

**MODELELAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE DE
INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO DE BRAGANÇA**

Rui José Morais Fernandes

**Análise Espacial
Junho 2020**

Índice

1. Introdução.....	3
2. Objectivos.....	3
3. Metodologia e Materiais.....	4
4. Área de Estudo	5
5. Variáveis.....	8
5.1 Declive.....	9
5.2 Exposição de Vertentes	10
5.3 Ocupação do Solo.....	10
5.4 Distância à Rede Viária	11
5.5 Ddensidade Populacional	12
6. Atribuição de pesos e soma ponderada	12
7. Análises ao modelo.....	14
7.1 V).....	14
7.2 VI).....	15
7.3 VII)	15
7.4 VIII).....	15
8. Conclusão e considerações finais	16
9. Bibliografia.....	18
10. Fontes de Dados	18

1. Introdução

Os incêndios florestais são um dos grandes problemas ambientais que Portugal enfrenta, como demonstrado nos grandes incêndios de 2017. Com um clima mediterrânico, de Verões secos, e cerca de dois terços do território composto por florestas e matos, Portugal é um país muito sensível a este processo natural (Verde e Zêzere, 2010). É necessário ter em conta que apesar dos incêndios florestais serem um processo natural, na medida em que se processa em meio natural, este é também afectado por questões antrópicas tais como a densidade populacional, a rede viária e a própria ocupação do solo, muitas vezes alterado pelo ser humano. Da mesma forma, os incêndios podem ter origem natural ou humana (accidental ou intencional). A causa de incêndio mais comum é a humana intencional (Antunes et al. 2011).

O conceito de risco, quando aplicado a catástrofes naturais, refere-se à probabilidade do fenômeno ocorrer num determinado local, sob determinadas circunstâncias, as possíveis consequências e impactos no território afectado (Verde, 2008).



Figura 1 - Componentes do modelo de risco (Retirado de Verde, 2008)

Como está exemplificado na Figura 1, o risco é composto pelo Dano Potencial e pela Perigosidade. Neste trabalho iremos estudar uma das componentes da perigosidade, a susceptibilidade. Verde (2008) define a susceptibilidade como a “propensão de uma dada área ou unidade territorial para ser afectada pelo fenómeno estudado, avaliada a partir das propriedades que lhe são intrínsecas” (p.8). Adiciona ainda que para o caso dos incêndios florestais, a susceptibilidade está ligada à capacidade do território potencializar a ignição e progressão do fenómeno combustivo.

2. Objectivos

Este trabalho tem como principal objectivo determinar a susceptibilidade de incêndio florestal no distrito de Bragança. Adicionalmente, serão realizadas algumas análises com base na susceptibilidade, cruzando esta com diferentes factores tais como a população residente e as áreas ardidas de forma a retirar algumas conclusões sobre este processo na área de estudo em questão.

3. Metodologia e Materiais

Para a realização deste trabalho foi utilizada uma metodologia presente em diversos trabalhos realizados anteriormente sobre o tema, consistindo na recolha de variáveis relevantes para o processo em ques-

3. Metodologia e Materiais

Para a realização deste trabalho foi utilizada uma metodologia presente em diversos trabalhos realizados anteriormente sobre o tema, consistindo na recolha de variáveis relevantes para o processo em questão. Estes dados são posteriormente “rasterizados” e normalizados, procedendo-se a uma soma ponderada utilizando pesos previamente calculados. A este processo denomina-se análise multicritério. Posteriormente foram então realizadas algumas operações de análise espacial com o raster da susceptibilidade e outras variáveis. O processo das análises ao modelo será discutido em detalhe na sua própria secção.

Foi também realizada uma caracterização inicial do distrito em questão, a partir de algumas variá-

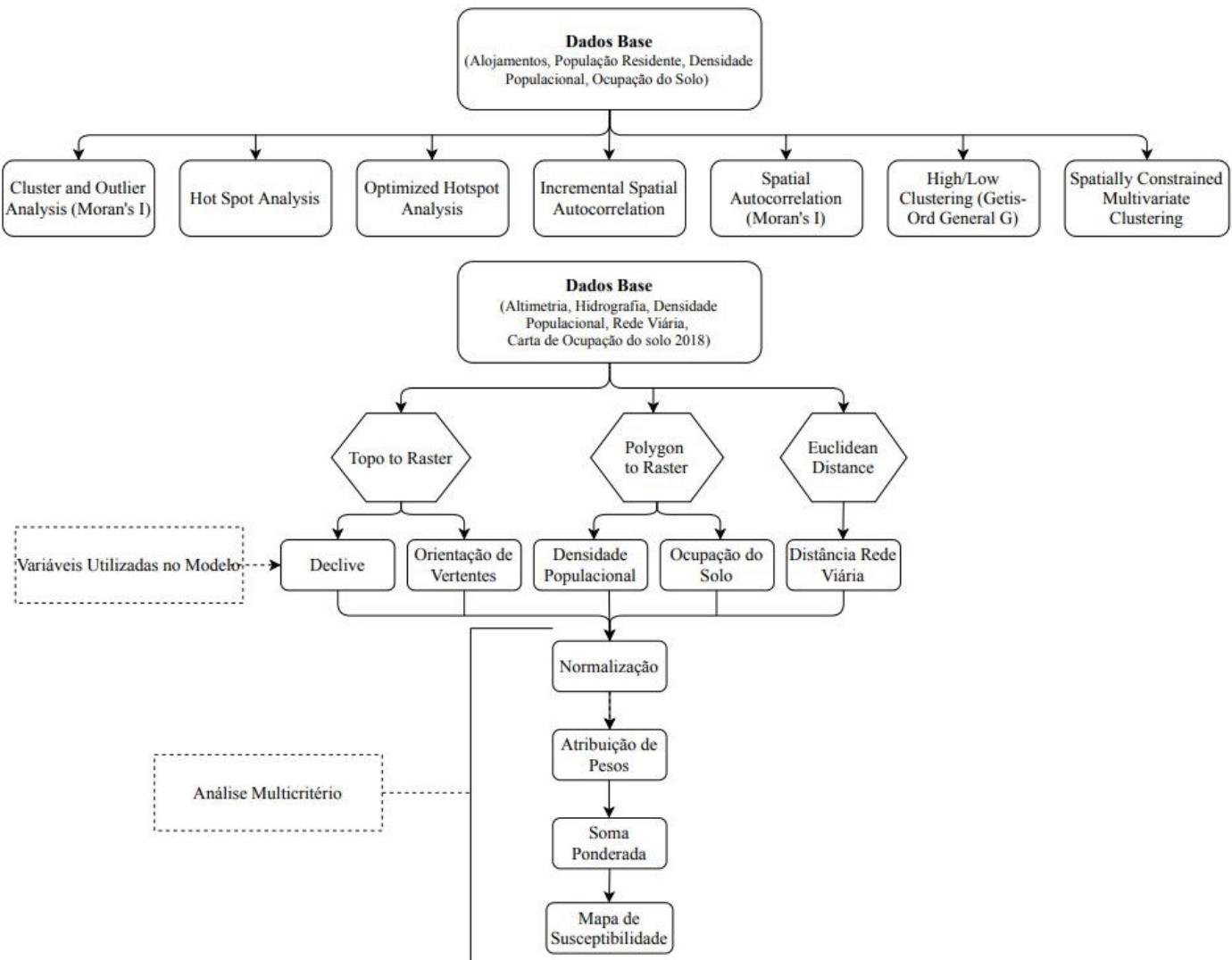


Figura 2 - Metodologia utilizada ao longo do projecto. A primeira sequência refere-se a operações de estatística espacial utilizadas na caracterização inicial. A segunda sequência de operações está relacionada com o próprio desenvolvimento do modelo.

veis pertinentes para o caso. A Figura 2 ilustra o processo de desenvolvimento. Nesta temos o processo geral de desenvolvimento do trabalho. Entraremos em mais detalhe em cada um dos passos mais adiante quando analisarmos as diferentes variáveis e o seu tratamento para serem implementadas no modelo. De salientar que nem todos os resultados provenientes da análise inicial ao distrito estarão presentes neste relatório, apenas o que consideramos mais relevantes para o caso. No entanto os ficheiros correspondentes serão fornecidos em anexo.

Para a elaboração deste projecto foram utilizados os seguintes materiais:

- ArcGIS Pro;
- Microsoft Publisher;
- Microsoft Excel;
- Draw.io - <https://app.diagrams.net/>.

4. Área de Estudo

A área de estudo em questão é o distrito de Bragança. Localizado no nordeste do país, este faz fronteira com Vila Real a Oeste, Viseu a sudoeste e Guarda a Sul, sendo a totalidade da sua fronteira Este e Norte com Espanha (Figura 3). É constituído por 12 concelhos, suportando 136,252 residentes à data de



Fonte: Carta Administrativa Oficial de Portugal 2018; Diva-GIS.

Figura 3 - Enquadramento do distrito de Bragança em Portugal.

2011, segundo os dados da Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI). Sendo um distrito do interior, este é um território de baixa densidade. O distrito em si tem uma densidade populacional de cerca de 21 hab./km^2 . Ainda assim, quando feita esta análise ao nível da subsecção, encontramos um valor máximo de $28,502 \text{ hab./km}^2$. A isto contrasta-se um valor mínimo de 0 hab./km^2 em certas subsecções. Os valores elevados advêm não da grande quantidade de residentes, mas da reduzida área destas subsecções, e todas estas localizam-se em áreas urbanas, onde tende a haver uma maior concentração de habitantes. Em

oposição, as subsecções de o hab./km² são muitas vezes as maiores em área. No entanto, por virtude de serem territórios florestais e/ou agrícolas, não possuem habitantes. Este contraste é claramente visível através de um mapa de “Hot Spots” e “High/Low Clustering” para a densidade populacional (Figura 4). Aqui

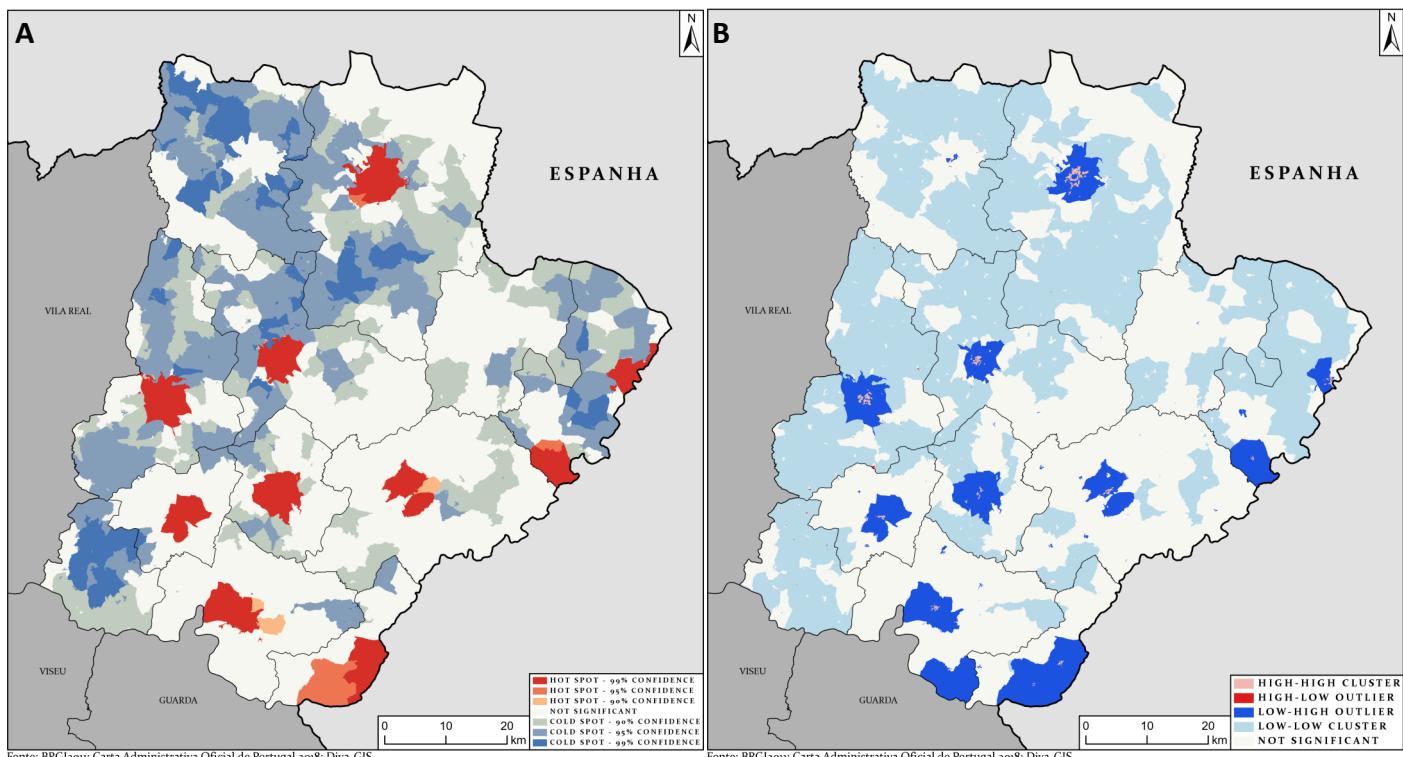
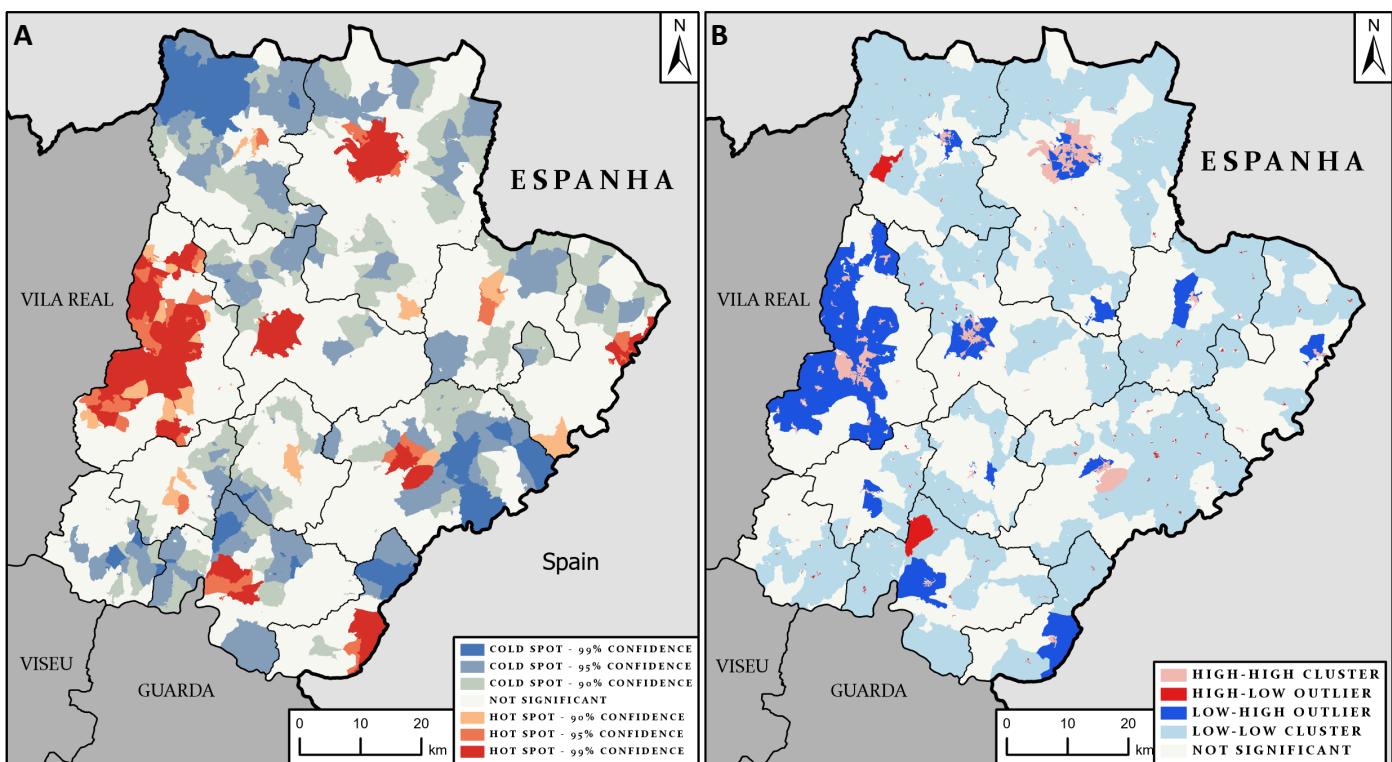


Figura 4 - “Hot Spot Analysis” (A) e “High/Low Clustering” (B) da densidade populacional por subsecção, em 2011, no distrito de Bragança.

vemos claramente a concentração de densidade populacional nos centro urbanos (4-A), com grande parte das sedes concelhias a serem um foco de população, com a excepção de Vinhais, Vimioso e Carrazeda de Ansiães. No sul Miranda do Douro surge a única área urbana que não é sede concelhia. Esta é a área pertencente à vila de Sendim. Entre estes hot spots altos temos hot spots baixos, especialmente concentrados no oeste do distrito. Como já foi dito, estas áreas correspondem maioritariamente a zonas florestadas ou agrícolas, com pouca presença humana. Os clusters (4-B) reforçam os hot spots, exibindo o grande contraste entre os valores elevados de densidade populacional dos centros urbanos e os valores reduzidos da sua periferia.

No que diz respeito à população em si, podemos constatar que o panorama da sua distribuição não muito diferente da densidade populacional (Figura 5). As concentrações de valores elevados ocorrem em sensivelmente os mesmos locais, com alguma excepções. Em termos de hot spots (5-A), a grande diferença encontra-se em Mirandela. Aqui temos um grande conjunto de valores elevados, ainda que exista uma diferença substancial entre valores para haver um grande cluster Low-High (5-B) na periferia em relação às áreas mais centrais. Tal como na densidade populacional, os hot spots elevados encontram-se sobretudo nas sedes concelhias, salvo raras excepções. Ainda assim, retirando o efeito da área na população, conseguimos encontrar algumas diferenças, como seria de esperar.

Em relação aos clusters, temos novamente o efeito de Low-High clusters na periferia das sedes de concelhos. Este efeito é visível ao longo de muito do território do concelho. Mais do que na densidade populacional, aqui encontramos pequenos focos de alta população rodeados de subsecções de baixa população. Estes focos pertencerão certamente a pequenas vilas e aldeias, provavelmente sedes de freguesia. Este é um efeito que encontramos em muitas variáveis quando estudamos o território ao nível da subsecção. A subsecção “caracteriza-se por estar associada ao código e ao topónimo do lugar de que faz parte, correspondendo ao quarteirão em termos urbanos” (Geirinhas, 2002)(p.3). No caso do quarteirão não poder ser definido, é considerada a área complementar, assumindo a designação genérica de subsecção residual. Isto é algo que acontece com frequência em meio rural, havendo, naturalmente, uma falta de quarteirões em ple-



Fonte: BRGI2011; Carta Administrativa Oficial de Portugal 2018; Diva-GIS.

Figura 5 - “Hot Spot Analysis” (A) e “High/Low Clustering” (B) do número de residentes por subsecção, em 2011, no distrito de Bragança.

Em conclusão, não é um Bragança distrito com muita população, apesar de possuir uma área relativamente grande. Por esta razão adquire uma densidade populacional bastante reduzida. É no entanto um distrito com uma população muito concentrada nos seus centros urbanos, particularmente mas sedes concelhias. Este distribuição concentrada é facilmente visível nos mapas acima apresentados. No contexto dos incêndios florestais isto poderá ser uma vantagem, visto que, em princípio, a população em estrámenos sujeita a este processo em áreas urbanas. Todas estas análise foram efectuadas com um raio de busca de 3559.3m

Em termos físicos, Bragança é um distrito relativamente montanhoso (Figura 6). Atinge um altitude máxima de cerca de 1488m. O norte é notavelmente mais acidentado, onde encontramos o Parque Natural do Montesinho. Estas elevações estendem-se para sul pelo centro do distrito, fazendo a divisão natural da

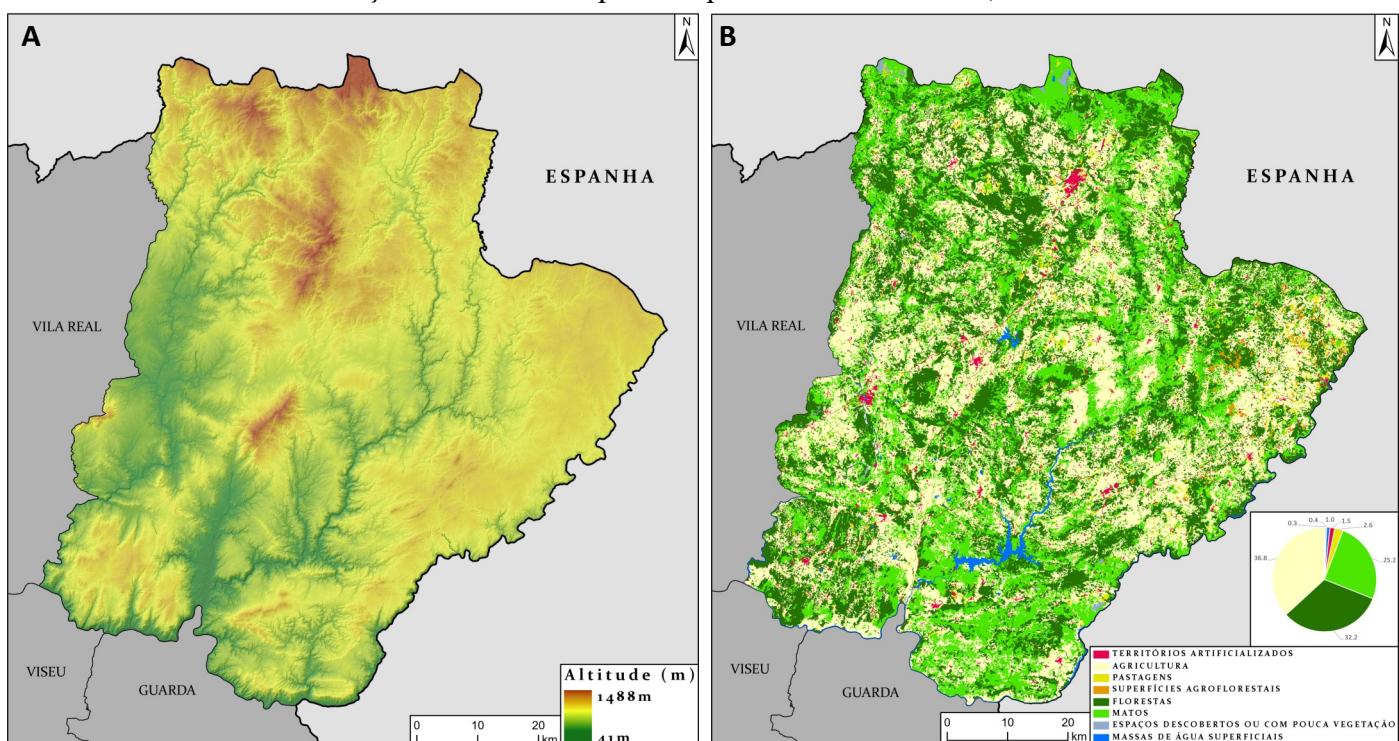


Figura 6 - Hipsometria (A) e ocupação do solo por nível 1 (B) no distrito de Bragança.

bacia do rio Tuela/Tua a oeste, e a bacia do rio Sabor a leste (6-A). Os percursos destes rios encontram-se claramente marcados na topografia do distrito, e será na periferia destes cursos de água que encontraremos os maiores declives da região.

Em termos de ocupação do solo, vemos que a agricultura ocupa a maior porção de solo (36.8%), seguido das florestas (32.2%) e os matos (25.2%) (6-B). Isto terá a sua importância para os incêndios, já que as florestas e os matos, que colectivamente ocupam cerca de 57.4% do território do distrito, são as classes de ocupação mais propícias aos incêndios florestais. Será a junção destas classes e dos declives mais elevados que apresentará a maior susceptibilidade de incêndio.

5. Variáveis

O modelo proposto foi construído com base em cinco variáveis, nomeadamente: declive, ocupação do solo, distância à rede viária, densidade populacional e a orientação de vertentes. Estas variáveis foram escolhidas por estarem presentes em diversos trabalhos semelhantes sobre o tema, havendo até exemplos usando exactamente aquelas aqui presentes. Assim, todas elas estão associadas, em diferentes níveis, à susceptibilidade de incêndios florestais. Como foi expresso na metodologia, estas variáveis sofreram diferentes tratamentos para poderem ser incorporadas no modelo. Porém todas elas respeitam certas regras para garantir o correcto uso da metodologia. Todas as variáveis foram “rasterizadas” com um pixel de 10m e encontram-se alinhados entre as diferentes layers. Ambas as condições são garantidas através da criação de uma “fishnet”, de forma a controlar o tamanho e posição relativa dos pixéis.

Para o processamento inicial destas variáveis, isto é, desde a recolha dos dados de base até à “rasterização” dos mesmos, foi utilizada a ferramenta ModelBuilder para a construção de um modelo que automatizasse operações previamente definidas. Algumas das variáveis sofreram alterações antes de correr o modelo, de forma ao mesmo poder efectuar as operações desejadas. A Figura 7 demonstra o modelo em questão.

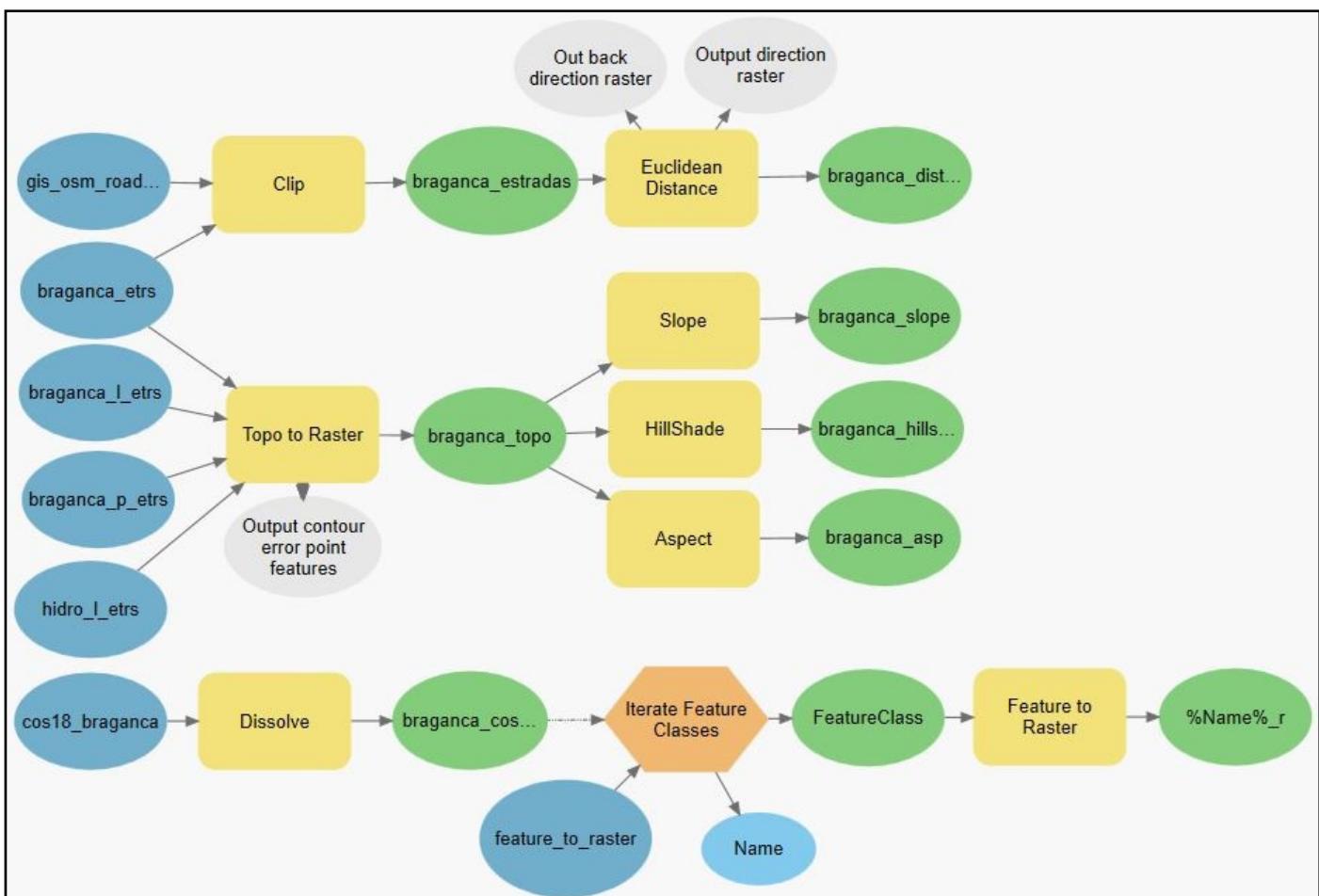


Figura 7 - Modelo proveniente do ModelBuilder para a obtenção das variáveis em formato raster.

O modelo é constituído por três sequências de operações diferentes, associados a diferentes tipos de dados. O caminho superior consiste do clip de uma shape pela área de estudo, seguido do cálculo da distância euclidiana usando o output do clip. Neste caso foi usado para a rede viária, mas poderia servir para qualquer outro tipo de rede.

O segmento central do modelo foca-se na criação do DEM (Digital Elevation Model). De notar que não se optou pelo caminho mais clássico de “Create TIN” > “TIN to Raster” > Variáveis daqui resultantes. Para resultados mais precisos optou-se pelo Topo to Raster. Este comando interpola um DEM directamente a partir das curvas de nível e pontos cotados, sem necessidade de passar pelo TIN. Porém, a grande vantagem desta ferramenta não essa. Ela difere fundamentalmente do método mais tradicional por incorporar a rede hidrográfica na interpolação, gerando assim um DEM “hidrologicamente correcto”, segundo a própria descrição da ferramenta. O grande inconveniente é o tempo de execução. É uma ferramenta mais pesada, podendo consumir horas na interpolação dos dados. O DEM deste processo é então usado com input nas seguintes operações de “Slope”, “Aspect” e “Hillshade”.

Por último o segmento inferior tem como objectivo a “rasterização” directa de shapefiles de polígonos. Para tal adicionou-se um iterador. Este vai correr a Feature Dataset indicada e aplicar o comando “Feature to Raster” a todas as shapefiles lá presentes. O raster é criado através de uma coluna da tabela de atributos de cada shapefile, sendo assim necessário que todas possuam uma coluna com o nome em comum, já que não é possível actualizar o campo sujeito à conversão de shape para shape. Neste caso o campo em comum foi o “classes”. Assim obtemos as cinco variáveis em raster prontas para o seguinte passo: a normalização.

5.1 Declive

O declive é, grosso modo, o valor, em graus ou percentagem, de uma vertente. Deste modo, quanto maior o valor, maior será a inclinação. A Figura 8 demonstra o declive na área de estudo. Como vemos, os declives variam entre 0°, o que é essencialmente plano, e atingem um valor máximo 82°. Estes valores máximos são geralmente resultantes da forma como o declive é calculado e são valores exagerados. Raramente encontramos vertentes essencialmente verticais na natureza. Caso haja uma perda de altitude significativa, consistindo de diversas curvas de nível, dentro de um único pixel, 10m neste caso, o algoritmo de cálculo de declive não detecta essas curvas e assinala um desnível mais abrupto do que ele realmente é. Não

obstante estes eventuais outliers, o facto é que os maiores declives se encontram nos vales dos principais rios do distrito. A noroeste temos o vale do rio Rabaçal e do rio Tuela e a leste o rio Sabor e o rio Maçãs. Sendo o declive um dos principais factores a considerar, juntamente com a ocupação do solo, e sendo estas áreas maioritariamente florestadas, espera-se encontrar aqui valores elevados de susceptibilidade. Em contraste as áreas mais aplanadas, tais como o centro e oeste do distrito, são predominantemente agrícolas e artificializadas (ver Figura 6-B). Aqui esperam-se valores mais reduzidos de susceptibilidade. Sendo este um factor cujo o impacto aumenta exponencialmente com o aumento do próprio, optou-se por aplicar a ferramenta “Fuzzy Membership”, utilizando a configuração “Large” e um ponto médio de 20°. Deste modo, obtemos uma conversão difusa, onde a maior subida de valor ocorre na vizinhança do ponto médio definido, sem uma mudança tão abrupta quanto a booleana. Tomou-se



Figura 8 - Declive, em graus, no distrito de Bragança.

esta decisão devido ao tipo de influência que os declives têm nos incêndios. Declives suaves não influenciam especialmente o processo, ao invés dos declives mais acentuados que são um factor de importância considerável. O ponto médio foi escolhido com base em trabalhos anteriores. O resultado é um raster com valores de 0 a 1. Valores mais próximos de 0 correspondem aos declives mais brandos e os valores mais próximos de 1 aos declives mais ingremes, com uma variação mais acentuada nos declives próximos de 20º, fruto do “Fuzzy Membership Large” com ponto médio de 20º.

5.2 Orientação de Vertentes

Outra variável proveniente do DEM foi a orientação ou exposição de vertentes. Esta variável é pertinente para os incêndios florestais devido à diferente exposição solar que recebem, potenciando mais ou menos o processo. As vertentes soalheiras recebem mais radiação solar por virtude do movimento aparente Sol ser efectuado pelo sul. Consequente as vertentes umbrias estão menos expostas ao sol, dificultando o processo.

Para o caso em questão as vertentes foram agrupadas utilizando os pontos cardinais através de um “Reclassify”. Foram então atribuídos pesos a cada orientação, visíveis na Tabela 1. Apesar da atribuição de pesos

Tabela 1 - Orientação, pesos atribuídos, e porção de área total das vertentes em Bragança.

Exposição	Peso (0 - 1)	Área (%)
Plano	0	0.001
Norte	0.1	21.4
Este	0.2	24.3
Sul	0.7	28.1
Oeste	0.5	26.1

foi usado o “Lookup” de forma a retirar o que é efectivamente a variável normalizada entre valores de 0 a 1. Os pesos atribuídos vão de encontro ao que foi dito acima, com as vertentes sul a obterem um peso maior devido a potenciarem mais facilmente incêndios florestais. Em contrapartida, as vertentes norte e planas são virtualmente inconsequentes para o processo. Estes pesos foram novamente baseados em trabalhos anteriores. De notar a ínfima quantidade de vertentes planas presentes na área de estudo, reforçando a ideia de uma região bastante accidentada.

5.3 Ocupação do Solo

Para a integração desta variável no modelo foram criadas nove classes distintas. Estas correspondem maioritariamente às classes de nível 1 da Carta de Ocupação do Solo 2018 (COS18), com exceção



Figura 9 - Classes de ocupação utilizadas no modelo.

das florestas que foram desagregadas em Eucaliptal, Pinhal e as restantes florestas. Com estas classes prontas obteve-se o raster da COS18 com base nas mesmas, através do ModelBuilder acima descrito. A distribuição destas classes está evidenciada na Figura 9, onde vemos, naturalmente, um padrão semelhante ao nível 1 da COS2018 (Figura 6 - B).

Mais uma vez tendo em conta trabalhos anteriores, em particular o de Antunes et al. (2011), foram atribuídos pesos a estas classes de acordo com o seu impacto na ignição e desenvolvimento dos incêndios florestais (Tabela 2). Os Matos adquirem o maior peso, sendo esta a classe que mais contribui para o processo, seguido das espécies arbóreas mais propícias à ignição, o eucalipto e o pinheiro. A agricultura e as restantes florestas seguem-se, com valores mais moderados. As pastagens e a vegetação esparsa é pesada igualmente. Por fim temos os territórios artificializados que pesam muito pouco na equação, junta-

Tabela 2 - Classes de ocupação de solo e seus pesos.

Classe	Peso (0-1)
Matos	1
Eucaliptal	0.8
Pinhal	0.6
Agricultura	0.4
Outras Florestas (Sobreiro, Carvalho, ...)	0.4
Pastagens	0.3
Solo Nu/Vegetação esparsa	0.3
Territórios Artificializados	0.1
Água	0

mente com as massas de água que, naturalmente, não têm peso na questão dos incêndios.

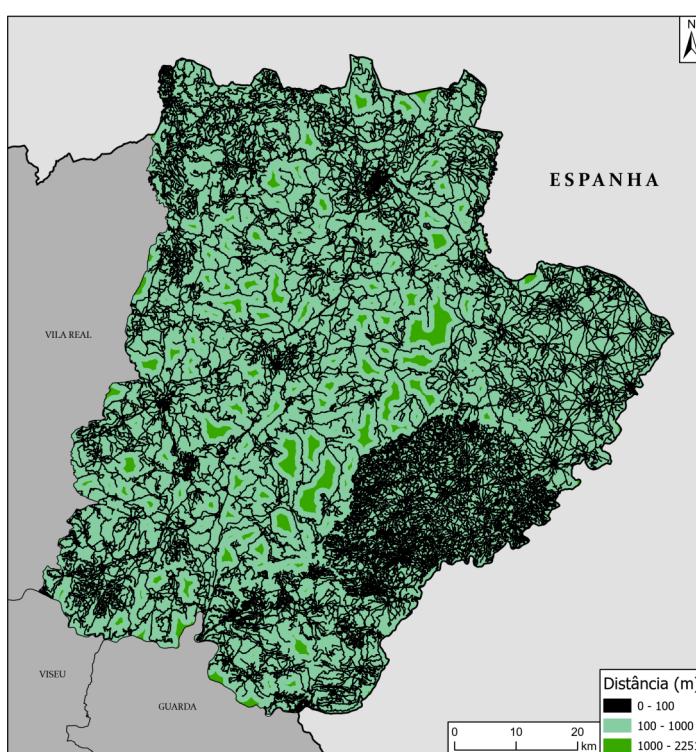
Esta é uma variável importante pois há consenso entre a comunidade académica que este é factor mais determinante na susceptibilidade aos incêndios florestais (juntamente com os declives). Assim, os pesos aqui atribuídos vão ter bastante influência no resultado final já que esta variável será a mais pesada na ponderação final dos factores. Veramente, esta variável foi sujeita a várias iterações aos pesos das suas classes até ser obtido um resultado pertinente. A sua importância determinante torna-a especialmente volátil. Pequenas alterações podem ter grande influência no resultado final. Desta forma é importante ter especial atenção nesta fase e afinar bem os pesos de cada classe de forma a obter um bom resultado.

5.4 Distância à Rede Viária

Esta variável tem um foco mais antrópico, comparativamente às anteriores. Tendo especificado que a grande maioria dos incêndios é de causa humana, seria natural incluir neste modelo factores que reflectam essa questão. Umas causas comuns de incêndios é a descarto de beatas de cigarro acesas pela janela de veículos motorizados. Daí a existência de uma faixa limpa nas margens das auto-estradas (não sendo esse o seu único propósito). Assim sendo, cremos que esta distância à rede viária seja um factor a ter em consideração.

Os valores foram calculados utilizando a ferramenta “Euclidean Distance”. Como o nome indica, esta calcula a distância euclidiana à feature indicada, neste caso a rede viária. O resultado é um raster cujo valor do pixel representa a distância linear ao elemento mais próximo da feature de entrada. O resultado é apresentado na Figura 10.

No mapa foi utilizada uma escala de apresentação em três classes. A classe menor representa, no fundo, a própria rede viária juntamente com uma área adjacente de umas dezenas metros, dependendo da largura da estrada em si. É nesta faixa que teremos a maior susceptibilidade de incêndio relativamente a este factor. As duas classes restantes servem apenas



para diferenciar visualmente a distância. O busílis da questão aqui são os 100m. Isto está intimamente relacionado com a normalização deste factor. Trabalhos já realizados neste tema consideram geralmente três classes de distância, adaptados à escala da área de estudo em questão. A classe de distância menor é também a que mais impacto tem. No entanto, ao invés de definir três classes estáticas e atribuir valores, de forma semelhante às exposições e ocupação do solo, aqui decidimos ir por outro caminho. Sendo esta a única variável em que valores originais elevados se traduzem nos valores mais reduzidos pós normalização, isto é, os valores mais próximos de 2250m terão de ser transformados em valores próximos de 0 e não de 1, pensamos que esta seria uma boa oportunidade para aplicar o “Fuzzy Membership Small”. Esta é uma variação do que foi aplicado ao declive, porém inverte os valores de saída, que é exactamente o que se pretende. Foi usado um valor

Figura 10 - Distância euclidiana à rede viária.

médio de 100m para o efeito. Desta forma, distâncias inferiores a 100m vão pesar mais, começando a acontecer uma queda deste peso nos aproximamos do valor médio. Pouco depois dos 100m metros a normalização estabiliza em valores baixos, correspondentes ao valores originais mais elevados. De salientar a grande densidade de rede no sudeste do distrito. No entanto estes são maioritariamente caminhos de terra que deveriam admitidamente ter sido removidos da análise. Estes poderão introduzir algum erro no modelo final, ainda que o peso relativamente reduzido deste factor mitigue um pouco os efeitos.

5.5 Densidade Populacional

Para introduzir mais uma variável de natureza humana, foi escolhida a densidade populacional. Este factor é também um dos mais presentes em trabalhos centrados no tema em questão. Assim, apresentamos a distribuição da densidade populacional do distrito na Figura 11. Como já vimos na caracterização do distrito, esta é uma variável extremamente agrupada, estando os valores mais elevados nas sedes concelhias, os valores médios espalhados pelas vilas do distrito, e o restante território possuindo densidades bastante

reduzidas. De notar o grande intervalo da classe mais elevada, fruto da distribuição dos valores (Figura 12). Aqui encontramos uma grande concentração de valores de baixa densidade, sendo os valores acima de 2000 hab./km² ocorrência um quanto raras. Em adição, os valores no topo completamente afastados da média de 1,314.9 hab./km². O resultado é uma classe com um intervalo de valores bastante dilatado.

É por esta razão que optamos em normalizar esta variável através de um “Fuzzy Membership Linear” ao invés da atribuição de pesos manual presente noutros trabalhos. Não cremos que agrupar um valor de 2000 hab./km² com valores superiores a 20,000 hab./km² numa única classe seja correcto. Consequentemente foi efectuada uma normalização linear, sem a presença de breakpoints de mudança como no caso dos declives e da distância à rede viária. O resultado é uma normalização que espelha a Figura 11, não havendo nenhuma manipulação dos valores na sua conversão entre 0 - 1.

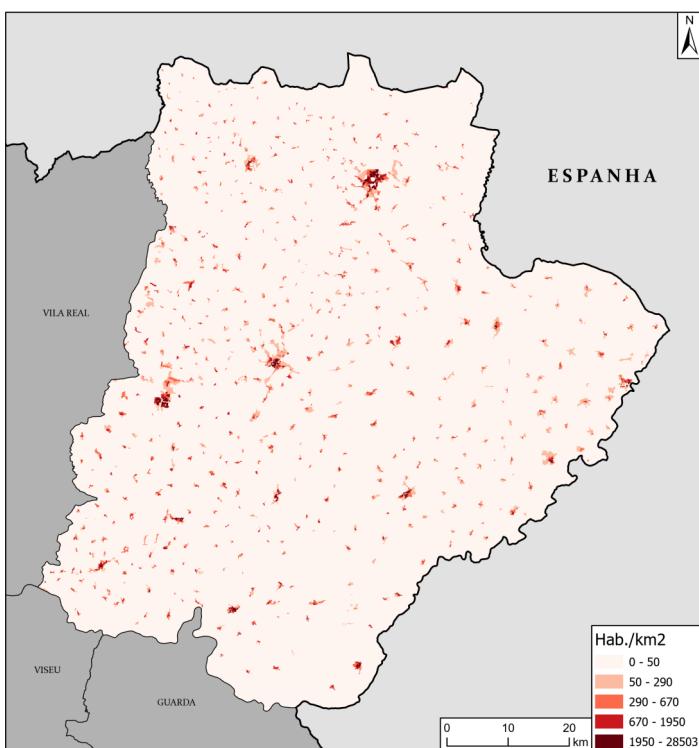


Figura 11 - Densidade populacional por subsecção, em 2011, no distrito de Bragança

Distribuição da densidade populacional (Hab./km²)

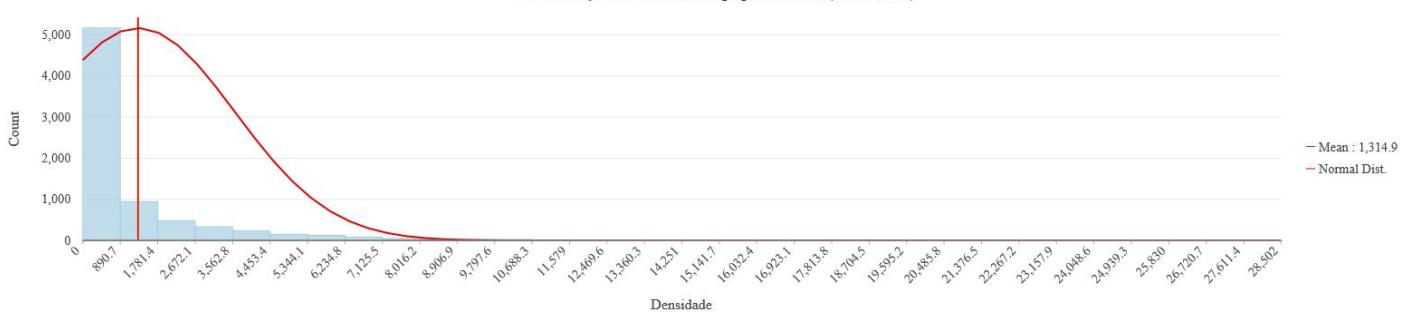


Figura 12 - Histograma da densidade populacional por subsecção, em 2011, no distrito de Bragança.

6. Atribuição de pesos e soma ponderada

Tendo as cinco variáveis normalizadas entre 0 - 1 procedeu-se à ponderação das mesmas no modelo final. Novamente trabalhos anteriores foram essenciais nesta fase, tendo sido Antunes et al. (2011) uma inspiração marcadamente forte. Para esta atribuição pesou foi utilizado o método Analytic Hierarchy Pro-

cess (AHP). Este método consiste na comparação da importância dos factores entre eles de modo a obter o peso numérico de cada variável. Isto traduz-se na construção de uma matriz de comparação (Tabela 3). Esta matriz é preenchida de forma subjectiva. Simplificando, esta matriz mostra a importância da variável da linha relativamente à coluna. Para este caso foram usados níveis de comparação em incrementos de dois, isto é 2x, 4x, 6x e 8x mais ou menos importantes. Existe uma excepção entre a ocupação do solo e os declives, onde consideramos que um multiplicador de 2x seria demais, já que estes factores são ambos bastante importantes.

Tabela 3 - Matriz de comparação referente aos factores em estudo.

FACTORES	dec	exp	distrv	osolo	densp
Declives (dec)	1.00	8.00	2.00	0.67	6.00
Exposição (exp)	0.13	1.00	0.50	0.17	2.00
Distância rede viária (distrv)	0.50	2.00	1.00	0.25	4.00
Ocupação solo (osolo)	1.50	6.00	4.00	1.00	8.00
Densidade populacional (densp)	0.17	0.50	0.25	0.13	1.00
Soma	3.29	17.50	7.75	2.21	21.00

Na tabela vemos que se considera a ocupação do solo ser 1.5x mais importante relativamente aos declives e 6x superior à exposição de vertentes. Inversamente, os declives possuem 0.67x da importância da ocupação do solo e a exposição 0.17x. A diagonal é sempre 1.0 pois compara a variável com ela própria. Somando as colunas temos um ideia da ordem de importância dos factores, sendo os valores mais baixos os mais importantes. Neste caso temos a ocupação do solo como factor mais relevante. Tal não surpreendente visto esta ser a variável com valores superiores a 1 ao longo da sua linha na matriz, indicando que “ganha” em importância às restantes.

Seguidamente constrói-se a matriz normalizada (Tabela 4). Esta matriz tem como normalizar os pesos entre as variáveis de forma a poderem ser usados na soma ponderada dos factores. Isto é atingido dividindo o valor de cada célula de comparação da matriz anterior pela soma dessa coluna, obtendo-se os valores presentes nas células verdes da matriz normalizada. O produto, e por extensão o VP, é obtido relacionando estes valores com o número de factores, neste caso cinco. É este VP que será o peso a usar na soma ponderada para construção do modelo.

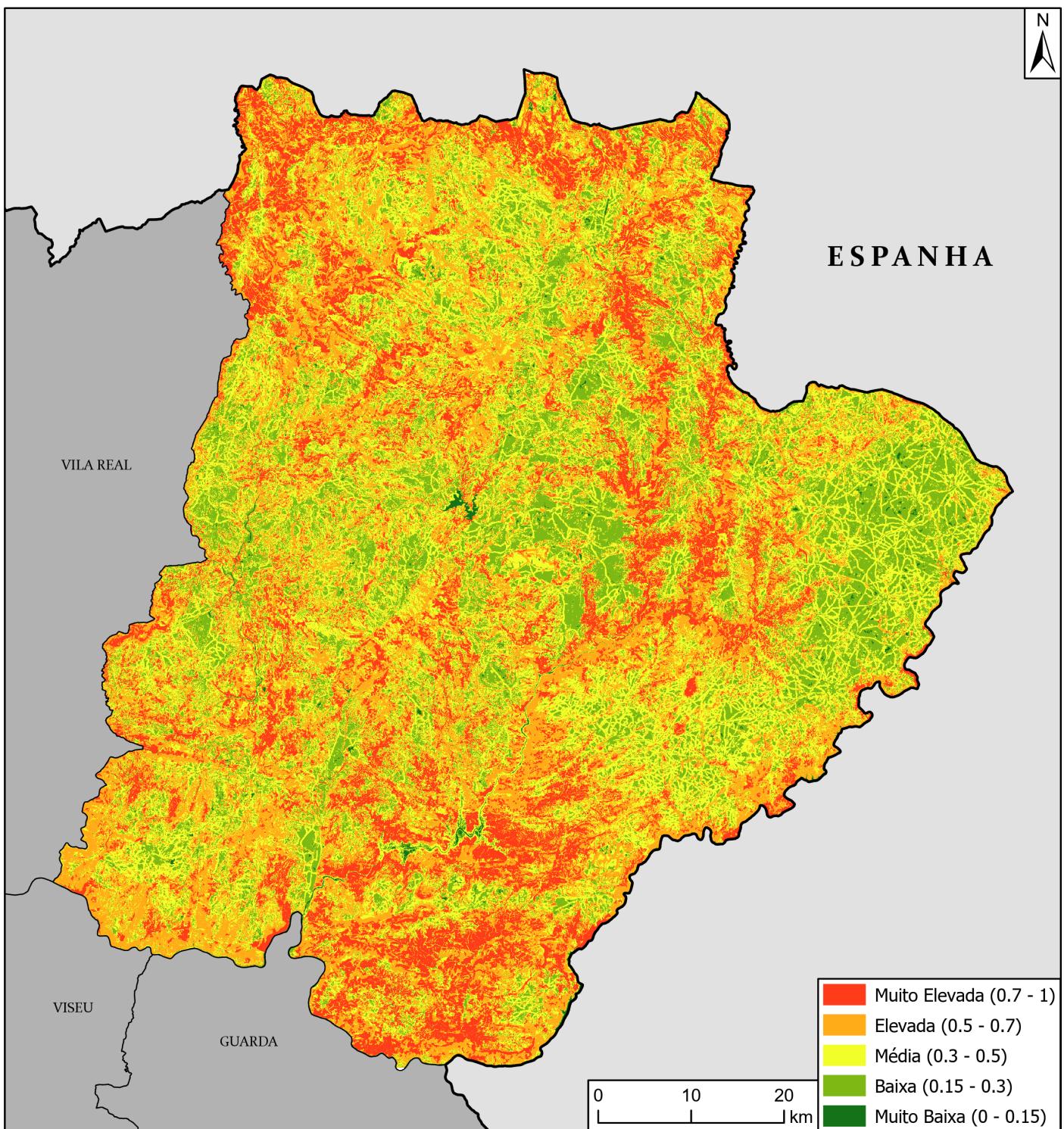
Tabela 4 - Matriz normalizada referente aos factores em estudo.

FACTORES	dec	exp	distrv	osolo	densp	Produto	VP (w)	%
Declives (dec)	0.30	0.46	0.26	0.30	0.29	0.31	0.32	32%
Exposição (exp)	0.04	0.06	0.06	0.08	0.10	0.06	0.07	7%
Distância rede viaria (distrv)	0.15	0.11	0.13	0.11	0.19	0.14	0.14	14%
Ocupação solo (osolo)	0.46	0.34	0.52	0.45	0.38	0.43	0.43	43%
Densidade populacional (densp)	0.05	0.03	0.03	0.06	0.05	0.04	0.04	4%
Soma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	100%

Para a construção do modelo foi utilizado o “Raster Calculator”. Este passo consiste na soma dos cinco rasters normalizados, multiplicados pelo seu respectivo peso. O resultado (Figura 13) é também um raster com valores entre 0 - 1 representando a susceptibilidade de incêndios florestais. Valores mais próximos de 1 indicam uma susceptibilidade elevada e valores próximos de 0 o inverso. De notar a os intervalos assimétricos entre as classes. Consideramos relevantes incorporar duas classe de valores reduzidos de forma a diferenciar espaços onde é muito improvável, senão impossível de deflagrar um incêndio, tal como as massas de água.

Os resultados obtidos vão de encontro ao esperado. As áreas de mais alta susceptibilidade surgem ao longo dos declives mais acentuados (vales do rio Tua e rio Maças, bem como a área montanhosa do Parque Natural do Montesinho a norte e o sinclinal de Moncorvo a sul), sobretudo quando combinados com a classe de Matos ou as diversas florestas. As áreas de susceptibilidade mais baixo correspondem a às massas de água, seguidas das áreas mais aplanadas onde também encontramos uma boa parte da agricultura e dos territórios artificializados. A combinação destas condições de baixa susceptibilidade resulta num valor baixo no modelo. Tal é visível nas áreas centrais do distrito, assim como em Miranda do Douro no oeste do distrito. Este é um bom local para ver o efeito da rede viária. Aqui conseguimos distinguir o efeito da faixa dos 100m em redor das estradas que foi delimitada aquando a normalização. Este factor aumenta a susceptibilidade em áreas cujo o valor de susceptibilidade seria reduzido devido ao que já vimos acima. Estas são

também áreas de baixa densidade, sendo esta uma variável com pouca força nestas áreas.



Fonte: Carta Militar de Portugal 1:25,000; Carta Administrativa Oficial de Portugal 2018; COS2018; OpenStreetMap; Diva-GIS.

Figura 13 - Susceptibilidade a incêndio florestal no distrito de Bragança.

Tabela 5 - Distribuição de pixéis e áreas por classe de susceptibilidade.

Suscetibilidade	Nº Pixéis	Área (km ²)	Área (%)
Muito Baixa	384938	38.49	0.6
Baixa	12348472	1234.85	18.7
Média	22436405	2243.64	34.0
Elevada	19035064	1903.51	28.9
Muito Elevada	11731008	1173.11	17.8

7. Análises ao modelo

7.1 - V)

A Tabela 5 discrimina os resultados do modelo de susceptibilidade em termos de área. Esta área foi calculada directamente do raster, partindo do princípio que cada pixel equivale a 100m² (10 x 10m). Assim, obter um o valor da área em quilómetros quadrados é uma questão de multiplicar o numero de pixéis por 100 e converter os metros quadrados para quilómetros quadrados. Foi adicionada também a percentagem de ocupação

de cada classe para uma melhor compreensão dos valores. Vemos então que a classe mais abundante é a média, abrangendo cerca de 2243.6km², ou 34% do território. A classe mais limitada, como se via claramente no mapa, é a “Muito Baixa”, com apenas 0.6% do território sob a sua alçada. Respondendo à pergunta fundamental, vemos que a classe “Muito Elevada”, correspondente a valores de susceptibilidade superiores a 0.7, é a segunda classe menos presente no modelo, ocupando 1173.11km² (17.8%).

7.2 - VI)

Para efeitos de ordenamento e planeamento de território é importante estimar o número de residentes nestas áreas de maior susceptibilidade. Para tal foi extraída a classe de “Muito Elevada” pelo “Raster Calculator”, através da seguinte expressão:

$$\text{“Con(“sus_AHP” == 5, I)”}$$

Esta expressão criou um novo raster onde apenas existe a classe 5, equivalente à “Muito Elevada”, deixando as restantes de parte. Seguidamente este novo raster foi convertido para shapefile de modo a efectuar um “Intersect” com a BGRI11. Feito isto calculou-se a área de cada subsecção na shapefile do intersect, de forma a obter apenas a área de cada subsecção presente nas áreas de alta susceptibilidade. Seguidamente aplicou-se a expressão

$$\text{“população residente * área parcial da subsecção / área total da subsecção”}$$

A partir da expressão acima obtemos a população estimada de cada subsecção dentro de zonas de alta susceptibilidade. Um simples somatório revela que o número aproximado de residentes em áreas de grande susceptibilidade é de aproximadamente 2102 pessoas, equivalente 1.5% da população total do distrito. Este valor é uma estimativa pois não sabemos a distribuição destes residentes dentro de cada subsecção.

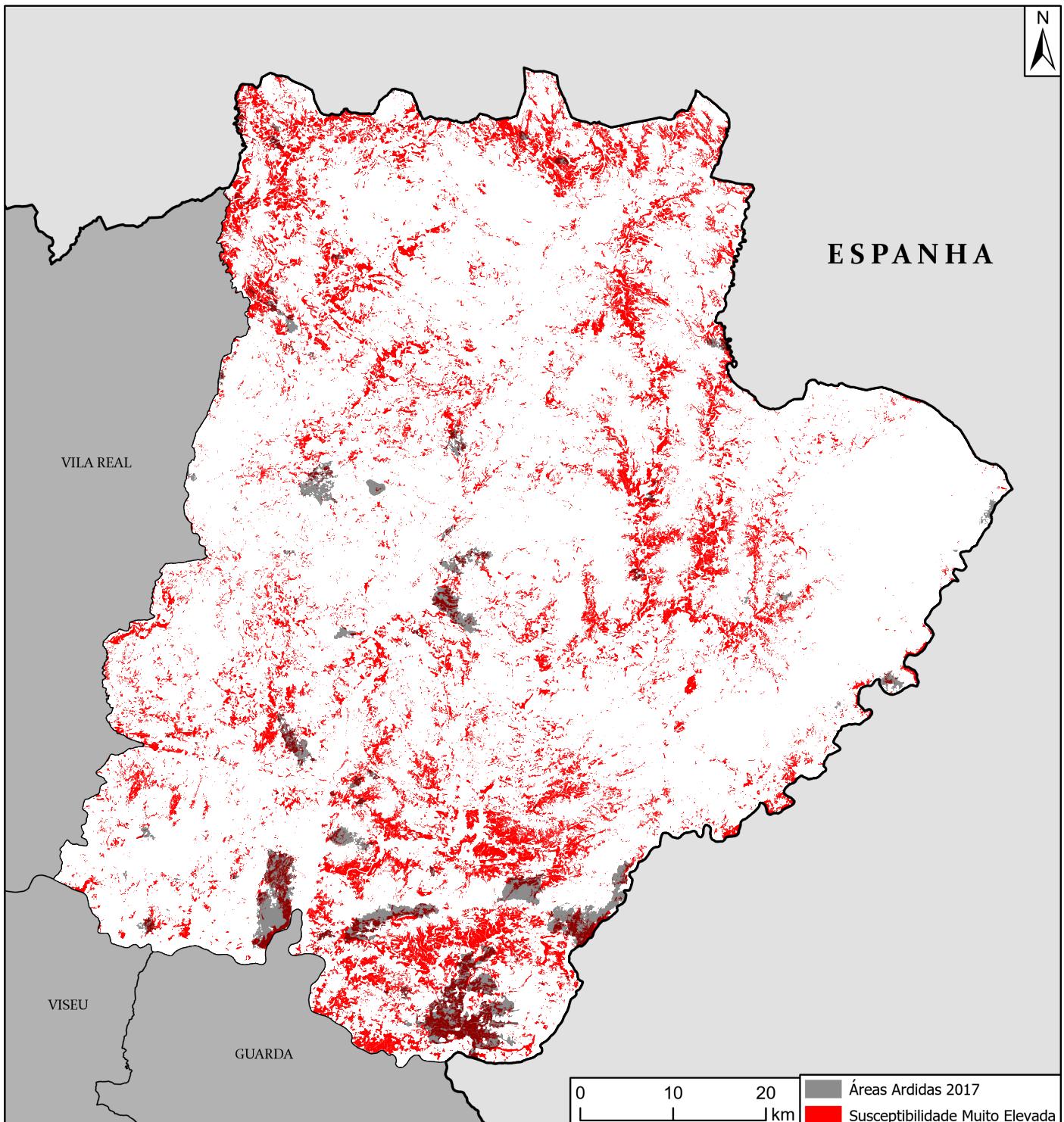
7.3 - VII)

Relativamente às áreas ardidas em 2017, arderam cerca de 5566km², segundo os dados do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). Para identificar a área ardida sobreposta às áreas de maior susceptibilidade foi efectuado um “Clip” às áreas ardidas pela shapefile das áreas de susceptibilidade “Muito Elevada”. Esta sobreposição exibe uma área de 89.5km². Um simples cálculo revela 1.6% como sendo a resposta à questão colocada. Comparemos agora apenas com as áreas ardidas em 2017 no distrito de Bragança. Um “Clip” às áreas ardidas pelo distrito de Bragança disponibiliza as mesmas apenas no distrito. Verifica-se uma área de 214.6km² ardidos em 2017 em Bragança. Cruzando este valor com os 89.5km² anteriormente calculados, descobrimos que cerca de 41.7% da área ardida do distrito de Bragança, em 2017, encontra-se em áreas marcadas como “Muito Elevada” no modelo proposto (Figura 14).

Na Figura 15 temos conseguimos visualizar este fenómeno, onde se vê nitidamente a sobreposição do modelo com a realidade do que ardeu. Muitos dos incêndios registados encontram-se parcialmente sobrepostos à área identificada como de grande susceptibilidade, existindo alguns cuja sobreposição é bastante significativa. Estes encontram-se sobretudo no sul do distrito, nas municipalidades de Torre de Moncorvo e Freixo de Espada à Cinta. Esta foi uma das áreas identificadas mais densas em termos de susceptibilidade elevada, e os dados de 2017 suportam essa hipótese, já que aqui encontramos os maiores incêndios do distrito nesse ano. A norte, na Serra do Montesinho, temos também alguns incêndios, de menor dimensão, no que foi também identificada com uma área de alta susceptibilidade. Sendo estes dados de apenas um ano, não seria correcto extrapolar uma tendência deles. Ainda assim, tendo em conta o escopo do trabalho, consideramos que esta coincidência de dados dá alguma legitimidade ao modelo.

7.4 - VIII)

Para responder à ultima questão foram inicialmente identificados os aglomerados urbanos. Para tal consideraram-se quatro classes da COS18, nomeadamente: 1.1.1.1 Tecido edificado contínuo predominantemente vertical; 1.1.1.2 Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal; 1.1.2.1 Tecido edificado descontínuo; 1.1.2.2 Tecido edificado descontínuo esparso. Foi construído um buffer de 100 m com base nesta selecção de classes. Foi também construído um buffer de 10m com base nas estradas, sendo ambos aglomerados através de um “Merge”. Aqui compuamos uma área de protecção com 55920.6ha. Com base nos valores limpeza, foi determinado um custo de limpeza entre 1,956,710€ e 67,104,720€.



Fonte: ICNF; Carta Militar de Portugal 1:25000; BRGI2011; Carta Administrativa Oficial de Portugal 2018; COS2018; Diva-GIS.

Figura 14 - Sobreposição das áreas ardidas em 2017 com as zonas de susceptibilidade “Muito Elevada” no distrito de Bragança.

8. Conclusão e considerações finais

Bragança é um distrito vasto e esparsamente povoado, estando as populações concentradas nas principais cidades. Daqui deriva um distrito muito florestado e agrícola, com pouco desenvolvimento urbano. Isto proporciona um ambiente capaz de potenciar grandes incêndios. O modelo produzido revela tal, mostrando 17.8% do distrito com susceptibilidade “Muito Elevada”. Esta susceptibilidade elevada está concentrada em três áreas genéricas: o sinclinal de Moncorvo, os vales do alto Sabor e Maçãs, e o Parque Natural do Montesinho. Estas áreas em especial deveriam ter planos detalhados e recursos para a prevenção e combate aos incêndios florestais. Este planeamento deveria ter em consideração a preservação das áreas naturais, bem como a segurança das pessoas lá residentes, ainda que sejam de número reduzido.

Em relação ao desenvolvimento do trabalho, cremos que as variáveis utilizadas se adequaram ao

aria nos pesos dos factores. O essencial é escolher os factores mais pertinentes, sem sobrecarregar o modelo com informação. Algumas variáveis poderiam ter sofrido um tratamento mais particular, em particular a rede viária. Pensamos que a exclusão de certos tipos de vias, tais como os caminhos de terra teriam sido vantajosos para o modelo. Esta recomendação poderia também ser aplicada ao ponto 6.4, já que estas vias não teriam de possuir uma margem de segurança de 10m, visto estarem maioritariamente presentes entre campos agrícolas.

Não obstante, o trabalho cumpriu os seu objectivo principal de construir um modelo de susceptibilidade e de proceder às analises complementares. Devido à sobreposição de 41.7% entre o modelo e as áreas ardidas somos da opinião que este tem alguma qualidade. Seria talvez apropriado proceder a algum tipo de teste de sucesso ao modelo.

9. Bibliografia

Antunes, C. C., Viegas, D. X., & Mendes, J. M. (2011). Avaliação do risco de incêndio florestal no Concelho de Arganil. *Silva Lusitana*, 19(2), 165-179.

Geirinhas, J. (2001). BGRI-Base Geográfica de Referenciação de Informação: conceitos e metodologias. *Revista de Estudos Regionais*, 2, 67-73.

Verde, J. C., & Zêzere, J. L. (2010). Assessment and validation of wildfire susceptibility and hazard in Portugal. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 10(3).

Verde, J., & Zêzere, J. L. (2008). Avaliação da perigosidade de incêndio florestal. Disponível on-line em: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/informacoes/cartografia/cartografia-de-risco-mapa-de-perigosidade-de>. Último acesso em, 1(10), 08.

10. Fontes de dados

Carta Militar de Portugal 1:25000 - Folhas 9A-13, 22-26, 35-39, 48-53, 62-67, 76-81, 89-95, 103-108A, 116-121, 128-132, 141, 142 e 142A (altimetria e hidrografia);

Carta de Ocupação do Solo 2018 - disponível em http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/cartografia_de_uso_e_ocupacao_do_solo_cos_clc_e_copernicus/ ;

Carta Administrativa Oficial de Portugal 2018 - disponível em http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/carta_administrativa_oficial_de_portugal_caop/ ;

Base Geográfica de Referenciação de Informação 2011 - disponível em <http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml>;

OpenStreetMap - rede viária disponível em <https://download.geofabrik.de/europe/portugal.html> ;

DivaGIS - Limites de Espanha disponíveis em <https://www.diva-gis.org/datadown>.

