

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

Relatório 2a

Madeira

10 de setembro 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	8
3. Sensibilidade ao Calor Excessivo	10
4. Sensibilidade à Precipitação Intensa	13
5. Sensibilidade ao Vento Intenso	16
6. Sensibilidade aos Incêndios Rurais/Florestais	19
7. Sensibilidade às Inundações Fluviais.....	22
8. Sensibilidade às Inundações Costeiras	24
9. Sensibilidade à Instabilidade de Vertentes	26
Referências.....	29

Índice de Figuras

Figura 1 – Sensibilidade ao calor extremo no arquipélago da Madeira em 2071-2100 (cenário SSP585)	11
Figura 2 – Perigo de calor excessivo no arquipélago da Madeira	11
Figura 3 – Sensibilidade à precipitação intensa no arquipélago da Madeira em 2071-2100 (cenário SSP585)	14
Figura 4 – Perigo de precipitação intensa no arquipélago da Madeira	14
Figura 5 – Sensibilidade ao vento intenso no arquipélago da Madeira, na atualidade e em 2071-2100 (cenário SSP585)	18
Figura 6 – Perigo de vento intenso no arquipélago da Madeira	18
Figura 7 – Sensibilidade atual aos incêndios rurais/florestais na ilha da Madeira	21
Figura 8 – Perigo de incêndio rural/florestal na ilha da Madeira	21
Figura 9 – Perigo de inundação fluvial na ilha da Madeira	23
Figura 10 – Perigo de inundação costeira no arquipélago da Madeira	25
Figura 11 – Sensibilidade atual à instabilidade de vertentes na ilha da Madeira	27
Figura 12 – Perigo de instabilidade de vertentes na ilha da Madeira	27

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Área sensível ao perigo de calor excessivo no arquipélago da Madeira	12
Tabela 2 – Área sensível ao perigo de precipitação intensa no arquipélago da Madeira	15
Tabela 3 – Classes de intensidade média do vento (Fonte: IPMA e escala de Beaufort)	17
Tabela 4 – Área sensível ao perigo de vento intenso no arquipélago da Madeira	17
Tabela 5 – Área sensível ao perigo de incêndio rural/florestal na ilha da Madeira	20
Tabela 6 – Área sensível ao perigo de inundação fluvial na ilha da Madeira	23
Tabela 7 – Área sensível ao perigo de inundação costeira no arquipélago da Madeira	25
Tabela 8 – Área sensível ao perigo de instabilidade de vertentes na ilha da Madeira	28

1. Introdução

Este relatório corresponde ao segundo 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 para 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 dos perigos climáticos atrás referidos. Adicionalmente, o relatório é subdividido em duas partes, Relatório 2a e Relatório 2b, dedicados respetivamente às ilhas dos arquipélagos da Madeira e Açores.

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. Sempre que disponíveis, foram utilizados documentos oficiais, disponibilizados pelo

Governo Regional da Madeira, através do Observatório Clima Madeira, que constitui uma plataforma dedicada à monitorização, análise e divulgação de informações sobre a Estratégia Regional de Adaptação às Alterações Climáticas – Estratégia CLIMA-Madeira. As ilhas Selvagens não foram consideradas neste trabalho, por se tratar de um território protegido, sem população residente e onde não é expectável a construção de infraestruturas.

2. Cenarização Climática

Os modelos climáticos considerados para o arquipélago da Madeira são os utilizados pelo Roteiro Nacional para a Adaptação 2100 – Avaliação da vulnerabilidade do território português às alterações climáticas no século XXI (RNA 2100).

A abordagem tem por base o processo de *downscaling* dinâmico com recurso ao modelo *Weather Research and Forecasting Model* versão 4.2 (Skamarock et al. 2008). Este modelo WRF é um modelo não hidrostático, adequado para simular uma vasta gama de escalas, desde milhares de quilómetros até alguns metros, com muitas opções disponíveis no que diz respeito ao núcleo do modelo e à maioria das parametrizações físicas, tornando-o apropriado para previsão numérica, climática e simulações.

Para o clima atual foram realizados dois conjuntos de simulações para o arquipélago da Madeira. Numa primeira etapa, foi efetuada uma simulação de 42 anos (1979 a 2020 – WRFv5), forçada pelos dados de reanálise ERA5 (Hersbach, et al., 2020), que foi utilizada como referência para o *downscaling* dinâmico devido ao forçamento de reanálise.

Para estudar as alterações climáticas, foi executado um segundo conjunto de simulações históricas, que cobrem um período de 31 anos (1970 a 2000 – WRFec), que são forçadas com dados fornecidos pelo EC-Earth Veg GCM, executado internamente para o 6º Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 6 – CMIP6 (Eyring et al., 2016).

O trabalho desenvolvido para análise das alterações climáticas teve por base dois períodos futuros: 2040 a 2070 (meados do século XXI) e 2070 a 2100 (final do século XXI). No trabalho original, foram considerados três SSPs (*Shared Socioeconomic Pathways*) diferentes para cada período: o cenário de emissões menos gravosas (SSP126), o cenário de emissões moderadas (SSP245) e um cenário com emissões gravosas (SSP585). Todas as simulações foram forçadas pelos dados do modelo EC-Earth Veg GCM.

No presente trabalho foi considerado o cenário SSP585, que é compatível com o RCP 8.5, projetado para o final do século XXI.

3. Sensibilidade ao Calor Excessivo

Devido ao efeito atenuante do oceano sobre a temperatura, decorrente da condição insular, a caracterização da sensibilidade territorial ao calor excessivo foi efetuada tendo como referência a distribuição espacial dos dias de verão (com temperatura máxima ≥ 25 °C), para os últimos 30 anos do século XXI (2071-2100) e o cenário climático SSP585.

O limiar de temperatura máxima considerado para o arquipélago da Madeira (≥ 25 °C) é inferior ao considerado para Portugal continental (≥ 35 °C), mas representa condições potencialmente desconfortáveis para as pessoas, devido à prevalência de valores de humidade relativa sistematicamente elevados.

Na cenarização do clima futuro utilizaram-se os dados produzidos no âmbito do Roteiro Nacional para a Adaptação 2100 – Avaliação da vulnerabilidade do território Português às alterações climáticas no século XXI (RNA 2100), disponíveis em (<http://rna2100.portaldoclima.pt/pt/>). Os dados originais, com uma resolução espacial aproximada de 3 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 SSP585, está representada na **Figura 1** e mostra uma variação espacial no número de dias de verão (com $T_{\text{máx}} \geq 25$ °C), ao longo do ano, entre 1 dia e mais de 140 dias (na costa sul da Madeira).

A delimitação da zona de perigo de calor excessivo tem como referência os 90 dias anuais com temperatura máxima ≥ 25 °C e é apresentada na **Figura 2**. A **Tabela 1** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nas ilhas do arquipélago da Madeira. A zona perigosa está limitada à ilha da Madeira, correspondendo a cerca de 24% da superfície

da ilha. Não foram identificadas áreas sensíveis ao calor excessivo no Porto Santo e nas Desertas.

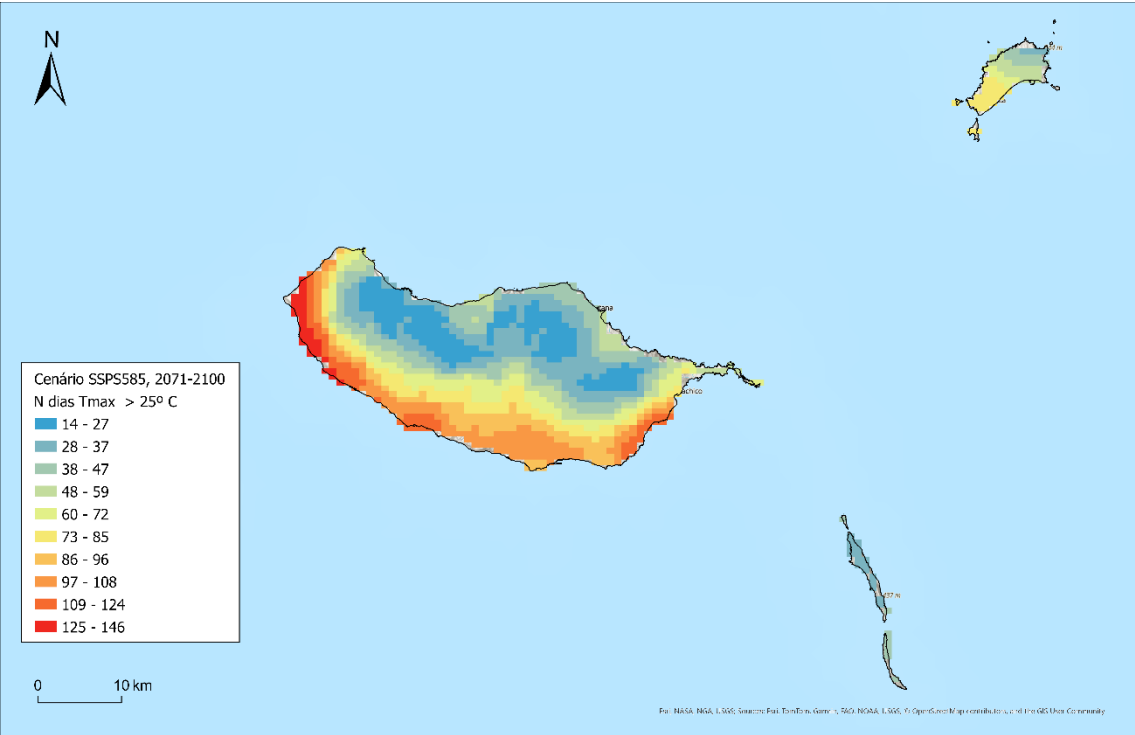


Figura 1 – Sensibilidade ao calor extremo no arquipélago da Madeira em 2071-2100 (cenário SSP585)



Figura 2 – Perigo de calor excessivo no arquipélago da Madeira

Tabela 1 – Área sensível ao perigo de calor excessivo no arquipélago da Madeira

ILHA	Área perigosa (hectares)	% ilha
MADEIRA	17627	23,8
PORTO SANTO	0	0,0
DESERTAS	0	0,0
<i>TOTAL</i>	<i>17627</i>	<i>22,1</i>

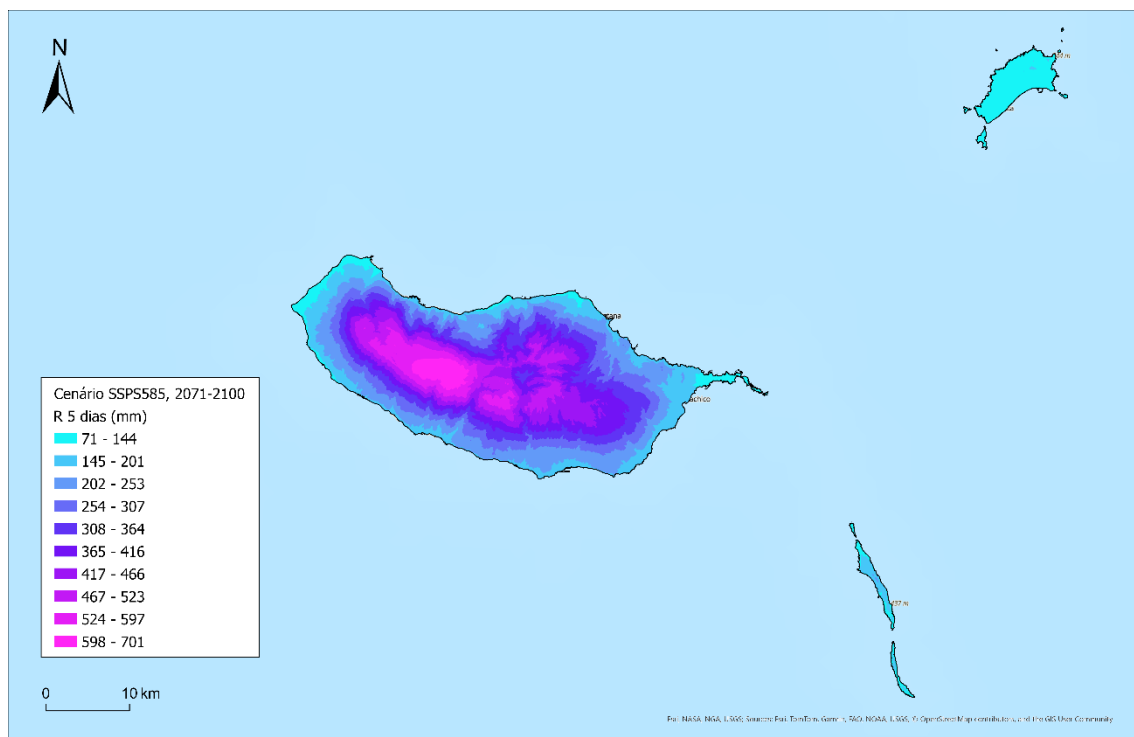
4. Sensibilidade à Precipitação Intensa

Os melhores dados disponibilizados pelo Portal do Clima (<http://rna2100.portaldoclima.pt/pt/>), relativos a quantitativos de precipitação intensa para o arquipélago da Madeira, consistem na precipitação máxima acumulada em 5 dias. Pese embora seja a melhor variável disponível, esta tem limitações para caracterizar os efeitos que a precipitação intensa pode ter sobre 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.

Os dados originais, com uma resolução espacial de 3 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 SSP585, está representada na **Figura 3** e mostra uma variação espacial na precipitação máxima acumulada em 5 dias entre 70 mm e mais de 700 mm.

A delimitação da zona de perigo de precipitação intensa tem como referência os 500 mm de precipitação acumulada em 5 dias e é apresentada na **Figura 4**. A **Tabela 2** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nas ilhas do arquipélago da Madeira. A zona perigosa está limitada às partes mais altas da ilha da Madeira, correspondendo a cerca de 9% da superfície da ilha. Nestas condições, não foram identificadas áreas sensíveis à precipitação intensa no Porto Santo e nas Desertas.



**Figura 3 – Sensibilidade à precipitação intensa no arquipélago da Madeira em 2071-2100
(cenário SSP585)**

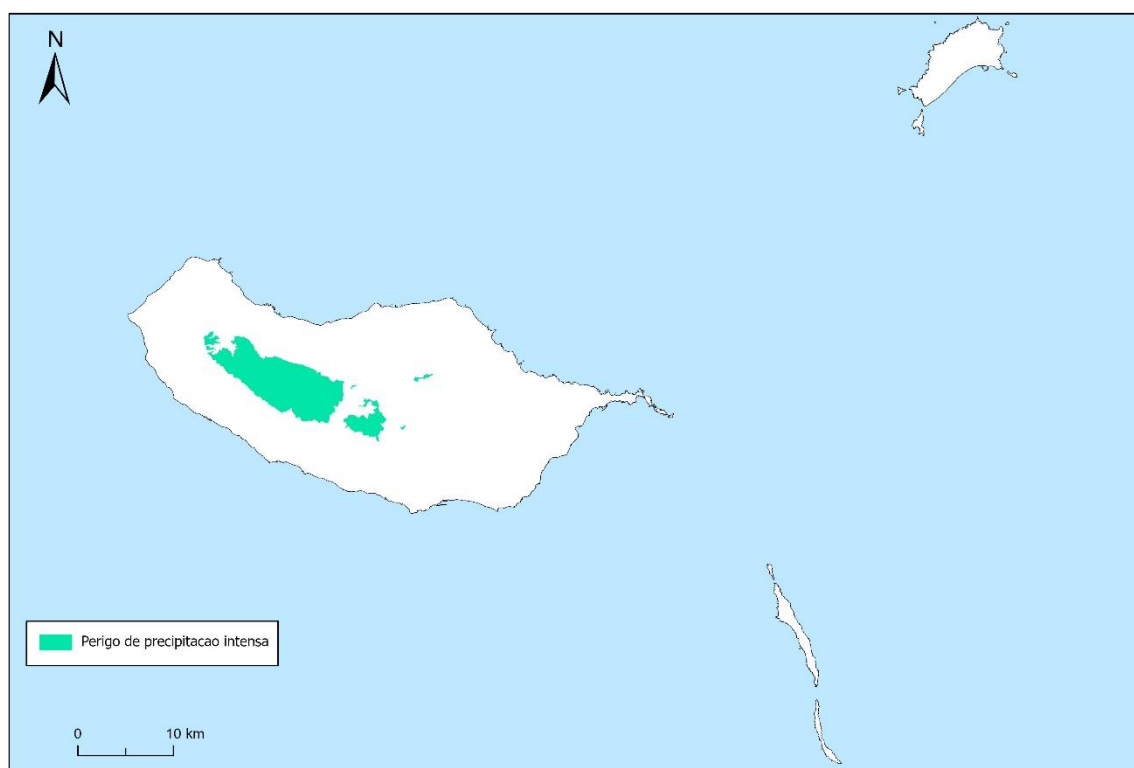


Figura 4 – Perigo de precipitação intensa no arquipélago da Madeira

Tabela 2 – Área sensível ao perigo de precipitação intensa no arquipélago da Madeira

ILHA	Área perigosa (hectares)	% ilha
MADEIRA	6931	9,3
PORTO SANTO	0	0,0
DESERTAS	0	0,0
<i>TOTAL</i>	6931	8,7

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 resulta 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 mesoescala WRF, usando um espaçamento de grelha de 3 km. Esta grelha é usada para obter climas de vento generalizados, posteriormente utilizados no sistema de modelação em microescala, no qual o WASP calcula os climas eólicos locais em células de 250 m às alturas de 10, 50, 100, 150 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 10 m de altura acima da superfície topográfica.

Originalmente, 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 fortes 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 SSP585 (equivalente à atualidade) está representada na **Figura 5**.

A delimitação da zona de perigo de vento intenso tem como limiar crítico a velocidade média de 7,9 m/s e está representada na **Figura 6**. O limiar considerado corresponde ao valor central da classe de intensidade elevada (5,0 – 10,8 m/s), sendo superior ao considerado para Portugal continental (4,2 m/s) devido à prevalência de ventos mais intensos no contexto insular. A **Tabela 4** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nas ilhas do arquipélago da Madeira. Em termos absolutos, destaca-se a ilha da Madeira, com 7119 hectares perigosos, enquanto as Desertas se destacam em termos relativos, com 71% da superfície exposta a este perigo. No total, a área perigosa abrange 11,9% do território do arquipélago da Madeira.

Tabela 4 – Área sensível ao perigo de vento intenso no arquipélago da Madeira

ILHA	Área perigosa (hectares)	% ilha
MADEIRA	7119	9,6
PORTO SANTO	1436	33,6
DESERTAS	984	71,4
TOTAL	9539	11,9

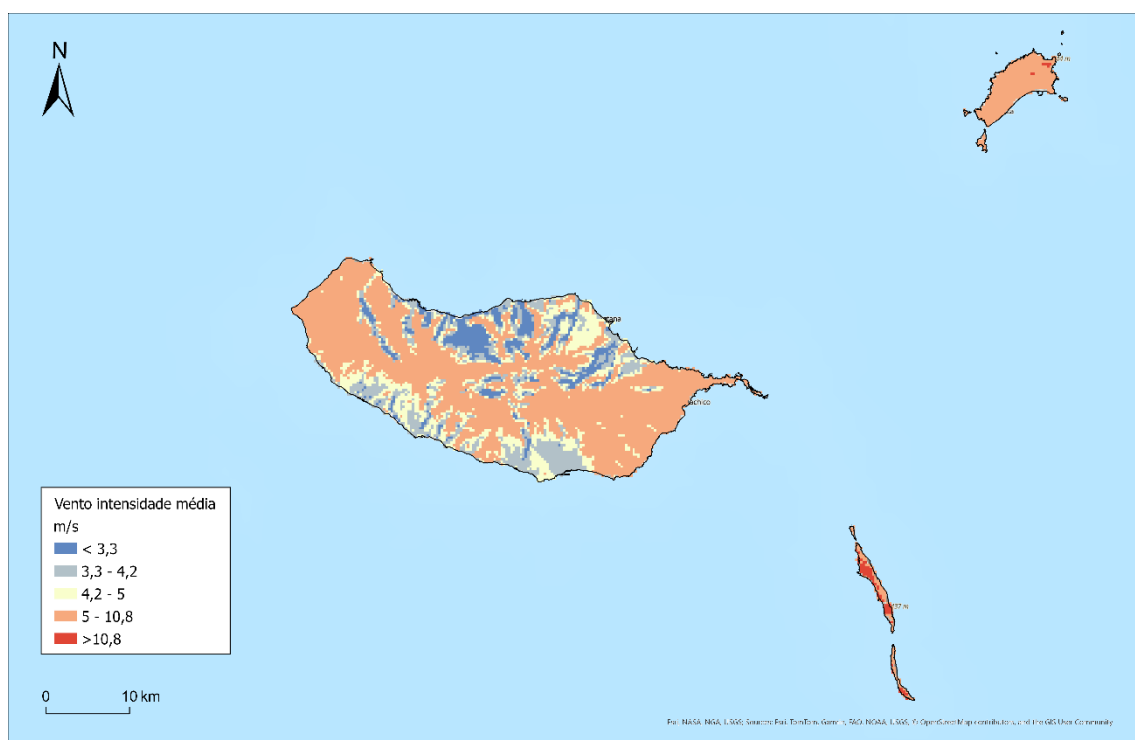


Figura 5 – Sensibilidade ao vento intenso no arquipélago da Madeira, na atualidade e em 2071-2100 (cenário SSP585)

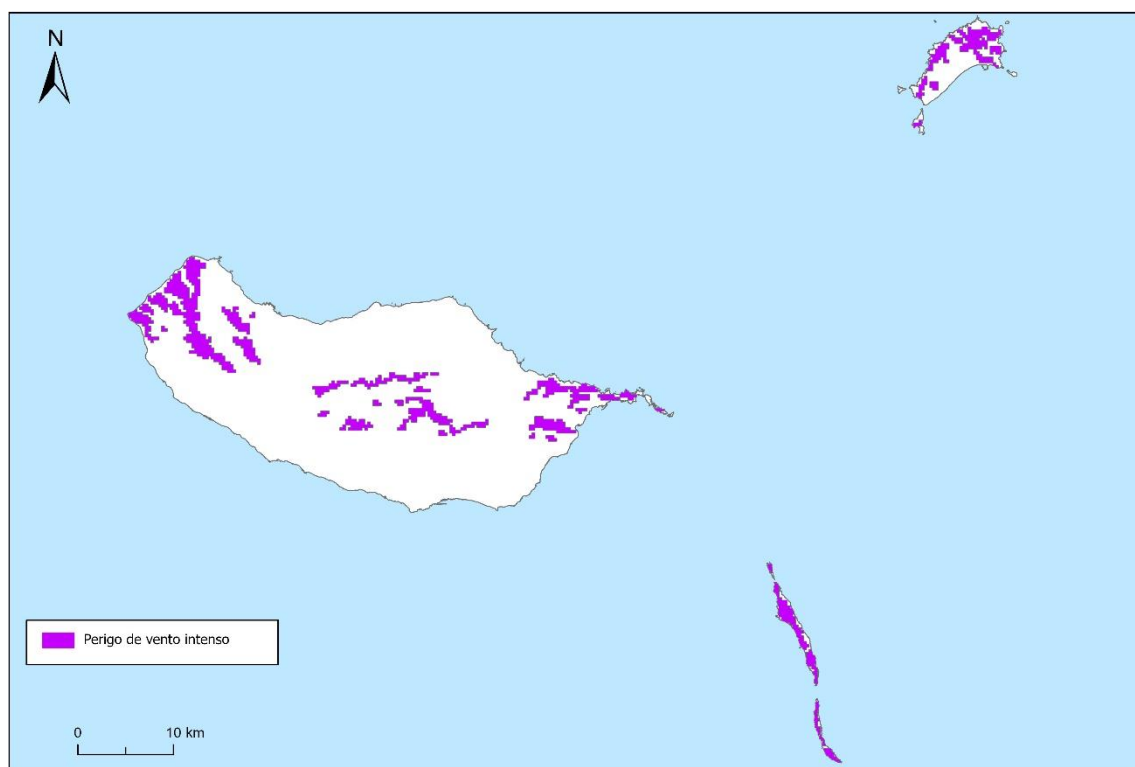


Figura 6 – Perigo de vento intenso no arquipélago da Madeira

6. Sensibilidade aos Incêndios Rurais/Florestais

A sensibilidade aos incêndios rurais/florestais foi avaliada apenas para a ilha da Madeira, uma vez que este perigo ambiental não tem expressão no Porto Santo e nas Desertas. A ausência de inventários de áreas ardidadas nesses territórios inviabiliza a aplicação de modelos preditivos de base estatística.

Na ilha da Madeira aplicou-se um método estatístico bivariado de base Bayesiana: o *Likelihood Ratio* (LR), utilizando como fatores de predisposição o declive, a altitude e o uso e ocupação do solo, e como variável dependente as áreas ardidadas no período 2006-2013, disponibilizadas pelo Observatório do Clima da Madeira. O método utilizado foi o empregue na avaliação da suscetibilidade aos incêndios rurais em Portugal continental, que sustenta a carta de perigosidade estrutural de incêndio rural do ICNF.

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 100 m²), 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.

Ao contrário do continente, não há dados suficientes na ilha da Madeira para extrapolar a sensibilidade aos incêndios rurais/florestais para o final do século em diferentes cenários climáticos. Assim, a identificação territorial do perigo de incêndio rural/florestal baseou-se na carta de sensibilidade atual, classificada em 7 classes de acordo com o desvio-padrão dos scores de *Likelihood Ratio* e selecionando as três classes de suscetibilidade mais elevada.

A **Figura 7** mostra a sensibilidade atual aos incêndios rurais/florestais na ilha da Madeira e a **Figura 8** delimita a zona de perigo considerada para este território. A **Tabela 5** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo, que corresponde a 26800 hectares, equivalentes a 36,1% do território da ilha da Madeira.

Tabela 5 – Área sensível ao perigo de incêndio rural/florestal na ilha da Madeira

ILHA	Área perigosa (hectares)	% ilha
MADEIRA	26800	36,1

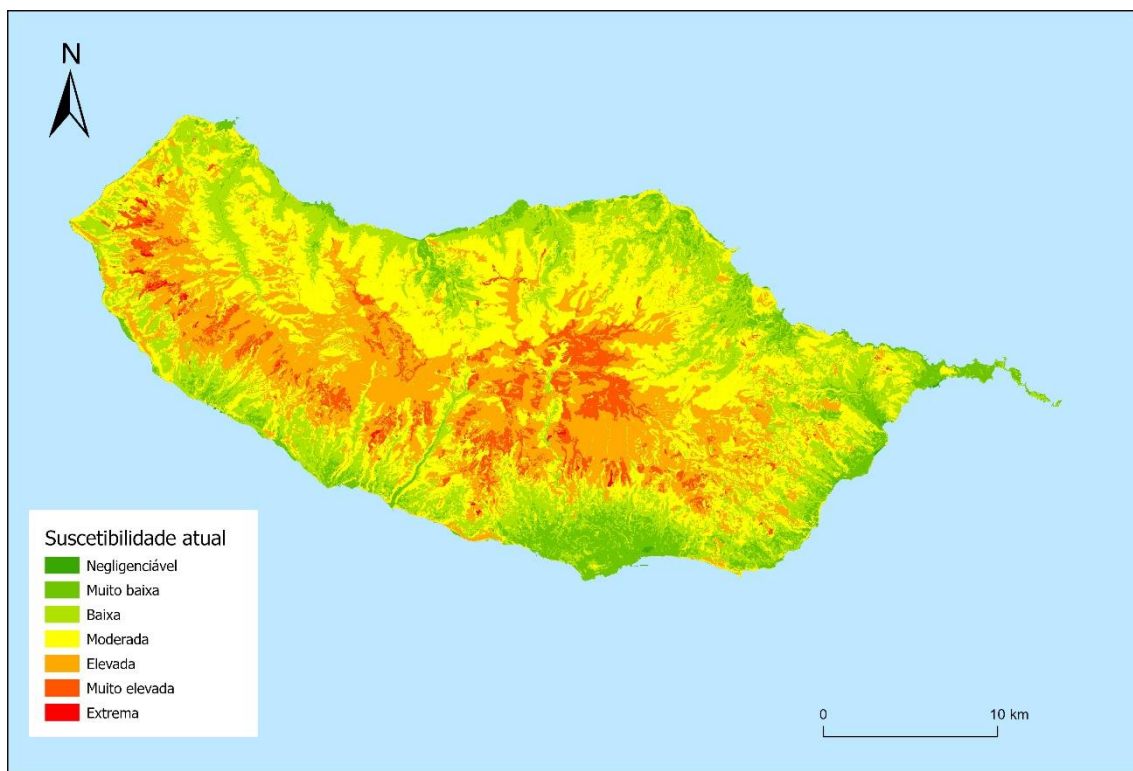


Figura 7 – Sensibilidade atual aos incêndios rurais/florestais na ilha da Madeira

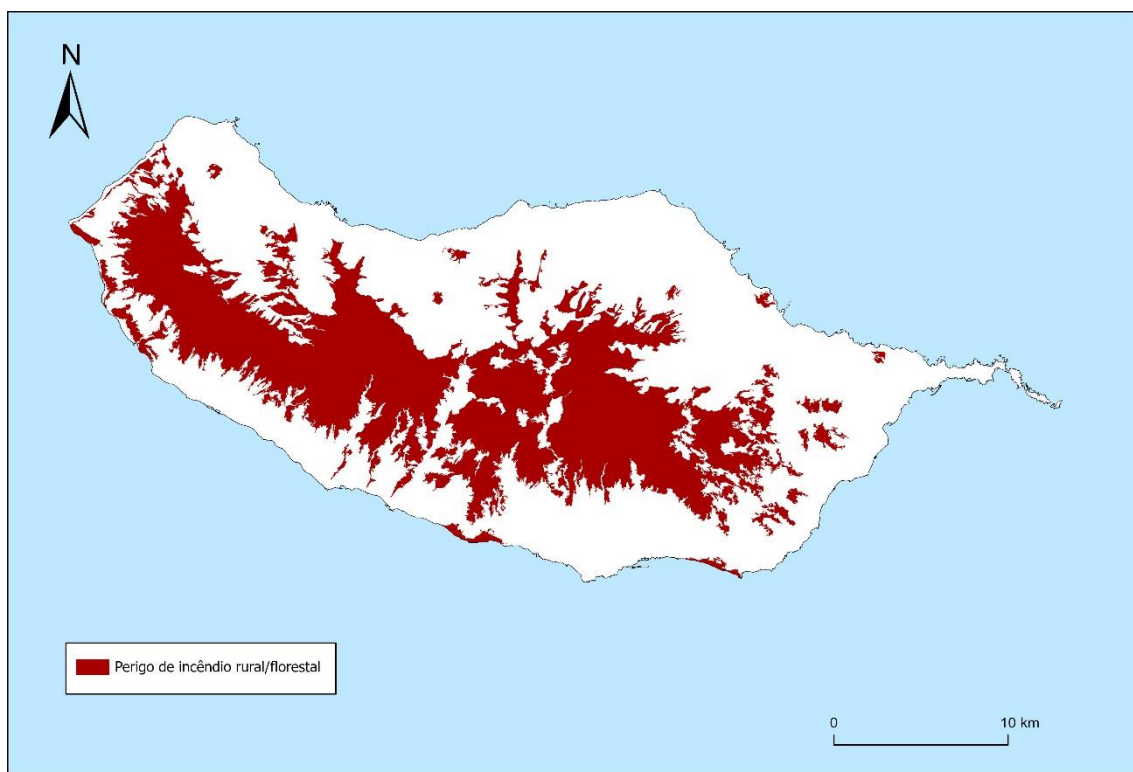


Figura 8 – Perigo de incêndio rural/florestal na ilha da Madeira

7. Sensibilidade às Inundações Fluviais

Devido aos contextos orográfico e climático, a ilha da Madeira possui uma propensão natural para a ocorrência de cheias rápidas (SRA/INAG, 2003), muitas vezes referidas localmente como “aluviões” (Quintal, 1999), devido à elevada carga sólida dos fluxos, incluindo detritos de grandes dimensões. As cheias rápidas afetam os troços terminais das principais ribeiras e ocorrem com maior frequência nos setores Sul e Sudoeste da ilha da Madeira. São menos frequentes no Porto Santo e desconhecidas nas Desertas.

O Plano Regional da Água da Madeira (PRAM) (SRA/INAG, 2003) identificou os locais afetados com maior frequência, incluindo a baixa do Funchal (ribeiras de Santa Luzia e de João Gomes), a Ribeira Brava, as ribeiras da Madalena e dos Socorridos, o Machico e Santa Cruz (na vertente Sul) e as ribeiras de S. Vicente, Seca, da Metade e de Massapez (na vertente Norte). O PRAM identificou “leitos de enxurrada” e “áreas com risco de inundação”, mas, de acordo com Reis et al. (sd), estas não contemplam a totalidade das áreas inundáveis da ilha da Madeira, razão que levou os autores a efetuar uma avaliação da suscetibilidade à ocorrência de cheias com 3 classes, no âmbito da Estratégia Regional de Adaptação às Alterações Climáticas – Estratégia CLIMA-Madeira. Nesse trabalho foi utilizada uma metodologia empregue também em Portugal continental (Reis, 2011; Santos et al., 2019, 2020).

A avaliação da sensibilidade a cheias teve em consideração a delimitação das áreas suscetíveis a “aluviões” e a cartografia da suscetibilidade a cheias rápidas, disponibilizadas pelo Observatório Clima Madeira, articulado com a Estratégia Regional de Adaptação às Alterações Climáticas – Estratégia CLIMA-Madeira (<https://observatorioclima.madeira.gov.pt/>). A avaliação é feita apenas para a ilha da Madeira, uma vez que este perigo natural tem uma expressão reduzida ou nula no Porto Santo e nas Desertas.

As áreas sensíveis às inundações fluviais foram identificadas por agregação das 3 classes definidas por Reis et al. (sd), juntamente com as áreas suscetíveis a “aluviões”, numa abordagem conservadora, compatível com a inexistência de projeções hidrológicas para o final do século XXI, em contexto de alterações climáticas.

A **Figura 9** representa as áreas sensíveis a inundação por cheia na ilha da Madeira. A **Tabela 6** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo, que corresponde a 1621 hectares, equivalentes a 2,2% do território da ilha da Madeira.



Figura 9 – Perigo de inundação fluvial na ilha da Madeira

Tabela 6 – Área sensível ao perigo de inundação fluvial na ilha da Madeira

ILHA	Área perigosa (hectares)	% ilha
MADEIRA	1621	2,2

8. Sensibilidade às Inundações Costeiras

A análise dos riscos hidrogeomorfológicos efetuada no âmbito da Estratégia Regional de Adaptação às Alterações Climáticas – Estratégia CLIMA-Madeira (Reis et al, sd), sistematizou as ocorrências históricas de galgamentos no período de 1926 a 2010, mas sem proposta de delimitação de áreas afetadas no passado ou projetadas para o futuro em cenários de alterações climáticas. Neste contexto, a delimitação das áreas sujeitas a inundação costeira no final do século XXI teve em conta as projeções disponibilizadas pela NASA em articulação com o IPCC (2021), acessíveis em [<https://sealevel.nasa.gov/>], que apontam para subidas do nível do mar no litoral da ilha da Madeira, até 2100, de 0,62 m e 0,87 m, respetivamente para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (SSP245 e SSP585, na nomenclatura dos cenários climáticos introduzida pelo IPPC em 2021). Adicionalmente, foram utilizadas como referência as modelações disponibilizadas no *Coastal Risk Screening Tool* do *Climate Central* [<https://coastal.climatecentral.org/>] (Kulp e Strauss, 2019), considerando as seguintes condições de cenário:

- Fonte da projeção da subida do nível do mar: dados do ‘estado-da-arte’ consensualizados (IPCC, 2021);
- Tipo de projeção: subida do nível do mar + efeito local da cheia moderada, com 10% de probabilidade anual de excedência. Os dados do incremento provocado pela cheia baseiam-se no trabalho de Muis et al. (2016).
- Ano: 2100.
- Incerteza desfavorável: percentil 95 das projeções da subida do nível do mar.
- Trajetória de emissões: RCP 8.5. As emissões globais de gases com efeito de estufa aumentam rapidamente durante a maior parte do século, duplicando aproximadamente até 2050 e resultando num incremento da temperatura de cerca de 4,4 °C, acima dos níveis pré-industriais, até 2100.

A **Figura 10** representa as áreas sensíveis a inundação costeira no arquipélago da Madeira. A **Tabela 7** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo nas ilhas do arquipélago da Madeira. Em termos absolutos, destaca-se a ilha da Madeira, com 878 hectares perigosos, enquanto as Desertas se destacam em termos relativos, com 19% da superfície exposta a este perigo. No total, a área perigosa abrange 1,9% do território do arquipélago da Madeira.



Figura 10 – Perigo de inundação costeira no arquipélago da Madeira

Tabela 7 – Área sensível ao perigo de inundação costeira no arquipélago da Madeira

ILHA	Área perigosa (hectares)	% ilha
MADEIRA	878	1,2
PORTO SANTO	383	9,0
DESERTAS	263	19,1
TOTAL	1524	1,9

9. Sensibilidade à Instabilidade de Vertentes

A avaliação da sensibilidade à instabilidade de vertentes usa como referência a cartografia de suscetibilidade a movimentos de massa em vertentes, disponibilizada pelo Observatório Clima Madeira, articulado com a Estratégia Regional de Adaptação às Alterações Climáticas – Estratégia CLIMA-Madeira (<https://observatorioclima.madeira.gov.pt/>). A avaliação é feita apenas para a ilha da Madeira, uma vez que este perigo natural tem uma expressão reduzida ou nula no Porto Santo e nas Desertas.

O trabalho utilizado na Estratégia CLIMA-Madeira foi realizado por Filipe (2015) e enquadrado na elaboração do Plano Regional de Emergência de Proteção Civil da Região Autónoma da Madeira. Foi efetuado um inventário com 1026 deslizamentos, através de fotointerpretação de imagens de grande resolução (30 cm), o qual foi combinado com 7 fatores de predisposição, através do método estatístico do Valor Informativo. O modelo de suscetibilidade foi classificado em 5 classes (1– Nula ou muito reduzida; 2– Reduzida; 3– Moderada; 4– Elevada; 5– Muito elevada), com base nas quebras naturais da curva de sucesso do modelo de suscetibilidade.

Ao contrário do continente, não há dados suficientes na ilha da Madeira para extrapolar a sensibilidade à instabilidade de vertentes para o final do século em diferentes cenários climáticos. Assim, a identificação territorial do perigo de instabilidade de vertentes baseou-se na carta de sensibilidade atual e selecionando as classes de suscetibilidade elevada e muito elevada.

A **Figura 11** mostra a sensibilidade atual à instabilidade de vertentes na ilha da Madeira e a **Figura 12** delimita a zona de perigo considerada para este território. A **Tabela 8** sistematiza a superfície englobada nesta zona de perigo, que corresponde a 42845 hectares, equivalentes a 57,8% do território da ilha da Madeira.

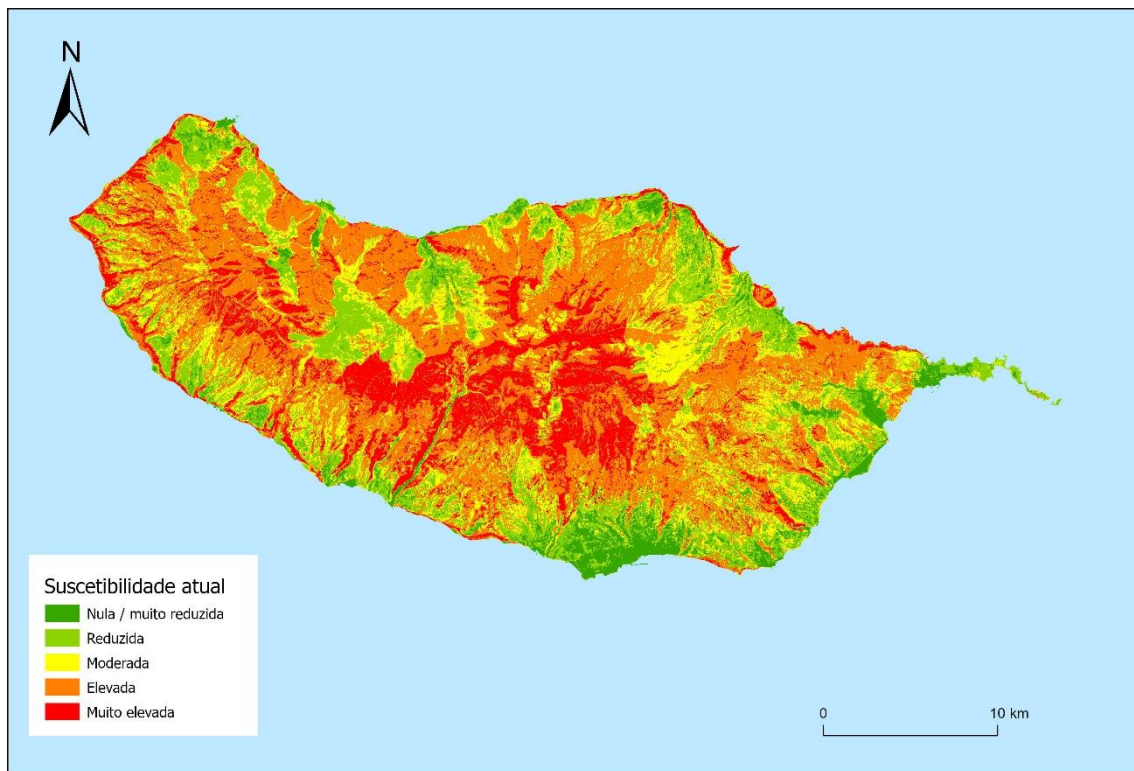


Figura 11 – Sensibilidade atual à instabilidade de vertentes na ilha da Madeira

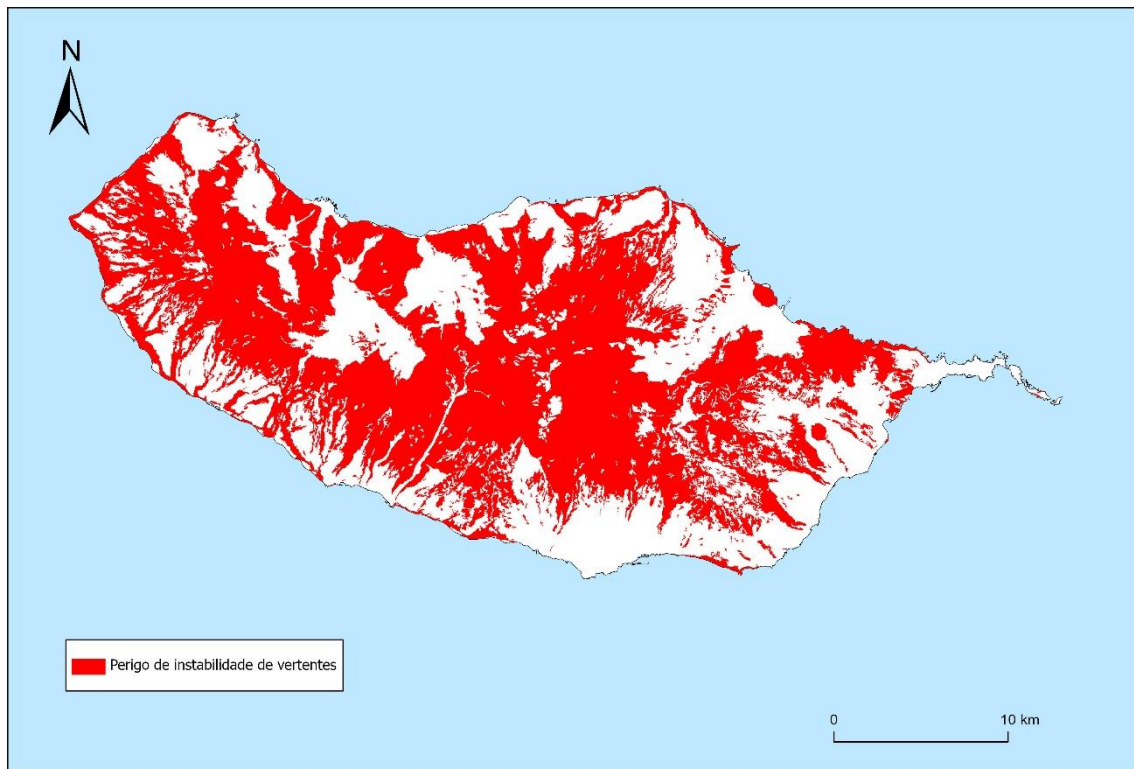


Figura 12 – Perigo de instabilidade de vertentes na ilha da Madeira

Tabela 8 – Área sensível ao perigo de instabilidade de vertentes na ilha da Madeira

ILHA	Área perigosa (hectares)	% ilha
MADEIRA	42845	57,8

Referências

- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 146(730), 1999-2049.
- 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.
- Kulp, S.A.; Strauss, B.H. (2019). New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/S41467-019-12808-Z>
- Muis, S.; Verlaan, M.; Winsemius, H.C.; Aerts, J.C.; Ward, P.J. (2016). A global reanalysis of storm surges and extreme sea levels. *Nature communications*, 7(1), 1-12.
- Quintal, R. (1999). Aluviões da Madeira. Séculos XIX e XX. *Territorium*, nº6, Minerva, Coimbra. Pp. 31-48.
- 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.
- Reis, E., Bergonse, R., Simões, E., Filipe, P. (sd) Impactos e vulnerabilidades às alterações climáticas. Riscos hidrogeomorfológicos, Relatório de vulnerabilidades e medidas de adaptação. Observatório Clima Madeira.
- Santos, P.P., Pereira, S., Zêzere, J., Tavares, A.O., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S.C. (2020). A comprehensive approach to understanding flood risk drivers at the municipal level. *Journal of environmental management*, 260, 110127.

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.

Skamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Barker, D., Duda, M., Huang, X., Wang, W., Powers, J. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical Report, NCAR.

SRA/INAG (2003). Plano Regional da Água da Madeira. Relatório Técnico (versão para consulta pública). Secretaria Regional do Ambiente e Instituto da Água, Funchal.