

# **Estudo de Cartografia da Sensibilidade a Perigos Climáticos para o Continente e Ilhas**

## **Relatório 1**

### Continente

23 de junho de 2025



**CEG**

Centro de Estudos Geográficos



Instituto de Geografia  
e Ordenamento do Território  
UNIVERSIDADE DE LISBOA

**Equipa de Trabalho:**

José Luís Zêzere (Coordenador)

Raquel Melo

Beatriz Duarte

Guilherme Rodrigues

## Índice

|   |    |
|---|----|
| 1. Introdução .....   | 6  |
| 2. Cenarização Climática .....                              | 7  |
| 3. Sensibilidade ao Calor Excessivo .....                   | 9  |
| 4. Sensibilidade à Precipitação Intensa .....               | 13 |
| 5. Sensibilidade ao Vento Intenso .....                     | 17 |
| 6. Sensibilidade aos Incêndios Rurais/Florestais .....      | 22 |
| 7. Sensibilidade às Inundações Fluviais.....                | 29 |
| 8. Sensibilidade às Inundações Costeiras e Estuarinas ..... | 34 |
| 9. Sensibilidade à Instabilidade de Vertentes .....         | 38 |
| Referências.....  | 46 |

## Índice de Figuras

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1 – Sensibilidade ao calor extremo em Portugal continental em 2071-2100 (cenário RCP 8.5)</b>   | <b>10</b> |
| <b>Figura 2 – Perigo de calor excessivo em Portugal continental</b>   | <b>11</b> |
| <b>Figura 3 – Sensibilidade à precipitação intensa em Portugal continental em 2071-2100 (cenário RCP 8.5)</b>   | <b>15</b> |
| <b>Figura 4 – Perigo de precipitação intensa em Portugal continental</b>  | <b>16</b> |
| <b>Figura 5 – Sensibilidade ao vento intenso em Portugal continental, na atualidade e em 2071-2100 (cenário RCP 8.5)</b>  | <b>19</b> |
| <b>Figura 6 – Perigo de vento intenso em Portugal continental</b>   | <b>20</b> |
| <b>Figura 7 – Curva de predição do modelo de suscetibilidade a incêndios rurais/florestais em Portugal continental. As linhas a vermelho definem as 10 classes de suscetibilidade identificadas</b>       | <b>24</b> |
| <b>Figura 8 – Sensibilidade aos incêndios rurais/florestais em Portugal continental, em 2080 (cenário RCP 8.5)</b>  | <b>27</b> |
| <b>Figura 9 – Perigo de incêndio rural/florestal em Portugal continental</b>  | <b>28</b> |
| <b>Figura 10 – Perigo de inundação fluvial em Portugal continental</b>  | <b>32</b> |
| <b>Figura 11 – Perigo de inundação costeira e estuarina em Portugal continental</b>   | <b>36</b> |
| <b>Figura 12 – Curva de predição do modelo de suscetibilidade a movimentos de massa em vertentes em Portugal continental. As linhas a vermelho definem as 12 classes de suscetibilidade identificadas</b> | <b>39</b> |
| <b>Figura 13 – Sensibilidade à instabilidade de vertentes em Portugal continental, em 2100 (cenário RCP 8.5)</b>  | <b>43</b> |
| <b>Figura 14 – Perigo de instabilidade de vertentes em Portugal continental</b>   | <b>44</b> |

## Índice de Tabelas

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabela 1 – Área sensível ao perigo de calor excessivo nos distritos de Portugal continental</b>  | <b>12</b> |
| <b>Tabela 2 – Área sensível ao perigo de precipitação intensa nos distritos de Portugal continental</b>   | <b>14</b> |
| <b>Tabela 3 – Classes de intensidade média do vento (Fonte: IPMA e escala de Beaufort)</b>  | <b>18</b> |
| <b>Tabela 4 – Área sensível ao perigo de vento intenso nos distritos de Portugal continental</b>  | <b>21</b> |
| <b>Tabela 5 – Probabilidade anual atual de ocorrência de incêndios rurais/florestais (por célula de 625 m<sup>2</sup>)</b>  | <b>24</b> |
| <b>Tabela 6 – Áreas ardidas médias anuais (hectares) projetadas para 2080 nos clusters NW e SW da península Ibérica, no cenário RCP 8.5 (baseado em Sousa et al., 2015)</b>   | <b>25</b> |
| <b>Tabela 7 – Área sensível ao perigo de incêndio rural/florestal nos distritos de Portugal continental</b>   | <b>26</b> |
| <b>Tabela 8 – Área sensível ao perigo de inundação fluvial nos distritos de Portugal continental</b>  | <b>33</b> |
| <b>Tabela 9 – Períodos de retorno (em anos) da “cheia centenária” atual projetada para o final do século XXI, no cenário RCP 8.5</b>  | <b>33</b> |
| <b>Tabela 10 – Área sensível ao perigo de inundação costeira e estuarina nos distritos de Portugal continental</b>  | <b>37</b> |
| <b>Tabela 11 – Probabilidade anual atual de ocorrência de movimentos de massa em vertentes (por célula de 625 m<sup>2</sup>)</b>  | <b>40</b> |
| <b>Tabela 12 – Limiares empíricos de precipitação para o desencadeamento de movimentos de massa em vertentes em 4 regiões de Portugal continental. P – Precipitação crítica em mm; D = número de dias consecutivos (fonte dos dados: Vaz, 2021)</b> | <b>41</b> |
| <b>Tabela 13 – Área sensível ao perigo de instabilidade de vertentes nos distritos de Portugal continental</b>  | <b>45</b> |

## 1. Introdução

Este relatório corresponde ao primeiro entregável do contrato nº 125/2025 estabelecido entre o Estado Português, através da Autoridade de Gestão do Sustentável 2030 e o Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (IGOT) da Universidade de Lisboa, que tem como objeto a cooperação entre as partes para a Elaboração do Estudo de Cartografia da Sensibilidade a Perigos Climáticos par o Continente e Ilhas. Em concreto, o IGOT obriga-se a realizar a referida cartografia para as condições de um cenário equivalente ao RCP 8.5, para o horizonte temporal do fim do século XXI (período 2070-2100), para os seguintes perigos climáticos: calor excessivo, precipitação intensa, vento intenso, incêndios rurais/florestais, inundações fluviais, inundações costeiras e estuarinas, e instabilidade de vertentes.

Esta cartografia deverá constituir um documento de suporte à verificação preliminar – Fase 1 (adaptação) da resiliência climática e adaptação às alterações climáticas, de acordo com as orientações técnicas sobre a resistência às alterações climáticas das infraestruturas, vertidas no documento 2021/C 373/01 da Comissão Europeia, publicado no Jornal Oficial da União Europeia.

Neste relatório apresentam-se as bases conceituais e metodológicas que sustentam a avaliação e cartografia de perigos climáticos atrás referidos. Adicionalmente, o relatório incluir os resultados obtidos para Portugal continental. Os resultados para as ilhas dos arquipélagos da Madeira e Açores serão objeto de um segundo entregável.

A avaliação da incidência espacial de cada perigo climático é sustentada pela aplicação de métodos técnico-científicos reconhecidos, ajustados a uma análise à escala nacional e aos dados e literatura científica disponíveis, sendo realizada separadamente para cada tipo de processo. O mapeamento da sensibilidade a cada perigo foi efetuado com o recurso a métodos estado-da-arte de cartografia direta e indireta, em ambiente SIG.

## 2. Cenarização Climática

A Cartografia da Sensibilidade a Perigos Climáticos em Portugal no final do século XXI baseia-se em informação climática futura (projeções) com recurso a diferentes modelos, ajustados a cada um dos perigos climáticos considerados.

Um cenário climático é uma simulação numérica do clima no futuro, baseada em modelos de circulação geral da atmosfera e na representação do sistema climático e dos seus subsistemas (adaptado do IPCC, 2013).

As projeções climáticas utilizam cenários de concentrações de gases de efeito de estufa (GEE) como dados de entrada (inputs) nos modelos climáticos, designados por *Representative Concentration Pathways* (RCP) (IPCC, 2013). Estes cenários representam emissões esperadas de GEE em função de diferentes evoluções futuras do desenvolvimento socioeconómico global.

Neste trabalho optou-se por considerar um cenário climático pessimista (RCP 8.5), que pressupõe uma concentração de CO<sub>2</sub> próxima de 950 ppm (partes por milhão) em 2100. A concentração atual de CO<sub>2</sub> na atmosfera aproxima-se de 400 ppm. Deste modo, o RCP 8.5 é um patamar elevado para cada forçamento radiativo e superior a 8,5 Wm<sup>-2</sup> em 2100, continuando a aumentar durante algum tempo.

A informação climática de base utilizada neste trabalho está disponível em duas fontes fundamentais:

- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera (através do ‘Portal do Clima’). A informação do projeto ‘Portal do Clima’ fornece dados de projeções climáticas do IPCC AR5 (projeto CORDEX) com desagregação em diferentes períodos de tempo, bem como a estimativa de indicadores agregados;
- EURO-CORDEX: *Coordinated Downscaling Experiment - European Domain*, projeto que corresponde ao ramo europeu da iniciativa do *World Climate Research*

*Programme* (WCRP, WMO), destinada a desenvolver projeções climáticas regionais para todo o mundo, no âmbito do IPCC AR5. No sítio do EURO-CORDEX está detalhada toda a informação relativa às simulações para o domínio europeu, dos diferentes modelos regionais disponíveis.

Os dados para a cenarização foram descarregados do sítio do ‘Portal do Clima’, estando disponíveis em malhas regulares rodadas, em formato netCDF (*Network Common Data Form*), com uma resolução espacial de 0,11° (aproximadamente 12 km de espaçamento entre pontos da grelha).

Na cenarização do clima futuro utilizou-se o *ensemble* dos modelos climáticos regionais, a partir do *ensemble* dos modelos globais, disponíveis no Portal do Clima, para o final do século (2071-2100).



### 3. Sensibilidade ao Calor Excessivo

A caracterização da sensibilidade territorial ao Calor Excessivo foi efetuada tendo como referência a distribuição espacial dos dias muito quentes (com temperatura máxima  $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ), para os últimos 30 anos do século XXI (2071-2100) e o cenário climático RCP 8.5. Na cenarização do clima futuro utilizou-se o *ensemble* dos modelos climáticos regionais, a partir do *ensemble* dos modelos globais, disponíveis no Portal do Clima(<http://portaldoclima.pt/pt/>).

Os dados originais, com uma resolução espacial de  $0,11^{\circ}$  (aproximadamente 12 km de espaçamento entre pontos da grelha), foram convertidos em pontos e interpolados espacialmente com o método *EBK Regression Prediction* (EBKRP), que é um método de regressão-krigagem que utiliza variáveis explicativas (no caso, o modelo digital do terreno) para melhorar a interpolação.

A sensibilidade ao calor extremo no final do século XXI, no cenário RCP 8.5, está representada na **Figura 1** e mostra uma variação espacial no número de dias muito quentes (com  $T_{\text{máx}} \geq 35^{\circ}\text{C}$ ) ao longo do ano entre 1 dia (em algumas partes do litoral ocidental) e mais de 70 dias (na margem esquerda do Rio Guadiana).

A delimitação da zona de perigo de calor excessivo tem como referência os 30 dias anuais com temperatura máxima  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  e é apresentada na **Figura 2**. A **Tabela 1** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nos distritos de Portugal continental. No total, a área perigosa abrange cerca de 50% do território, com destaque para os distritos de Évora, Portalegre, Beja, Santarém, Setúbal e Castelo Branco, onde a superfície abrangida corresponde a mais de 72% do distrito. Em situação oposta encontram-se os distritos de Viana do Castelo, Braga e Porto, sem qualquer território incluído na classe de perigo de calor excessivo.

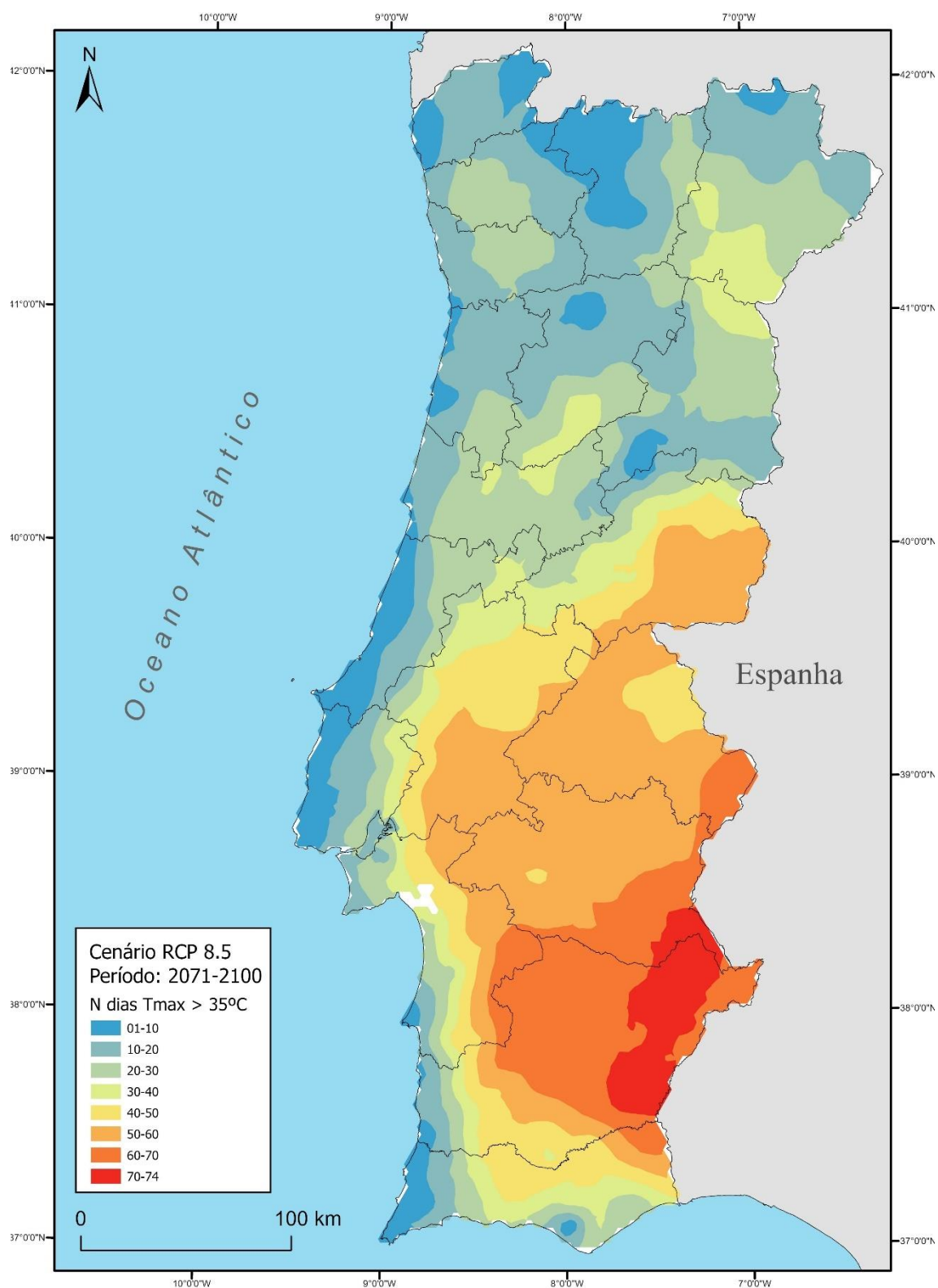


Figura 1 – Sensibilidade ao calor extremo em Portugal continental em 2071-2100 (cenário RCP 8.5)

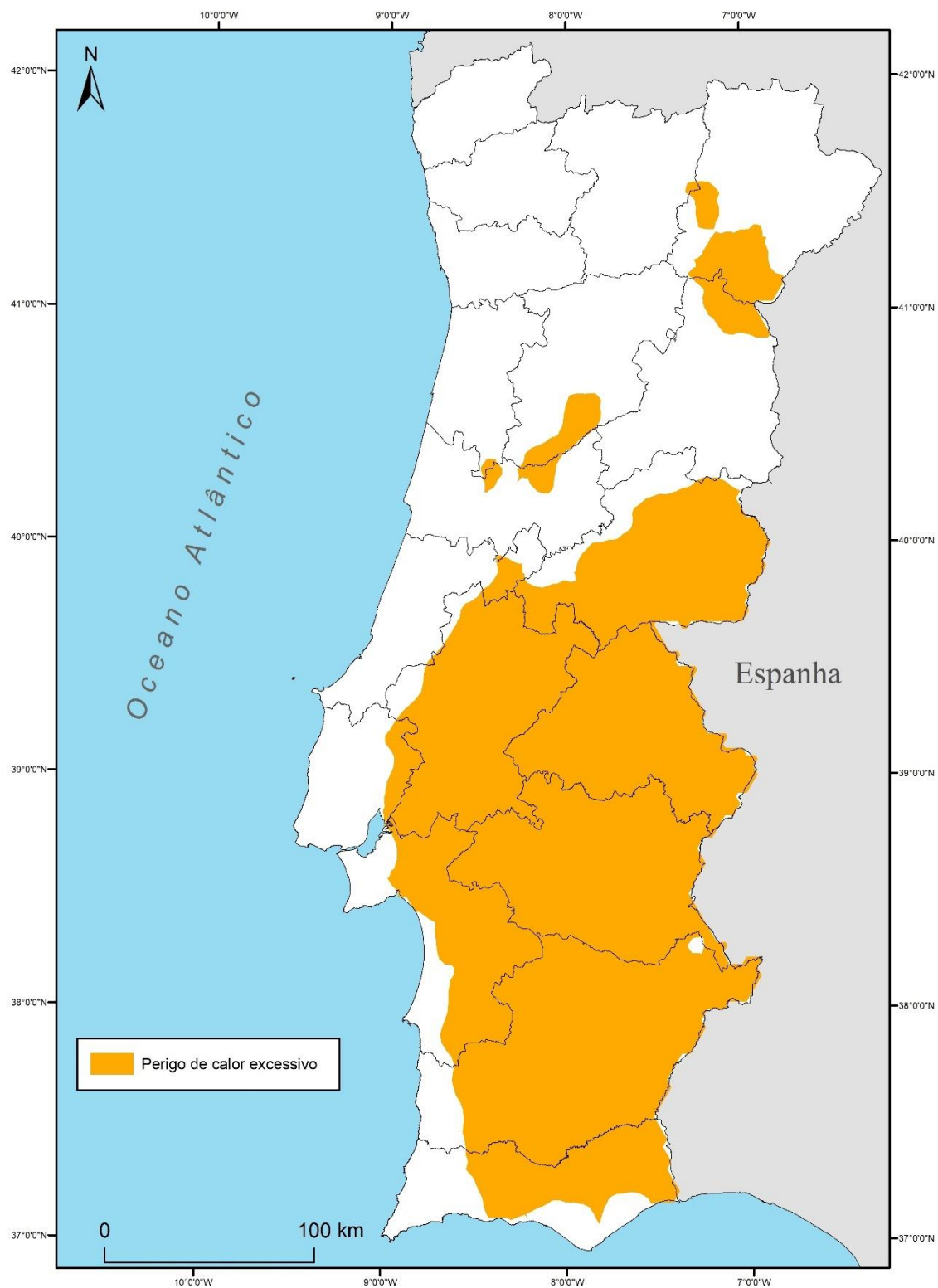


Figura 2 – Perigo de calor excessivo em Portugal continental

**Tabela 1 – Área sensível ao perigo de calor excessivo nos distritos de Portugal continental**

| <b>DISTRITO</b>  | <b>Área perigosa (hectares)</b> | <b>% distrito</b> |
|------------------|---------------------------------|-------------------|
| AVEIRO           | 3392                            | 1,2               |
| BEJA             | 938308                          | 91,4              |
| BRAGA            | 0                               | 0,0               |
| BRAGANÇA         | 123778                          | 18,8              |
| CASTELO BRANCO   | 529579                          | 79,9              |
| COIMBRA          | 27924                           | 7,0               |
| ÉVORA            | 737163                          | 99,7              |
| FARO             | 282033                          | 56,4              |
| GUARDA           | 52600                           | 9,5               |
| LEIRIA           | 25401                           | 7,2               |
| LISBOA           | 46274                           | 16,4              |
| PORTALEGRE       | 604872                          | 99,4              |
| PORTO            | 0                               | 0,0               |
| SANTARÉM         | 623420                          | 92,8              |
| SETÚBAL          | 374985                          | 71,9              |
| VIANA DO CASTELO | 0                               | 0,0               |
| VILA REAL        | 2657                            | 0,6               |
| ISEU             | 54261                           | 10,8              |
| <b>TOTAL</b>     | <b>4426646</b>                  | <b>49,7</b>       |

## 4. Sensibilidade à Precipitação Intensa

Os melhores dados disponibilizados pelo Portal do Clima (<http://portaldoclima.pt/pt/>) relativos a quantitativos de precipitação intensa consistem na precipitação máxima acumulada em 5 dias. Considera-se que esta variável tem limitações evidentes para avaliar o efeito da precipitação intensa sobre estruturas e infraestruturas, uma vez que não capta eventos de curta duração (algumas horas em muitos casos) que podem ser responsáveis por cheias rápidas e inundações urbanas, com elevados impactos territoriais.

Neste quadro, recorreu-se diretamente às projeções climáticas do EURO-CORDEX, com uma resolução espacial de 12 km, para estimar a precipitação máxima diária com período de retorno de 10 anos, no final do século XXI (2071–2100), considerando o cenário de emissões RCP 8.5. As séries temporais, provenientes do conjunto de dados EURO-CORDEX, resultam da combinação do modelo climático global ICHEC EC EARTH com o modelo climático regional RACMO22E do KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut). Estes modelos foram escolhidos para projeções em Portugal continental porque o modelo climático global EC EARTH fornece uma representação abrangente da dinâmica climática em larga escala, enquanto o modelo climático regional RACMO22E refina essas projeções com dados de alta resolução adaptados à Europa. Além disso, como destacado por Soares *et al.* (2017) na sua avaliação da qualidade das simulações históricas dos Modelos Climáticos Regionais com resolução de 0.11° no EURO-CORDEX para precipitação anual, o modelo KNMI-ICHEC demonstrou melhor concordância espacial com os dados observados.

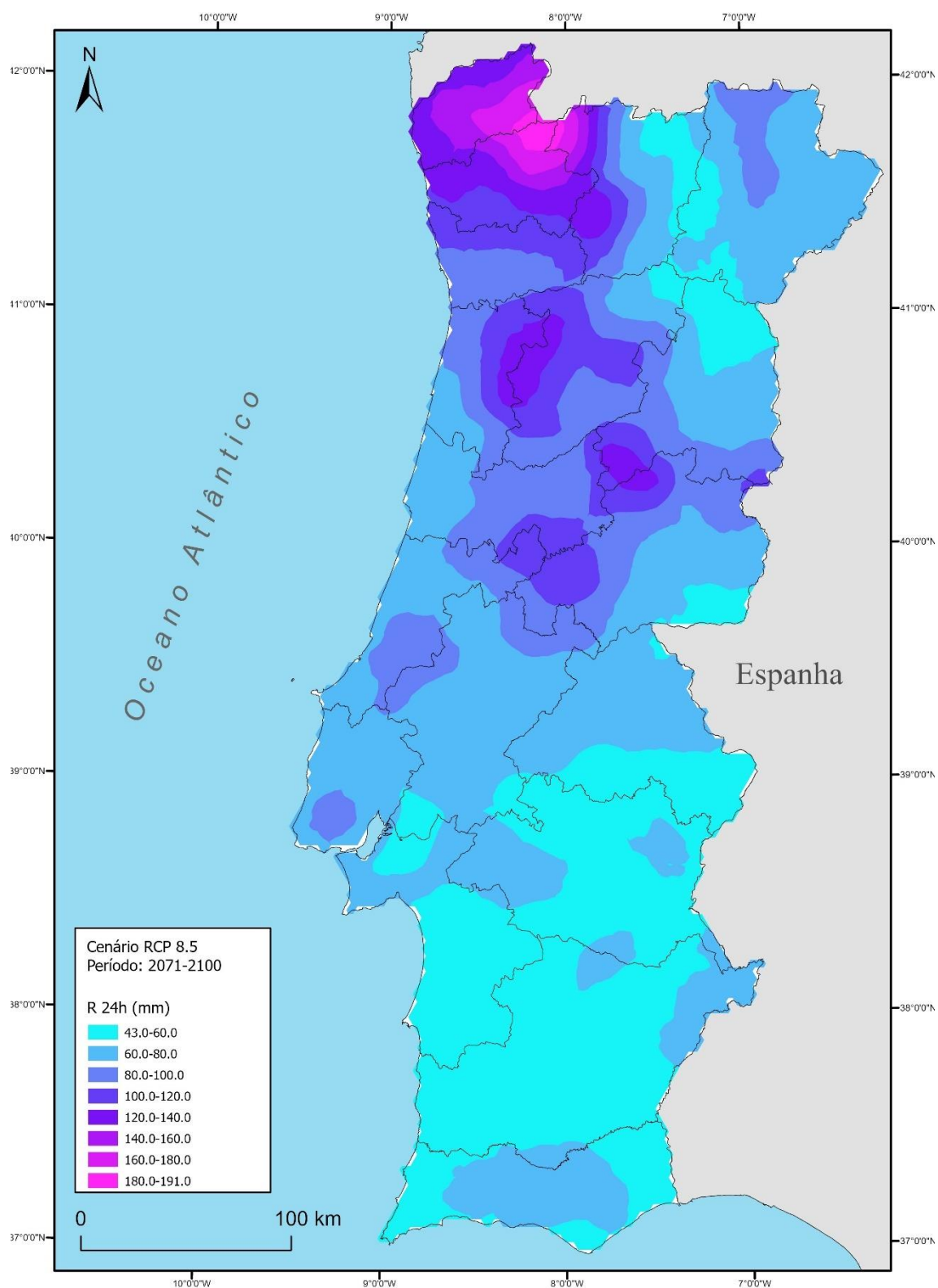
Como no caso do calor extremo, os dados originais, com uma resolução espacial de 12 km, foram convertidos em pontos e interpolados espacialmente com o método *EBK Regression Prediction* (EBKRP), utilizando o modelo digital do terreno para melhorar a interpolação.

A sensibilidade à precipitação intensa no final do século XXI, no cenário RCP 8.5, está representada na **Figura 3** e mostra uma variação espacial na precipitação máxima em 24 horas ao longo do ano entre 43 mm (nas bacias dos rios Guadiana e Sado) e mais de 180 mm (nas montanhas do NW de Portugal).

A delimitação da zona de perigo de precipitação intensa tem como referência os 100 mm de precipitação acumulada em 24 horas e é apresentada na **Figura 4**. A **Tabela 2** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nos distritos de Portugal continental. No total, a área perigosa abrange cerca de 15% do território, ocorrendo exclusivamente a norte do rio Tejo e abrangendo quase na totalidade os distritos de Viana do Castelo e Braga.

**Tabela 2 – Área sensível ao perigo de precipitação intensa nos distritos de Portugal continental**

| <b>DISTRITO</b>  | <b>Área perigosa (hectares)</b> | <b>% distrito</b> |
|------------------|---------------------------------|-------------------|
| AVEIRO           | 110293                          | 39,4              |
| BEJA             | 0                               | 0,0               |
| BRAGA            | 269761                          | 99,7              |
| BRAGANÇA         | 0                               | 0,0               |
| CASTELO BRANCO   | 127198                          | 19,2              |
| COIMBRA          | 75066                           | 18,9              |
| ÉVORA            | 0                               | 0,0               |
| FARO             | 0                               | 0,0               |
| GUARDA           | 66820                           | 12,1              |
| LEIRIA           | 31347                           | 8,9               |
| LISBOA           | 0                               | 0,0               |
| PORTALEGRE       | 0                               | 0,0               |
| PORTO            | 105623                          | 45,3              |
| SANTARÉM         | 45                              | 0,0               |
| SETÚBAL          | 0                               | 0,0               |
| VIANA DO CASTELO | 219198                          | 98,8              |
| VILA REAL        | 143540                          | 33,3              |
| UISEU            | 222405                          | 44,4              |
| <b>TOTAL</b>     | <b>1371296</b>                  | <b>15,4</b>       |



**Figura 3 – Sensibilidade à precipitação intensa em Portugal continental em 2071-2100  
 (cenário RCP 8.5)**

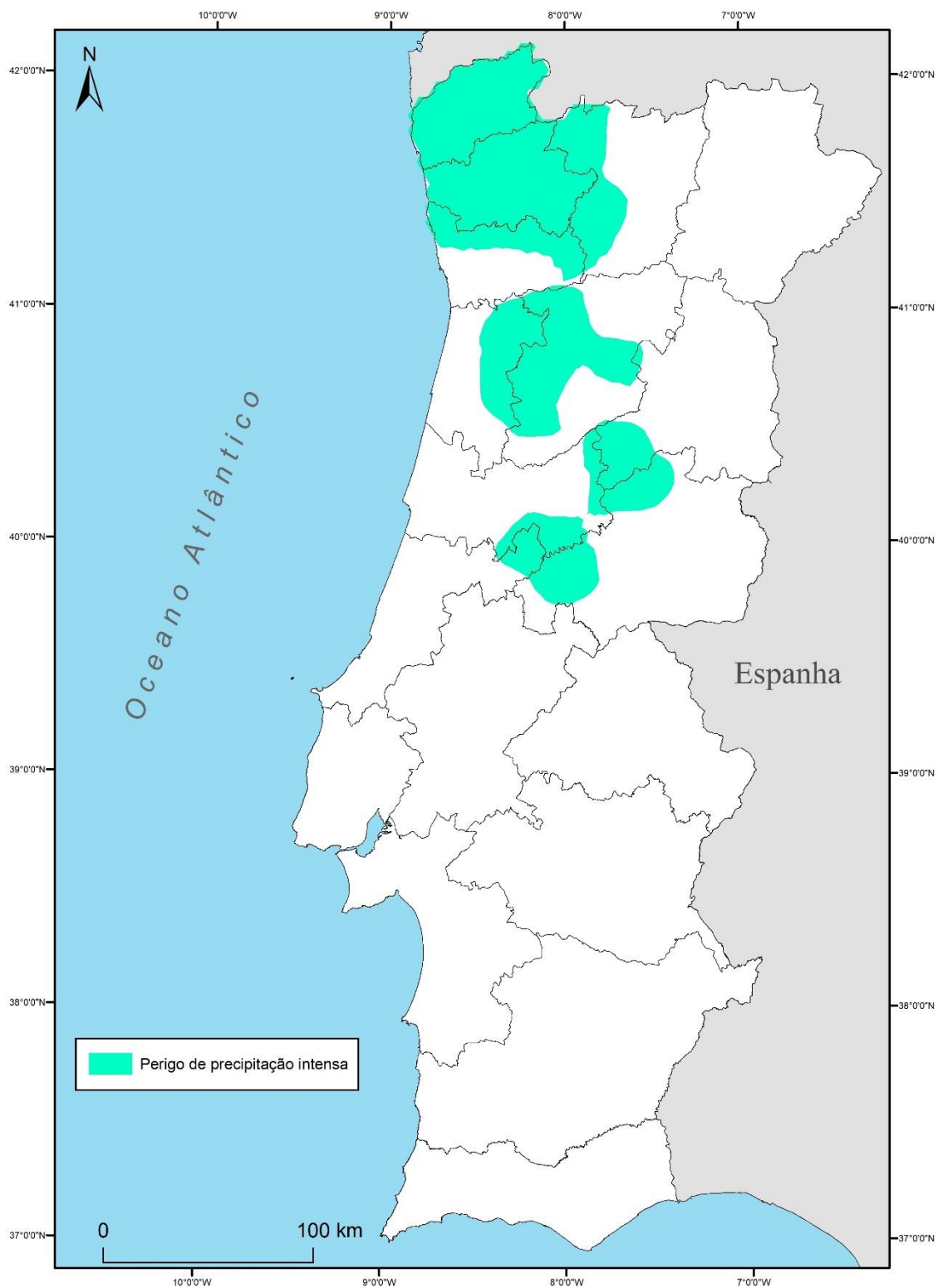


Figura 4 – Perigo de precipitação intensa em Portugal continental



## 5. Sensibilidade ao Vento Intenso

Idealmente, a sensibilidade às tempestades de vento intenso deveria ser avaliada a partir de dados de rajadas máximas do vento, mas esses dados não estão disponíveis. Por esta razão, a probabilidade de ocorrência de vento intenso foi classificada em função da intensidade média do vento, a 10 m de altura acima da superfície topográfica. Assume-se que, quanto mais elevada é a intensidade média do vento, maior será a probabilidade de ocorrência de rajadas de vento forte.

O tema da intensidade do vento foi obtido do *Global Wind Atlas* (GWA 3.1) [<https://globalwindatlas.info>], que é o resultado de uma parceria entre o departamento de energia eólica da Technical University of Denmark (DTU Wind Energy) e o World Bank Group.

O GWA utiliza um processo de *downscaling*. Os dados climáticos eólicos em pequena escala são obtidos por reanálise atmosférica, recorrendo ao conjunto de dados ERA5 do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), para o período de simulação 2008-2017. Os dados estão condensados numa grelha com um espaçamento de aproximadamente 30 km. Estes dados são utilizados numa segunda etapa para forçar o modelo de mesoscala WRF, usando um espaçamento de grelha de 3 km. Esta grelha é usada para generalizar um conjunto de climas de vento, que são considerados no sistema de modelação em microescala, que consiste num cálculo WAsP de climas eólicos locais para cada 250 m a cinco alturas: 10 m; 50 m; 100 m; 150 m; e 200 m.

A modelação WAsP entra em consideração com a topografia, orografia, uso do solo e rugosidade do terreno. A variável modelada neste trabalho corresponde à velocidade média do vento, a 10m de altura acima da superfície topográfica.

A sensibilidade à ocorrência de vento intenso foi classificada em 5 classes em função da intensidade média do vento, conjugando a classificação sugerida pelo IPMA com a escala de Beaufort (**Tabela 3**). Assume-se que a probabilidade de ocorrência de ventos fortes e

muito forte tem uma forte correlação espacial com a distribuição da intensidade média do vento.

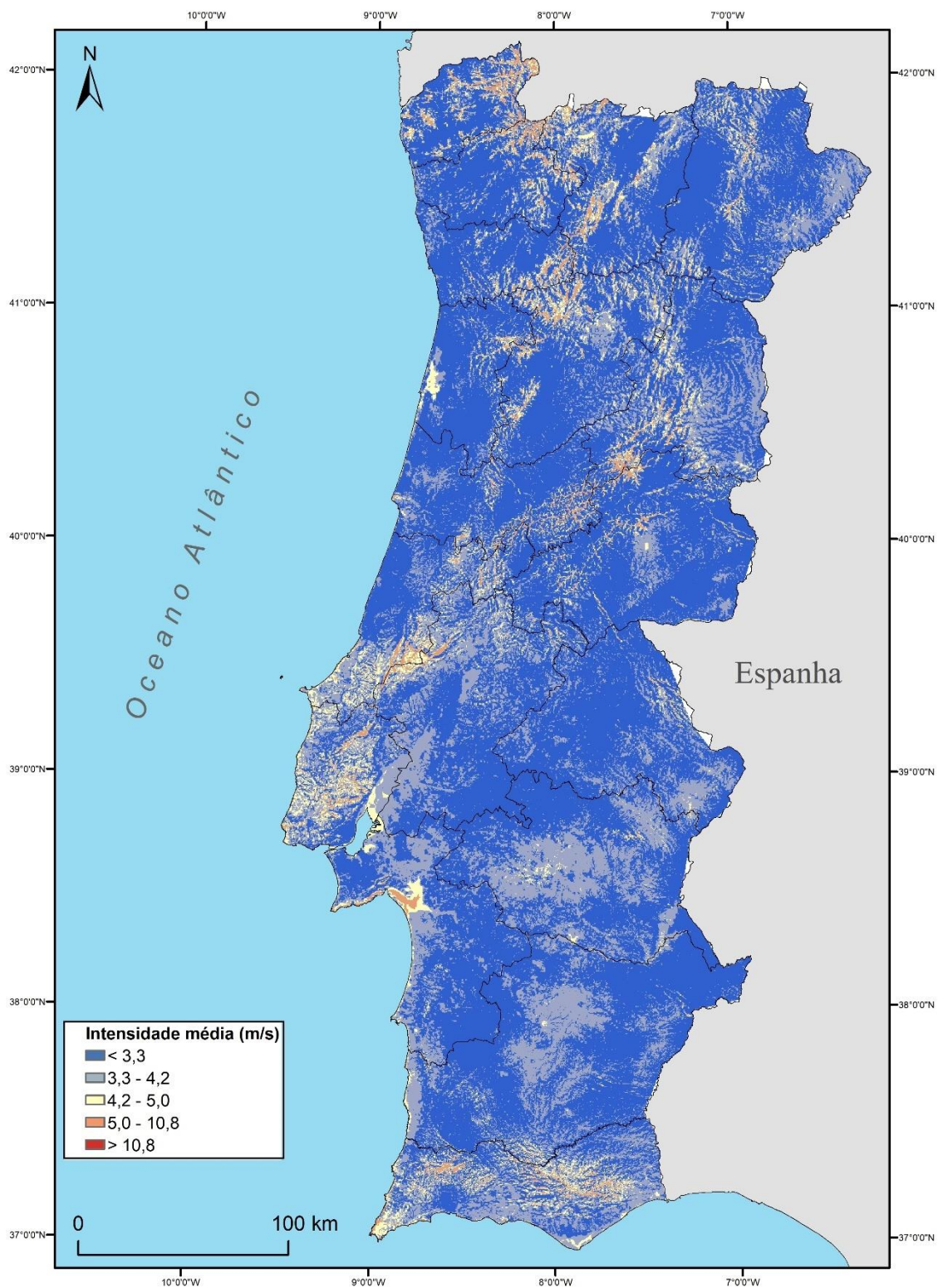
**Tabela 3 – Classes de intensidade média do vento (Fonte: IPMA e escala de Beaufort)**

| Classe de intensidade | Velocidade (m/s) |
|-----------------------|------------------|
| Muito baixa           | < 3,3            |
| Baixa                 | 3,3 – 4,2        |
| Moderada              | 4,2 – 5,0        |
| Elevada               | 5,0 – 10,8       |
| Muito elevada         | > 10,8           |

Uma vez que as projeções do modelo *ensemble* disponibilizado pelo Clima de Portugal para 2071-2100 no cenário RCP 8.5 antecipam, globalmente, a manutenção das condições que se fazem sentir atualmente, considera-se que o mapa que traduz as condições atuais de suscetibilidade ao vento intenso permanece válido para o futuro.

A sensibilidade ao vento intenso no final do século XXI, no cenário RCP 8.5 (equivalente à atualidade) está representada na **Figura 5** e coloca em destaque as regiões montanhosas e litorais como as mais sensíveis a este perigo climático.

A delimitação da zona de perigo de vento intenso tem como limiar crítico a velocidade média de 4,2 m/s e está representada na **Figura 6**. A **Tabela 4** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nos distritos de Portugal continental. No total, a área perigosa abrange cerca de 7% do território, ocorrendo em todos os distritos do continente, com destaque para Lisboa, Viana do Castelo, Faro, Leiria, Vila Real e Braga, onde a representatividade deste perigo se alarga a mais de 10% dos respetivos territórios.



**Figura 5 – Sensibilidade ao vento intenso em Portugal continental, na atualidade e em 2071-2100 (cenário RCP 8.5)**

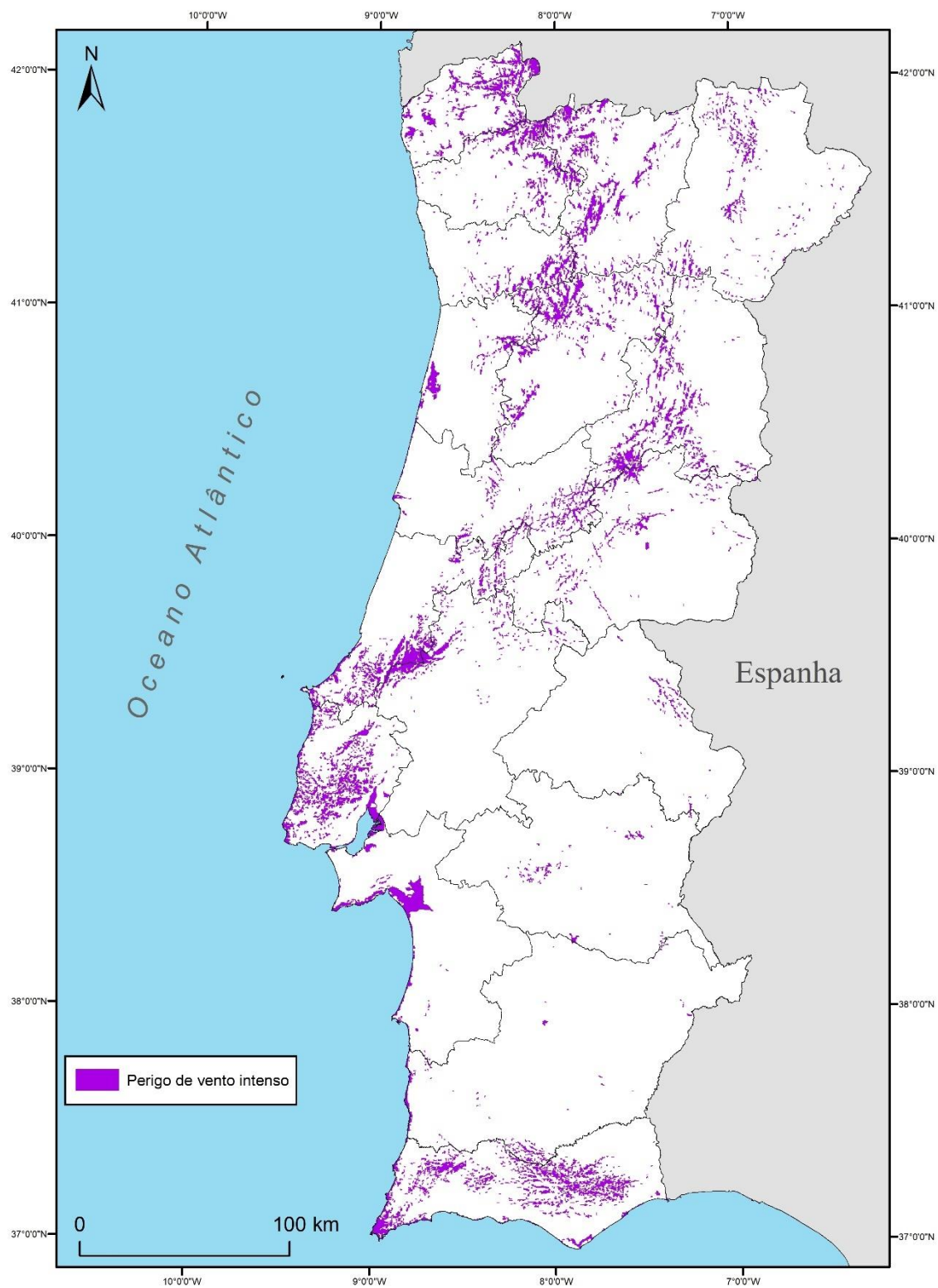


Figura 6 – Perigo de vento intenso em Portugal continental

**Tabela 4 – Área sensível ao perigo de vento intenso nos distritos de Portugal continental**

| <b>DISTRITO</b>  | <b>Área perigosa (hectares)</b> | <b>% distrito</b> |
|------------------|---------------------------------|-------------------|
| AVEIRO           | 15508                           | 5,5               |
| BEJA             | 10830                           | 1,1               |
| BRAGA            | 29686                           | 11,0              |
| BRAGANÇA         | 25929                           | 3,9               |
| CASTELO BRANCO   | 23365                           | 3,5               |
| COIMBRA          | 23783                           | 6,0               |
| ÉVORA            | 5989                            | 0,8               |
| FARO             | 77989                           | 15,6              |
| GUARDA           | 44764                           | 8,1               |
| LEIRIA           | 47635                           | 13,6              |
| LISBOA           | 61587                           | 21,9              |
| PORTALEGRE       | 5007                            | 0,8               |
| PORTO            | 17598                           | 7,5               |
| SANTARÉM         | 24152                           | 3,6               |
| SETÚBAL          | 31075                           | 6,0               |
| VIANA DO CASTELO | 42225                           | 19,0              |
| VILA REAL        | 50227                           | 11,7              |
| VISEU            | 49245                           | 9,8               |
| <b>TOTAL</b>     | <b>586594</b>                   | <b>6,6</b>        |

## 6. Sensibilidade aos Incêndios Rurais/Florestais

A sensibilidade aos incêndios rurais/florestais foi avaliada com recurso a um método estatístico bivariado de base Bayesiana: o Likelihood Ratio (LR), aplicado à totalidade do território de Portugal continental, utilizando como fatores condicionantes o declive, a altitude e o uso e ocupação do solo, e como variável dependente as áreas ardidas no período 1975-2018 (Oliveira et al., 2021). Este método foi o utilizado na avaliação da suscetibilidade aos incêndios rurais em Portugal, que sustenta a carta de perigosidade estrutural de incêndio rural do ICNF. Refira-se que as megaclasses “territórios artificializados”, “zonas húmidas” e “corpos de água” foram excluídas da análise, seguindo a metodologia preconizada no Guia para os Planos Municipais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (ICNF, 2012). Esta abordagem está alinhada com o preconizado pelo Sistema de Gestão Integrada de Fogos Rurais (DL nº82/2021, de 13 de outubro), que define como “Territórios rurais” os territórios florestais e os territórios agrícolas.

O cálculo do LR para cada variável (classe  $X_i$  do fator de predisposição  $Z$ ) é efetuado com recurso à equação (1):

$$Lri = \frac{Si/S}{Ni/N} \quad (1)$$

onde:

$Lri$  – Likelihood Ratio da variável  $i$  (classe  $X_i$  do fator de predisposição  $Z$ );

$Si$  – número de unidades de terreno com área ardida e presença da variável  $X_i$ ;

$Ni$  – número de unidades de terreno com a presença da variável  $X_i$ ;

$S$  – número total de unidades de terreno com área ardida;

$N$  – número total de unidades de terreno da área de estudo.

A avaliação da suscetibilidade para cada unidade de terreno  $j$  (célula com 625 m<sup>2</sup>), obtém-se através do somatório dos  $Lri$  de cada fator de predisposição presente na unidade de terreno, utilizando a equação (2):

$$Lrj = \sum_{i=0}^n Xij Lri \quad (2)$$

onde:

$Lrj$  – Likelihood Ratio total na unidade de terreno  $j$ ;

$n$  – número de variáveis;

$Xij$  - 1 se a classe da variável está presente na unidade de terreno  $j$ ; 0 se a classe da variável não está presente.

A **Figura 7** representa a curva de predição do modelo de suscetibilidade, construída a partir do cruzamento dos resultados da aplicação da equação (2) com as áreas ardidas em Portugal continental no período 1975-2018. A **Figura 7** representa igualmente 10 classes definidas com base em percentis, onde a classe I corresponde à suscetibilidade mais elevada e a classe X corresponde à suscetibilidade mais baixa. Assumindo a capacidade preditiva de cada classe de suscetibilidade expressa na **Tabela 5** e considerando o valor médio anual de área ardida de 117.300 hectares, de 1975 a 2018, foi estimada a probabilidade atual de incêndio rural/florestal, com recurso à equação (3).

$$Piy = 1 - \left(1 - \frac{Tard}{Ty}\right) \times predy \quad (3)$$

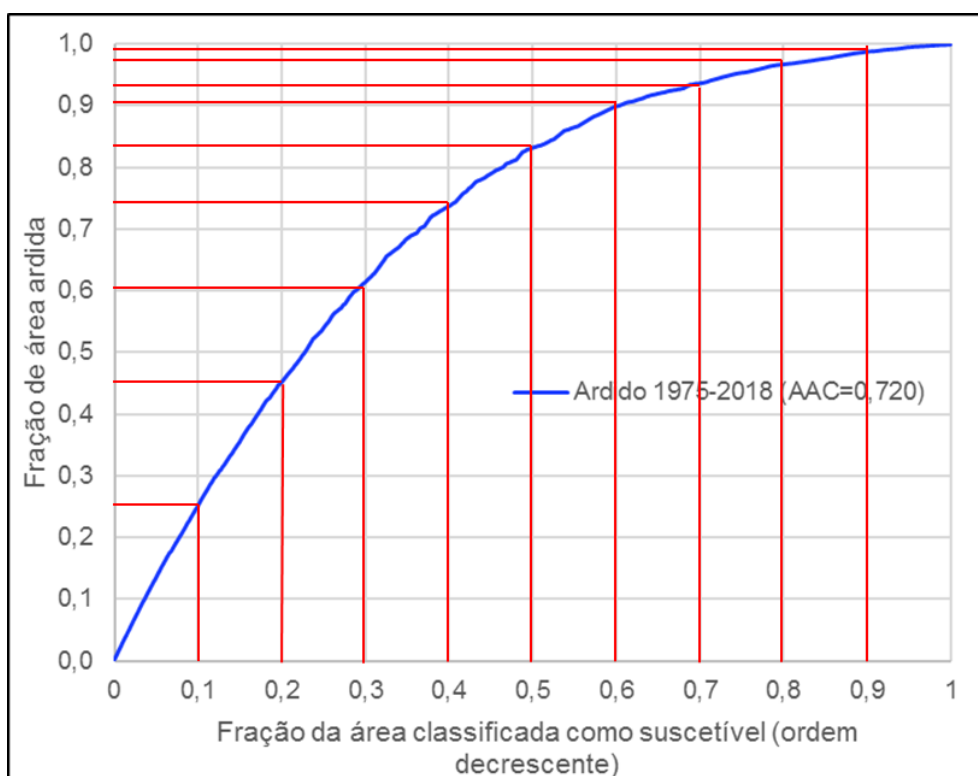
onde:

$Piy$  - probabilidade de ocorrência de incêndio rural/florestal na célula  $j$  que integra a classe de suscetibilidade  $y$ ;

$Tard$  –área ardida total expectável num determinado período;

$Ty$  –área total da classe de suscetibilidade  $y$ ;

$Predy$  –capacidade preditiva da classe de suscetibilidade  $y$ .



**Figura 7 – Curva de predição do modelo de suscetibilidade a incêndios rurais/florestais em Portugal continental. As linhas a vermelho definem as 10 classes de suscetibilidade identificadas**

**Tabela 5 – Probabilidade anual atual de ocorrência de incêndios rurais/florestais (por célula de 625 m<sup>2</sup>)**

| <b>Classes de suscetibilidade (decrecente)</b> | <b>Extensão territorial (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Capacidade preditiva</b> | <b>Probabilidade (%) por célula de 625m<sup>2</sup></b> |
|--|--|-----------------------------|---|
| I  | 8222,89                                      | 0,25                        | 3,56  |
| II   | 8201,84                                      | 0,20                        | 2,87  |
| III  | 8167,24                                      | 0,16                        | 2,33  |
| IV   | 8315,54                                      | 0,12                        | 1,76  |
| V  | 8180,11                                      | 0,09                        | 1,35  |
| VI   | 8304,65                                      | 0,07                        | 0,96  |
| VII  | 8320,85                                      | 0,04                        | 0,53  |
| VIII   | 7724,08                                      | 0,03                        | 0,45  |
| IX   | 8531,32                                      | 0,02                        | 0,29  |
| X  | 8230,73                                      | 0,01                        | 0,17  |



A estimativa das probabilidades futuras de incêndio rural teve em consideração os resultados de Sousa et al. (2015) na projeção das áreas ardidas anuais até 2080 para 4 clusters ibéricos (áreas homogêneas de predisposição para a ocorrência de incêndio rural/florestal), onde o território português se reparte em dois clusters: NW (distritos de Viana do Castelo, Braga, Porto, Vila Real, Aveiro, Viseu, Coimbra e Leiria) e SW (distritos de Bragança, Guarda, Castelo Branco, Portalegre, Santarém, Lisboa, Setúbal, Évora, Beja e Faro).. A **Tabela 6** sintetiza os resultados obtidos para os dois clusters referidos, a partir das projeções de Sousa et al. (2015), que ultrapassam significativamente as áreas ardidas verificadas no passado. Refira-se que estas projeções de áreas ardidas anuais estão em linha com as sugeridas por Amatulli et al. (2013), Turco et al. (2018) e Dupuy et al. (2020).

**Tabela 6 – Áreas ardidas médias anuais (hectares) projetadas para 2080 nos clusters NW e SW da península Ibérica, no cenário RCP 8.5 (baseado em Sousa et al., 2015)**

| Clusters | 2080    |
|----------|---------|
| NW       | 265.000 |
| SW       | 400.000 |

As probabilidades anuais futuras de incêndio rural/florestal foram calculadas assumindo que o uso e a ocupação do solo se mantêm invariantes. Refira-se que a manutenção do atual uso e ocupação do solo até ao final do século XXI é altamente improvável, também em resultado das alterações climáticas em curso. No entanto, não existem ainda projeções fiáveis disponíveis para a evolução deste tema até ao final do século, facto que justifica a opção de o considerar invariante, para efeitos de modelação.

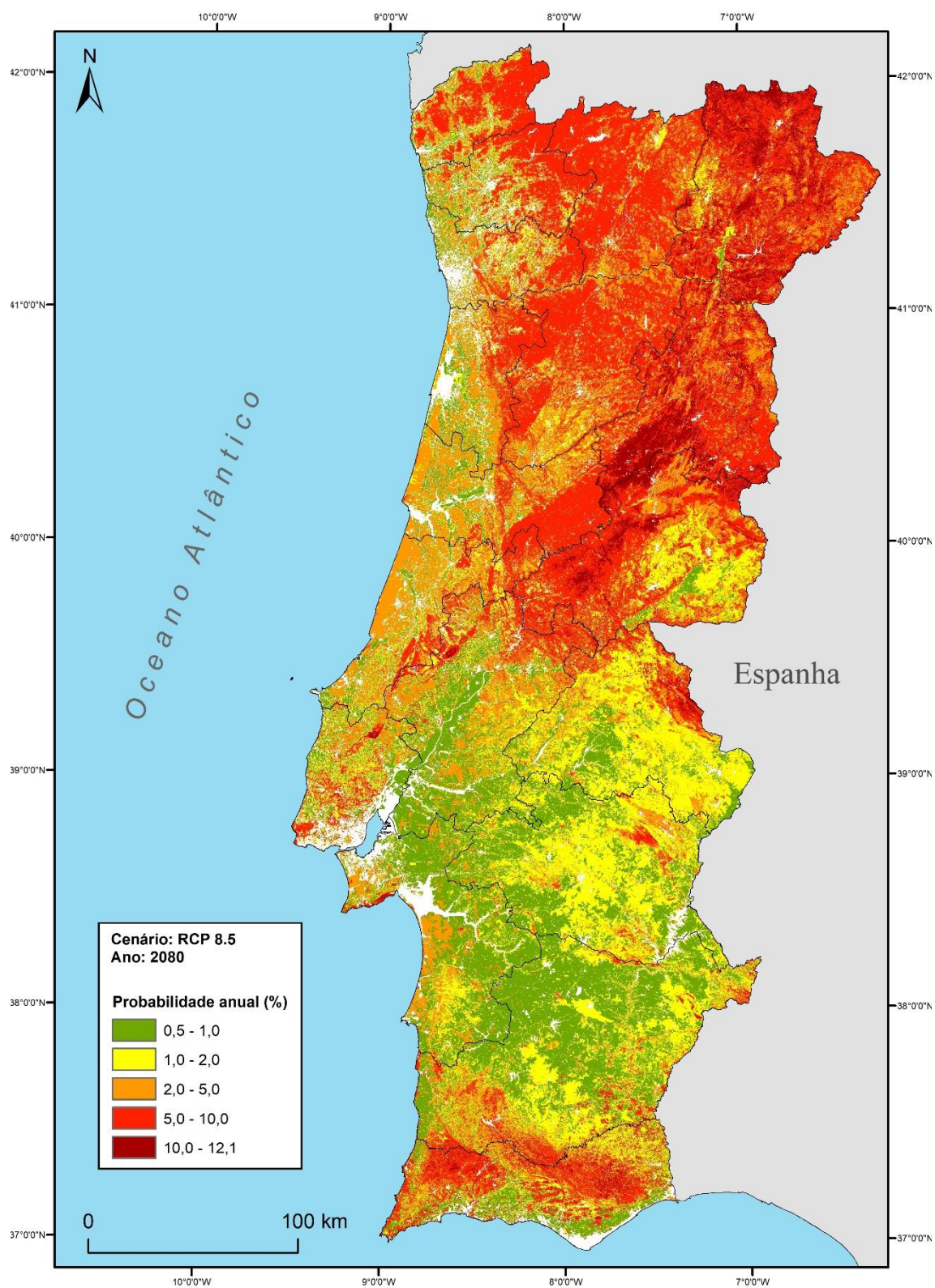
A sensibilidade futura, foi classificada individualmente para cada célula de 625 m<sup>2</sup>, numa escala que contempla 6 classes de sensibilidade, estabelecidas em função da probabilidade anual de arder: muito baixa (< 0,5 %); baixa (0,5 – 1,0 %); moderada (1,0 – 2,0 %); elevada (2,0 – 5,0 %); muito elevada (5,0 – 10,0 %); extrema (> 10,0%).

A **Figura 8** mostra a sensibilidade aos incêndios rurais/florestais, em 2080, no cenário RCP 8.5, o que representa um incremento acentuado face à situação atual, onde a probabilidade anual nunca ultrapassa 5%.

A delimitação da zona de perigo de incêndio rural tem como referência a probabilidade anual de arder acima de 5% e é apresentada na **Figura 8**. A **Tabela 7** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nos distritos de Portugal continental. No total, a área perigosa abrange cerca de 33% do território, ocorrendo em todos os distritos do continente, com destaque para Guarda, Bragança, Vila Real, Viseu, Castelo Branco e Viana do Castelo, onde a representatividade deste perigo se alarga a mais de 50% dos respetivos territórios.

**Tabela 7 – Área sensível ao perigo de incêndio rural/florestal nos distritos de Portugal continental**

| <b>DISTRITO</b>  | <b>Área perigosa (hectares)</b> | <b>% distrito</b> |
|------------------|---------------------------------|-------------------|
| AVEIRO           | 69482                           | 24,8              |
| BEJA             | 70455                           | 6,9               |
| BRAGA            | 115073                          | 42,5              |
| BRAGANÇA         | 515883                          | 78,2              |
| CASTELO BRANCO   | 350020                          | 52,8              |
| COIMBRA          | 125920                          | 31,7              |
| ÉVORA            | 12780                           | 1,7               |
| FARO             | 187745                          | 37,6              |
| GUARDA           | 432825                          | 78,2              |
| LEIRIA           | 53445                           | 15,2              |
| LISBOA           | 33643                           | 11,9              |
| PORTALEGRE       | 63537                           | 10,4              |
| PORTO            | 55698                           | 23,9              |
| SANTARÉM         | 89683                           | 13,3              |
| SETÚBAL          | 8835                            | 1,7               |
| VIANA DO CASTELO | 114814                          | 51,7              |
| VILA REAL        | 308610                          | 71,6              |
| UISEU            | 292369                          | 58,4              |
| <b>TOTAL</b>     | <b>2900817</b>                  | <b>32,6</b>       |



**Figura 8 – Sensibilidade aos incêndios rurais/florestais em Portugal continental, em 2080  
(cenário RCP 8.5)**

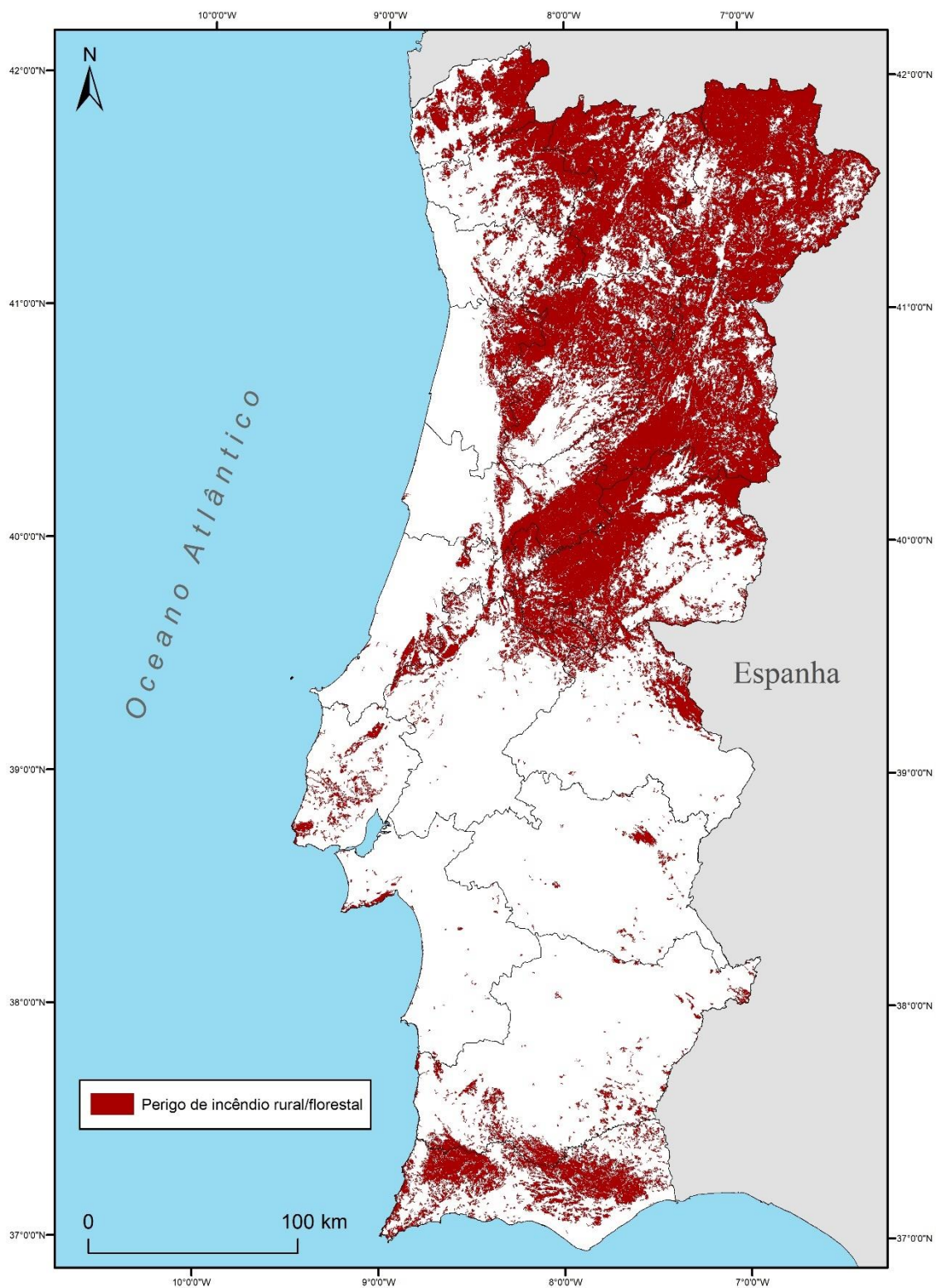


Figura 9 – Perigo de incêndio rural/florestal em Portugal continental

## 7. Sensibilidade às Inundações Fluviais

As inundações fluviais registadas em Portugal continental resultam de cheias progressivas dos rios com maior extensão e bacias hidrográficas mais amplas (e.g. Tejo, Douro, Mondego, Guadiana), e de cheias rápidas que ocorrem em bacias hidrográficas de pequena e média dimensão. As primeiras estão tipicamente associadas a períodos chuvosos prolongados (algumas semanas a alguns meses), enquanto as segundas resultam de episódios de precipitação muito intensa e concentrada em algumas horas. O padrão de precipitação que origina as cheias rápidas é igualmente responsável pela ocorrência de inundações urbanas, devidas à incapacidade das redes de coletores. As inundações estuarinas constituem um perigo específico, associado à influência das marés e de outros fatores com incidência na zona litoral, pelo que são analisadas juntamente com as inundações costeiras.

A avaliação da suscetibilidade a cheias teve em consideração a documentação disponível a partir de trabalhos anteriores, nomeadamente: (i) as zonas inundáveis com período de retorno de 100 anos, correspondentes às Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundação (ARPSI), definidas nos Planos de Gestão dos Riscos de Inundações (PGRI), disponibilizadas pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA); e (ii) a delimitação de zonas inundáveis nas regiões da Área Metropolitana de Lisboa, Oeste, Lezíria e Médio Tejo, assumidas com período de retorno de 100 anos, a partir da informação do Quadro Regional da Reserva Ecológica Nacional da AML e do Oeste, da delimitação da inundação associada à cheia de 1979 no rio Tejo pelo LNEC, da delimitação da cheia centenária no rio Sado pelo LNEC, e de um conjunto de zonas ameaçadas pelas cheias traçadas ao nível municipal, no âmbito da delimitação da Reserva Ecológica Nacional e da revisão de Planos Diretores Municipais (CCDRLVT, 2020).

Refira-se que as zonas inundáveis com período de retorno de 100 anos, correspondentes às Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundação (ARPSI) atualmente definidas nos

Planos de Gestão dos Riscos de Inundações (PGRI), estando balizadas por um período de ocorrências relativamente curto, estão longe de incluir a totalidade das áreas inundáveis em Portugal. Deste modo, procedeu-se à identificação das linhas de água com maior propensão para a geração de cheias para a todo o território de Portugal continental, com recurso ao método descrito em Reis (2011) e Santos et al. (2019, 2020). De acordo com este método, as variáveis condicionantes descritivas - área de drenagem acumulada, declive e permeabilidade relativa - foram recolhidas em estrutura matricial para a totalidade das bacias hidrográficas do país. Seguidamente, por Análise Multicritério e segundo um processo iterativo – que incluiu a sua validação no terreno e por evidências históricas –, foi aferida a ponderação a utilizar no modelo final de suscetibilidade dos cursos de água para a ocorrência de cheias. Para estes cursos de água assim identificados, no pormenor, a delimitação das áreas inundáveis por cheias considerou a área contígua às margens dos cursos de água que se estende até à linha alcançada pela cheia máxima, interpretada através de critérios geomorfológicos, apoiados em informação topográfica, pedológica e interpretação de fotografia aérea ortorretificada.

Face às dificuldades em efetuar modelação hidrológica e hidráulica, devido à dimensão da área de estudo (a totalidade de Portugal continental), optou-se neste trabalho por um exercício de cenarização climática em que se mantém inalterada a extensão da área inundada, assumida com período de retorno atual de 100 anos. Os futuros períodos de retorno da “cheia centenária” foram calculados para o final do século XXI (2071-2100), para o cenário RCP 8.5, a partir da taxa de variação de uma variável climática de referência que corresponde à precipitação máxima acumulada em 5 dias consecutivos. Deste modo, assume-se que existe uma relação linear entre a taxa de variação projetada para esta variável e a variação na frequência de ocorrência de cheias em cada uma das regiões hidrográficas de Portugal.

A **Figura 10** representa as áreas sensíveis a inundações por cheia, para um período de retorno de 100 anos, no tempo presente, sendo igualmente válido para o final do século XXI, no cenário RCP 8.5. A suscetibilidade a inundações fluviais verifica-se em todo o território de Portugal continental, abrangendo mais de 4500 km<sup>2</sup>, com maior expressão nas partes terminais das bacias hidrográficas dos principais cursos de água: Tejo,

Mondego, Vouga, Sado e Douro, embora neste último tenha uma menor extensão territorial, devido ao carácter bastante encaixado do vale fluvial.

A **Tabela 8** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nos distritos de Portugal continental. No total, a área perigosa abrange cerca de 5% do território, ocorrendo em todos os distritos do continente, com destaque para Lisboa, Santarém e Aveiro, onde a representatividade deste perigo se alarga a mais de 10% dos respetivos territórios.

Os períodos de retorno da “cheia centenária” foram recalculadas para cada região hidrográfica, para o final do século XXI, para o cenário climático RCP 8.5, a partir da taxa de variação projetada para a precipitação máxima acumulada em 5 dias consecutivos. A **Tabela 9** sintetiza os resultados obtidos e mostra que, em regra, o período de retorno da cheia de referência vai sofrer uma redução, entre 1 e 5 anos, em todas as regiões, com a exceção da região hidrográfica PTRH8 (Ribeiras do Algarve), para a qual é projetada uma redução da frequência das cheias em cerca de 9%.

Refira-se que estas estimativas estão em consonância com as projeções do Plano de Gestão dos Riscos de Inundações 2022/2027 (APA, 2023a,b,c,d,e,f,g,h). A análise efetuada, nestes documentos, aos impactos das alterações climáticas nos caudais de ponta de cheia para o período de retorno de 100 anos, teve por base a informação disponibilizada no portal do clima (<http://portaldoclima.pt/pt/>) e considerou que haverá um aumento da frequência de eventos extremos, com a ocorrência de precipitações de grande intensidade, concentradas em períodos curtos, sendo expectável um aumento das intensidades de precipitação associadas ao período de retorno de 100 anos. Adicionalmente, foi estimada a possível variação dos caudais de ponta para o período de retorno com probabilidade de ocorrência média ( $T = 100$  anos), para o período 2041-2070, tendo sido projetados incrementos entre 2% e 7%. Estes valores são compatíveis com a redução estimada no período de retorno para a cheia centenária nas várias regiões hidrográficas de Portugal continental.



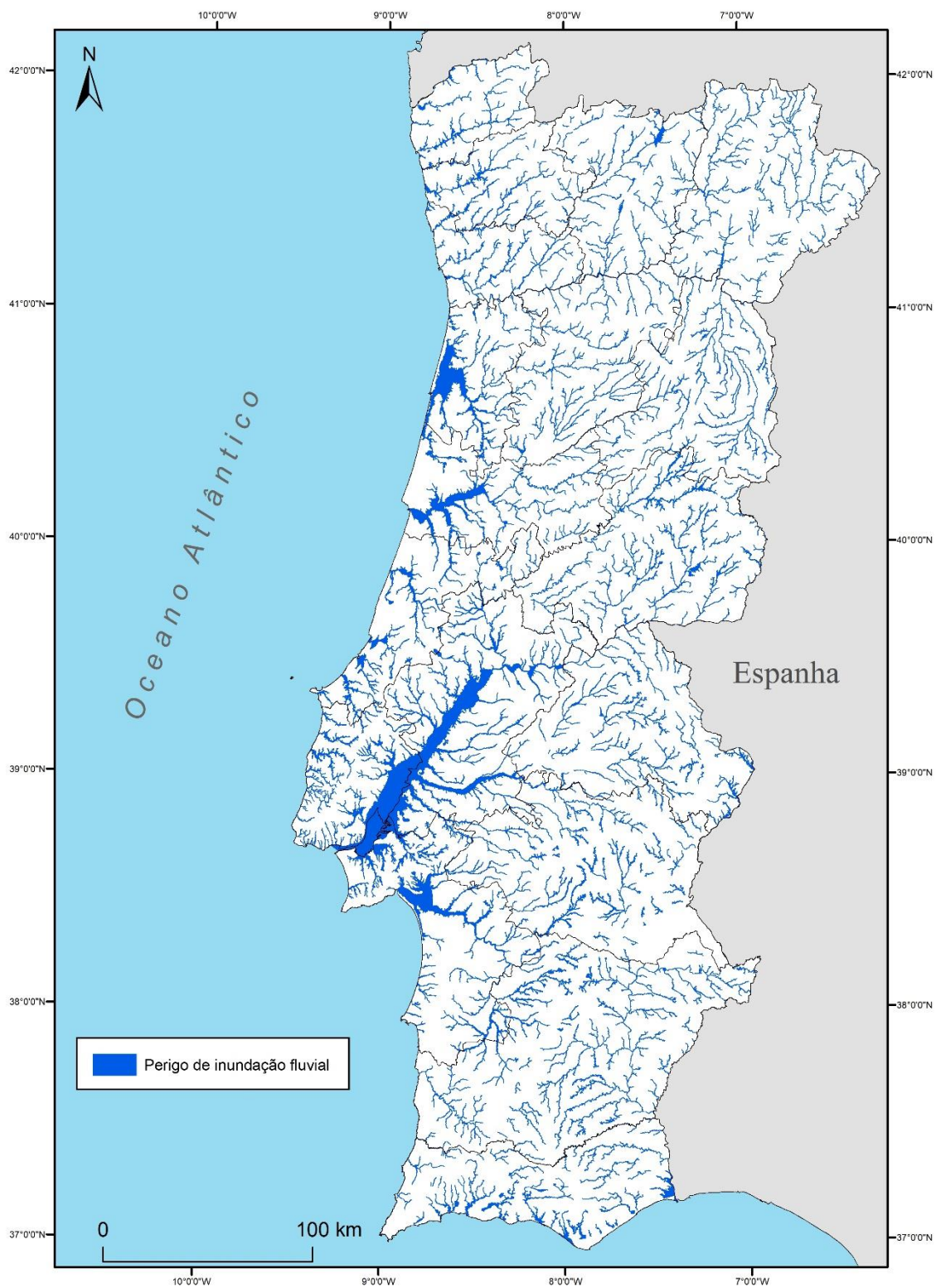


Figura 10 – Perigo de inundação fluvial em Portugal continental



**Tabela 8 – Área sensível ao perigo de inundação fluvial nos distritos de Portugal continental**

| <b>DISTRITO</b>  | <b>Área perigosa (hectares)</b> | <b>% distrito</b> |
|------------------|---------------------------------|-------------------|
| AVEIRO           | 31030                           | 11,1              |
| BEJA             | 30501                           | 3,0               |
| BRAGA            | 9602                            | 3,5               |
| BRAGANÇA         | 13810                           | 2,1               |
| CASTELO BRANCO   | 21081                           | 3,2               |
| COIMBRA          | 28781                           | 7,2               |
| ÉVORA            | 22830                           | 3,1               |
| FARO             | 21432                           | 4,3               |
| GUARDA           | 15111                           | 2,7               |
| LEIRIA           | 19898                           | 5,7               |
| LISBOA           | 46972                           | 16,7              |
| PORTALEGRE       | 18792                           | 3,1               |
| PORTO            | 8722                            | 3,7               |
| SANTARÉM         | 85338                           | 12,7              |
| SETÚBAL          | 50418                           | 9,7               |
| VIANA DO CASTELO | 6987                            | 3,1               |
| VILA REAL        | 11452                           | 2,7               |
| VEISEU           | 11911                           | 2,4               |
| <b>TOTAL</b>     | <b>454669</b>                   | <b>5,1</b>        |

**Tabela 9 – Períodos de retorno (em anos) da “cheia centenária” atual projetada para o final do século**

**XXI, no cenário RCP 8.5**

| <b>Região Hidrográfica</b> | <b>Código</b> | <b>2071-00</b> |
|----------------------------|---------------|----------------|
| Minho e Lima               | PTRH1         | 95,5           |
| Cávado, Ave e Leça         | PTRH2         | 96,6           |
| Douro                      | PTRH3         | 95,9           |
| Vouga, Mondego e Lis       | PTRH4A        | 98,7           |
| Tejo e Ribeiras do Oeste   | PTRH5A        | 97,5           |
| Sado e Mira                | PTRH6         | 98,3           |
| Guadiana                   | PTRH7         | 97,3           |
| Ribeiras do Algarve        | PTRH8         | 109,3          |

## 8. Sensibilidade às Inundações Costeiras e Estuarinas

A delimitação de áreas sujeitas a inundações costeiras e estuarinas, em contexto de alterações climáticas e subida do nível do mar, baseia-se no trabalho de Lemos et al. (2024), efetuado no âmbito do Roteiro Nacional para a Adaptação 2100 – Avaliação da vulnerabilidade do território português às alterações climáticas no século XXI -RNA 2100.

A evolução futura da linha de costa e as projeções de inundações costeiras extremas foram obtidas através de modelações hidrodinâmicas e morfodinâmicas de alta resolução, aplicadas a cinco localizações costeiras chave (Ofir, Costa Nova, Cova Gala, Costa da Caparica e Praia de Faro). Para cada uma destas localizações foi determinado o *Total Water Level* (TWL), projetado com período de retorno de 25 anos, obtido através da combinação probabilística das suas 3 componentes (subida do nível do mar, efeito das marés e *storm surge*), ao qual se sobrepõem 3 eventos extremos de agitação marítima.

Os resultados da evolução da linha de costa em cada uma dessas localizações foram posteriormente utilizados para definir um modelo semiempírico de evolução da linha de costa, aplicado a todas as áreas costeiras de Portugal continental. A abordagem baseia-se na combinação de diferentes tipos de informação, incluindo projeções do clima, de ondulação e de *Total Water Level* (TWL), forçados por modelos GCM/RCM (incluindo subida do nível do mar, marés e galgamentos), características geomorfológicas, cenários de inundações extremas, modelos de erosão e recuo da linha de costa do território continental português, que os autores denominaram por Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) (Lemos et al., 2024). Este procedimento foi antecedido pela divisão da zona costeira de Portugal continental em quatro categorias: litoral baixo arenoso, litoral rochoso ou com estruturas longitudinais aderentes, litoral urbano artificializado e praias urbanas/abrigadas.

Seguindo a metodologia apresentada por Rocha et al. (2020), o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) é obtido pela combinação de dois índices intermédios: Índice de Perigo de Inundação Extrema (IPIE) e Índice de Suscetibilidade Física (ISF). O primeiro traduz o perigo, representado pela forçante externa sobre a costa (influência da subida do nível do mar, marés, galgamentos e ondas), enquanto o segundo representa a suscetibilidade física do litoral, determinada por um conjunto de parâmetros como a rede hidrográfica, a distância até a linha costeira, o tipo de costa, a geologia e o uso do solo, ponderados com recurso a um processo de análise multicritério. Todos os índices foram classificados em três níveis de relevância (níveis 1 a 3).

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) foi avaliado através de diferentes combinações de recuo da linha de costa, projeções de inundação e galgamento, para diferentes tipologias identificadas na zona costeira de Portugal continental: para os litorais arenosos baixos e expostos, o IVC combinou erosão com o perigo de inundação extrema; para os litorais com estruturas aderentes e/ou litorais urbanos artificializados, o IVC combinou o perigo de inundação extrema com o galgamento; para casos de águas interiores, como estuários ou sistemas lagunares, o IVC foi definido apenas pelo Índice de Perigo de Inundação Extrema (IPIE).

A **Figura 11** representa a projeção das áreas sensíveis a inundação costeira e estuarina, para 2100, no cenário RCP 8.5, resultante da agregação das 3 classes de vulnerabilidade definidos por Lemos et al. (2024). Este perigo abrange uma superfície superior a 590 km<sup>2</sup> e afeta toda a faixa litoral do país, embora a sensibilidade varie consoante o posicionamento geográfico.

A **Tabela 8** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nos distritos de Portugal continental. No total, a área perigosa abrange 0,7% do território, ocorrendo em todos os distritos com faixa litoral, a que se acrescenta Santarém. Destacam-se os distritos de Lisboa, Aveiro, Setúbal, Faro e Santarém, onde a representatividade deste perigo se alarga a mais de 1,0% dos respetivos territórios.



Figura 11 – Perigo de inundação costeira e estuarina em Portugal continental

**Tabela 10 – Área sensível ao perigo de inundação costeira e estuarina nos distritos de Portugal continental**

| <b>DISTRITO</b>  | <b>Área perigosa (hectares)</b> | <b>% distrito</b> |
|------------------|---------------------------------|-------------------|
| AVEIRO           | 5971                            | 2,1               |
| BEJA             | 166                             | 0,0               |
| BRAGA            | 326                             | 0,1               |
| BRAGANÇA         | 0                               | 0,0               |
| CASTELO BRANCO   | 0                               | 0,0               |
| COIMBRA          | 1020                            | 0,3               |
| ÉVORA            | 0                               | 0,0               |
| FARO             | 4889                            | 1,0               |
| GUARDA           | 0                               | 0,0               |
| LEIRIA           | 1221                            | 0,3               |
| LISBOA           | 22115                           | 7,9               |
| PORTALEGRE       | 0                               | 0,0               |
| PORTO            | 620                             | 0,3               |
| SANTARÉM         | 12982                           | 1,9               |
| SETÚBAL          | 8710                            | 1,7               |
| VIANA DO CASTELO | 1254                            | 0,6               |
| VILA REAL        | 0                               | 0,0               |
| VISEU            | 0                               | 0,0               |
| <b>TOTAL</b>     | <b>59273</b>                    | <b>0,7</b>        |

## 9. Sensibilidade à Instabilidade de Vertentes

A sensibilidade à instabilidade de vertentes em Portugal continental foi avaliada com recurso a um método estatístico bivariado de base Bayesiana: o Valor Informativo (VI) (Zêzere et al. 2018). O modelo considerou 7 fatores de predisposição: declive, altitude, índice de posição topográfica, litologia, tipo de solo, unidades ecológicas, e água disponível (precipitação – evapotranspiração potencial).

Como variável dependente utilizou-se um inventário de movimentos de massa em vertentes que conta com 7387 ocorrências, identificadas com trabalho de campo e interpretação de fotografias aéreas, em 14 áreas amostra no território português, que cobrem uma superfície total de 11.547 km<sup>2</sup> (13% da área total de Portugal continental) e são consideradas representativas da variedade geológica e geomorfológica de Portugal (Zêzere et al., 2018).

O modelo de suscetibilidade foi calibrado no território correspondente às 14 áreas amostra, cruzando os movimentos de massa em vertentes com os fatores de predisposição da instabilidade de vertentes classificados e estabelecendo o peso das classes de cada fator com recurso à primeira equação do método do Valor Informativo (Yin & Yan, 1988; Zêzere, 2002) (equação 4):

$$I_i = \ln \frac{S_i/N_i}{S/N} \quad (4)$$

onde:

$I_i$  - VI da variável  $X_i$ ;

$S_i$  - número de unidades de terreno (célula com resolução de 25 m) com movimentos de massa em vertentes e com a presença da variável  $X_i$  (classe de fator de predisposição  $Y$ );

$N_i$  - número de unidades de terreno com a presença da variável  $X_i$ ;

$S$  - número total de unidades de terreno com movimentos de massa em vertentes;

$N$  - número total de unidades de terreno da área de estudo.

O VI total de uma unidade de terreno  $j$  (célula com resolução de 25 m) é determinado pela equação (5):

$$I_j = \sum_{i=1}^m X_{ji} I_i \quad (5)$$

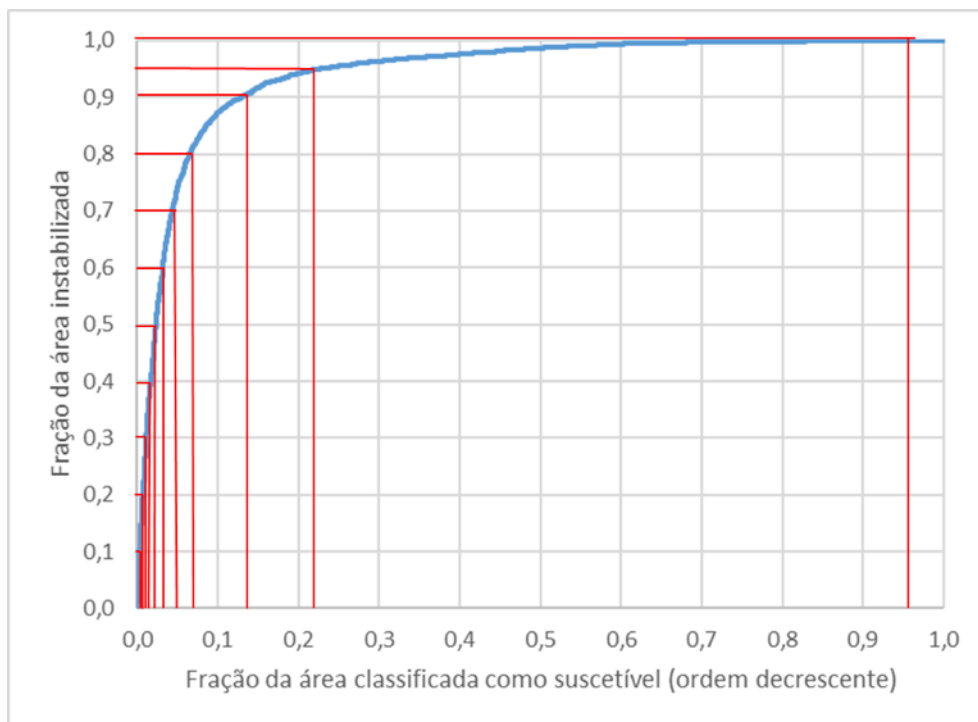
onde:

$I_j$  – Valor Informativo total na unidade de terreno  $j$ ;

$m$  - número de variáveis;

$X_{ji}$  - 1 se a classe da variável está presente na unidade de terreno  $j$ ; 0 se a classe da variável não está presente.

O modelo de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa em vertentes foi validado com recurso a curva de sucesso (**Figura 12**) e computação da Área Abaixo da Curva (AAC = 0,95). A curva de sucesso do modelo de suscetibilidade foi ainda utilizada para definir 12 classes de suscetibilidade decrescente, estabelecidas em função de fração de área instabilizada (0,1 nas primeiras 9 classes; 0,05 nas classes X e XI; 0 na classe XII) (**Figura 12**).



**Figura 12 – Curva de predição do modelo de suscetibilidade a movimentos de massa em vertentes em Portugal continental. As linhas a vermelho definem as 12 classes de suscetibilidade identificadas**

Os movimentos de massa em vertentes que integram o inventário utilizado na modelação da suscetibilidade apresentam uma área total instabilizada de 1868,9 hectares. A data de ocorrência da maioria destes movimentos não é conhecida, mas considera-se que o tempo característico de manutenção destas manifestações de instabilidade na paisagem não é superior a 20 anos. Deste modo, para efeitos de modelação, assume-se que os 7387 movimentos de massa em vertentes poderão ter ocorrido num intervalo temporal de 20 anos, pelo que a área média instabilizada anualmente nas 14 áreas amostra utilizadas no modelo corresponde a 93,4 hectares.

Os scores de suscetibilidade obtidos nas 14 áreas amostra foram extrapolados à totalidade do território, assim como a área média instabilizada anualmente, assumindo uma relação direta e proporcional dependente da escala. Deste modo, para efeitos de cálculo de probabilidade de ocorrência, considera-se o valor de 721,3 hectares como área média instabilizada anualmente na totalidade do território de Portugal continental.

Assumindo a capacidade preditiva de cada classe de suscetibilidade expressa na **Tabela 11** e considerando o valor médio anual de área instabilizada de 721,3 hectares, foi estimada a probabilidade atual de ocorrência de movimentos de massa em vertentes, com recurso à equação (6).

**Tabela 11 – Probabilidade anual atual de ocorrência de movimentos de massa em vertentes (por célula de 625 m<sup>2</sup>)**

| Classes de suscetibilidade (decrecente) | Extensão territorial (km <sup>2</sup> ) | Capacidade preditiva | Probabilidade (%) por célula de 625m <sup>2</sup> |
|---|---|----------------------|---|
| I                                       | 202,8                                   | 0,10                 | 0,360   |
| II                                      | 224,0                                   | 0,10                 | 0,318   |
| III                                     | 272,8                                   | 0,10                 | 0,265   |
| IV                                      | 360,3                                   | 0,10                 | 0,203   |
| V                                       | 452,1                                   | 0,10                 | 0,158   |
| VI                                      | 729,2                                   | 0,10                 | 0,098   |
| VII                                     | 1644,4                                  | 0,10                 | 0,044   |
| VIII                                    | 3165,0                                  | 0,10                 | 0,023   |
| IX                                      | 11768,0                                 | 0,10                 | 0,006   |
| X                                       | 16332,4                                 | 0,05                 | 0,002   |
| XI                                      | 53509,0                                 | 0,05                 | 0,001   |
| XII                                     | 423,3                                   | 0,00                 | 0,000   |



$$P_{iy} = 1 - \left( \frac{T_{slide}}{T_y} \right) \times predy \quad (6)$$

onde:

$P_{iy}$  - probabilidade de ocorrência de movimento de massa em vertente na célula  $j$  na classe de suscetibilidade  $y$ ;

$T_{slide}$  – área de instabilidade total expectável num determinado período;

$T_y$  – área total da classe de suscetibilidade  $y$ ;

$Predy$  – capacidade preditiva da classe de suscetibilidade  $y$ .

Os limiares empíricos de precipitação responsáveis pelo desencadeamento de movimentos de massa em vertentes nas regiões do Minho, Vale do Douro, Coimbra e Lisboa, foram sistematizados por Vaz (2021), com base nas ocorrências de instabilidade incluídas na base de dados DISASTER (Zêzere et al., 2014) e nos dados de precipitação da grelha dataset PT02 para Portugal continental (1950-2008) disponibilizados pelo IPMA (**Tabela 12**).

**Tabela 12 – Limiares empíricos de precipitação para o desencadeamento de movimentos de massa em vertentes em 4 regiões de Portugal continental. P – Precipitação crítica em mm; D = número de dias consecutivos (fonte dos dados: Vaz, 2021)**

| Região        | Limiar de regressão (linear) | Limiar inferior     |
|---------------|------------------------------|---------------------|
| Minho         | $P = 10,26D + 103,03$        | $P = 8,83D + 54,92$ |
| Vale do Douro | $P = 10,48D + 197,53$        | $P = 9,6D + 81,9$   |
| Coimbra       | $P = 7,91D + 113,08$         | $P = 6,81D + 46,69$ |
| Lisboa        | $P = 4,76D + 179,34$         | $P = 4,81D + 70,19$ |

Num trabalho recente, Araújo et al. (2022) projetaram, para as regiões do Vale do Douro e Lisboa, os limiares críticos de precipitação para a instabilidade de vertentes no final do século XXI, para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

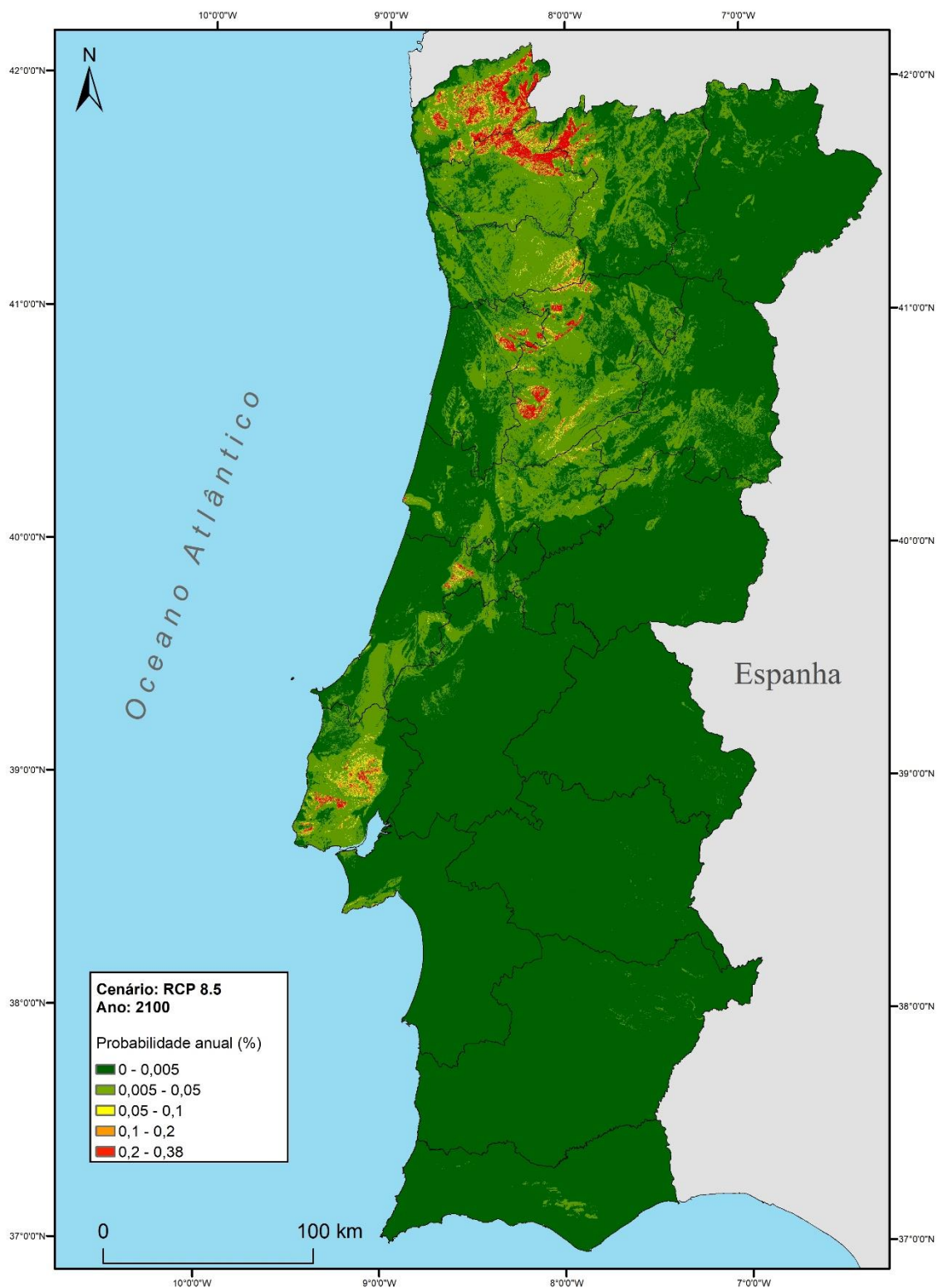
Tomando como referência o período crítico de precipitação acumulada em 10 dias consecutivos (que está associado a diversos episódios de instabilidade verificados no passado), o trabalho de Araújo e co-autores projeta, para 2100 e no cenário RCP 8.5, diminuições na frequência dos eventos de precipitação capazes de desencadear

instabilidades nas vertentes (-1% na região do Vale do Douro e -10% na região de Lisboa). Face à ausência de mais dados, as projeções de Vale do Douro são consideradas representativas da região a norte do sistema montanhoso Montejunto – Estrela, enquanto as projeções de Lisboa são assumidas como válidas para a parte sul do país.

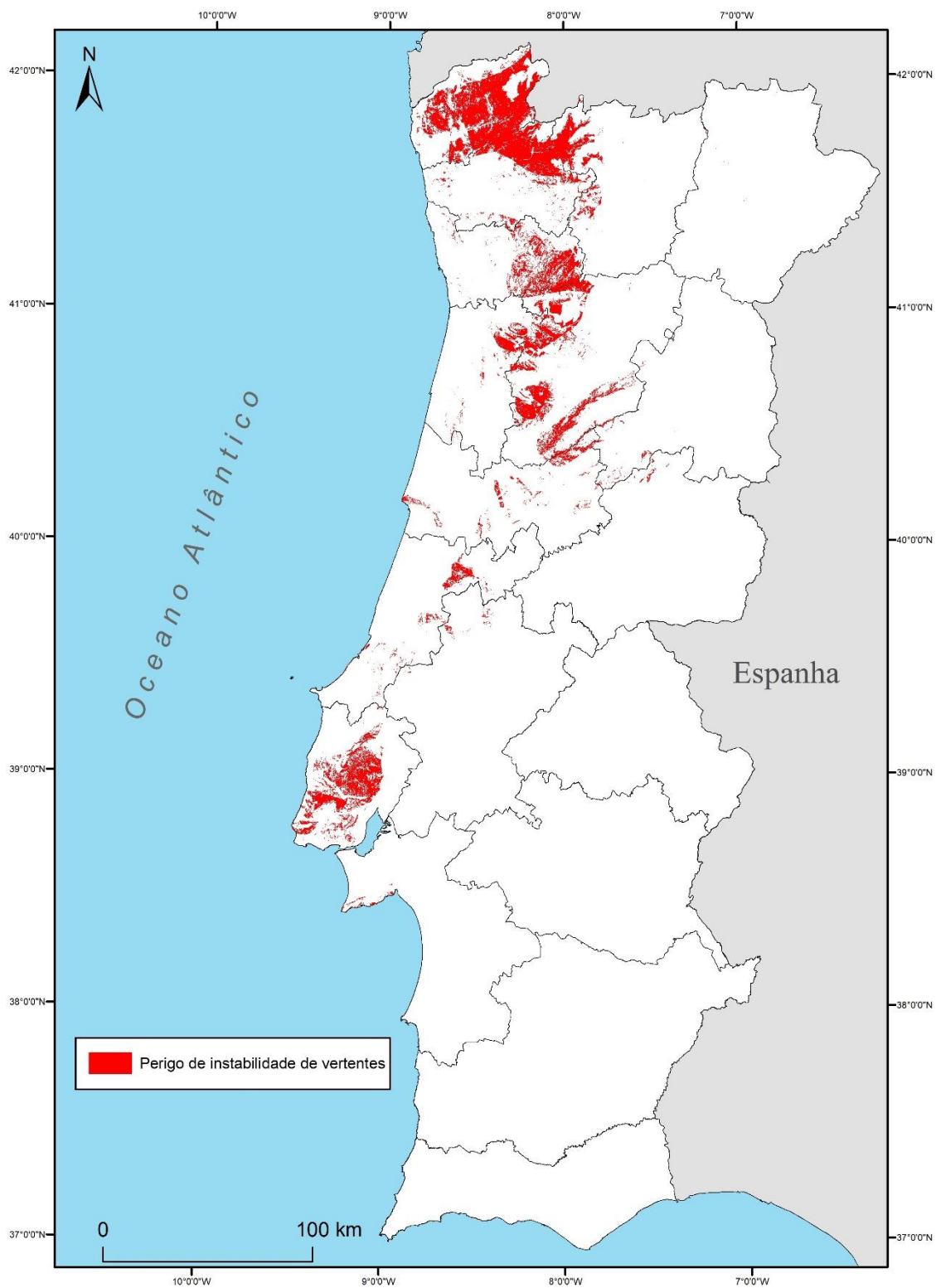
Adicionalmente, considera-se que a variação na área instável anual média no futuro acompanhará, de modo linear, a variação na frequência de eventos de precipitação que ultrapassam os limiares críticos para o desencadeamento de instabilidades nas vertentes.

A **Figura 13** representa a sensibilidade à instabilidade de vertentes, em 2100, no cenário RCP 8.5, que traduz uma situação bastante semelhante à que se verifica atualmente. As áreas com maior sensibilidade situam-se no Alto Minho, Alto Tâmega, Ave, Oeste e na Área Metropolitana de Lisboa a norte do rio Tejo. Em situação contrária, a parte do território localizado a sul do sistema montanhoso Montejunto – Estrela apresenta uma sensibilidade mais reduzida, devido, essencialmente, ao predomínio de declives fracos.

A delimitação da zona de perigo de instabilidade de vertentes tem como referência a probabilidade anual acima de 0,05% e é apresentada na **Figura 14**. A **Tabela 13** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nos distritos de Portugal continental. No total, a área perigosa abrange 4,4% do território, com destaque para Viana do Castelo, Braga, Lisboa, Porto e Viseu, onde a representatividade deste perigo se alarga a mais de 13% dos respetivos territórios.



**Figura 13 – Sensibilidade à instabilidade de vertentes em Portugal continental, em 2100  
 (cenário RCP 8.5)**



**Figura 14 – Perigo de instabilidade de vertentes em Portugal continental**

**Tabela 13 – Área sensível ao perigo de instabilidade de vertentes nos distritos de Portugal continental**

| <b>DISTRITO</b>  | <b>Área perigosa (hectares)</b> | <b>% distrito</b> |
|------------------|---------------------------------|-------------------|
| AVEIRO           | 16721                           | 6,0               |
| BEJA             | 0                               | 0,0               |
| BRAGA            | 58986                           | 21,8              |
| BRAGANÇA         | 38                              | 0,0               |
| CASTELO BRANCO   | 908                             | 0,1               |
| COIMBRA          | 12551                           | 3,2               |
| ÉVORA            | 0                               | 0,0               |
| FARO             | 0                               | 0,0               |
| GUARDA           | 2213                            | 0,4               |
| LEIRIA           | 10004                           | 2,9               |
| LISBOA           | 54972                           | 19,5              |
| PORTALEGRE       | 0                               | 0,0               |
| PORTO            | 36577                           | 15,7              |
| SANTARÉM         | 1347                            | 0,2               |
| SETÚBAL          | 1315                            | 0,3               |
| VIANA DO CASTELO | 104761                          | 47,2              |
| VILA REAL        | 24638                           | 5,7               |
| VISEU            | 65005                           | 13,0              |
| <b>TOTAL</b>     | <b>390036</b>                   | <b>4,4</b>        |

## Referências

- Amatulli, G., Camia, A., & San-Miguel-Ayanz, J. (2013). Estimating future burned areas under changing climate in the EU-Mediterranean countries. *Science of the Total Environment*, 450–451, 209–222.
- APA (2023a). Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH1 – Minho e Lima. Julho de 2023.
- APA (2023b). Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH2 – Cávado, Ave e Leça. Julho de 2023.
- APA (2023c). Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH3 – Douro. Julho de 2023.
- APA (2023d). Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH4 – Vouga, Mondego e Lis. Julho de 2023.
- APA (2023e). Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH5A- Tejo e das Ribeiras do Oeste. Julho de 2023.
- APA (2023f). Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH6- Sado e Mira. Julho de 2023.
- APA (2023g). Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH7 – Guadiana. Julho de 2023.
- APA (2023h). Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RH 8 – Ribeiras do Algarve. Julho de 2023.
- Araújo, J.R.; Ramos, A.M.; Soares, P.M.M.; Melo, R.; Oliveira, S.C.; Trigo, R.M. (2022). Impact of extreme rainfall events on landslide activity in Portugal under climate change scenarios. *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/S10346-022-01895-7>
- Dupuy, J. luc, Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., & Fernandes, P. (2020). Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: a review. *Annals of Forest Science*, 77(2). <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5>
- ICNF, Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (2012). Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios (PMDFCI) – Guia Técnico. Direção de Unidade de Defesa da Floresta, abril 2012 (antes Autoridade Florestal Nacional). Disponível em <https://fogos.icnf.pt/sgif2010/InformacaoPublicaDados/guia-tecnico-pmdfci-afn-abril2012.pdf>
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), Cambridge University Press.

IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (eds.), Cambridge University Press.

Lemos, G., Antunes, C., Bosnic, I., Costa, P. R., Lima, D. C. A., Ferreira, V., Espírito Santo, M., Mourão, S. Rocha, C., Catita, C., Semedo, A., & Soares, P. M. M. (2024). National Roadmap for Adaptation 2100: Portuguese Territorial Climate Change Vulnerability Assessment for XXI Century – Report WP4: Sectoral Impacts Modelling – The impact of climate change on the Portuguese coastal areas: from sea level rise to coastal erosion. doi:10.5281/zenodo.13919910

Oliveira, S., Gonçalves, A., & Zêzere, J. L. (2021). Reassessing wildfire susceptibility and hazard for mainland Portugal. *Science of the Total Environment*, 762, 143121.

Reis, E. (2011). Análise de bacias hidrográficas, susceptibilidade à ocorrências de cheias e sistemas de informação geográfica: da definição do quadro conceptual até à proposta de um modelo de avaliação. VIII Congresso da Geografia Portuguesa (p. 1–6). Associação Portuguesa de Geógrafos, Lisboa.

Rocha, C., Antunes, C., Catita, C. (2020). Coastal Vulnerability Assessment Due to Sea Level Rise: The Case Study of the Atlantic Coast of Mainland Portugal. *Water*, 12(2):360,

Santos, P.P., Pereira, S., Zêzere, J.L., Tavares, A.O., Reis, E., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C. (2020). A comprehensive approach to understanding flood risk drivers at the municipal level. *J. Environ. Manag.* 260

Santos, P.P.; Reis, E.; Pereira, S.; Santos, M. (2019). A flood susceptibility model at the national scale based on multicriteria analysis. *Science of The Total Environment*, 667, 325-337.

Soares, P.M.M., Cardoso, R., Lima, D., & Miranda, P. (2017). Future precipitation in Portugal: high resolution projections using WRF model and EURO-CORDEX multi-model ensembles. *Climate Dynamics*, 49, 2503-2530.

Sousa, P. M., Trigo, R. M., Pereira, M. G., Bedia, J., & Gutiérrez, J. M. (2015). Different approaches to model future burnt area in the Iberian Peninsula. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, 11–25.

Turco, M., Rosa-Cánovas, J. J., Bedia, J., Jerez, S., Montávez, J. P., Llasat, M. C., & Provenzale, A. (2018). Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. *Nature Communications*, 9(1).

Yin, K.L.; Yan, T.Z. (1988). Statistical prediction models for instability of metamorphosed rocks. *International symposium on landslides*. 5, 1269-1272.

Zêzere, J.L. (2002). Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 2, 1/2, p.73-82.

Zêzere, J.L.; Oliveira, S.C.; Pereira, S.; Garcia, R.A.C.; Melo, R.; Vaz, T.; Tavares, A.O.; Bateira, C.; Santos, P.P.; Meneses, B.; Quaresma, I. (2018). Construction of a National Landslide Susceptibility

Map for Portugal. Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-4541, 2018, EGU General Assembly 2018.

Zêzere, J.L.; Pereira, S.; Tavares, A.O.; Bateira, C.; Trigo, R.M.; Quaresma, I.; Santos, P.P.; Santos, M.; Verde, J. (2014). DISASTER: a GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. Natural Hazards, 72(2), 503-532.