, são as freguesias de Barrô (2 592,89 ha), Resende (618,52 ha) e São Martinho de Mouros (613,68 ha). Quanto ao espaço ocupado por floresta, a freguesia de Paus regista a maior área (573,06 ha).

Tabela 6- Registo das áreas de ocupação do território por freguesia (ha)

Freguesia	Áreas sociais	Agricultura	Floresta	Incultos	Improdutivos	Sup aquáticas
Barrô	20,35	2 592,89	280,14	3 098,19	5,35	942,76
Cárquere	28,42	289,41	405,29	15 830,95	0	0
Paus	19,81	348,31	573,06	18 925,29	0	0
Resende	103,89	618,52	281,94	139,73	0	43,75
São Cipriano	22,35	276,48	241,18	128,10	2,27	0
São João de Fontoura	19,46	295,46	163,02	6,57	0	21,06
São Martinho de Mouros	46,19	613,68	271,58	501,95	3,63	3,84
União das freguesias de Anreade e São Romão de Aregos	48,18	457,74	297,87	112,91	0	66,43
União das freguesias de Felgueiras e Feirão	17,23	387,24	231,99	691,17	0,65	0
União das freguesias de Freigil e Miomães	26,82	232,09	392,96	71,47	0	19,58
União das freguesias de Ovadas e Panchorra	26,38	376,17	494,73	1 477,09	6,71	1,03

Fonte: COS, 2018, Direção Geral do Território

4.4. Os incêndios rurais no Concelho de Resende

No concelho de Resende, no período compreendido entre 2010 e 2019 foram registadas um total de 1 043 ocorrências e um total de área ardida de 8 675,26 hectares, segundo os dados disponibilizados pelo Sistema de Gestão de Incêndios Florestais (SGIF), do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). Neste conjunto, os anos que registaram um maior número de ocorrências foram 2011, 2010 e 2012 (Tabela 7). No ano de 2011 foram contabilizadas 211 ocorrências, em 2010, 169 ocorrências e no ano de 2012, 133 ocorrências. Pelo contrário, os anos de 2014, 2018 e 2019, como aqueles em que se verificou um menor número de ocorrências, respetivamente, 23, 41, 37 (Figura 11).

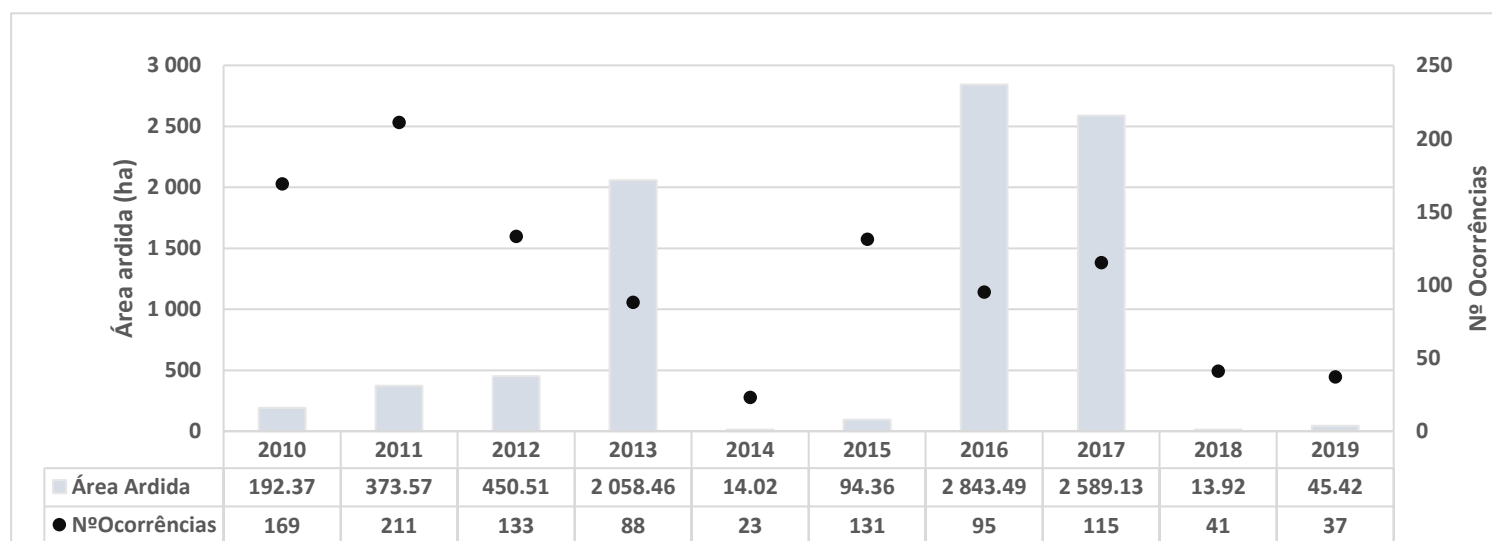
No que diz respeito ao número de área ardida, neste período foram consumidos pelas chamas cerca de 8 675,26 hectares, com destaque para os anos de 2013, 2016, e 2017, com 2 058,46 ha, 2 843,49 ha, e 2 589,13 ha, respetivamente. Perante estes resultados, conclui-se que o número de ocorrências é muito irregular, não sendo possível estabelecer uma relação entre o número de ocorrências e a área ardida.

Tabela 7- Número de área ardida e número de ocorrências, entre 2001 e 2020, no Concelho de Resende

Ano	Área ardida (ha)	Nº Ocorrências
2010	192,37	169
2011	373,57	211
2012	450,51	133
2013	2 058,46	88
2014	14,02	23
2015	94,36	131
2016	2 843,49	95
2017	2 589,13	115
2018	13,92	41
2019	45,42	37

Fonte: SGIF, 2020

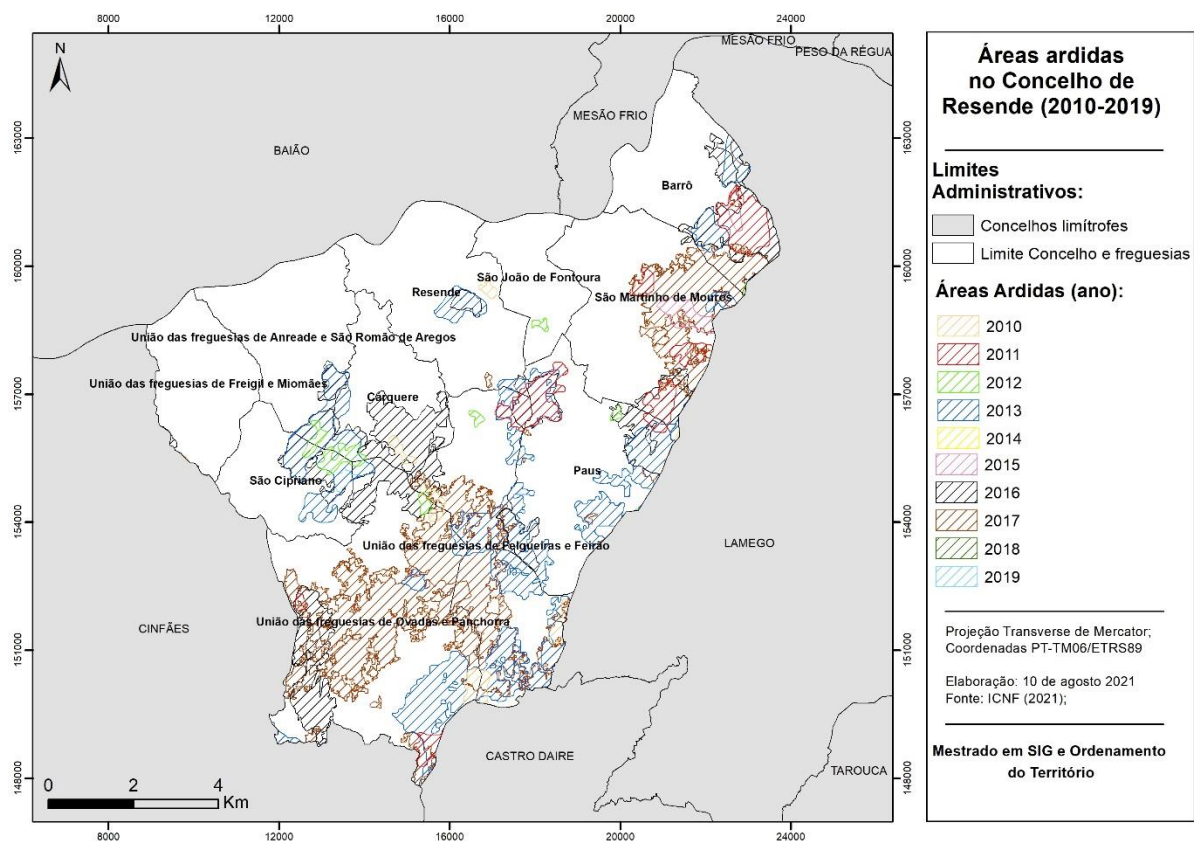
Figura 11- Distribuição anual da área ardida e do número de ocorrências, no Concelho de Resende, no ano de 2010 a 2019



Fonte: SGIF, 2020

Realizando uma análise agora direcionada para as freguesias do Concelho de Resende, constata-se que quase todas as freguesias têm sido afetadas pela ocorrência de incêndios ano após ano. Destaque especial para as freguesias que se situam a sul, sudeste e este do Concelho de Resende, como é o caso da União das Freguesias de Ovadas e Panchorra, a União das Freguesias de Felgueiras e Feirão, freguesia de Paus, freguesia de São Martinho de Mouros e freguesia de Barrô (figura 12). No entanto, isto pode ser explicado pela vasta presença de áreas de solo ocupado por florestas e/ou incultos.

Figura 12- Áreas ardidas do Concelho de Resende (2010-2019)



5. Modelação da probabilidade de ocorrência de incêndios e suscetibilidade à ignição

5.1. Materiais e métodos

5.1.1. Seleção do modelo

A base de dados utilizada para obtenção de dados foi a do Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais (SGIF), da competência do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas.

No Concelho de Resende, no período temporal de 2015 e 2019, foram registadas um total de 419 ocorrências.

Existem diversos modelos preditivos para determinar a ocorrência de ignições de um incêndio rural. Têm sido desenvolvidos por parte de diversos autores diferentes métodos e níveis de complexidade, no entanto a regressão logística tem sido uma das mais utilizadas (Vasconcelos et al., 2001).

A regressão logística, é um método estatístico que permite avaliar a probabilidade de ocorrência de um determinado fenómeno. Esta técnica produz “um modelo preditivo de valores tomados por uma variável categórica, frequentemente binária, a partir de uma série de variáveis explicativas contínuas e/ou binárias” (Alves, 2012).

Para a problemática dos incêndios rurais este, é um dos métodos mais utilizados para a construção de mapas de predição.

Matematicamente, a relação de dependência entre as variáveis e os coeficientes pode ser descrita pela seguinte equação:

$$P(i) = 1/(1 + e^{(-b(0) + b(1)x(1) + \dots + b(n)x(n))})$$

Em que, $P(i)$ é a probabilidade de ocorrência de um determinado evento; e é o logaritmo de base neperiana; $b(1) \dots b(n)$ são os coeficientes de regressão ou ponderação e por fim $x(1) \dots x(n)$ as variáveis independentes.

5.1.2. Variáveis dependentes

A variável dependente, identifica a presença ou ausência de um determinado fenómeno, que neste caso é a ocorrência de ignição de incêndio rural. Como referido no ponto anterior, foi utilizada a base de dados disponibilizada pelo ICNF, entre 2015 e 2019 em que foram registados um total de 419 ocorrências.

Depois de determinada a presença de pontos de ignição, foi necessário identificar a ausência do fenómeno através da criação dos pontos de não ignição. Deste modo, foram criados aleatoriamente 400 pontos, não coincidentes com os pontos de ignição, de forma a pudermos comparar resultados.

De seguida, foram criados dois grupos diferenciados, um para a construção do modelo (grupo de modelação) e outro para efetuar a validação (grupo de validação). Foram selecionados 211 pontos de ignição (metade) e 400 pontos de não ignição.

Estes dados foram transformados numa variável dicotómica (0- não pontos; 1-pontos).

5.1.3. Variáveis independentes

O passo seguinte da realização deste trabalho, foi a identificação de um conjunto de fatores associadas à probabilidade de ignição de incêndios rurais.

Foram então selecionadas um conjunto de variáveis associadas a 4 grupos (topográficas, presença humana, ocupação do território e relações espaciais). Foi obtido através da pesquisa de várias fontes, nomeadamente os dados censitários e fontes cartográficas.

Foram elaborados os seguintes mapas:

1. Modelo digital de elevação – mapa produzido com base nas curvas de nível e pontos cotados (retirados da Direção Geral do Território) do concelho de Resende;
2. Declives, mapa obtido através do modelo digital de elevação;
3. Orientação das encostas- este mapa indica a direção da encosta em relação ao norte cartográfico, mapa obtido através do modelo digital do terreno;

4. Ocupação do território- utilizada a Carta de Ocupação do Solo de 2018 (COS 2018). Esta variável foi reclassificada em 6 classe: florestas, incultos, agricultura, áreas sociais, improdutivos e pastagens. Foram retiradas as superfícies aquáticas.
5. Distância às áreas agrícolas- Áreas definidas como agrícolas na COS 2018. A distância em metros foi obtida da área agrícola mais próxima a partir de qualquer lugar do território;
6. Distância à floresta- mapa obtido através do cálculo da distância a partir de um local no território até à área florestal;
7. Distância aos incultos- mapa obtido através da distância em metros a partir de qualquer local do território até à área mais próxima;
8. Distância ao edificado- utilizada a planimetria da cartografia de base da Câmara Municipal de Resende, que contém a informação relativa ao edificado. A distância em metros foi obtida a partir de qualquer local do território até ao edifício mais próximo;
9. Distância à rede viária- utilizada a rede viária do PMDFCI do Concelho de Resende. Foi calculada a distância em metros a partir de qualquer local do território até à estrada mais próxima.;
10. Densidade da rede viária- fonte de informação da mesma da variável anterior e, foi calculada a densidade da rede viária em metros/hectares;
11. Densidade populacional- resultados obtidos através dos Censos 2011, do Instituto Nacional de Estatística (INE), em que foi utilizada a informação referente ao nº por subsecção estatística;
12. Número de edifícios- foi calculado o número de edifícios presentes em cada subsecção estatística, com base nos dados dos Censos de 2011.

Tabela 8- Variáveis independentes selecionadas

	Variável	Tipo de informação	Fonte
Topográfico	Altimetria (MDT)	Quantitativa (m)	DGT
	Declives	Quantitativa (°)	DGT
	Orientação das encostas	Qualitativa (8 classes)	DGT
Ocupação do solo	Ocupação do solo	Qualitativa (5 classes)	DGT
Relação espacial	Distância às áreas agrícolas	Quantitativa (m)	DGT
	Distância à floresta	Quantitativa (m)	DGT
	Distância aos incultos	Quantitativa (m)	DGT
	Distância ao edificado	Quantitativa (m)	CMR
	Distância à rede viária	Quantitativa (m)	CMR
	Densidade da rede viária	Quantitativa (m/ha)	CMR
Presença humana	Densidade populacional	Quantitativa (hab/Km²)	INE
	Nº de edifícios	Quantitativa (edifícios/Km²)	INE

Para a realização da análise espacial das variáveis enumeradas foi usado um Sistema de Informação Geográfica com base matricial. A elaboração da cartografia baseou-se em operações de análise e modelação espacial de programas de SIG e análise estatística.

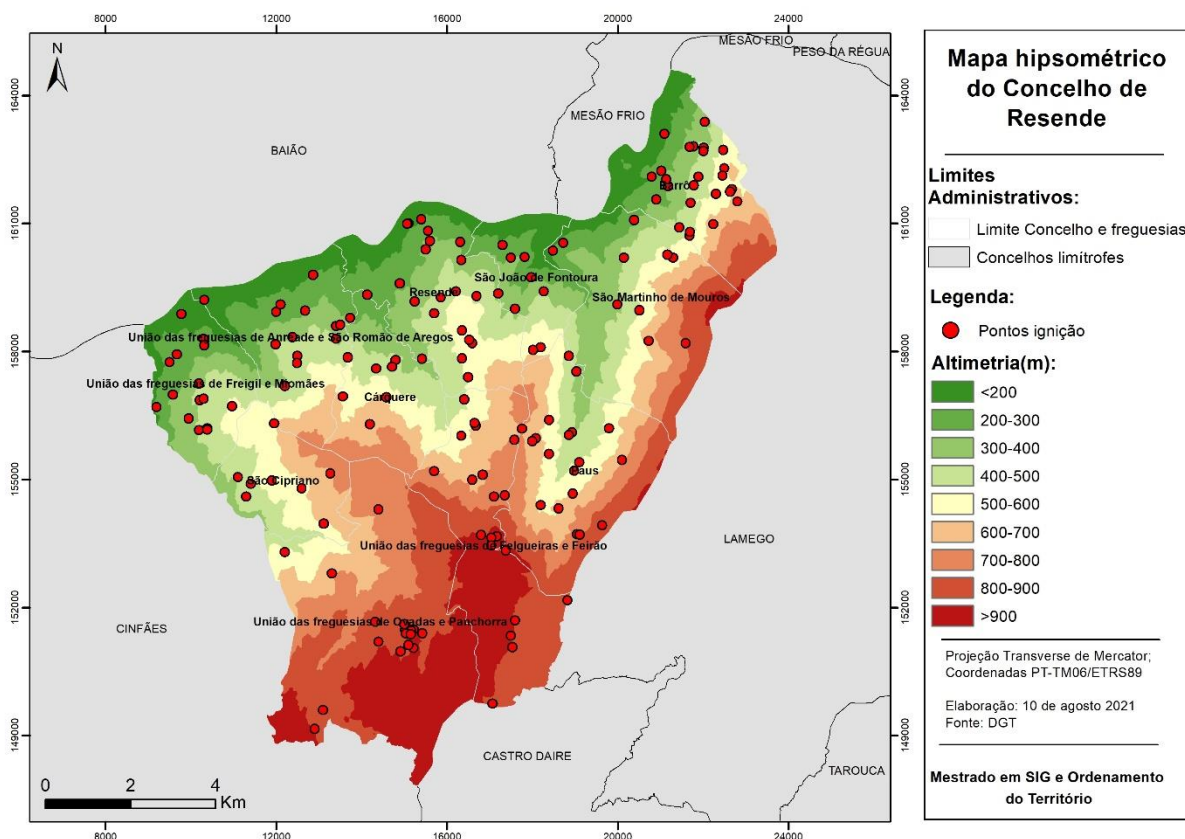
5.2. Resultados

5.2.1. Análise de frequências

Segundo os dados disponibilizados pelo ICNF, na plataforma SGIF, entre 2015 e 2019 foram registados no Concelho de Resende um total de 419 ocorrências.

Posteriormente, foi realizada uma análise à distribuição espacial dos pontos de ignição, em relação às variáveis enumeradas anteriormente para a construção do modelo. Deste modo, verificou-se que 26,95% das ocorrências encontram-se abaixo dos 400 metros de altitude e cerca de 13% acima dos 400 metros de altitude (figura 13).

Figura 13- Hipsometria do Concelho de Resende (Pontos de Ignição)



A distribuição dos pontos de ignição pelas classes de ocupação do solo constam que 33,36% das ocorrências localizam-se em áreas de matos (incultos), 33,03% em áreas agrícolas e 28,05% em áreas florestais (figura 14). No que concerne à distância às áreas florestais, cerca de 67% das ocorrências registaram-se entre os 0-100 metros, 16,37% ocorreram entre os 100-200 metros de áreas florestais (figura 15).

Figura 14- Ocupação do solo do Concelho de Resende

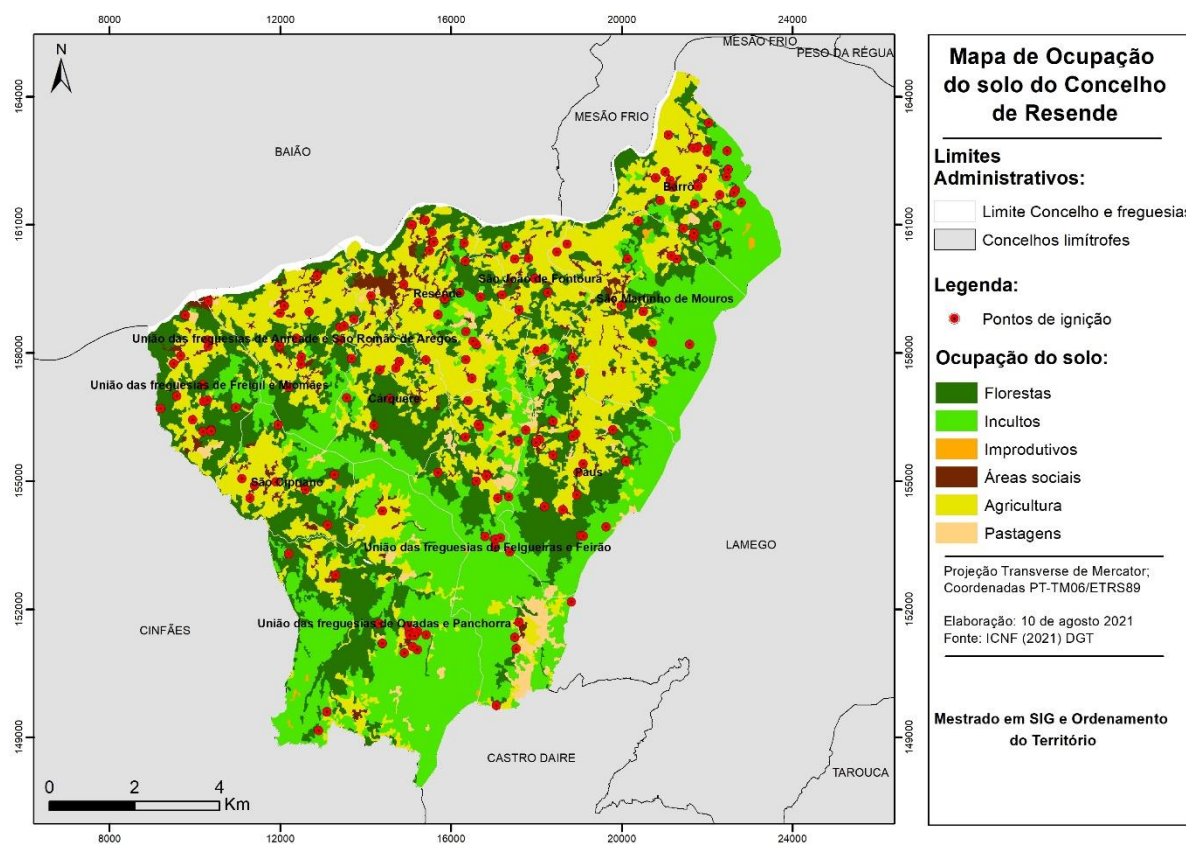
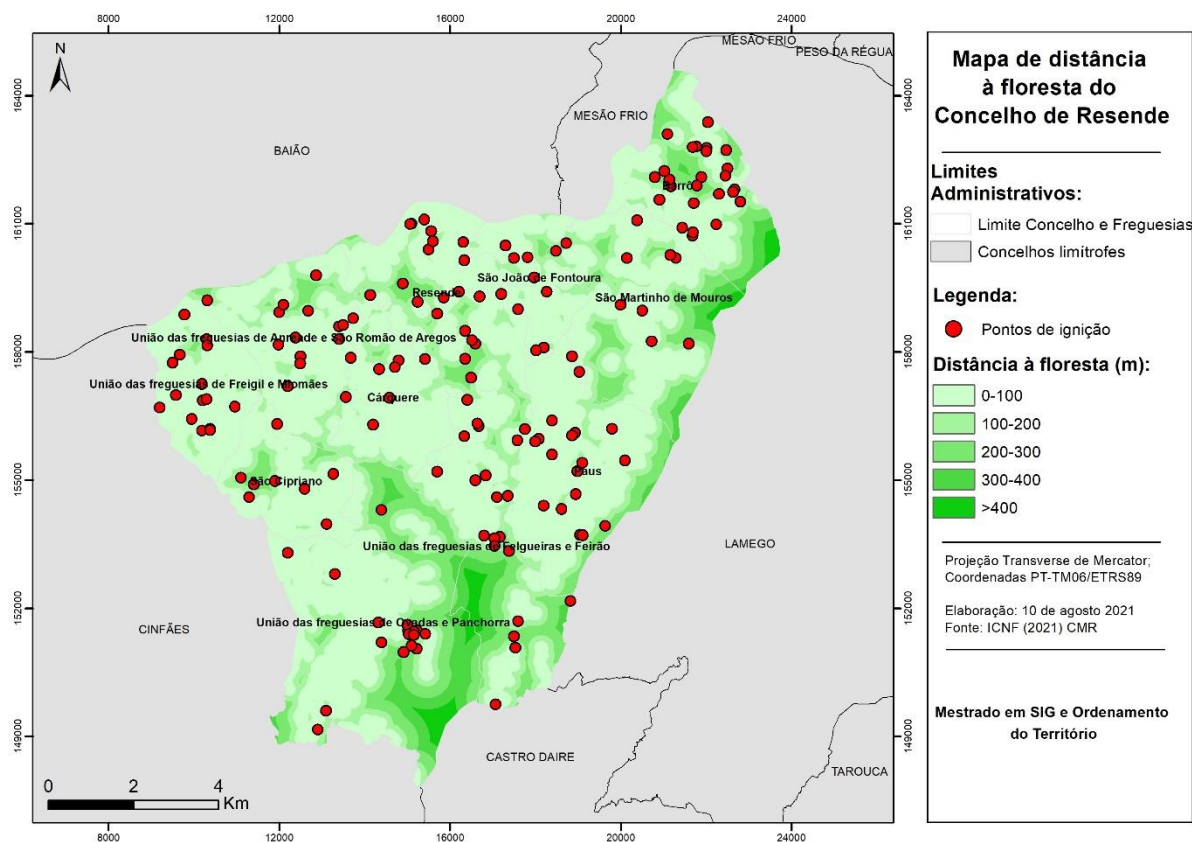


Figura 15- Distância à floresta, a partir do ponto de ignição, no Concelho de Resende



No que diz respeito à proximidade ao edificado, cerca de 73% das ocorrências localizam-se dentro de um raio de 450 metros. A proximidade à rede viária e a densidade da rede viária, duas variáveis consideradas como fortes fatores de contributo para a ocorrência de ignições de incêndios rurais. Cerca de 60% das ocorrências, foram registadas numa distância de 100 metros da rede viária.

Tabela 9- Valores percentuais, variáveis em estudo

Altimetria	Classes (m)	%
	<200	7,33
	200-300	9,08
	300-400	10,53
	400-500	13,25
	500-600	12,69
	600-700	11,74

	700-800	11,73
	800-900	13,90
	>900	9,73
Distância às florestas	0-100	66,83
	100-200	16,37
	200-300	11,75
	300-400	3,83
	>400	1,22
Proximidade ao edificado	0-150	32,70
	150-300	25,07
	300-450	15,94
	450-600	10,05
	600-750	6,47
	750-900	4,86
	900-1050	3,23
	1050-1200	1,48
	>1200	0,21
Distância à rede viária	0-100	60,15
	100-200	19,48
	200-300	9,41
	300-400	4,61
	400-500	2,46
	500-600	1,86
	600-700	1,26
	700-800	0,61
	>800	0,17

As variáveis que refletem a presença humana, demonstram uma tendência oposta, uma vez que o número de ocorrências diminui à medida que aumenta a presença humana. Cerca de 60% das ocorrências verificam-se em locais onde a densidade populacional é mais baixa, inferior a 100 hab/Km², e 63,8% situam-se em áreas com um número de edifícios igual ou inferior a 10.

Tabela 10- Valores percentuais, variáveis em estudo (Presença humana)

	Classes (Hab/Km²)	%
	0-100	60,83

Densidade Populacional	100-200	15,56
	200-300	13,73
	300-400	5,71
	400-500	2,87
	500-600	0,83
	600-700	0,31
	700-800	0,09
	>800	0,06
Nº Edifícios	0-10	63,83
	10-20	16,43
	20-30	13,06
	30-40	4,80
	40-50	1,59
	50-60	0,08
	>60	0,21

5.2.2. Modelação espacial da probabilidade de ignição

Numa primeira fase, foi utilizada a regressão logística multivariada, com base no grupo destinado para a construção do modelo.

Tabela 11- Resultados do modelo de regressão logística multivariada

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp (B)
Nº de edifícios	-0,351	0,115	9,277	1	0,002	0,704
Densidade Populacional	0,456	0,100	20,963	1	0,001	1,578
Densidade da rede viária	0,190	0,086	4,950	1	0,026	1,210
Distância à rede viária	-0,294	0,124	5,631	1	0,018	0,746
Distância aos incultos	0,024	0,086	0,076	1	0,782	1,024

Distância à floresta	-0,041	0,100	0,166	1	0,684	0,960
Distância à agricultura	0,160	0,131	1,492	1	0,222	1,173
Distância ao edificado	-0,179	0,119	2,263	1	0,132	0,836
Ocupação do solo	0,001	0,002	0,110	1	0,740	1,001
Altimetria	0,034	0,058	0,341	1	0,559	1,034

O modelo foi analisado através da curva ROC, em que os valores entre 0,5 – 0,7 indicam uma baixa precisão, valores entre 0,7 – 0,8 indicam uma precisão aceitável, entre 0,8 – 0,9 uma boa precisão e valores superiores a 0,9 revelam uma excelente capacidade preditiva do modelo (Hosmer, 2013).

Segundo análise estatística, registou-se uma área abaixo da curva de ROC de 0,748, o que demonstra uma capacidade preditiva do modelo aceitável.

Figura 16- Curva ROC

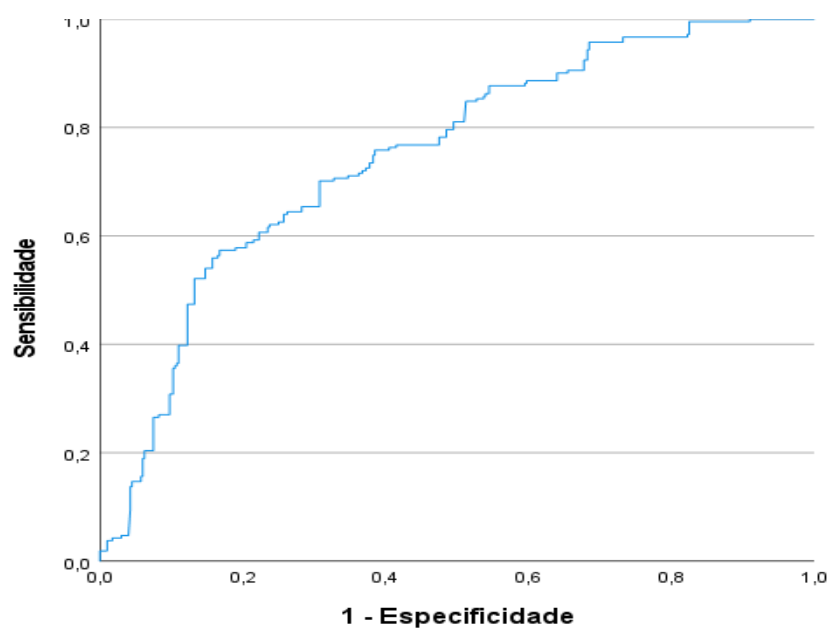
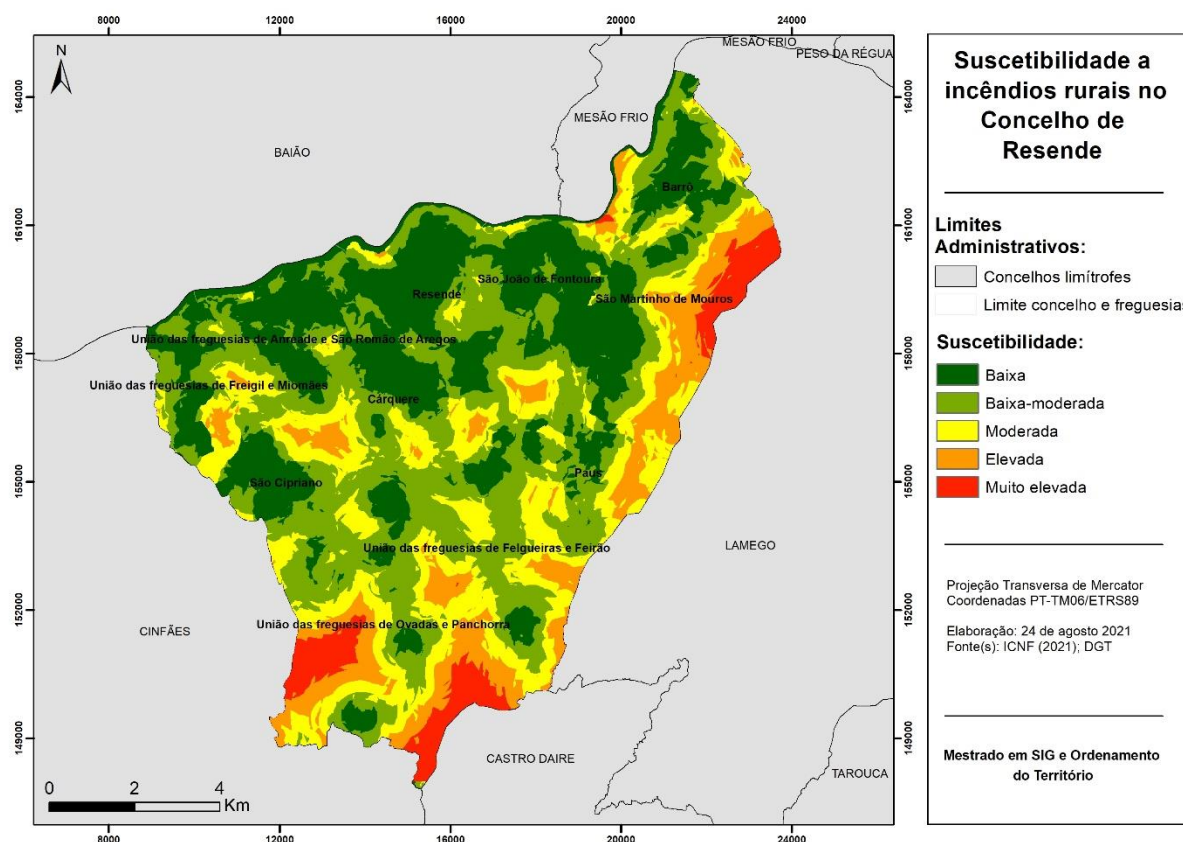


Figura 17- Suscetibilidade à ignição de incêndios rurais no Concelho de Resende



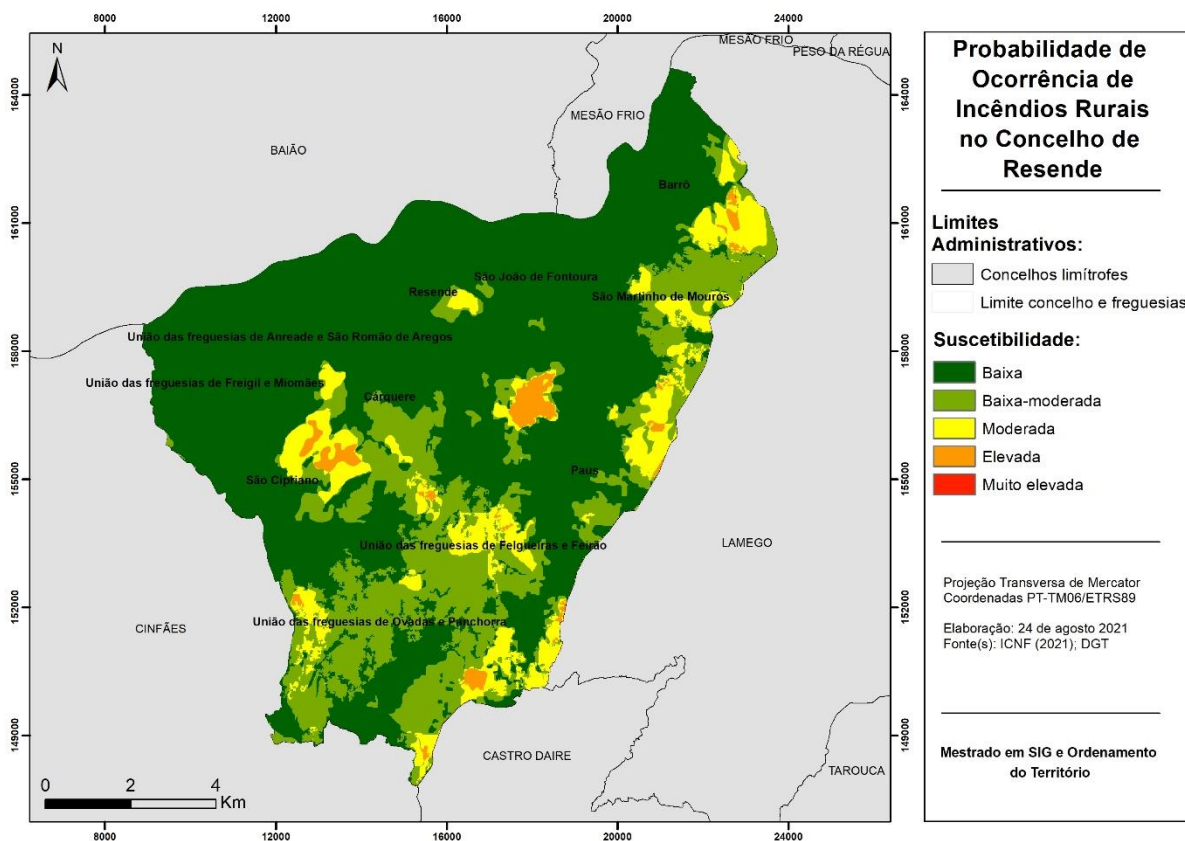
Este modelo, foi construído através do cruzamento das variáveis independentes selecionadas, de acordo com os coeficientes obtidos através da aplicação da regressão logística e foi obtido através da seguinte equação:

$$P = 1 / (1 + \text{EXP} (- (-0,351 * N.º \text{ de edifícios}) + (0,456 * \text{densidade populacional}) + (0,190 * \text{densidade da rede viária}) + (-0,294 * \text{distância à rede viária}) + (0,024 * \text{distância aos incultos}) + (-0,041 * \text{distância às florestas}) + (0,160 * \text{distância áreas agrícolas}) + (-0,179 * \text{distância edificado}) + (0,001 * \text{ocupação do solo}) + (0,034 * \text{altimetria})))$$

Aplicando a equação descrita em cima, foi possível obter o mapa final da suscetibilidade de ignição de incêndios rurais. O mapa, encontra-se classificado em 5 classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

De seguida, foi ainda avaliada a probabilidade temporal de ocorrência, tendo em conta um período de 10 anos (2010-2019).

Figura 18- Probabilidade de ocorrência de incêndios rurais, Concelho de Resende



A probabilidade temporal baseou-se na seguinte fórmula:

$$P = f / N * 100$$

P- Probabilidade anual

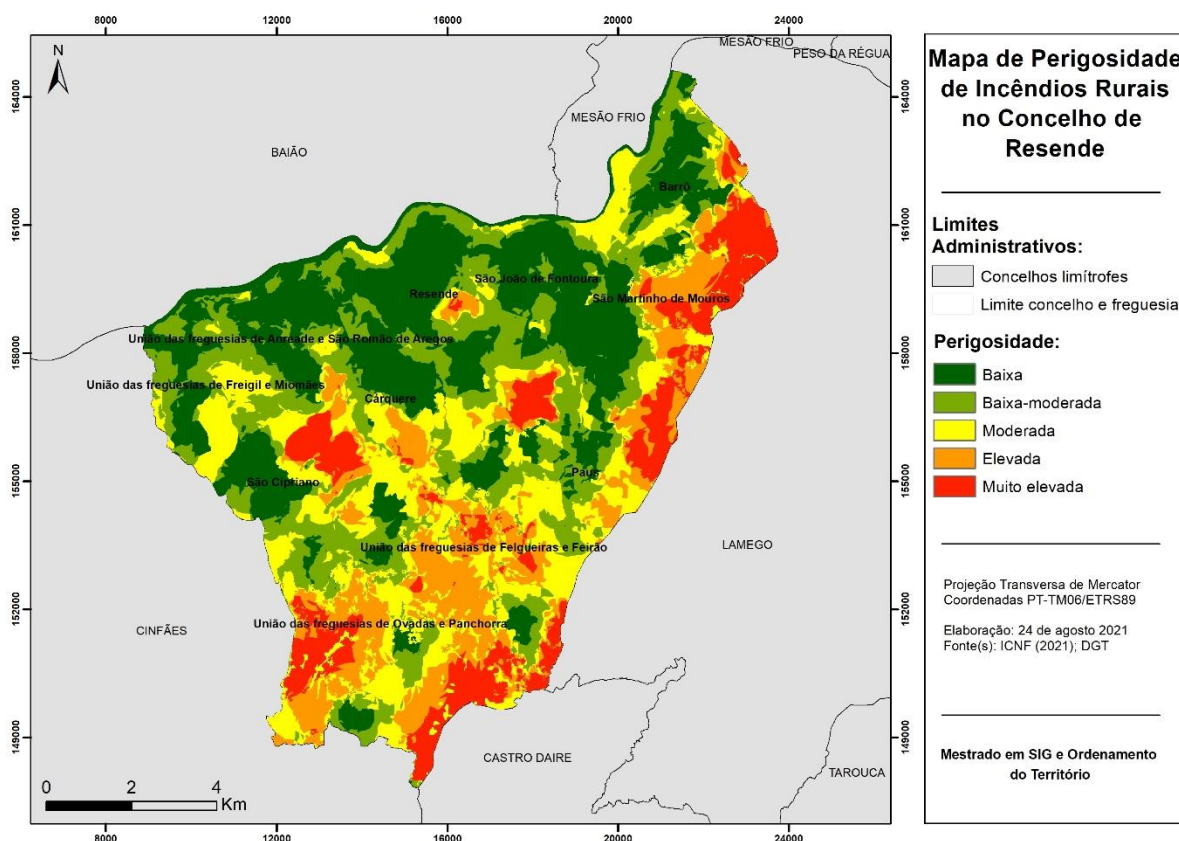
f- Número de vezes que cada píxel ardeu

N- Número de anos da série

Podemos, assim, constatar que um píxel que arde todos os anos terá uma probabilidade de 100%, enquanto que um píxel que nunca ardeu terá uma probabilidade de zero.

Do produto da suscetibilidade com a probabilidade de ignição resultou o mapa da perigosidade à ignição de fogo rural para o Concelho de Resende.

Figura 19- Perigosidade de incêndios rurais no Concelho de Resende



De acordo com os resultados obtidos através da base de dados do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas foi possível o desenvolvimento do mapa de probabilidade de ignição de incêndios rurais do Concelho de Resende.

De acordo com os resultados obtidos, a classe dominante da suscetibilidade é a “baixa” representando 34% da área do concelho. A classe “média”, aproximadamente 20%, e as classes “alta” e “muito alta” apenas representam 15% do total (tabela 12).

Tabela 12- Probabilidade espacial (suscetibilidade) (%)

Probabilidade espacial	%
Muito baixa	28,75
Baixa	34,41
Média	20,55
Alta	11,42
Muito alta	4,86

A classe dominante na probabilidade de ocorrência é a “muito baixa” representando 65% do total da área. A classe “baixa” representa 23,23%, seguindo-se a classe “média” com 9,49%. A classe “alta” e “muito alta” representam apenas 1,81% (tabela 13).

Tabela 13- Probabilidade temporal (%)

Probabilidade temporal	%
Muito baixa	65,47
Baixa	23,23
Média	9,49
Alta	1,81
Muito alta	0,001

As classes “muito baixa” e baixa” de perigosidade representam cerca de 52% da área do concelho. A classe “média” representa 21,91%, seguindo-se a classe “alta” com 15,31% (tabela 14).

Tabela 14- Perigosidade (%) de incêndios rurais no Concelho de Resende

Perigosidade	%
Muito baixa	27,64
Baixa	23,87
Média	21,91
Alta	15,31
Muito alta	11,27

5.3. Discussão dos resultados

Este trabalho de investigação procura constatar algumas das vantagens da utilização de certas ferramentas de análise espacial, interligadas com técnicas estatísticas, de forma a obter uma melhor conceção da distribuição espacial da ocorrência de incêndios rurais.

De acordo com os resultados obtidos ao longo deste trabalho, foi possível demonstrar que é exequível avaliar a perigosidade e a suscetibilidade de incêndio rural com recurso a poucas variáveis como o histórico de incêndios, os declives e a ocupação do solo. No entanto, foram utilizadas outras variáveis para que a avaliação se tornasse mais coerente e significativa. A relação que o fogo tem com variáveis como a, ocupação do solo e o declive permite conhecer os locais onde a suscetibilidade é superior, a que se junta o histórico dos incêndios para uma melhor definição de padrões (Carlos, 2008).

Os resultados obtidos ao longo deste projeto, afirmam que a suscetibilidade e a probabilidade à ignição são fortemente determinadas pelos declives, pela ocupação do solo, pela distância à rede viária, e probabilidade anual das áreas ardidas.

As principais áreas que apresentam perigosidade alta e muito alta, encontram-se a este e sul do Concelho de Resende, correspondendo a zonas florestais que se situam a altitudes elevadas e com declives acentuados.

Considerações Finais

Em Portugal, a floresta representa a base do setor da economia. Os espaços florestais, constituem dois terços do território continental, no entanto, tem-se assistido nas últimas décadas, a uma perda da floresta portuguesa. Esta perda de floresta, é maioritariamente da responsabilidade dos incêndios rurais, constituindo uma grave ameaça ao desenvolvimento da mesma.

O presente projeto de investigação, teve como principal objetivo a análise da probabilidade temporal e da suscetibilidade de incêndios rurais, utilizando o modelo de regressão logística multivariada. A técnica de regressão logística utilizada, demonstrou-se adequada ao desenvolvimento dos modelos de probabilidade de ocorrência temporal e espacial, tendo como base o histórico de incêndios bem como das variáveis orográficas, uso do solo e fatores de origem humana.

Neste trabalho, foram analisados os padrões espaciais de 419 ignições de incêndio rural que ocorreram entre 2015 e 2019. Foram criados dois grupos diferenciados, um grupo para a construção do modelo (grupo de modelação) e um segundo para efetuar a validação (grupo de validação). Para a elaboração do mapa da probabilidade, foram ainda selecionados 211 pontos de ignição (metade) e 400 pontos de não ignição para obter a cartografia final de probabilidade espacial.

Este trabalho, demonstrou que existe uma relação entre a presença da atividade humana e a probabilidade de ignição de incêndios rurais. A proximidade à rede viária foi considerada como potencial variável de contributo para a ocorrência de incêndios rurais, em que 60% das ocorrências localizam-se a menos de 100 metros da rede viária. A proximidade ao edificado registou cerca de 57% das ocorrências num raio de 300 metros em torno do edificado. Quanto às classes de ocupação do solo cerca de 66% das ocorrências localizam-se nas áreas florestais.

O presente trabalho, poderá ser um contributo para futuros projetos relacionados com o tema e servir para ações de prevenção que se revelam necessárias para uma correta gestão do risco.

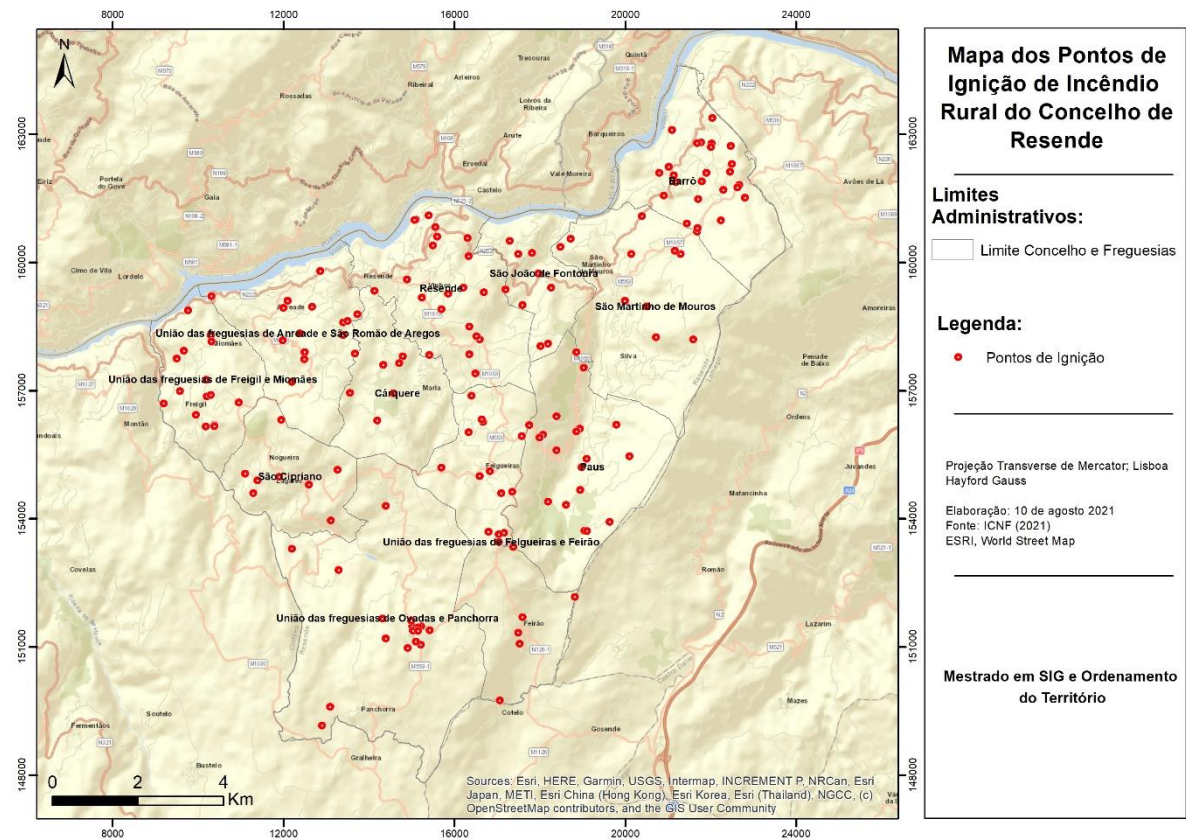
Referências Bibliográficas

- AFN. (2012). *Plano Municipal De Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI)*.
- Alves, P. M. C. (2012). *Probabilidade de ignição e suscetibilidade de incêndios florestais*.
- Antonio Dimuccio, L., Ferreira, R., & Cunha António Campar de Almeida, L. (2008). *Susceptibilidade aos incêndios florestais na Região Centro de Portugal. Utilização de ferramentas SIG e de um Modelo de Redes Neurais para ponderar os factores condicionantes*.
- Carlos, V. J. (2008). *Avaliação da perigosidade de incêndio florestal*.
- Ferreira, A. R. R. (2010). *Sistema de Informação Geográfica e susceptibilidade a incêndio florestal: análise de metodologias em ambiente SIG*.
- Guiomar, N., Fernandes, J. P., & Moreira, M. B. (2008). *A MULTIFUNCIONALIDADE DO TERRITÓRIO NA GESTÃO DO RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL*.
- Hosmer, D. W. , L. S. (2013). *Applied logistic Regression* (Second Edition, Vol. 398).
- ICNF. (2019). *6º Inventário Florestal Nacional*.
<http://www2.icnf.pt/portal/florestas/ifn/ifn6>
- IPMA. (2021). *Índice de Risco de Incêndio (FWI)*. Índice de Risco de Incêndio (FWI).
- ISA. (2005). *Proposta Técnica do Plano Nacional de Defesa Contra Incêndios*.
- Julião, R. P. , N. F. , R. J. L. , C. B. M. , & Z. J. (2009). *Guia Metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal*.
- Lourenço, L. (2002). *Combate a Incêndios Florestais: Vol. XIII* (2nd ed.).
<https://www.researchgate.net/publication/318792709>
- Pereira, J. S. (2006). *Incêndios florestais em Portugal : caracterização, impactes e prevenção*. Instituto superior de agronomia.
- Resende, C. M. (2016). *PMDFCI DO MUNICÍPIO DE RESENDE*.

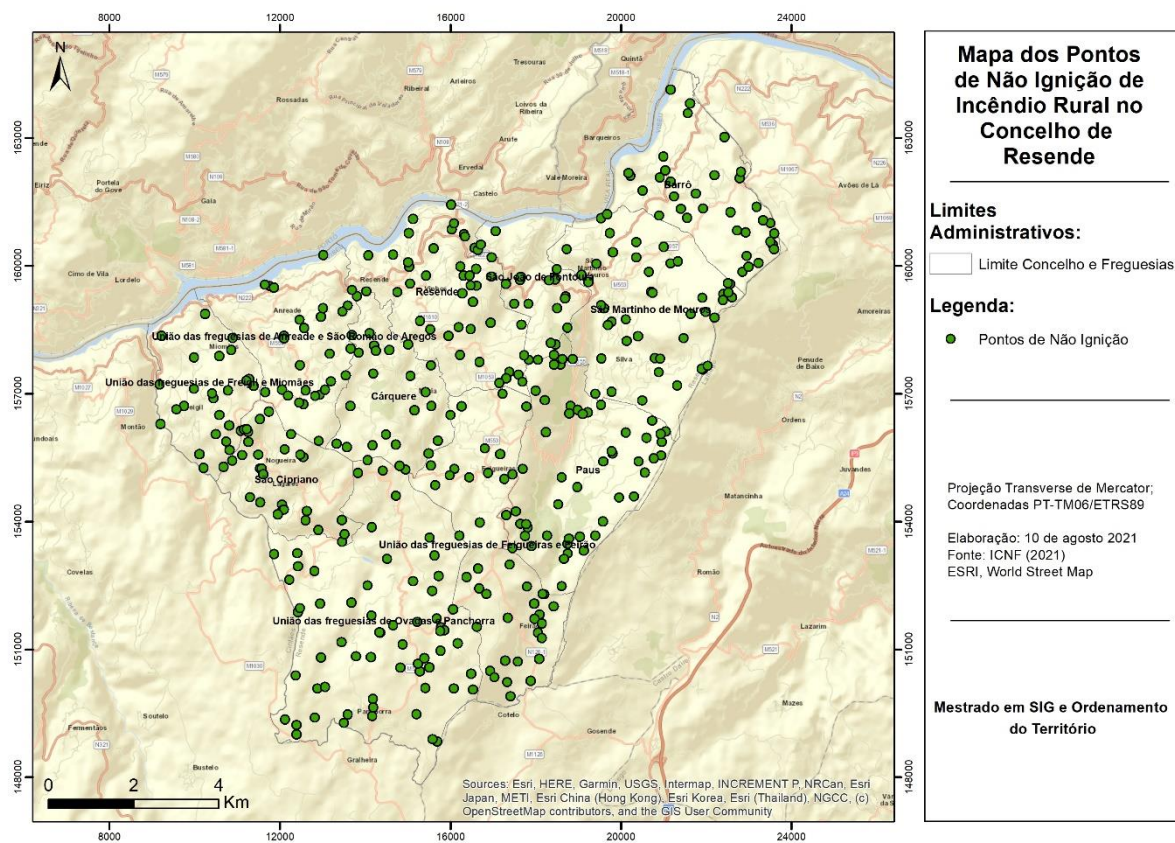
- Vasconcelos, M. J. P., Silva, S., Tomé, M., Pereira, J. M. C., Perestrello De Vasconcelos, M. J., Silva, S., Tome, M., Alvim, M., Miguel, J., & Perelra, C. (2001). *Spatial prediction of fire ignition probabilities: Comparing logistic regression and neural networks*. <https://www.researchgate.net/publication/235004861>
- Vélez, M. R. (2000). *La defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencias*.
- Veneman, A., April Baily, S. J., Bosworth, D., Robert, C. H., Service Managing Editor Jerry Williams, F., & Madelyn Dillon, D. (2001). A consistent wildland fire risk terminology is needed. In • *Fall* (4th ed., Vol. 61, Issue 4).
- Viegas, D. X., Reis, R. M., Cruz, M. G., Viegas, M. T., de Doutoramento, B., Silvicultora, E., & Principal, A. (2004). Calibração do Sistema Canadano de Perigo de Incêndio para Aplicação em Portugal. In *Silva Lusitana* (Vol. 12, Issue 1).
- Xavier Catry, F., Lopes Almeida, R., & Rego, F. (2004). *Produção de Cartografia de Visibilidades para Portugal Continental. A Importância da sua Utilização na Vigilância Contra Incêndios Florestais*. <https://www.researchgate.net/publication/240613756>

Anexos

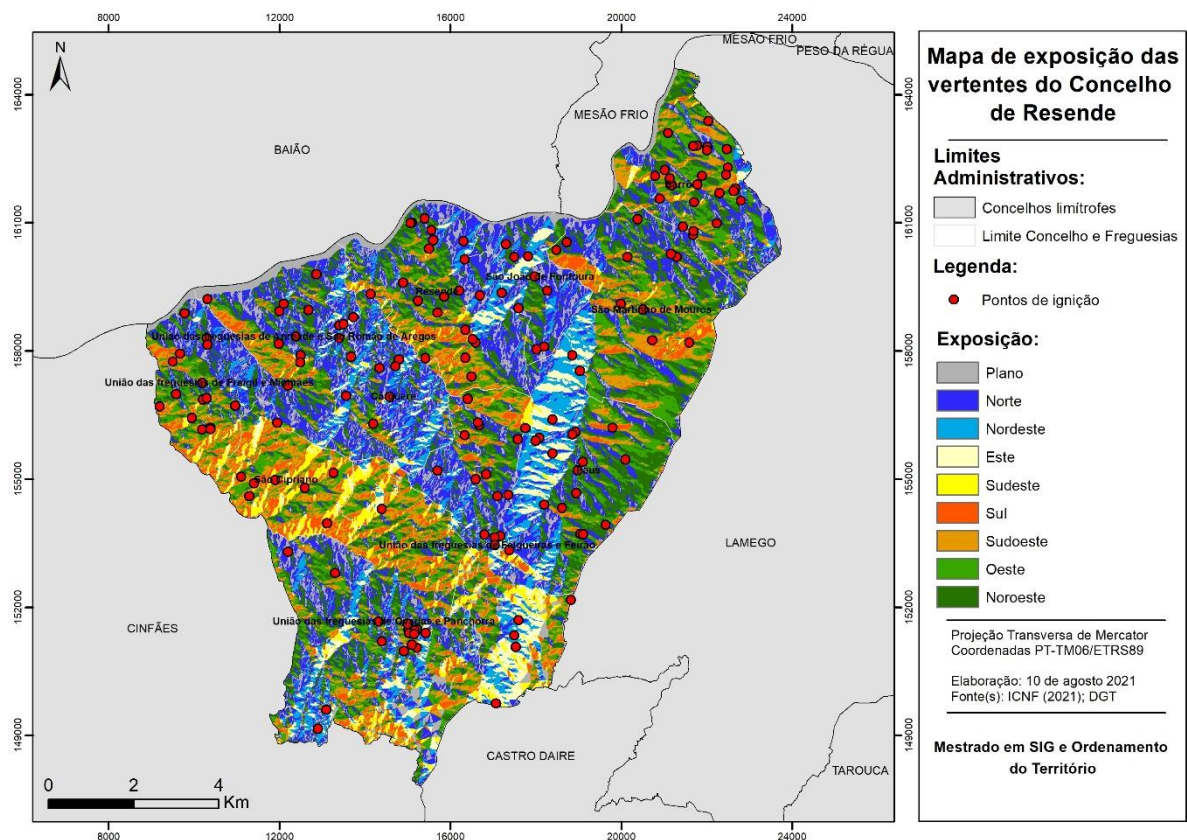
Anexo 1- Pontos de Ignição de Incêndio Rural do Concelho de Cinfães



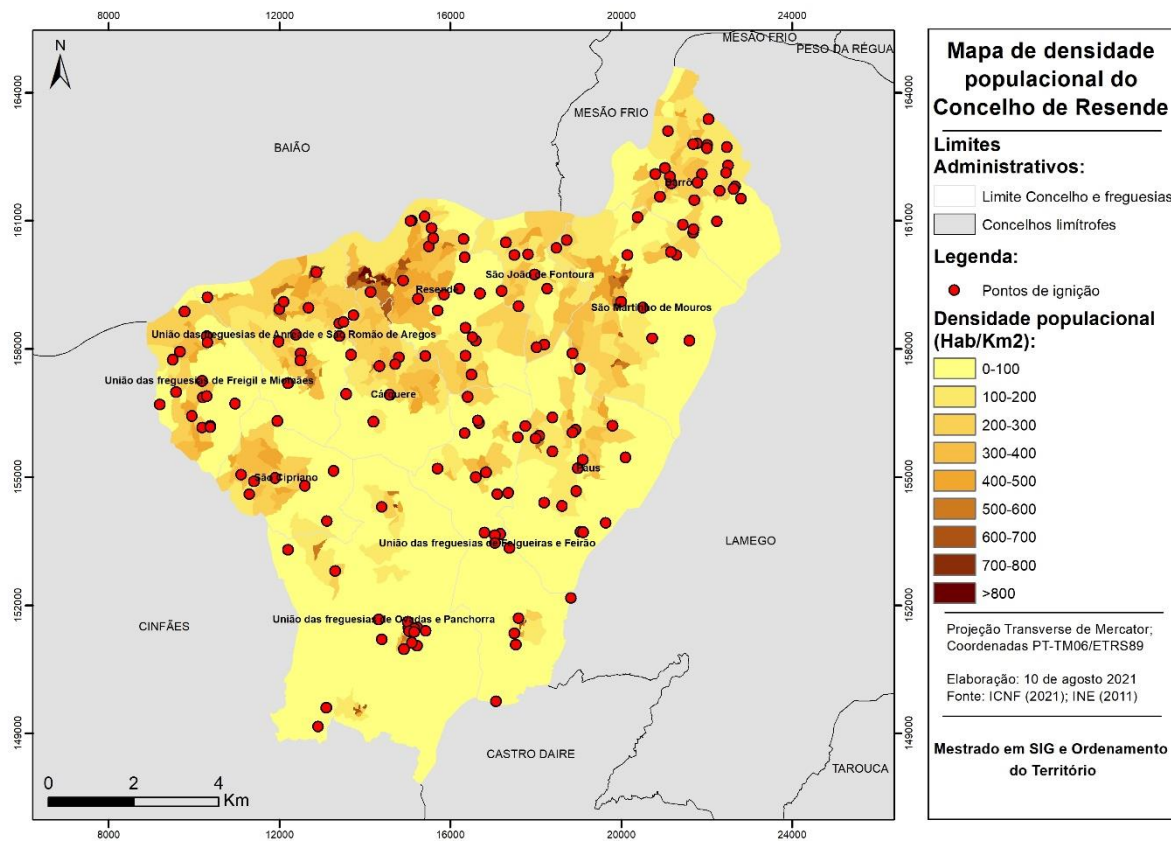
Anexo 2- Pontos de Não Ignição de Incêndio rural do Concelho de Resende



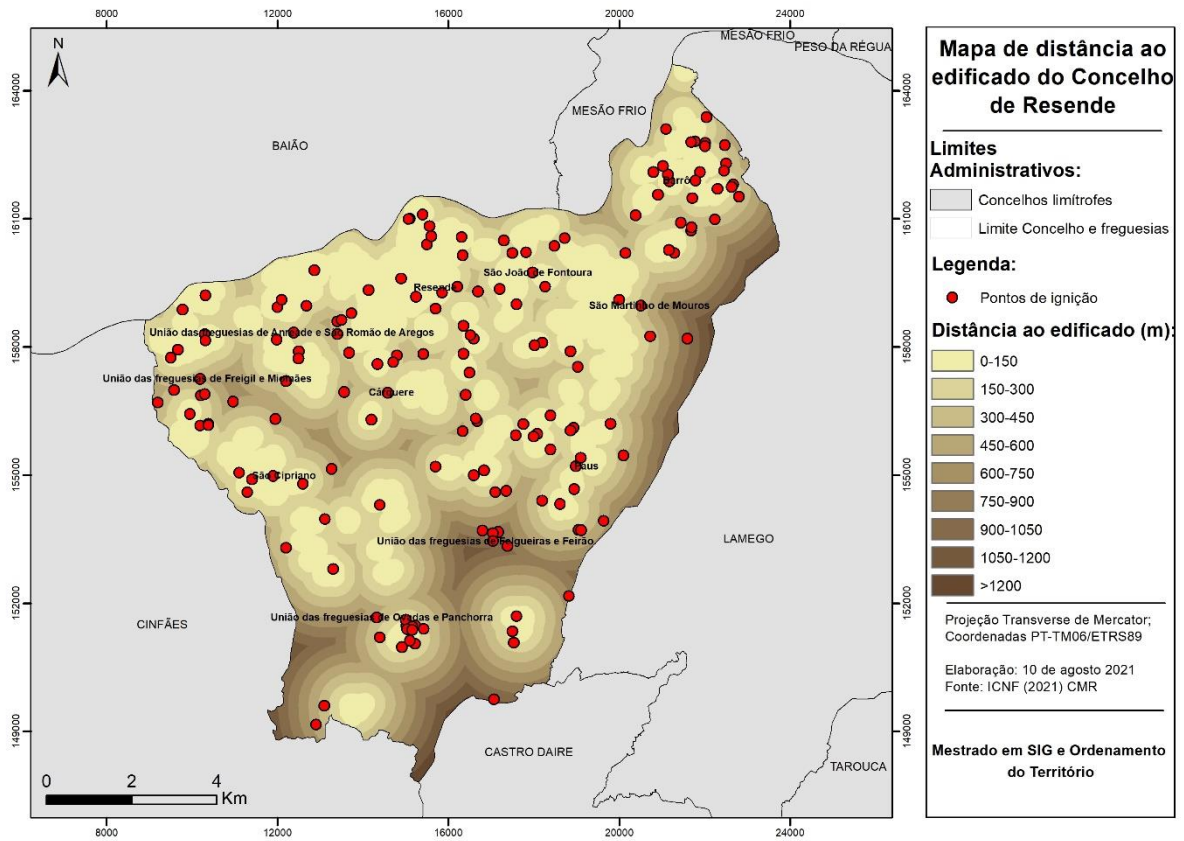
Anexo 3- Exposição de Vertentes do Concelho de Resende (Pontos de Ignição)



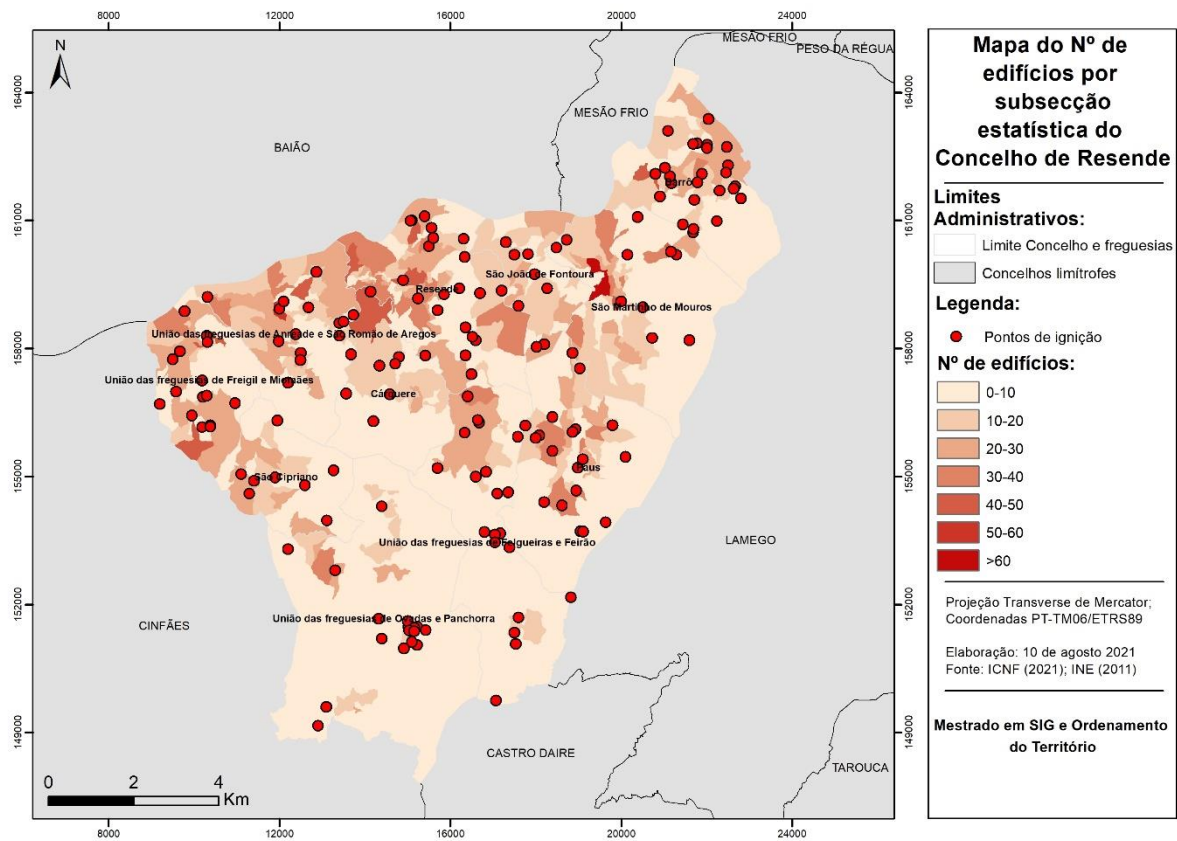
Anexo 4- Densidade Populacional do Concelho de Resende (Pontos de Ignição)



Anexo 5- Distância ao edificado do Concelho de Resende (Pontos de Ignição)



Anexo 6- Nº edifícios por subsecção estatística do Concelho de Resende (Pontos de Ignição)



Anexo 7- Distância à rede viária do Concelho de Resende (Pontos de Ignição)

