

Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira - Fase 2

Nota técnica B3

Mapas de perigosidade de
deslizamento para a ilha da Madeira

Dezembro de 2017



Mapas de perigosidade de deslizamento para a ilha da Madeira

Ficha do documento	
Projeto	Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira - Fase 2
Coordenação	António Betâmio da Almeida (IST), Rodrigo Proença de Oliveira (IST), Paulo França (UMa)
Cliente	Governo Regional da Madeira / Direção-regional de Infraestruturas e equipamentos
Documento	Nota técnica B3. Mapas de perigosidade de deslizamento para a ilha da Madeira.
Autores	António Jorge Sousa, Maria João Pereira
Data	Dezembro de 2017
Versão	Versão para divulgação pública



Análise de imagem para inventariação automática e rápida dos deslizamentos de vertentes

Índice de texto

Índice de texto.....	iii
Índice de figuras	iv
Índice de quadros.....	v
1 Enquadramento	1
2 Objetivos	2
3 Informação de base.....	3
4 Mapa de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa	5
5 Limiares de intensidade e duração da precipitação	11
6 Matriz de níveis de aviso à ocorrência de movimentos de massa.....	13
7 Incerteza na modelação	18

Índice de figuras

Figura 1 - Cicatrizes em forma de poligonos (esquerda) e cicatrizes na base da malha quadrada (célula activa: vermelho; célula não activa: branco) (direita).....	5
Figura 2 - Mapa de precipitação acumulada entre 2001 e 2009 (resolução 40 por 40 metros). .	6
Figura 3 - Mapa de declive mínimo (resolução 40 por 40 metros).....	7
Figura 4 - Mapa de declive médio (resolução 40 por 40 metros).	7
Figura 5 - Mapa de ocupação do solo (COS2007, 5 níveis) (resolução 40 por 40 metros).	8
Figura 6 - Mapa de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa (resolução 40 por 40 metros).....	8
Figura 7 - Mapa de suscetibilidade binário com sobreposição das cicatrizes de 2010 (células a preto) para a região da Ribeira Brava e Funchal. Vermelho: células suscetíveis a deslizamentos (probabilidade superior a 0.42). Cinzento: células não suscetíveis a deslizamentos (probabilidade inferior a 0.42).....	9
Figura 8 - Mapa de suscetibilidade binário com sobreposição das cicatrizes de 2011 (células a preto). Vermelho: células suscetíveis a deslizamentos (probabilidade superior a 0.42). Cinzento: células não suscetíveis a deslizamentos (probabilidade inferior a 0.42).....	10
Figura 9: Gráfico de intensidade e duração de eventos (precipitação horária superior a 8mm) e divisão por cores das 4 classes.....	13
Figura 10 - Mapa de classes de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa para as zonas da Ribeira Brava e Funchal (resolução 40 por 40 metros).....	14
Figura 11 - Mapa de classes de intensidade-duração de precipitação para as zonas da Ribeira Brava e Funchal, definidas para o período de duração do evento que se iniciou em 20 de Fevereiro de 2010.	15
Figura 12 - Esquema da metodologia desenvolvida para a definição do nível de aviso.....	16
Figura 13: Níveis de aviso definidos para as condições de precipitação do evento de 20 de Fevereiro de 2010 na região da Ribeira Brava e Funchal.....	18
Figura 14: Mapa da variância obtido das cem simulações da variável precipitação acumulada entre 2001-2009.....	19
Figura 15: Histogramas dos coeficientes dos parâmetros obtidos pelo ajustamento de cada modelo a cada uma das simulações da precipitação acumulada entre 2001-2009.	20
Figura 16: Mapa de variância obtido dos cem modelos de suscetibilidade.	20

Índice de quadros

Quadro 1 - Fatores condicionantes candidatos.	4
Quadro 2: Tabela de classificação. Células corretamente classificadas (células ativas – suscetíveis, células não ativas – não suscetíveis) e incorretamente classificadas (células ativas – não suscetíveis, células não ativas – suscetíveis) para as zonas da Ribeira Brava e Funchal (2008 e 2010) e ilha da Madeira (2011).	11
Quadro 3 - Número de células com presença/ausência de movimentos de massa por classe de intensidade e duração de precipitação.	12
Quadro 4 - Matriz de níveis de aviso à ocorrência de movimentos de massa.	17
Quadro 5: Frequência de células ativas (com deslizamentos) e não ativas (sem deslizamentos) distribuídas pelos níveis de aviso definidos para o evento de 20 de Fevereiro de 2010.	18



Análise de imagem para inventariação automática e rápida dos deslizamentos de vertentes

1 Enquadramento

Este documento foi produzido no âmbito da 2ª fase do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira (EARAM2), um projecto desenvolvido para o Governo Regional da Madeira por um consórcio constituído pelo Instituto Superior Técnico (IST), pela Associação para o Desenvolvimento do IST (ADIST) e pela Universidade da Madeira (UMa).

O EARAM2 vem na sequência da 1ª fase do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira, lançado pela Secretaria Regional do Equipamento Social da Região Autónoma da Madeira (SRES) após o acontecimento hidrológico ocorrido em 20 de fevereiro de 2010. Os trabalhos da referida 1ª Fase decorreram entre 1 de maio e 31 de dezembro de 2010 e tiveram os seguintes objetivos gerais:

- Caracterização fenomenológica do evento de 20 de fevereiro;
- Avaliação dos riscos associados às aluviões na Ilha da Madeira;
- Estabelecimento de princípios gerais de orientação das intervenções de prevenção e proteção.

O âmbito geográfico desta 1ª fase compreendeu a área abrangida pelas bacias hidrográficas mais afetadas pelo evento de 20 de fevereiro de 2010: as bacias das ribeiras de João Gomes, Santa Luzia e São João, do Concelho do Funchal, e as bacias das ribeiras da Ribeira Brava e Tabua, do Concelho da Ribeira Brava.

A descrição dos estudos efetuados, as principais conclusões obtidas e os princípios orientadores propostos foram apresentados no Relatório Final (dezembro de 2010), no Relatório-Síntese (novembro de 2010) e no relatório com os Princípios Orientadores (agosto de 2010).

O EARAM2 complementa os trabalhos da 1ª fase do projeto e tem os seguintes objetivos estratégicos:

- Aprofundar o conhecimento sobre o fenómeno das aluviões, melhorar da metodologia para avaliação do risco e contribuir para a implementação da Diretiva da EU sobre cheias e inundações (Diretiva 2007/60/CE) à Região Autónoma da Madeira;
- Estender a avaliação do risco a toda a ilha da Madeira;
- Conceber o sistema de previsão e aviso de aluviões;

- Avaliar os condicionalismos sociais na prevenção do risco de aluviões
- Desenvolver ações de divulgação pública e de formação sobre este tipo de risco.

Este documento é um dos produtos intermédios do EARAM2 e tem por principal objetivo a partilha de informação entre os elementos da equipa IST/UMa e dos vários organismos da administração regional que acompanham o projeto. Pode ser objeto de revisão e atualização frequente e deve, por isso, ser lido como documento de trabalho. A versão final do documento será integrada no relatório final do projeto.

2 Objetivos

A construção de um sistema de níveis de aviso à ocorrência de deslizamentos é um processo complexo e multivariado e tem por objetivo avisar as entidades governamentais e a população para a possibilidade de ocorrência deste tipo de fenómenos emitindo diferentes níveis de aviso. Estes fenómenos podem ser modelados a partir da informação de dois grupos de dados, os fatores condicionantes e os fatores desencadeantes. Os fatores condicionantes estão presentes e determinam quais as áreas potencialmente suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, enquanto os fatores desencadeantes ocorrem de forma esporádica e são responsáveis pelo impulso que desencadeia o movimento.

Neste trabalho os níveis de aviso foram estabelecidos com base na suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa (fatores condicionantes) onde se identificou quais os fatores estáticos (ex.: declive, altitude) que influenciam a sua localização, padrão e densidade espacial. E nos dados de intensidade e duração de eventos de precipitação que desencadearam deslizamentos (fatores desencadeantes).

A construção do sistema de níveis de aviso baseou-se no pressuposto que os movimentos de massa no futuro serão mais prováveis de ocorrer em condições semelhantes às condições que desencadearam a instabilidade no passado e presente. Deste modo o mapa de suscetibilidade foi construído com base nas cicatrizes delimitadas para o evento de 20 de fevereiro de 2010 e a definição dos limiares de intensidade e duração de precipitação através da inventariação de eventos de deslizamentos ocorridos e registados na ilha da Madeira por pesquisa bibliográfica entre o período de janeiro de 2002 a novembro de 2014.

Este capítulo encontra-se dividido em quatro subcapítulos, nos dois primeiros é apresentada a metodologia utilizada para a construção do mapa de suscetibilidade e a definição de limiares de intensidade e precipitação. No terceiro capítulo a integração destas duas fontes de dados numa matriz de níveis de aviso. No último capítulo, aborda-se a problemática da incerteza dos resultados que está sempre presente neste tipo de análise que envolve a extrapolação de dados locais para áreas maiores.

3 Informação de base

A informação de base utilizada para a modelação da suscetibilidade foi a seguinte:

- Modelo digital de terreno, com o sistema de coordenadas UTM – Fuso 28 N, Datum BaseSE Porto Santo 1995 e MDT posterior ao acidente obtido por aerofotogrametria de voo de 2010. A escala de produção é de 1:5000, com resolução final de 5 metros para ficheiros MDT – GRID;
- Carta geológica (escala 1:80000) do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) de 2009 em formato Shape File;
- Carta de ocupação do solo de 2007 (COSRAM_2007). Escala 1:10000, com resolução de 0.25ha de área mínima cartográfica e com cinco níveis de classificação (compatível com os três níveis de classificação da CORINE Land Cover);
- Carta de solos em formato Shape File;
- Precipitação acumulada 2001-2009;
- Inventariação dos movimentos de massa delimitados para os anos 2008, 2011 e 2012.

Diferentes atributos topográficos do terreno podem ser modelados a partir do MDT. Neste trabalho e através de ferramentas disponíveis no software ArcGIS, modelou-se o declive e a exposição.

O mapa da precipitação acumulada para o período de Janeiro de 2001 a Dezembro de 2009 foi modelado com base nos dados de precipitação diária de 18 postos e estações distribuídos pela ilha da Madeira. O método geoestatístico utilizado foi a simulação sequencial direta. Com simulações de igual probabilidade de ocorrência foram geradas e foi construído um mapa médio das simulações.

Toda a informação foi reunida numa malha quadrada de 40 por 40 metros com o objetivo de uniformizar a unidade base da informação. Para os factores qualitativos, como é o caso da ocupação do solo, cada célula da malha tomou o valor com maior área de ocupação. Para os factores quantitativos, altitude e declive, uma vez a informação original ter uma resolução superior (5 por 5 metros), conservou-se o valor máximo, mínimo e médio. Este último processo levou à transformação deste dois factores em 3 factores: máximo, mínimo e média (Quadro 1). O mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa, nos vários períodos de tempo, também foi convertido para uma malha de 40 por 40 metros, sendo que, uma célula foi considerada activa (tomando o valor 1) se no mínimo 10% da sua área fosse preenchida por cicatriz(es) e não activa caso contrário (tomando o valor 0). A título de exemplo, apresenta-se no primeiro mapa, da Figura 1 **Error! Reference source not found.**, os polígonos delimitados para um conjunto de cicatrizes, e no segundo mapa (malha de 40 por 40 metros) as células consideradas activas representadas a vermelho e as não activas a branco.

Quadro 1 - Fatores condicionantes candidatos.

Fator condicionante	Abreviatura
Declive médio	Dmédio
Declive máximo	Dmax
Declive mínimo	Dmin
Altitude média	Amédia
Altitude máxima	Amax
Altitude mínima	Amin
Exposição	E
Geologia	Geo
Tipo de solo	Solo
Ocupação do solo	OS
Precipitação acumulada (2011-2009)	Pac

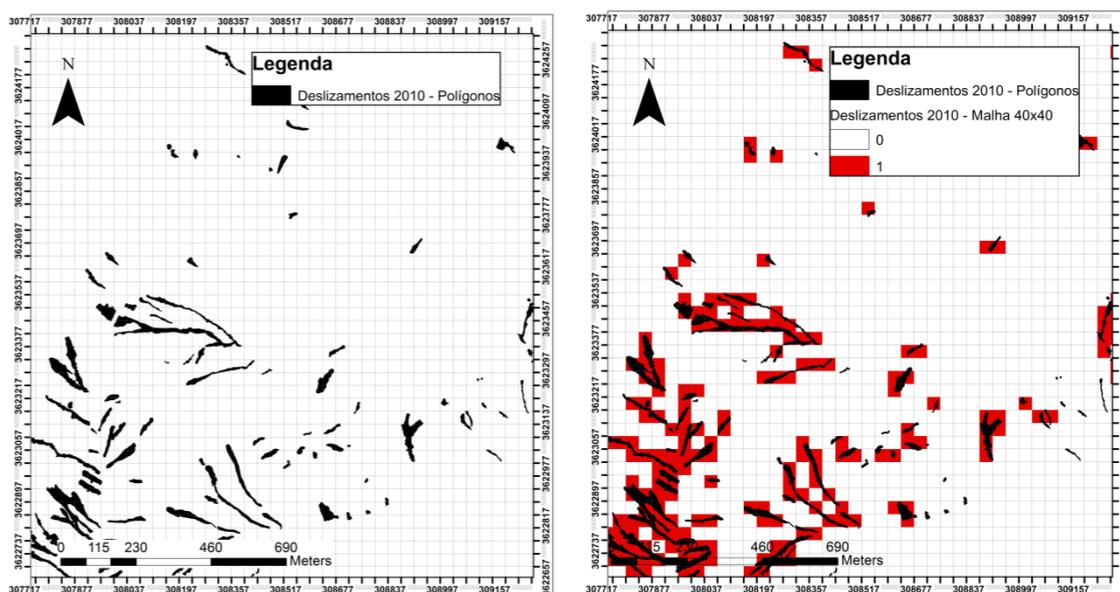


Figura 1 - Cicatrizes em forma de poligonos (esquerda) e cicatrizes na base da malha quadrada (célula activa: vermelho; célula não activa: branco) (direita).

4 Mapa de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa

Como anteriormente referido, o modelo de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa foi construído com base nas cicatrizes de 2010 referentes ao evento de 20 de fevereiro. Três áreas da região do Funchal foram selecionadas como zonas de treino do modelo e a área total da região da Ribeira Brava e do Funchal como zonas de teste analisando as cicatrizes de 2008 e 2010 e a área total da ilha da Madeira para as cicatrizes de 2011.

Para a modelação foi adotado um dos casos particulares dos modelos lineares generalizados, a regressão logística. A regressão logística estima a probabilidade de uma resposta binária com base em uma ou mais variáveis explicativas. A variável resposta, neste caso, é a presença ou ausência de cicatrizes e as variáveis explicativas candidatas são os fatores condicionantes (Quadro 1). O critério de informação de Akaike (AIC) foi utilizado para selecionar o modelo que melhor ajuste apresenta ao conjunto de dados. Do conjunto das variáveis candidatas a integrarem o modelo de regressão logística, quatro foram selecionadas atendendo o critério AIC: precipitação acumulada 2001-2009, declive mínimo, declive médio e ocupação do solo (Equação 1).

$$\begin{aligned}
 p(\text{Deslizamentos}) &= -7.19 + 3.50 \times 10^{-04} PN + 3.57 \times 10^{-2} D_{\text{min}} + 3.31 \\
 &\times 10^{-2} D_{\text{médio}} + 2.94 OS_2 + 1.02 OS_3 \pm 1.39 OS_5
 \end{aligned}$$

Equação
1

Da Figura 2 à Figura 5 apresentam-se os mapas dos quatro fatores que integram o modelo de regressão logística e na Figura 6 o mapa de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa da ilha da Madeira.

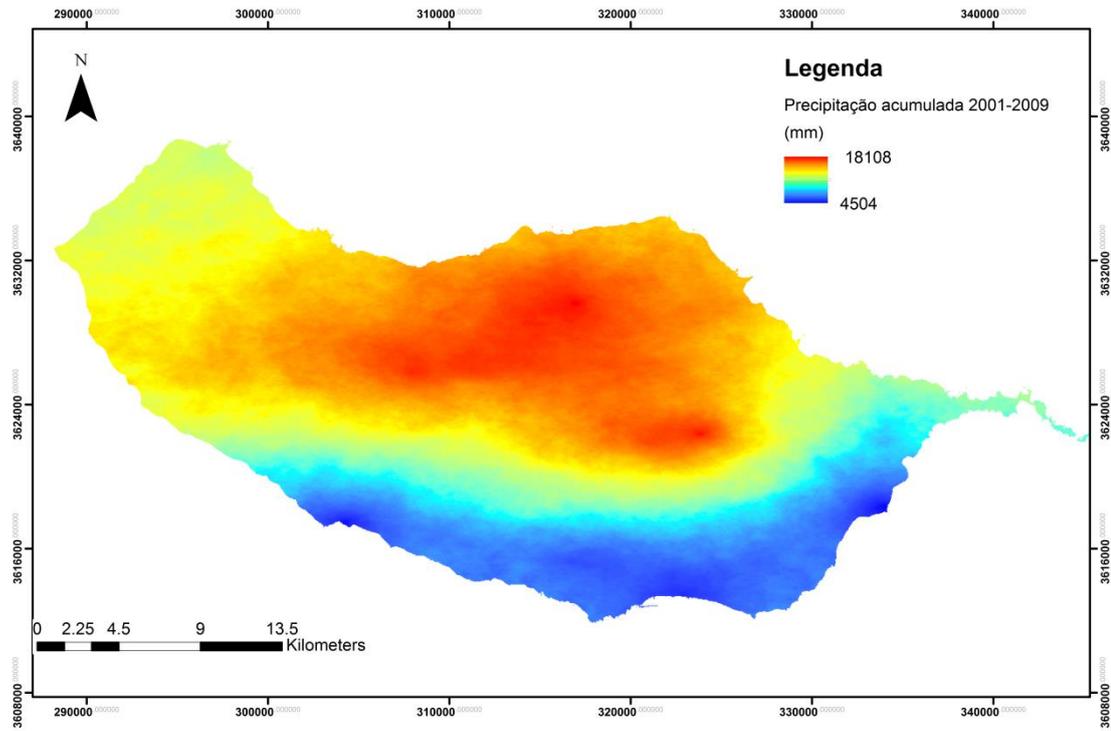


Figura 2 - Mapa de precipitação acumulada entre 2001 e 2009 (resolução 40 por 40 metros).

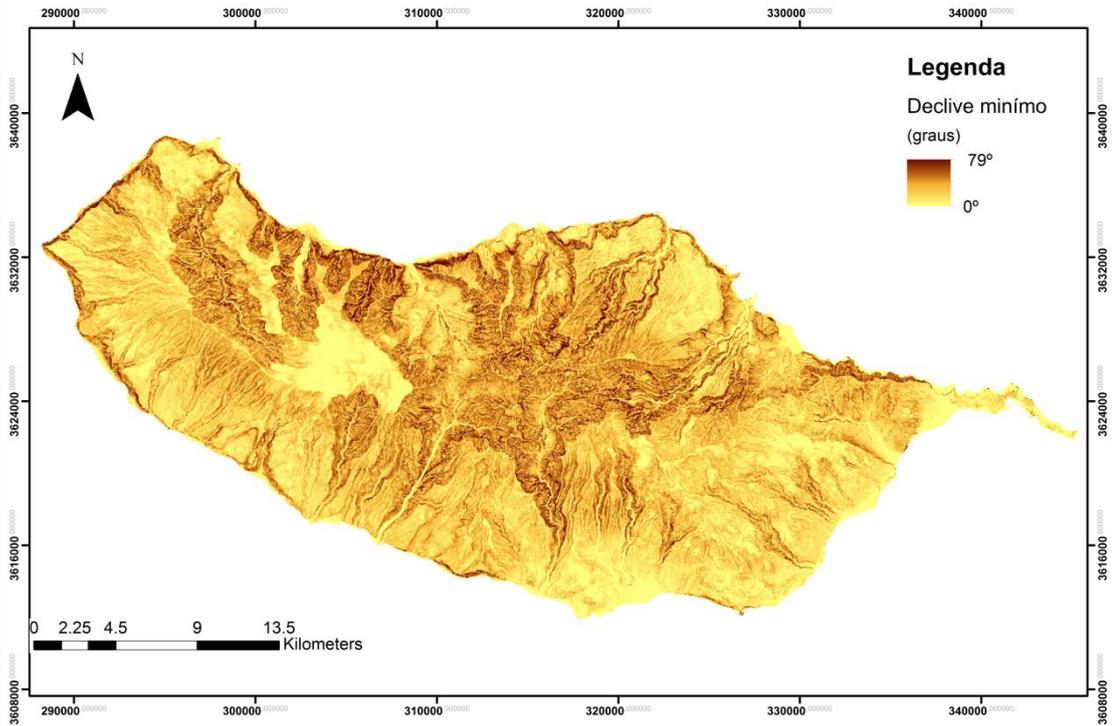


Figura 3 - Mapa de declive mínimo (resolução 40 por 40 metros).

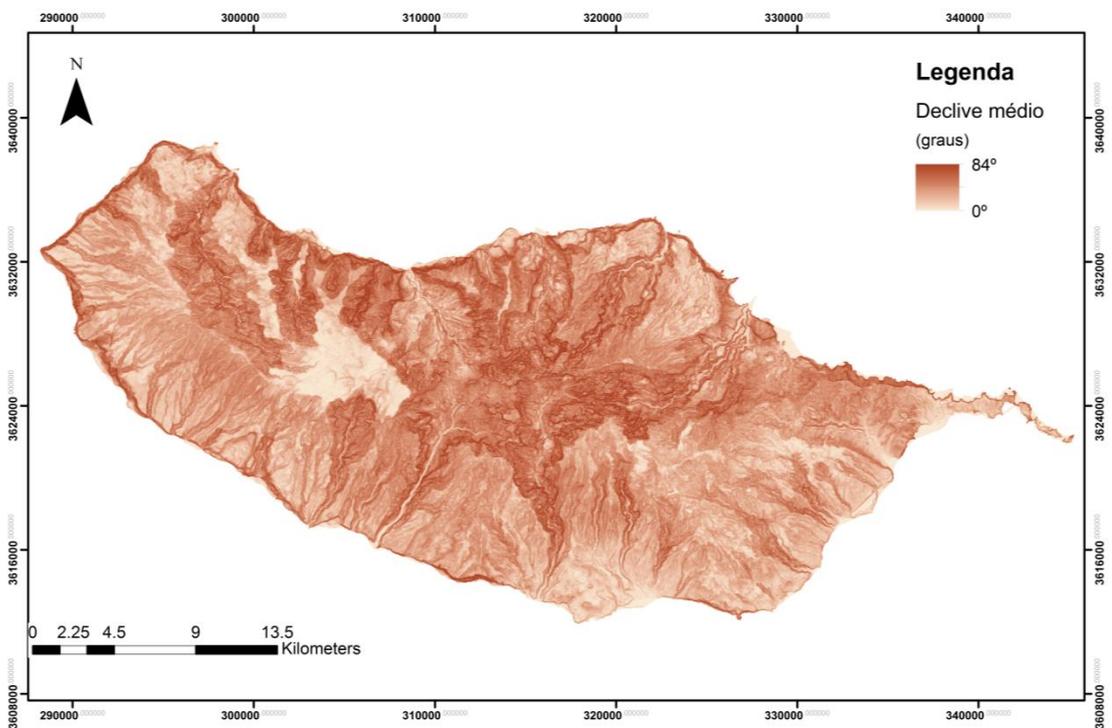


Figura 4 - Mapa de declive médio (resolução 40 por 40 metros).

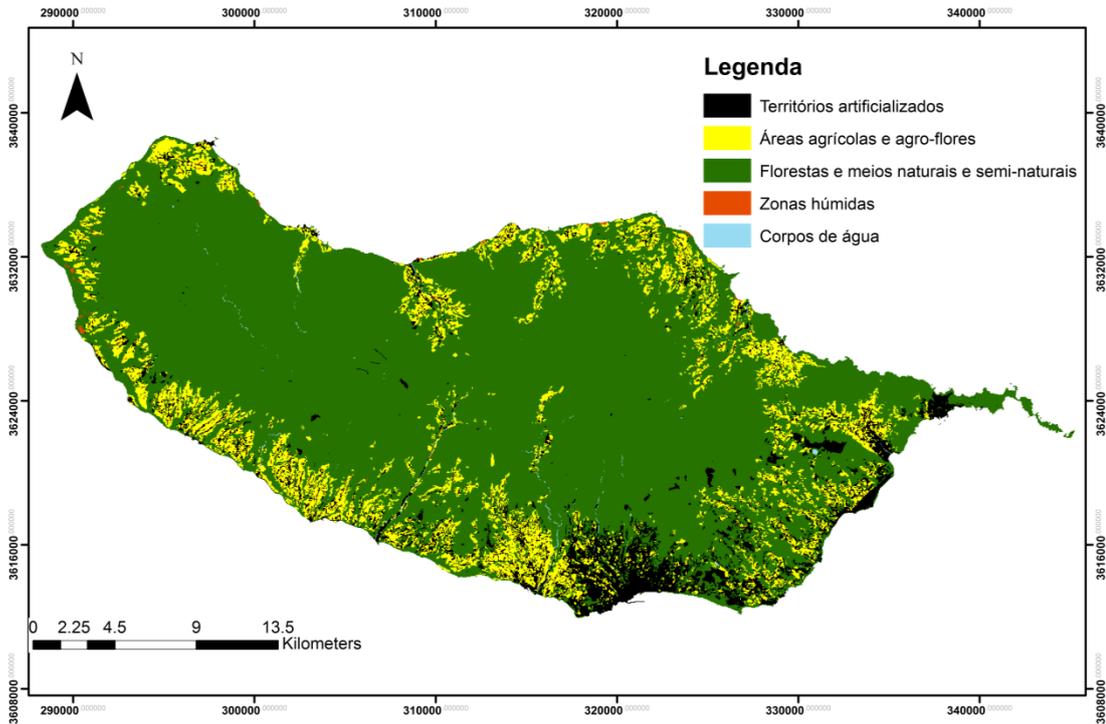


Figura 5 - Mapa de ocupação do solo (COS2007, 5 níveis) (resolução 40 por 40 metros).

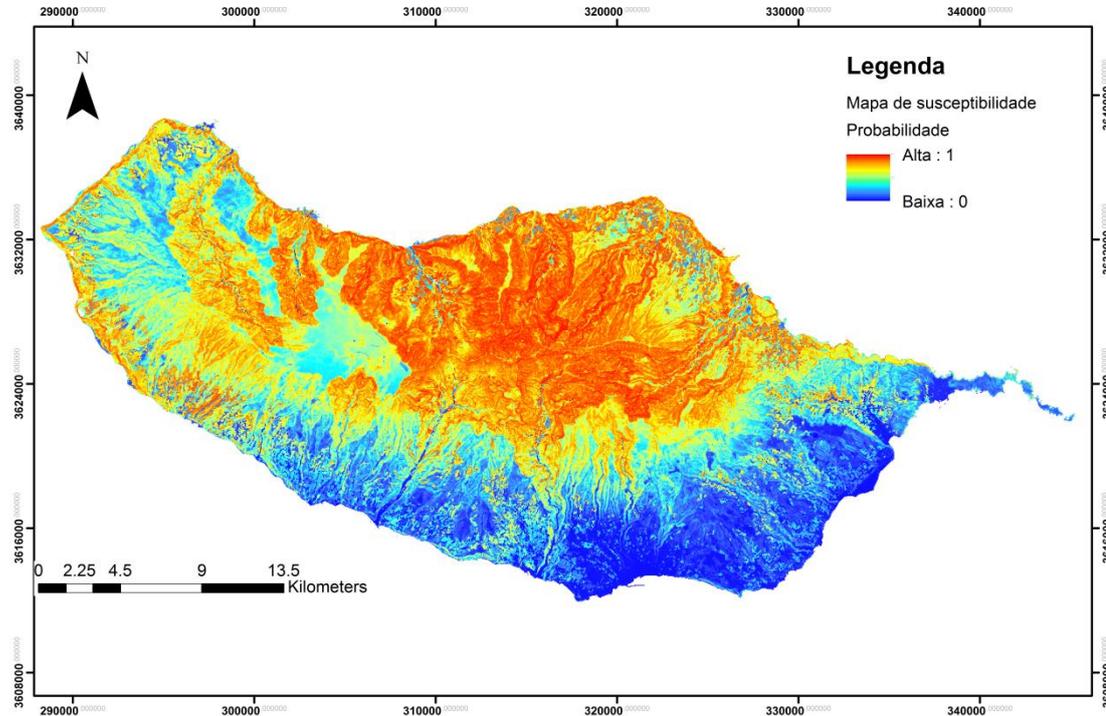


Figura 6 - Mapa de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa (resolução 40 por 40 metros).

Para validar o modelo (Equação 1) transformou-se a probabilidade numa resposta binária seleccionando um valor de corte. O valor que permite obter igual percentagem de

verdadeiros positivos e verdadeiros negativos foi escolhido como valor de corte, ou seja, o valor para o qual se obtém igual percentagem de células ativas e não ativas bem classificadas. Selecionado o valor de corte ($P_{corte} = 0.42$) construiu-se um mapa com duas classes: suscetível a deslizamentos e não suscetível a deslizamentos (Figura 7 e Figura 8). No Quadro 2 apresentam-se os valores das células bem e mal classificadas para as cicatrizes de 2008, 2010 e 2011.

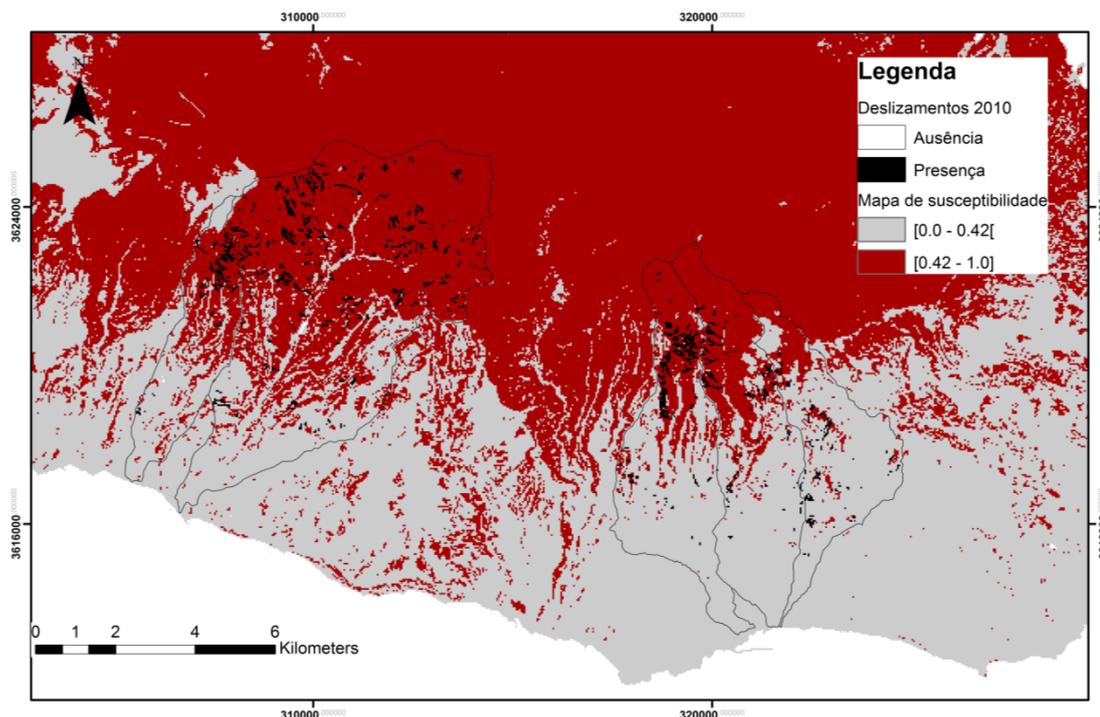


Figura 7 - Mapa de suscetibilidade binário com sobreposição das cicatrizes de 2010 (células a preto) para a região da Ribeira Brava e Funchal. Vermelho: células suscetíveis a deslizamentos (probabilidade superior a 0.42). Cinzento: células não suscetíveis a deslizamentos (probabilidade inferior a 0.42).

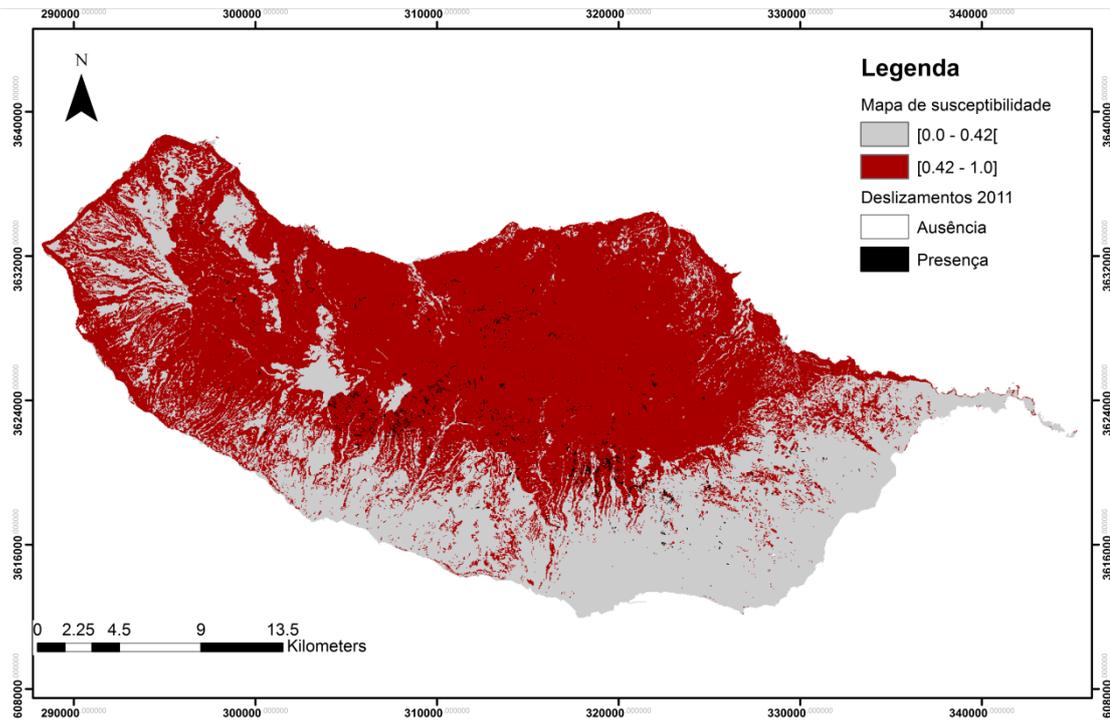


Figura 8 - Mapa de susceptibilidade binário com sobreposição das cicatrizes de 2011 (células a preto). Vermelho: células suscetíveis a deslizamentos (probabilidade superior a 0.42). Cinzento: células não suscetíveis a deslizamentos (probabilidade inferior a 0.42).

Quadro 2: Tabela de classificação. Células corretamente classificadas (células ativas – suscetíveis, células não ativas – não suscetíveis) e incorretamente classificadas (células ativas – não suscetíveis, células não ativas – suscetíveis) para as zonas da Ribeira Brava e Funchal (2008 e 2010) e ilha da Madeira (2011).

	Células ativas	Células não ativas	Cicatrizes
Suscetível	71%	29%	Funchal
Não suscetível	29%	71%	
Suscetível	36%	64%	Ribeira Brava 2010
Não suscetível	8%	92%	
Suscetível	52%	48%	Funchal + Ribeira Brava
Não suscetível	16%	84%	
Suscetível	51%	49%	Funchal + Ribeira Brava 2008
Não suscetível	17%	83%	
Suscetível	38%	62%	Ilha da Madeira 2011
Não suscetível	15%	85%	

5 Limiares de intensidade e duração da precipitação

Da inventariação de eventos de precipitação resultaram 74 registos entre o período de janeiro de 2002 a novembro de 2014. Após, e com base nos nesses eventos, definiu-se o critério para um evento de precipitação que pode potencialmente desencadear a ocorrência de deslizamentos. Para o caso particular da ilha da Madeira estabeleceu-se o valor de precipitação horária igual ou superior a 8mm e o seu fim sempre que decorram 24 horas de precipitação igual a zero.

Através de uma rotina em Matlab e utilizando a estação do Areeiro como referência para a ilha da Madeira, identificaram-se os eventos de precipitação de acordo com o critério estabelecido. Observaram-se 136 eventos de precipitação, dos quais, 22 possuem registo histórico de ocorrência de movimentos de massa.

Com os dados de intensidade e duração de precipitação dos 136 eventos (114 sem deslizamentos e 22 com deslizamentos associados) definiram-se áreas com diferentes frequências de ocorrência de deslizamentos (Quadro 3). Da classe 1 para a 4 aumenta a frequência de eventos associados a deslizamentos e contrariamente diminui a frequência de eventos sem deslizamentos (Figura 9).

As quatro classes são limitadas por 2 fronteiras verticais e 3 curvas de limiares de intensidade-duração de precipitação:

- Fronteiras verticais:
 - Duração = 6
 - Duração = 24
- Limiares:
 - Intensidade = $6 \times \text{Duração}^{-0.44}$
 - Intensidade = $21 \times \text{Duração}^{-0.44}$
 - Intensidade = $32 \times \text{Duração}^{-0.44}$

Quadro 3 - Número de células com presença/ausência de movimentos de massa por classe de intensidade e duração de precipitação.

C1			C2		
Evento	Nº	%	Evento	Nº	%
Com deslizamento	0	0	Com deslizamento	7	15%
Sem deslizamento	63	100	Sem deslizamento	41	85%

C3			C4		
Evento	Nº	%	Evento	Nº	%
Com deslizamento	9	50	Com deslizamento	6	86
Sem deslizamento	9	50	Sem deslizamento	1	14

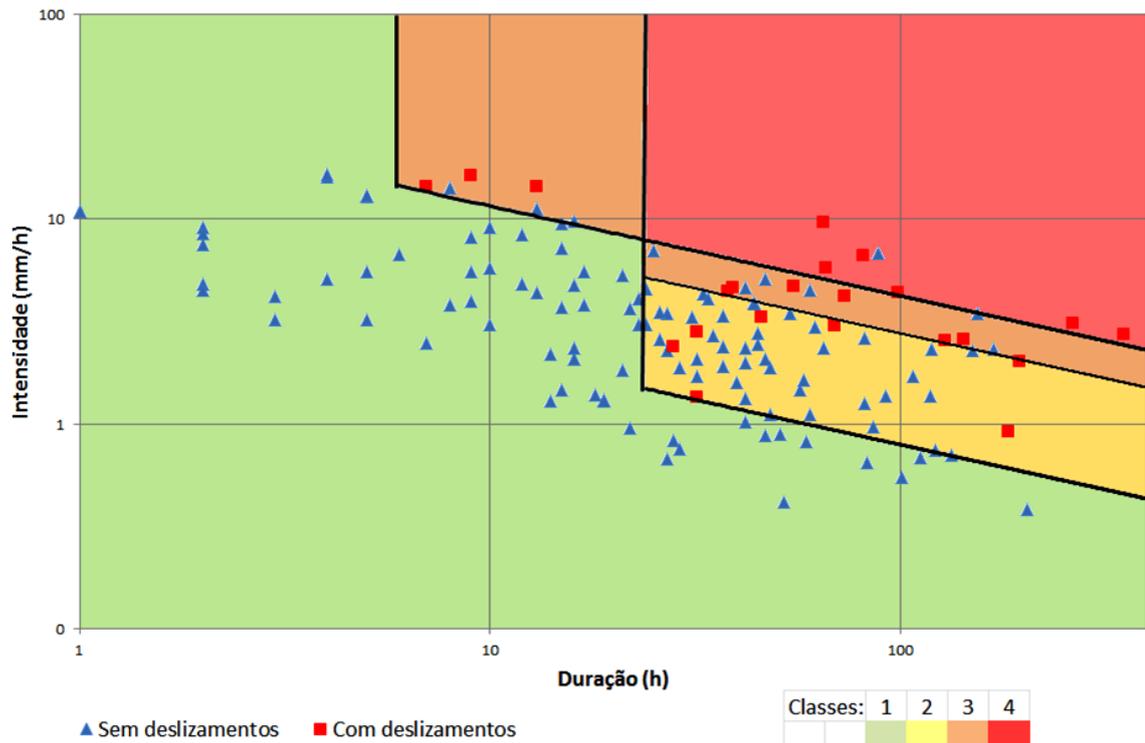


Figura 9: Gráfico de intensidade e duração de eventos (precipitação horária superior a 8mm) e divisão por cores das 4 classes.

6 Matriz de níveis de aviso à ocorrência de movimentos de massa

O objetivo da matriz é unir a informação adquirida dos fatores condicionantes (modelo de suscetibilidade) e dos fatores desencadeantes (classes de intensidade e duração de precipitação) e definir diferentes níveis de aviso dependentes da probabilidade de ocorrência de movimentos de massa desencadeados por um evento de precipitação (Quadro 4).

A primeira etapa consistiu na transformação do mapa de suscetibilidade igualmente em quatro classes (Figura 10):

- Classe 1: suscetibilidade inferior ou igual a 0.1
- Classe 2: suscetibilidade superior a 0.1 e inferior ou igual a 0.4
- Classe 3: suscetibilidade superior a 0.4 e inferior ou igual a 0.6
- Classe 4: suscetibilidade superior a 0.6

Na segunda etapa, calcularam-se os valores de precipitação média horária de 24 estações e postos meteorológicos, para o intervalo de tempo do evento extremo de 20 de Fevereiro de 2010. Este evento teve início às 4 horas de dia 20 de Fevereiro de 2010 e terminou às 21 horas de dia 22 de Fevereiro de 2010, totalizando 65 horas de duração. Com base nestes dados, estimou-se por krigagem ordinária, a precipitação média horária para a zona do

Funchal e Ribeira Brava (Figura). Posteriormente classificou-se cada célula segundo as quatro classes de intensidade e duração de precipitação (Figura 11).

A terceira etapa consistiu na definição de níveis de aviso cruzando as classes de suscetibilidade com as classes de intensidade-duração de precipitação. Estes dois conjuntos de dados encontram-se numa resolução de 40 por 40 metros. Aplicando a matriz apresentada na Quadro 4, definiram-se diferentes níveis. Posteriormente reduziu-se a resolução da informação para uma malha de 400 por 400 metros, onde cada célula tomou o valor de maior frequência. Esse valor é então considerado o nível de aviso emitido à escala de 400 por 400 metros e reflecte o grau de probabilidade de ocorrência de movimentos de massa na respectiva área. O esquema da metodologia desenvolvida encontra-se representado na Figura 12.

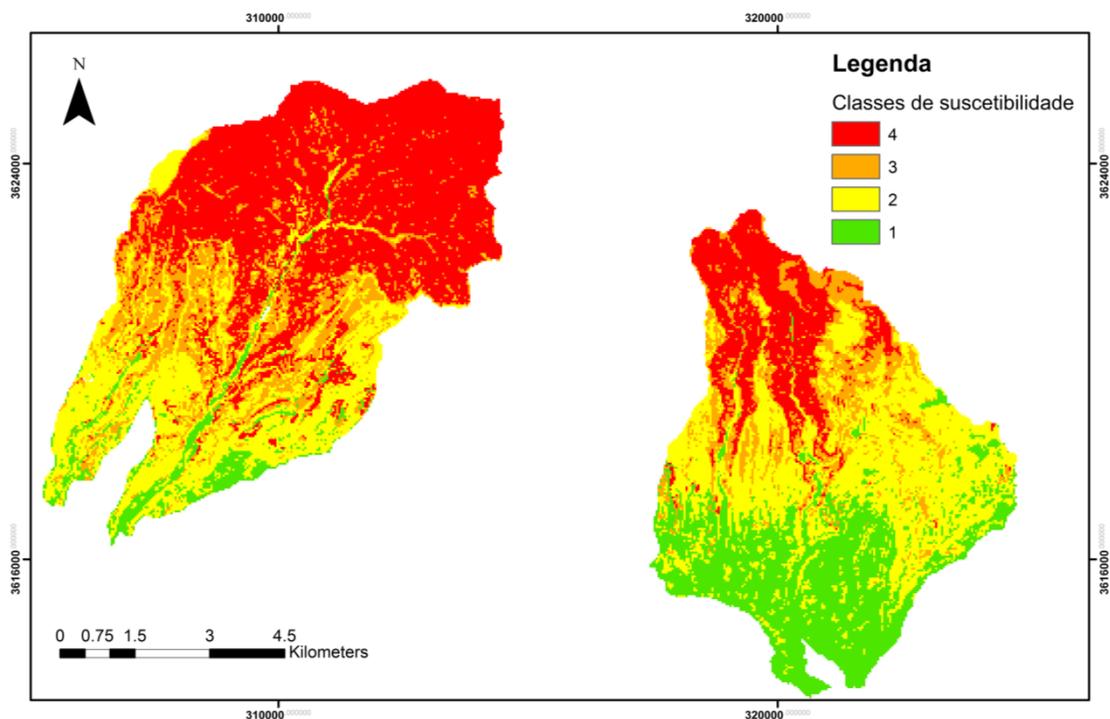


Figura 10 - Mapa de classes de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa para as zonas da Ribeira Brava e Funchal (resolução 40 por 40 metros).

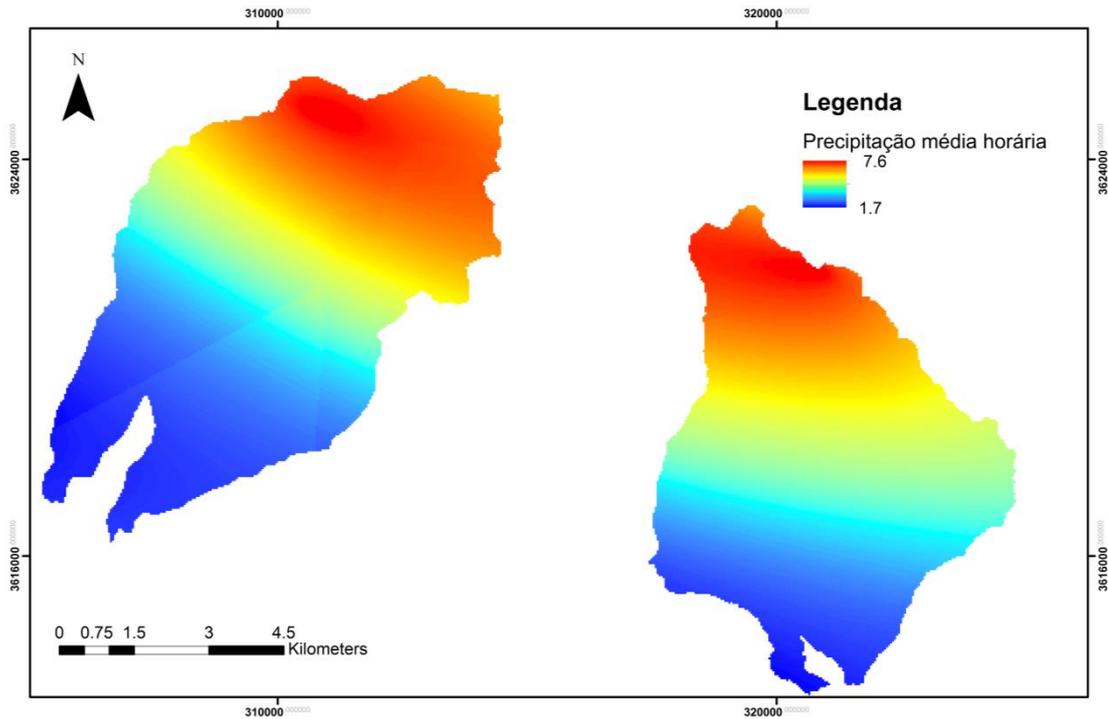


Figura - Mapa da precipitação média horária para as zonas da Ribeira Brava e Funchal, estimada por krigagem ordinária, para o período de duração do evento que se iniciou em 20 de Fevereiro de 2010.

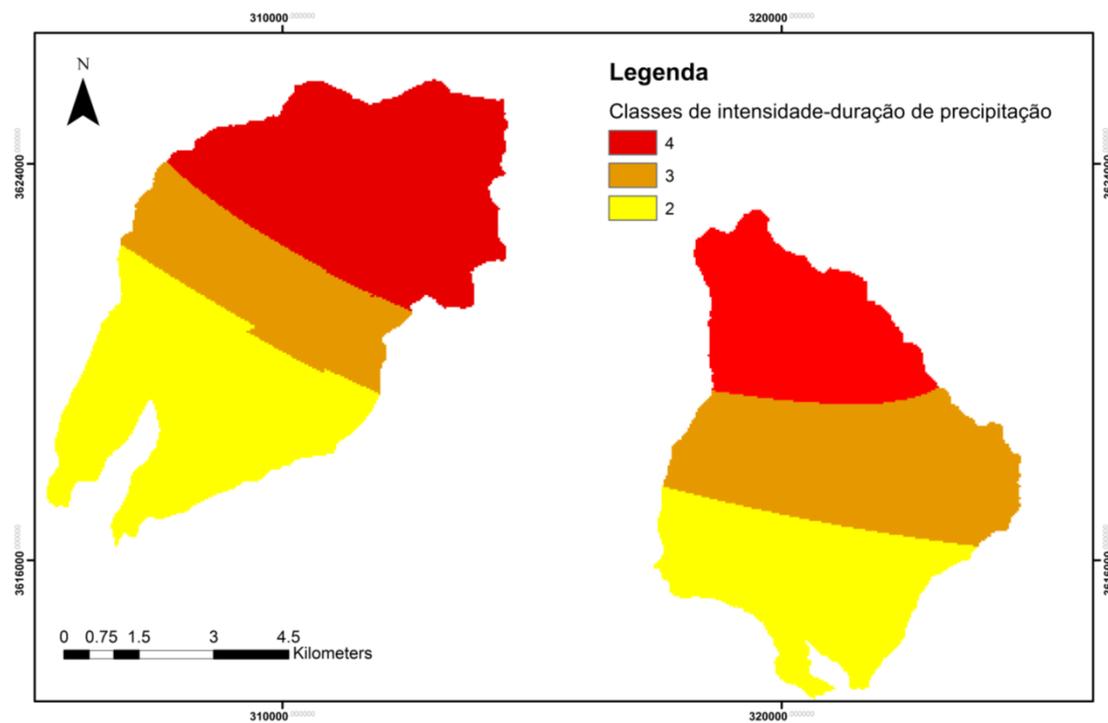


Figura 11 - Mapa de classes de intensidade-duração de precipitação para as zonas da Ribeira Brava e Funchal, definidas para o período de duração do evento que se iniciou em 20 de Fevereiro de 2010.

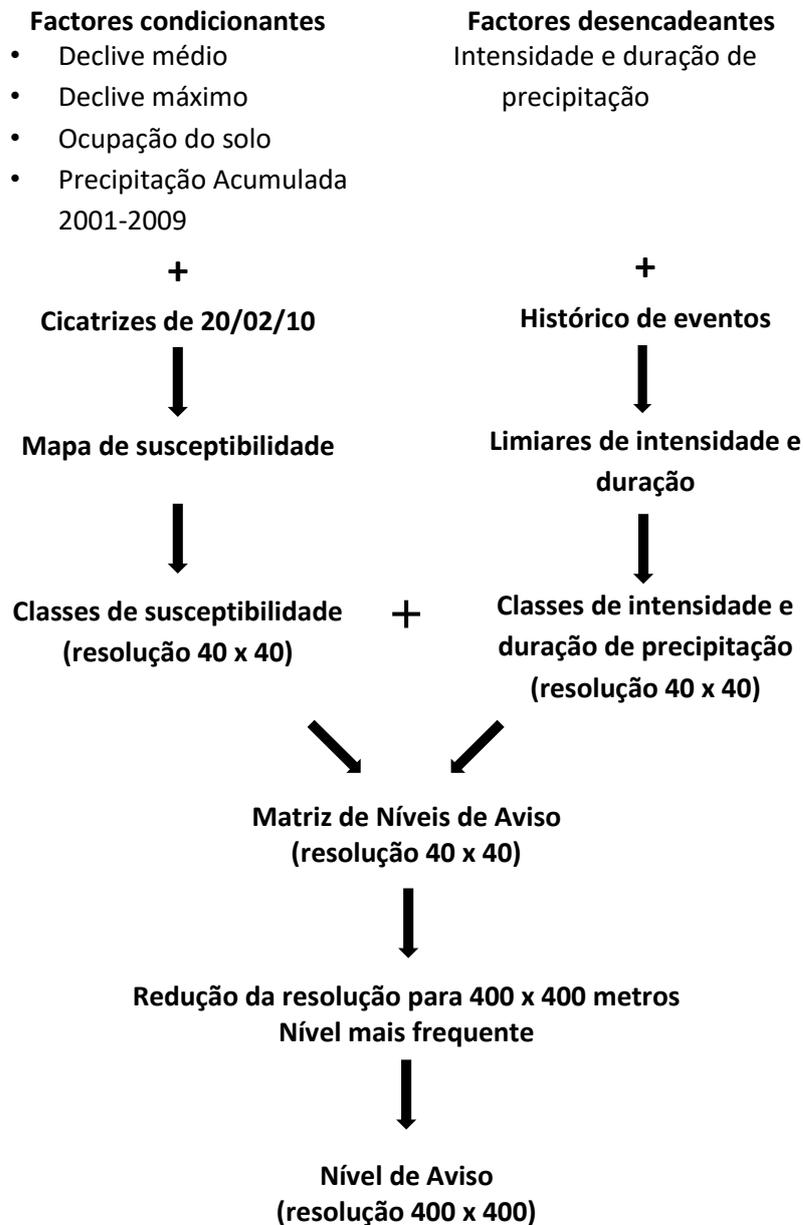


Figura 12 - Esquema da metodologia desenvolvida para a definição do nível de aviso.

Quadro 4 - Matriz de níveis de aviso à ocorrência de movimentos de massa.

		Precipitação			
		C1	C2	C3	C4
Susceptibilidade	C1	1	1	1	2
	C2	1	1	2	3
	C3	1	2	3	3
	C4	1	2	3	4

O mapa de níveis de aviso para o evento de 20 de Fevereiro de 2010 é apresentado na Figura 13. A frequência de células ativas e não ativas em cada nível de aviso é apresentada na Quadro 5. A interpretação dos níveis de aviso deve ser a seguinte:

Classe	Considerações
1	Nula a baixa probabilidade de ocorrência de movimentos de massa
2	Baixa a média probabilidade de ocorrência de movimentos de massa
3	Média a elevada probabilidade de ocorrência de movimentos de massa
4	Elevada a extrema probabilidade de ocorrência de movimentos de massa

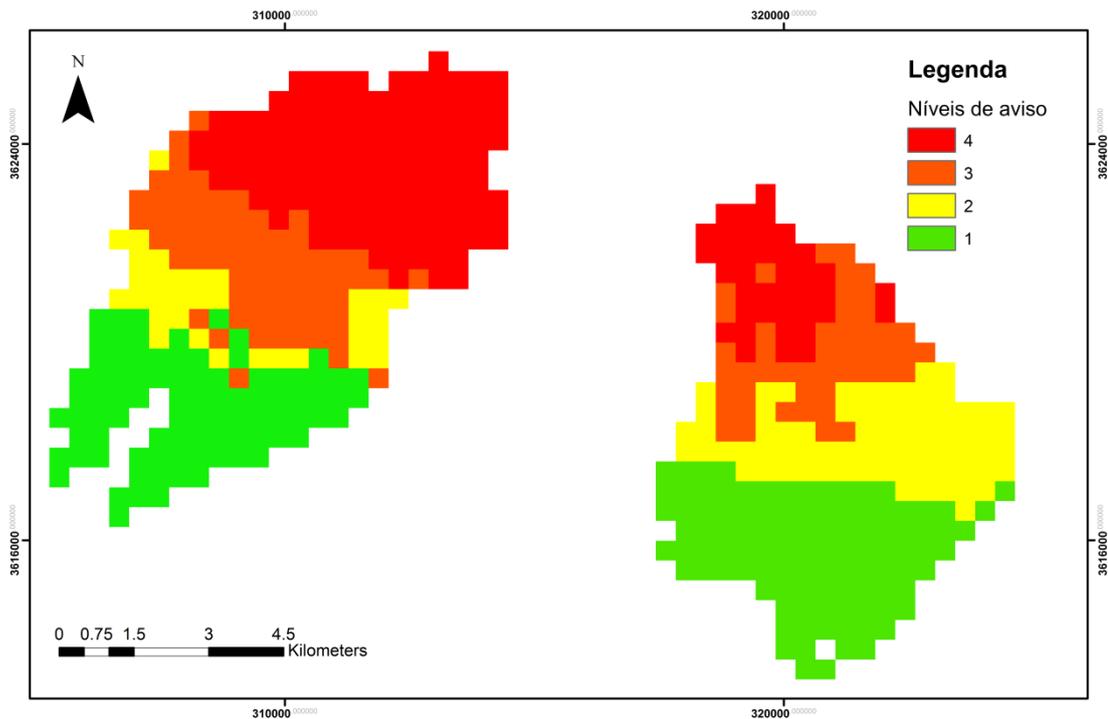


Figura 13: Níveis de aviso definidos para as condições de precipitação do evento de 20 de Fevereiro de 2010 na região da Ribeira Brava e Funchal.

Níveis de Aviso	1	2	3	4
Células ativas (%)	29	39	47	61
Células não ativas (%)	71	61	53	39

Quadro 5: Frequência de células ativas (com deslizamentos) e não ativas (sem deslizamentos) distribuídas pelos níveis de aviso definidos para o evento de 20 de Fevereiro de 2010.

7 Incerteza na modelação

A incerteza pode ser definida como um parâmetro associado a cada valor estimado que caracteriza a dispersão de valores que poderiam ter sido atribuídos a esse mesmo valor. Essa distribuição deve-se ao conhecimento limitado de um qualquer fenómeno, processo ou variável que se pretende estimar e deste modo também se pode definir a incerteza como uma medida de qualidade, quanto menor a incerteza mais robusto é o modelo e logo os dados estimados. Sendo que um valor estimado sem incerteza associada será sempre um valor pouco fiável.

Existem várias fontes de incerteza e a sua relevância é dependente do tipo e abordagem que se pretende podendo estar relacionada com interpretação e processamento de dados, erros de medição, incerteza geológica, etc.

Na modelação da suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa, uma fonte de incerteza é proveniente da variável precipitação acumulada entre 2001 e 2009. Esta variável foi simulada com base em 18 postos e estações distribuídos pela ilha da Madeira, ou seja, com base em 18 dados locais realizou-se uma extrapolação para toda a área da ilha da Madeira.

Na Figura 14 apresenta-se o mapa de variância obtido das cem simulações realizadas para a variável “Precipitação acumulada entre 2001 e 2009”. Observa-se que as zonas de menor incerteza correspondem às áreas envolventes dos locais amostrados (postos e estações).

Outra fonte de incerteza é aquela resultante do ajustamento dos coeficientes dos parâmetros do modelo de regressão logística (declive médio, declive mínimo, ocupação do solo, precipitação acumulada entre 2001-2009) sempre que se constrói um novo modelo com uma das cem simulações de precipitação acumulada. Na Figura 15 estão representados os histogramas dos coeficientes dos parâmetros do modelo de suscetibilidade e na Figura 16 o mapa da variância dos 100 modelos de suscetibilidade.

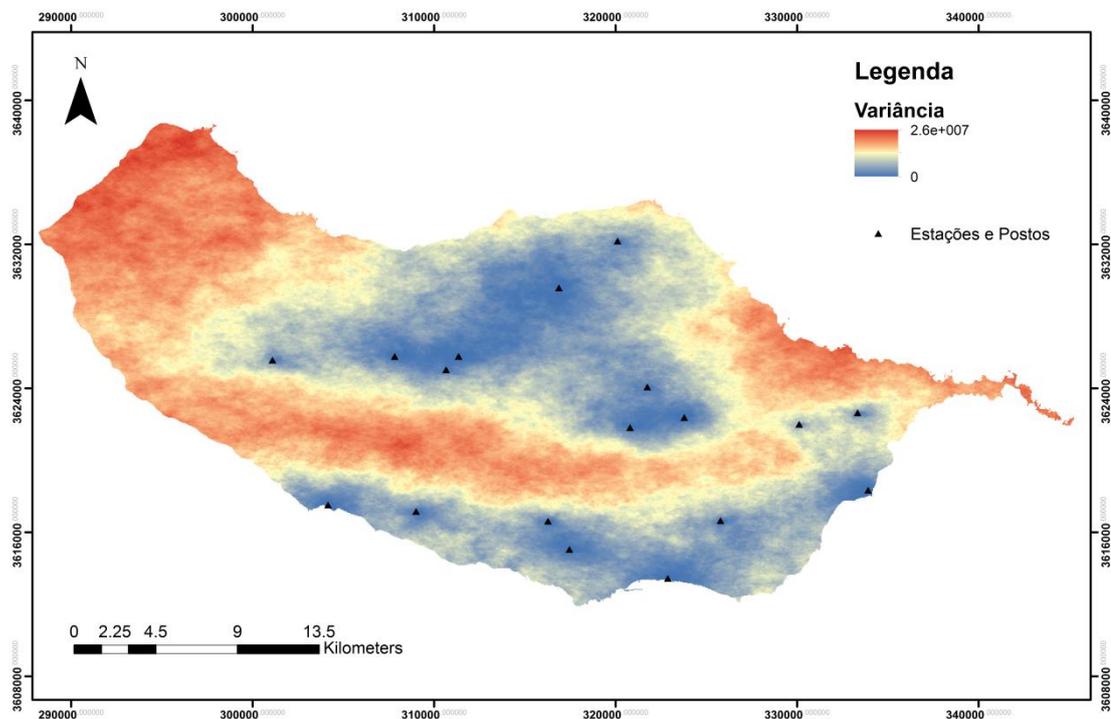


Figura 14: Mapa da variância obtido das cem simulações da variável precipitação acumulada entre 2001-2009.

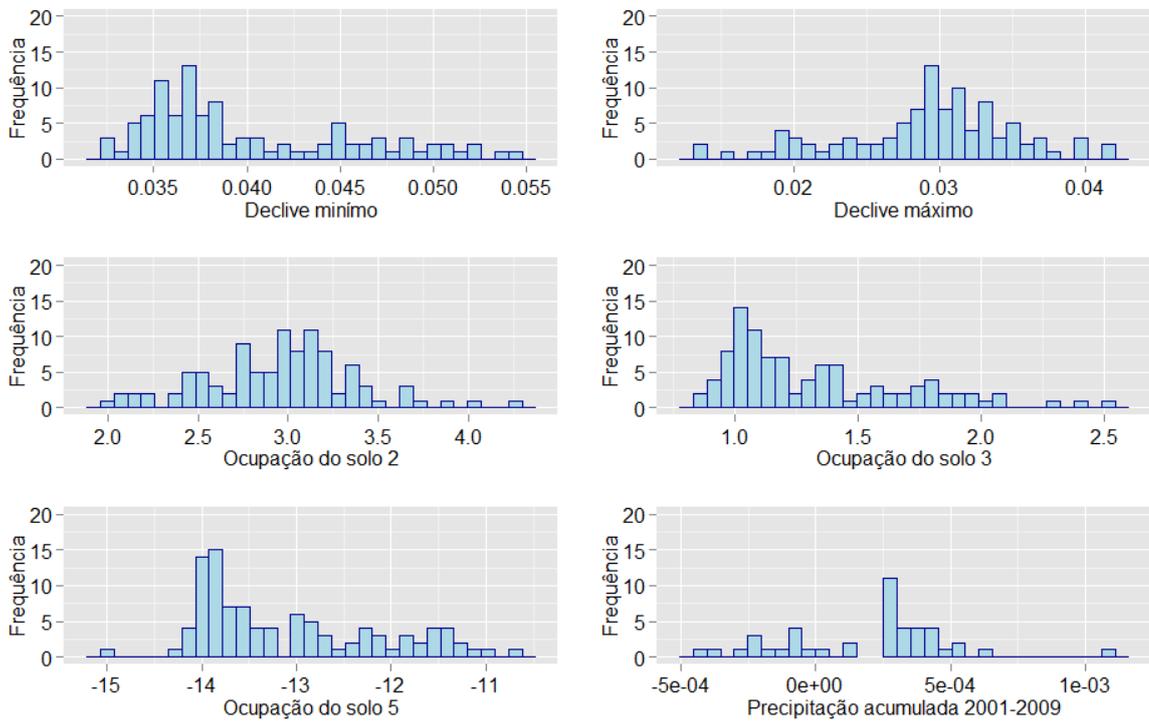


Figura 15: Histogramas dos coeficientes dos parâmetros obtidos pelo ajustamento de cada modelo a cada uma das simulações da precipitação acumulada entre 2001-2009.

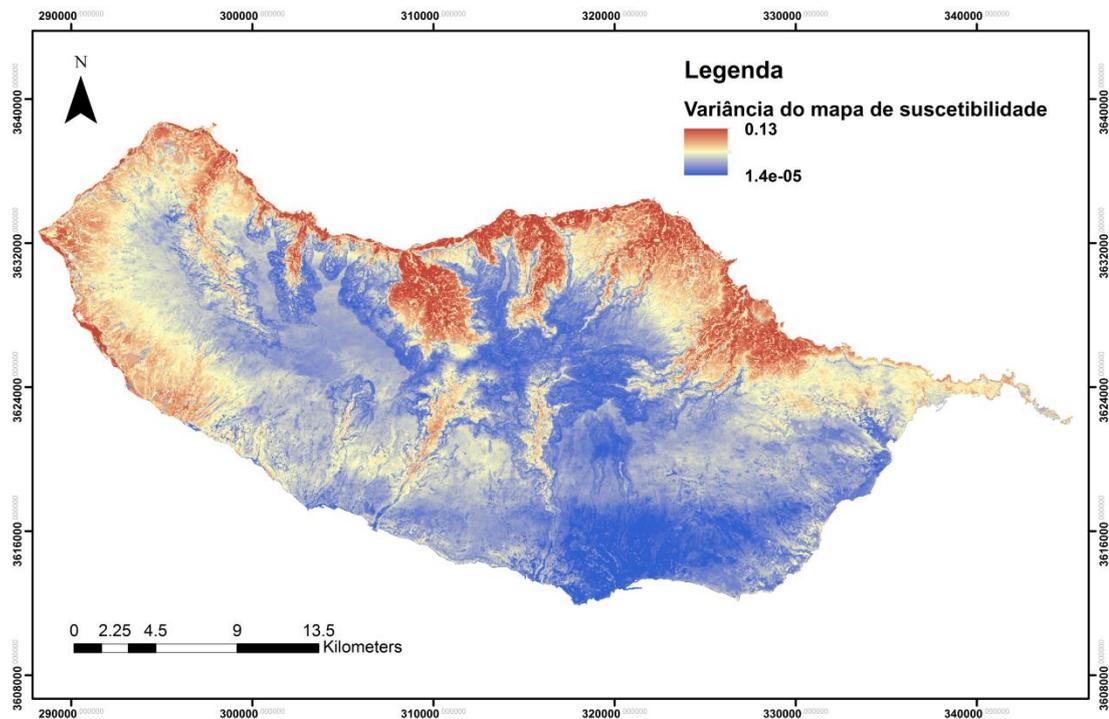


Figura 16: Mapa de variância obtido dos cem modelos de suscetibilidade.

