

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



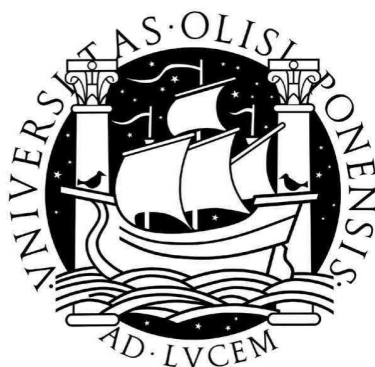
**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA
DE INSTABILIDADES EM ARRIBAS NO CONCELHO DE
MAFRA**

Sónia Maria Rebelo Queiroz

DISSERTAÇÃO
MESTRADO EM GEOLOGIA DO AMBIENTE, RISCOS GEOLÓGICOS E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

2012

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA
DE INSTABILIDADES EM ARRIBAS NO CONCELHO DE
MAFRA**

Sónia Maria Rebelo Queiroz

Dissertação orientada pelo
Professor Doutor Fernando Manuel Silva da Fonseca Marques

MESTRADO EM GEOLOGIA DO AMBIENTE, RISCOS GEOLÓGICOS E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

2012

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho não seria possível sem o inestimável contributo de várias pessoas, as quais não podia deixar de referir e prestar os meus mais sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar ao meu orientador, Professor Fernando Marques, a forma como orientou o meu trabalho. Agradeço, particularmente, pelo todo seu apoio e incentivo, pelo conhecimento valioso transmitido, pela sua inteira disponibilidade, sugestões, concelhos e críticas construtivas ao longo de todo o trabalho.

À Unidade de Geologia e Cartografia Geológica (UGCG) do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) pela cedência gratuita de mapas geológicos, em formato *raster* e vectorial.

À Doutora Luísa Ribeiro, ex-directora da Unidade de Geologia e Cartografia Geológica do LNEG, agradeço o apoio e compreensão na disponibilização do tempo necessário à elaboração desta dissertação.

À Teresa Cunha, coordenadora do Núcleo de Cartografia Geológica Digital, da UGCG do LNEG, no qual nos últimos cinco anos estive inserida, por todas as facilidades que me deu para a elaboração e conclusão do meu trabalho de dissertação.

Aos meus ex-colegas do Núcleo de Cartografia Geológica Digital, da UGCG do LNEG, pelo bom ambiente e por todo o apoio, especialmente ao Samuel Marques. Agradeço a sua prontidão e disponibilidade oferecida desde o início para efectuar os trabalhos de campo.

Um obrigado aos meus ex-colegas do LNEG, pela boa disposição, força e incentivo. Agradecimentos especiais ao Ruben Dias pelo apoio e pela disponibilização dos estereoscópios, sem a qual teria sido impossível a realização do presente trabalho.

À minha grande amiga Anita pela revisão e dicas de português, pelas palavras de força e de amizade que me transmitiu nas horas de maior tensão e pela sua paciência sem fim... sem dúvida és uma grande amiga! Anita sem ti, não teria chegado ao fim.

À minha amiga Célia Santos, por toda a ajuda no trabalho de campo, pela revisão do resumo em inglês e ainda pela companhia diária e amizade ao longo destes anos.

À Rita Pimenta, pela amizade, pela companhia ao longo desta etapa, pelos incentivos constantes e revisões que fez a esta dissertação.

Às minhas Celestes pela partilha dos bons (e menos bons) momentos que passamos e pelas nossas longas conversas, que sempre me apoiaram e auxiliaram em alturas mais difíceis. Um obrigado muito especial.

À Virgínia Andreia, pela amizade que sempre nos uniu desde que nos conhecemos no liceu, cujo apoio tem sido crucial na minha vida. Obrigada!

À colega Rita Matildes pela sua disponibilidade permanente para ajudar em qualquer tarefa.

Um abraço para todos os amigos que ao longo do tempo foram ouvindo os meus *“estou quase”, “já falta pouco”!* Um grande obrigado pela vossa paciência e pela vossa amizade...

A toda a minha família, especialmente aos meus tios, Isaura e João, e primos, Mónica e Luís, por toda a ajuda sempre que precisei e pelas minhas demoradas estadias na vossa casa durante as campanhas de campo. Aos meus primos Francisco, Irene, Cristina e Bela por todo o apoio e carinho demonstrado, e aos mais pequeninos, Laura e Pedro, que sempre que tive a oportunidade de estar perto, me fizeram sorrir.

À minha irmã pela sua compreensão quando, muitas das vezes, eu pronunciei *“agora não posso falar porque estou a trabalhar na tese”*.

Por último, não por serem menos importantes, mas sim por merecerem um lugar de destaque, agradeço aos meus pais, por todo o amor e apoio incondicional concedido ao longo de todos estes anos. A eles, dedico todo este trabalho. Um enorme muito obrigado por tudo, todos os dias!

MUITO OBRIGADA a todos!

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
ÍNDICE GERAL	iii
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ACRÓNIMOS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento do problema	1
1.2 Objectivos	4
CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1 Modelo Conceptual de Riscos	5
2.2 Movimentos de vertente	8
2.2.1 Terminologia e conceitos	8
2.2.2 Factores condicionantes e factores desencadeantes	13
2.3 Geodinâmica dos litorais rochosos	14
2.3.1 Arribas costeiras	15
2.3.2 Evolução das arribas	18
CAPÍTULO III. ENQUADRAMENTO DA ÁREA EM ESTUDO	23
3.1 Enquadramento Geográfico	23
3.2 Caracterização Antrópica	24
3.3 Enquadramento Geológico	25
3.4 Enquadramento Geomorfológico	37

3.5	Enquadramento Climático _____	39
3.6	Enquadramento Sísmico _____	41
3.7	Hidrologia Marítima _____	42
CAPÍTULO IV. METODOLOGIAS _____		45
4.1	Considerações gerais _____	45
4.2	Inventário de movimentos de vertente _____	46
4.2.1	Metodologias de inventariação na área em estudo _____	48
4.3	Pré-processamento das variáveis _____	51
4.4	Factores de predisposição _____	53
4.4.1	Morfometria _____	53
4.4.2	Geologia _____	64
4.4.3	Protecção de sopé _____	67
4.4.4	Sapa _____	68
4.4.5	Circulação de água _____	68
4.5	Métodos de avaliação da susceptibilidade geomorfológica _____	71
4.5.1	Método de Valor Informativo _____	72
4.6	Validação dos Modelos _____	74
CAPÍTULO V. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS _____		77
5.1	Valores Informativos dos factores de predisposição _____	77
5.1.1	Valor Informativo total _____	89
5.2	Validação dos resultados _____	93
5.2.1	Análise Sensitiva dos Factores _____	95
5.3	Mapa final de susceptibilidade _____	100
CAPÍTULO VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHO FUTURO _____		105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____		109
ANEXOS _____		I

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.1** – Acesso pedonal junto à base da arriba, a Sul da Praia de São Lourenço. O caminho encontra-se muito destruído, sendo um risco a circulação de humanos. Fotografias de Agosto de 2011. 2
- Figura 1.2** – Sinalética de aviso relativamente a perigo causado por arribas instáveis. A - Apesar do aviso “Não circule, nem estacione nas arribas”, encontra-se um automóvel estacionado no topo da arriba. Fotografias de Agosto de 2011. 3

CAPÍTULO II

- Figura 2.1** – Esquema conceptual do risco natural (Modificado de Zêzere, 1997). 7
- Figura 2.2** – Queda de blocos (Highland e Bobrowsky, 2008). 10
- Figura 2.3** – Tombamento (Highland e Bobrowsky, 2008). 11
- Figura 2.4** – Deslizamentos. A) Deslizamento rotacional; B) Deslizamento translacional (Highland e Bobrowsky, 2008). 12
- Figura 2.5** – Os factores dos movimentos de vertente (Modificado de Popescu, 1994). 13
- Figura 2.6** – Arribas costeiras do litoral do concelho de Mafra. A) Praia do Matadouro; Fotografia de Outubro de 2011. B) Praia da Calada; Fotografia de Setembro de 2011. 15
- Figura 2.7** – Morfologia da arriba, a Norte da Praia da Calada, Ericeira. Fotografia de Dezembro de 2010. 16
- Figura 2.8** – Exemplos de plataformas de abrasão no litoral de Mafra. A/B) Norte da Praia de Ribeira de Ilhas; Fotografias de Agosto de 2011. C) Norte da Praia da Empa; Fotografia de Outubro de 2011. 17

Figura 2.9 – A seta indica a sapa no Sul da Praia da Orelheira. Fotografia de Outubro de 2011.	18
Figura 2.10 – Morfologia cársica na plataforma litoral entre a Praia de São Julião e a Praia da Foz do Lizandro. Fotografia de Agosto de 2011.	19
Figura 2.11 – Concentração de sal devido a intensa evaporação da água do mar. Norte da Praia da Empa. Fotografia de Outubro de 2011.	20
Figura 2.12 – Processo simplificado da evolução das arribas (Adaptado de Sunamura, 1992).	21

CAPÍTULO III

Figura 3.1 – Enquadramento geográfico do concelho de Mafra. Fonte de dados: Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP-2011) do Instituto Geográfico Português (IGP).	23
Figura 3.2 – Cartografia Geológica à escala 1.25000. A) Concelho de Mafra; B) Freguesias do concelho com linha de costa (Carvoeira, Ericeira, Santo Isidoro e Encarnação), (INETI, 2005).	27
Figura 3.3 – Estruturas pós-deposicionais nos arenitos avermelhados. Fotografia de Agosto de 2011.	28
Figura 3.4 – Aspecto geral da arriba, a Norte da Praia de São Lourenço. Fotografia de Setembro de 2011.	30
Figura 3.5 – A) Aspecto geral da arriba a Sul da Praia de São Lourenço; C) Pormenor dos arenitos siltosos oxidados. Fotografias de Agosto de 2011.	31
Figura 3.6 – Aspecto geral da Formação de Ribamar e de Ribeira de Ilhas indiferenciadas na Praia de São Sebastião A) Afloramento na Praia de São Sebastião; B) Calcário arenoso com estratificação obliqua; C e D) Exemplos de fósseis nas margas lenhitas pretas (C) e nos calcários margosos (D). Fotografias de Agosto de 2011.	32
Figura 3.7 – Calcário rico em orbitolinas. Fotografias de Agosto de 2011.	33
Figura 3.8 – A e B) Brecha vulcânica na Praia de Porto Barril; C) Encraves de rochas sedimentares na brecha vulcânica. Fotografias de Agosto de 2011.	34
Figura 3.9 – Praia de Ribeira de Ilhas. A e B) Brecha vulcânica; C e D) Lacólito. Fotografias de Agosto de 2011.	35

- Figura 3.10** – Arribas com presença de falhas. A) Falha de direcção N8°W; vertical, Praia do Matadouro; B) Falhas preenchidas por calcite com direcções 1- N88°E; 4°NW e 2- N30°W; 60°SW, Praia da Empa; C) Falha de direcção EW; vertical, Praia de Ribeira de Ilhas; D) Falha de direcção N42°W; vertical, Praia de Porto Barril; E) Falhas com direcções (1) N10°W: vertical (2) N22°E; vertical, Praia de Ribeira de Ilhas; F) Microdobra (2) e falhas (1), Praia da Orelheira. Fotografias de Agosto e Setembro de 2011. 36
- Figura 3.11** – A linha de costa do concelho de Mafra e a altimetria das arribas. 38
- Figura 3.12** – A) Foz do rio Lizandro, na Praia da Foz do Lizandro; B) Foz do rio do Cuco, na Praia de Ribeira de Ilhas; C) Foz do rio Safarujo, na Praia de São Lourenço. Fotografias de Agosto e Setembro de 2011. 37
- Figura 3.13** – Nevoeiro, que em uma hora invadiu todo o litoral, a Norte da Praia de São Julião. Fotografia de 15 de Agosto de 2011. 40
- Figura 3.14** – A) Carta de isossistas de intensidades máximas em Portugal Continental (Instituto de Meteorologia, 1997); B) Carta de zonamento sísmico (RSAEP, 1983). 42

CAPÍTULO IV

- Figura 4.1** – Fotografias aéreas utilizadas para a realização do inventário. 49
- Figura 4.2** – Exemplos de movimentos de vertente nas arribas do concelho de Mafra. Fotografias de Agosto/Setembro de 2011. A) Tombamento de um grande bloco, Praia da Empa; B) Tombamento de um bloco a Norte da Praia de São Lourenço; C) Queda de blocos, Praia de Ribeira de Ilhas. A seta amarela indica um bloco instável; D) Escorregamento, Praia dos Coxos. 50
- Figura 4.3** – Movimento de vertente na crista da arriba (círculo vermelho); Na fotografia aérea de 2000 observa-se uma nova via (seta amarela) devido ao elevado risco da utilização da antiga estrada. 51
- Figura 4.4** – Exemplo da materialização das linhas de crista e de base, num sector do litoral do concelho de Mafra. 52
- Figura 4.5** – Exemplo da definição de unidades de terreno, num segmento do sector do litoral do concelho de Mafra - Praia da Empa. 53
- Figura 4.6** – Sector costeiro do concelho de Mafra (Ponta de Messapez). A) *Triangular Irregular Network* (TIN); B) Modelo Digital de Terreno com resolução de 2 metros. 54

Figura 4.7 – Nível de informação referente à altura máxima para cada unidade de terreno.	57
Figura 4.8 – Nível de informação referente ao comando para cada unidade de terreno.	58
Figura 4.9 – Nível de informação referente ao declive máximo para cada unidade de terreno.	59
Figura 4.10 – Nível de informação referente ao declive médio para cada unidade de terreno.	60
Figura 4.11 – Nível de informação referente à exposição dominante para cada unidade de terreno.	61
Figura 4.12 – Nível de informação referente à média da curvatura em perfil para cada unidade de terreno.	62
Figura 4.13 – Nível de informação referente à média da curvatura em planta para cada unidade de terreno.	63
Figura 4.14 – Diagrama circular com as percentagens relativas de cada classe do factor estrutura.	65
Figura 4.15 – Nível de informação referente à litologia para cada unidade de terreno.	66
Figura 4.16 – Exemplos de protecção de sopé no litoral do concelho de Mafra. A) Praia de areia, Praia de São Sebastião; B) Plataforma, Norte da Praia da Empa; C) Sem protecção, Sul da Praia de Porto Barril; D) Blocos, Praia de São Lourenço. Fotografias de Agosto e Setembro de 2011.	67
Figura 4.17 – Nível de informação referente à protecção de sopé para cada unidade de terreno.	70
Figura 4.18 – Métodos cartográficos de avaliação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidade geomorfológica na escala regional.	71

CAPÍTULO V

Figura 5.1 – <i>Scores</i> das classes, alusivo ao factor de predisposição altura máxima .	81
Figura 5.2 – <i>Scores</i> das classes, alusivo ao factor de predisposição declive médio .	81
Figura 5.3 – <i>Scores</i> das classes, alusivo ao factor de predisposição declive máximo .	81

Figura 5.4 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição comando .	82
Figura 5.5 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição exposição dominante .	82
Figura 5.6 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição curvatura em planta (média) .	83
Figura 5.7 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição curvatura em perfil (média) .	84
Figura 5.8 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição falhas .	85
Figura 5.9 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição litologia .	85
Figura 5.10 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição estrutura geológica .	86
Figura 5.11 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição protecção de sopé .	87
Figura 5.12 – Valor Informativo total do sector costeiro Norte, do concelho de Mafra.	90
Figura 5.13 – Valor Informativo total do sector costeiro Centro, do concelho de Mafra.	91
Figura 5.14 – Valor Informativo total do sector costeiro Sul, do concelho de Mafra.	92
Figura 5.15 – Curva de sucesso obtida pelo método do Valor Informativo.	93
Figura 5.16 – Curva de sucesso obtida pelo método do Valor Informativo.	94
Figura 5.17 – Curvas de sucesso para cada factor de predisposição, obtidas pelo método do Valor Informativo.	95
Figura 5.18 – Curvas de sucesso, introduzindo sucessivamente factores hierarquicamente menos importantes, segundo os resultados obtidos AAC para cada factor.	97
Figura 5.19 – Curvas de sucesso, introduzindo sucessivamente factores hierarquicamente menos importantes, segundo os resultados obtidos SC_{abs} para cada factor.	98
Figura 5.20 – Gráfico com a representação dos valores de AAC, utilizando a análise da AAC individuais (<i>tabela 5.8</i>) e a análise da média dos Valores Informativos absolutos (<i>tabela 5.9</i>).	100
Figura 5.21 – Curva de sucesso correspondente ao modelo de susceptibilidade à ocorrência de instabilidades em arribas e respectivas AAC, utilizando 13 factores.	100

Figura 5.22 – Mapa de susceptibilidade á ocorrência de instabilidade em arribas no sector Norte, do concelho de Mafra.	102
Figura 5.23 – Mapa de susceptibilidade á ocorrência de instabilidade em arribas no sector Centro, do concelho de Mafra.	103
Figura 5.24 – Mapa de susceptibilidade á ocorrência de instabilidade em arribas no sector Sul, do concelho de Mafra.	104

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

- Tabela 2.1** – Classificação das tipologias de movimentos de vertente proposta por Varnes (1978). 9
- Tabela 2.2** – Escala de movimentos, segundo Cruden e Varnes (1996). 9

CAPÍTULO III

- Tabela 3.1** – População do concelho de Mafra, 1801 a 2011 ([http://pt.wikipedia.org/wiki/Mafra_\(Portugal\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Mafra_(Portugal))). 24
- Tabela 3.2** – População do concelho de Mafra. Fonte de dados: Censos de 2011 do INE. 25
- Tabela 3.3** – Unidades litostratigráficas do Cretácico Inferior da Bacia Lusitânica da região de Ericeira (Adaptado de Rey, 1993; Rey *et al.*, 2006). 29

CAPÍTULO IV

- Tabela 4.1** – Voos seleccionados para o mapa de inventários. 48
- Tabela 4.2** – Subdivisão da exposição em classes e a sua reclassificação. 56
- Tabela 4.3** – Subdivisão do factor protecção de sopé em classes, no litoral do concelho de Mafra. 68

CAPÍTULO V

- Tabela 5.1** – Informação relativa ao total de unidades de terreno que registam a presença e a ausência de movimentos de vertente. 77
- Tabela 5.2** – Procedimento de cálculo do método do Valor Informativo e os respectivos resultados, para cada classe dos factores de morfometria. 78

Tabela 5.3 – Procedimento de cálculo do método do Valor Informativo e os respectivos resultados, para cada classe dos factores geológicos.	79
Tabela 5.4 – Procedimento de cálculo do método do Valor Informativo e os respectivos resultados, para cada classe dos seguintes factores: protecção de sopé, sapas e circulação de água.	80
Tabela 5.5 – Procedimento de cálculo do método do Valor Informativo e os respectivos resultados, para cada classe do factor curvatura em planta.	83
Tabela 5.6 – Valores de SC_{abs} obtidos para cada factor de predisposição.	88
Tabela 5.7 – Valores de AAC para cada factor de predisposição.	96
Tabela 5.8 – AAC de modelos de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente em arribas, introduzindo sucessivamente factores hierarquicamente menos importantes, segundo os resultados obtidos AAC para cada factor.	97
Tabela 5.9 – AAC de modelos de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente em arribas, introduzindo sucessivamente factores hierarquicamente menos importantes, segundo os resultados obtidos SC_{abs} para cada factor.	99
Tabela 5.10 – Classificação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades em arribas no concelho de Mafra.	101

ANEXOS

Tabela A.1 – <i>Scores</i> de cada uma das variáveis dos factores de predisposição.	II
--	----

LISTA DE ACRÓNIMOS

AML	Área Metropolitana de Lisboa
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
ENGIZC	Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira
FAP	Força Aérea Portuguesa
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
IGM	Instituto Geológico Mineiro
IGP	Instituto Geográfico Português
INAG	Instituto da Água
INE	Instituto Nacional de Estatística
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
MDT	Modelo Digital do Terreno
PDM	Plano Director Municipal
PNPOT	Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território
RAF	<i>Royal Air Force</i>
RSAEP	Regulamento de Segurança e Acções para Estrutura de Edifícios e Pontes
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SPLAL	Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
UGCG	Unidade de Geologia e Cartografia Geológica

USAF *United States Air Force*

WP/WLI *Working Party on World Landslide Inventory*

LISTA DE SÍMBOLOS

AAC	Áreas Abaixo da Curva
a_i	Valor da ordenada correspondente a Li
a_1	Valor do <i>score</i> da primeira classe do factor
a_n	Valor do <i>score</i> da última classe do factor
b_i	Valor da ordenada correspondente a Lsi
E	Elementos em risco
I_i	Valor Informativo da variável i
I_j	Valor informativo da unidade de terreno
$Lsi-Li$	Amplitude da classe
n	Número de variáveis
n_c	Número de classes de cada factor
N	Número total de unidades de terreno
N_i	Número de unidades de terreno com a presença da variável i
P	Perigosidade
R_e	Risco específico
R_t	Risco total
S	Susceptibilidade
S	Número total de unidades de terreno com movimentos de vertente
SC_{abs}	Média dos valores absolutos dos <i>scores</i> de cada factor
S_i	Número de unidade de terreno com movimentos de vertente e com a presença da variável i
V	Vulnerabilidade

RESUMO

Palavras-chave: *movimentos de vertente, susceptibilidade, Método do Valor Informativo, arribas costeiras, Mafra*

O conhecimento da susceptibilidade à ocorrência de instabilidade em arribas é de extrema importância na previsão ao nível dos condicionamentos ao uso da faixa costeira, visto que este representa um dos riscos geológicos que mais tem contribuído para perdas de vidas humanas e danos materiais na costa litoral portuguesa.

Neste sentido, a presente dissertação tem como objectivo principal o desenvolvimento de um modelo de avaliação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidade em arribas à escala regional, recorrendo a um método de base estatística bivariada, - o *Método do Valor Informativo*. A zona de estudo incide sobre o litoral do concelho de Mafra, uma vez que tem sido fortemente utilizada e densamente ocupada por estruturas antrópicas nos últimos anos.

Para a concretização do trabalho foi necessário o estudo dos factores condicionantes de instabilidade através de ortofotomapas, mapas geológicos, fotografias oblíquas e mapas topográficos em escala 1:2000. Foi ainda necessária a realização de um inventário multi-temporal de ocorrência de movimentos em arribas costeiras, através da interpretação de fotografia aéreas de diferentes datas. Todo o conjunto de informação reunida foi introduzida em ambiente SIG, após a validação com trabalho de campo.

Posteriormente, a área de estudo foi dividida em unidades de terreno para a aplicação do *Método do Valor Informativo* no qual é calculado sob forma de *scores* as relações existentes entre cada uma das classes de cada factor e os movimentos de vertente. Os resultados obtidos do modelo de susceptibilidade foram validados com recurso à construção de curvas de sucesso. Adicionalmente foi realizada a análise sensitiva dos factores envolvidos para o conhecimento das variáveis mais relevantes na propensão para a ocorrência de movimentos de vertentes.

Os resultados obtidos são considerados bons, o que permite afirmar que a metodologia testada mostra ser uma forma robusta de avaliar a susceptibilidade de movimentos em arribas.

ABSTRACT

Keywords: *landslides, susceptibility, Information value, sea cliffs, Mafra.*

The knowledge of susceptibility the occurrence of sea cliff's instability is extremely important in predicting the level of constraints for land use in coastal areas, since this natural hazard has most contributed to loss of life and property damage in the portuguese coastline

This dissertation aims to the development of a model for assessing the susceptibility for cliff failures at regional scale using statistical bivariate method, - *Information Value Method*. The study area focuses on the coastal region of the Mafra County, which has been strongly occupied by buildings and structures in the recent years.

In this work we studied the conditioning factors of instability through the analysis of orthophotomaps, geological maps, oblique photographs and topographic maps in scale 1:2000. The multi-temporal inventory of past cliff failures was produced by interpretation of aerial photographs from different dates. The entire set of information was validated with field work and introduced in a GIS environment.

Subsequently, the study area was divided into terrain units for the implementation of *Information Value Method*. This method was calculated in the form of the scores of the relationships between each of the classes of each factor and landslide. The final results of the susceptibility model were validated by the use of success curves. In addition, has been carried out sensitivity analysis of the factors involved in the knowledge of relevant variables in the propensity for the occurrence landslide.

The results obtained are good, which allows, affirming that the methodology tested is a robust method to assess cliff instability susceptibility.

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do problema

O litoral português ostenta grande variedade geomorfológica, com troços de arribas rochosas, alternando com areais e desembocaduras de cursos de água em estuários e deltas, numa extensão total, de cerca de 1187 km⁽¹⁾.

Em Portugal, três quartos da população vive junto ao litoral, assistindo-se nos últimos 50 anos a um enorme investimento na fixação antrópica. A grande diversidade do litoral constitui uma enorme potencialidade e um importante atractivo, designadamente para o turismo, no entanto confere à costa portuguesa grandes dificuldades de gestão. Nela se localizam as principais áreas urbanas e industriais, bem como as áreas de turismo intensivo, que alternam com áreas naturais, rurais e de pesca. Estima-se que cerca de 30% da zona costeira esteja ocupada com construções, repartidas entre habitação, estabelecimentos de actividade económica e áreas portuárias (ENGIZC, 2009).

Actualmente, vários troços do litoral são caracterizados por intensa erosão costeira, sendo este processo o mais grave dos problemas que ocorrem na costa portuguesa, originando situações de risco para pessoas e bens. Os factores principais para a ocorrência da erosão costeira são fundamentalmente, as acções antrópicas, actuando quer no próprio sistema costeiro, quer em sistemas complementares. Como exemplos, a exploração de inertes, as obras de regularização dos cursos de água, as barragens e a execução de dragagens nos canais de navegação.

De acordo, com o *Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território* (PNPOT), aprovado pela Lei n.º 58/2007, “a intensa e desordenada

⁽¹⁾ *Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira* (ENGIZC). Resolução do Concelho de Ministros n.º82/2009

ocupação do litoral criou pressões e alterações significativas sobre o meio, originando situações de desequilíbrio e de erosão costeira, com graves consequências ambientais e paisagísticas”, e ainda refere que “a erosão costeira sentida no litoral português tem fundamentalmente três causas: a diminuição do afluxo de sedimentos como consequência, entre outros factores, da construção de barragens; a ocupação desregrada da faixa litoral; e a subida eustática do nível do mar”.

De um modo geral, constata-se que os trechos de litoral de erosão mais intensa coincidem muitas vezes com locais de maior pressão urbana. Com efeito, existem perigos e riscos inerentes, particularmente relevantes em litorais dominados por arribas, onde a ocorrência de movimentos de vertente tem causado elevados prejuízos materiais, danificando ou destruindo infra-estruturas de apoio à praia ou ao desmoronamento parcial ou total de casas, de estradas ou de outros edificadados localizados nas bases ou topos das arribas (*figura 1.1*).



Figura 1.1 – Acesso pedonal junto à base da arriba, a Sul da Praia de São Lourenço. O caminho encontra-se muito destruído, sendo um risco a circulação de humanos. Fotografias de Agosto de 2011.

Para além dos danos materiais, o aumento das actividades antrópicas, particularmente a ocupação da costa pelo turismo, proporcionou vários acidentes pessoais, como por exemplo, o caso da queda de blocos na Praia Maria Luísa (Oeste de Albufeira), ocorrido em 21 de Agosto de 2009, vitimando mortalmente 5 pessoas, ou ainda, na Praia de São Bernardino, em Peniche com o desabamento de uma arriba, em 15 de Agosto de 2011, provocando seis feridos.

Por estes motivos, se justifica a relevância da realização de estudos de susceptibilidade à instabilidade de arribas, devendo ser objecto de uma atenção muito cuidada e efectuada com base no conhecimento científico, de modo a tornar mais eficaz a monitorização e optimização das soluções que visem garantir a segurança dos habitantes e infra-estruturas.

A avaliação e a gestão da perigosidade associada à geodinâmica natural das arribas constituem uma tarefa complexa e um fenómeno intrinsecamente difícil de estudar, visto que a evolução (erosão) natural das arribas se processa numa sequência intermitente e descontínua de movimentos repentinos. A este carácter fortemente descontínuo e irregular da ocorrência de instabilidades em arribas ao longo do tempo, acresce a extrema descontinuidade na sua distribuição espacial: habitualmente um sector de arriba em erosão rompe num determinado instante em um ou vários pontos separados entre si, sendo raras as situações em que a totalidade de um troço litoral rompe simultaneamente em toda a sua extensão (Marques e Andrade, 2009).

Por fim, é de salientar que a utilização da orla costeira em segurança depende de todo o cidadão, que deve adoptar os comportamentos adequados face ao potencial risco de movimentos de vertente em arribas. Por vezes, os sinais de aviso presentes não são, aparentemente, alvo de atenção e preocupação por parte do público-alvo (*figura 1.2*).



Figura 1.2 – Sinalética de aviso relativamente a perigo causado por arribas instáveis. A - Apesar do aviso “Não circule, nem estacione nas arribas”, encontra-se um automóvel estacionado no topo da arriba. Fotografias de Agosto de 2011.

De referir que foi aprovado em 30 de Junho o Decreto-Lei n.º 96/2010 que visa “estabelecer coimas aplicáveis aos utilizadores da orla costeira que danifiquem ou removam, de alguma forma, a sinalização de interdição ou as barreiras de protecção, ou ainda que desrespeitem essa sinalética ou transponham as barreiras” e refere que “nas zonas assinaladas como zonas de acesso interdito, nomeadamente devido ao risco de desabamentos ou derrocadas de falésias e arribas, é interdito permanecer nestas zonas ou utilizá-las para qualquer fim ou actividade, incluindo o atravessamento ou a circulação a pé.”

Portanto, uma atitude de precaução e de respeito pela sinalização e informação colocadas são fundamentais para reduzir o risco de acidente.

1.2 Objectivos

O trabalho apresentado nesta dissertação surge no contexto da importância da identificação de situações de instabilidade de arriba no litoral do concelho de Mafra, uma vez que tem sido fortemente utilizada e densamente ocupada por estruturas antrópicas nos últimos anos.

O estudo tem como objectivo principal a aplicação de uma metodologia de base estatística, que possibilite o desenvolvimento de um modelo de avaliação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidade em arribas à escala regional. A determinação da susceptibilidade é realizada através do *Método do Valor Informativo*, que permite quantificar a componente espacial da perigosidade, através da relação entre o inventário dos movimentos com um conjunto de factores condicionantes. Os resultados obtidos são objecto de validação utilizando técnicas padronizadas, que vão indicar se o modelo resultante é eficaz para a avaliação quantitativa da susceptibilidade.

Para atingir o presente objectivo foi indispensável a aquisição dos factores condicionantes de instabilidade, a realização de um inventário multi-temporal de ocorrência de movimentos em arribas costeiras no concelho de Mafra e a introdução em ambiente Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de todo o conjunto de informação reunida e posterior modelação, após a validação com trabalho de campo.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Modelo Conceptual de Riscos

A natureza dinâmica e complexa dos processos costeiros a várias escalas espaciais e temporais, para além da intensa e desordenada ocupação do litoral, colocam um conjunto de dificuldades à gestão deste espaço.

A erosão costeira, em contexto de arriba, constitui importante fonte de perigosidade ou risco, para a ocupação e actividades humanas localizadas na base ou no topo das arribas, podendo causar acidentes com efeitos graves para os utentes das praias e danificar ou destruir estruturas construídas. Em Portugal, a tomada de consciência deste risco tem vindo a aumentar nos últimos anos, quer por parte dos investigadores e técnicos que intervêm no Ordenamento do Território, como pela população portuguesa e dos decisores políticos.

No presente estudo, que se centra na determinação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades de arribas no concelho de Mafra, é pertinente definir um conjunto de conceitos base que se integram no modelo conceptual do risco, designadamente a susceptibilidade, a perigosidade, a vulnerabilidade e o risco.

Os termos e conceitos utilizados neste trabalho correspondem, no essencial, aos sistematizados por Varnes (1984) e pela “*International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes*”, no âmbito do Programa de Ciências da Terra da UNESCO ⁽²⁾.

Assim, a perigosidade natural (P) (*natural hazard*) é definida como “a probabilidade de ocorrência de fenómenos potencialmente destruidores, num determinado período de tempo e numa dada área” (Varnes, 1984) e com uma dada magnitude (Guzzetti, 2005). Susceptibilidade (S) (*susceptibility*) entende-se como “a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno numa dada

⁽²⁾ *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

área com base nos factores condicionantes do terreno” (Soeters e Van Westen, 1996), independente do seu período de recorrência.

Guzzetti (2005) refere que a avaliação da perigosidade implica a antecipação do comportamento das futuras manifestações de instabilidade geomorfológica, respondendo a três questões fundamentais, numa base probabilística: (1) Onde vão ocorrer os futuros movimentos? (noção de localização espacial); (2) Quando vão ocorrer esses movimentos? (noção de recorrência temporal) e (3) Qual o potencial de destruição? (noção de intensidade/magnitude). Enquanto a susceptibilidade apenas aborda a primeira questão, ou seja, trata de definir “onde” poderão ocorrer movimentos de vertentes no futuro, de acordo com as condições locais (por exemplo geológicas ou geomorfológicas) e eventos passados.

O conceito de vulnerabilidade (V) (*vulnerability*) introduzido por Varnes (1984) corresponde ao grau de perda de um dado elemento ou conjunto de elementos em risco (populações, propriedades, actividades económicas, *etc.*), em resultado da ocorrência de uma manifestação de instabilidade de determinada magnitude. O valor é expresso numa escala que varia entre zero (sem danos) a um (perda total ou morte, no caso do elemento exposto ser um ser vivo).

O termo risco total (*total risk*) exprime a possibilidade da ocorrência de consequências graves, económicas ou mesmo para a segurança das pessoas e bens, em resultado da ocorrência de um fenómeno natural ou induzido pela actividade antrópica (Varnes, 1984).

O termo de risco por vezes é mal aplicado, quando é estimado como o produto entre a perigosidade e a vulnerabilidade. O resultado entre estes dois conceitos é o cálculo do risco específico (R_e) (*specific risk*), que representa o grau de danos esperados devido a determinado tipo de fenómeno para um dado elemento, ou seja, o risco de um tipo de elemento afectado por uma tipologia de movimento de vertente (Garcia, 2002).

O risco total (R_t) obtém-se acrescentando ao produto anterior o valor de todos os elementos em risco (E). A relação entre estes parâmetros é dada pela equação seguinte:

$$R_t = (E)(R_e) = (E)(P \times V) \quad [1]$$

A *figura 2.1* ilustra o esquema conceptual do risco, aplicável aos diferentes tipos de fenómenos naturais perigosos que podem ter expressão num território.

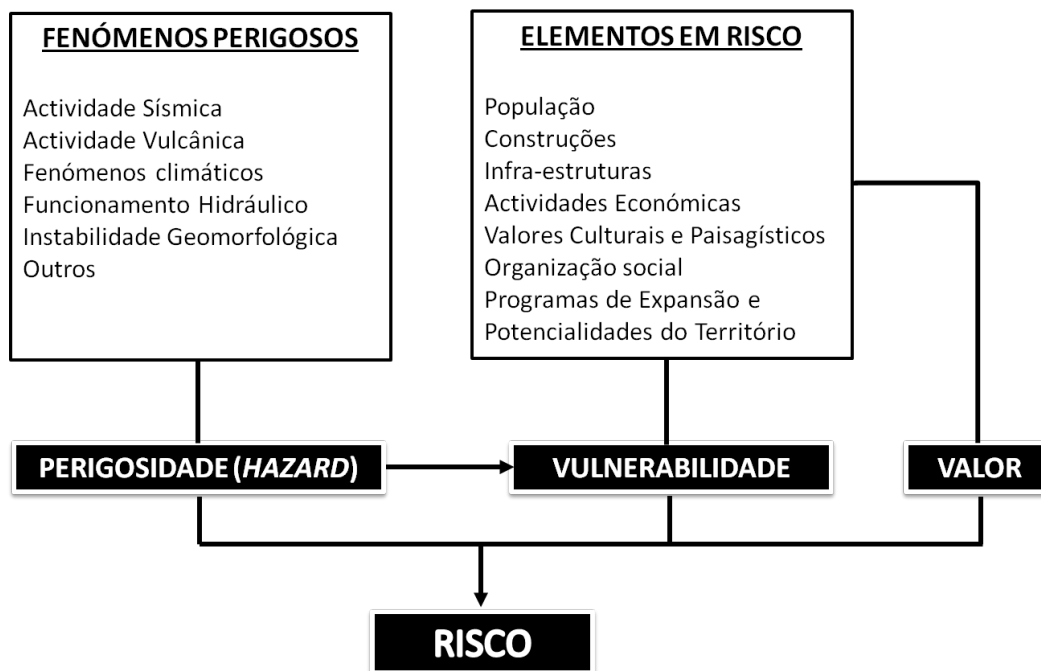


Figura 2.1 – Esquema conceptual do risco natural (Modificado de Zêzere, 1997).

O risco geomorfológico existe sempre que as populações, bens e actividades possam ser prejudicados, destruídos ou interrompidos pelo desenvolvimento de um fenómeno de instabilidade geomorfológica (Aste, 1991a *in* Zêzere, 1997). Em que a avaliação dos graus de risco implica a estimativa do nível provável dos estragos, para cada elemento em risco existente no território em questão (Zêzere, 1997).

Contudo, poucos são os estudos conhecidos internacionalmente de avaliação do risco relacionado com os movimentos de vertente, facto justificado pelo elevado grau de incerteza que caracteriza a determinação da vulnerabilidade. Por exemplo, o mesmo elemento pode suportar bem um tipo de movimento e ser completamente destruído por outro, ou um determinado movimento pode ser muito perigoso para um elemento e inofensivo para outro. E se estes factos já tornam a avaliação da vulnerabilidade uma tarefa difícil, tudo se complica na avaliação da vulnerabilidade humana, mais que não seja pela dificuldade, moral e ética, de expressar numericamente o valor de uma vida.

2.2 Movimentos de vertente

Os movimentos de vertente estão na origem dos desastres naturais mais catastróficos em todo o mundo, representando um dos riscos geológicos que mais tem contribuído para perdas de vidas humanas e consideráveis danos materiais.

No caso específico da instabilidade de arribas rochosas, o aumento das actividades antrópicas, particularmente a ocupação da costa pelo turismo, proporcionou vários acidentes relacionados com movimentos em arribas. Nestas condições, o conhecimento das situações de instabilidade que ocorrem nas arribas reveste-se de particular importância na previsão de condicionamentos de uso da faixa costeira, que devem ser definidos de forma a minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes e consequentes perdas humanas e materiais.

Para a compreensão desta problemática torna-se necessário definir movimento de vertente e quais os tipos de movimentos existentes na literatura científica e que processos e mecanismos os controlam.

2.2.1 Terminologia e conceitos

No âmbito dos estudos dedicados a uniformizar a classificação dos movimentos de vertente destacam-se as obras de Varnes (1958; 1978), Hutchinson (1968, 1988) e posteriormente a criação de um grupo de trabalho da UNESCO, designado *Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI)*, que propôs uma terminologia comum referente à morfologia, dimensões, actividade, distribuição e tipologia dos movimentos de vertente.

Os movimentos de vertente (“*landslide*”) são definidos como movimentos de uma massa de rocha, detritos ou solo ao longo de uma vertente, sob a influência da gravidade (Varnes, 1978; Cruden e Varnes, 1996; Guzzetti, 2005).

Varnes (1978) classifica os grandes movimentos de vertente consoante o mecanismo físico ocorrido e o material envolvido (*tabela 2.1*). De acordo com estes critérios, os movimentos podem ser quedas (*falls*), tombamentos (*topples*) deslizamentos (*slides*), expansões laterais (*lateral spreads*), fluxos (*flows*) e

movimentos complexos (*complex*) e podem ocorrer em rocha (*rock*) ou em solo⁽³⁾; sendo o solo subdividido em detritos (*debris*) e em terra (*earth*).

Tabela 2.1 – Classificação das tipologias de movimentos de vertente proposta por Varnes (1978).

Tipos de Movimentos		Tipo de Material		
		Maciço Rochoso	Detritos (material Grosseiro)	Terra (material fino)
Quedas		Queda de blocos	Queda de detritos	Queda de terras
Tombamentos		Tombamento de blocos	Tombamento de detritos	Tombamento de terras
Deslizamentos	Rotacional	Deslizamento de blocos	Deslizamento de detritos	Deslizamento de terras
	Translacional			
Expansões Laterais		Expansão de blocos	Expansão de detritos	Expansão de terras
Fluxos		Fluxo de blocos	Fluxo de detritos	Fluxo de terras
Complexos		Combinação de dois ou mais dos movimentos mencionados		

Ainda como outro factor, Varnes (1978) estabeleceu uma escala quantitativa para descrever a velocidade de movimentos que, posteriormente foi modificada por Cruden e Varnes (1996) (*tabela 2.2*).

Tabela 2.2 – Escala de movimentos, segundo Cruden e Varnes (1996).

Classe de velocidade	Escala de movimento	Velocidade (mm/seg.)	Velocidade típica
7	Extremamente rápido	5x10 ³	5 m/seg.
6	Muito rápido		5x10 ¹	3 m/mim.
5	Rápido	5x10 ⁻¹	1,8 m/h
4	Moderado	5x10 ⁻³	13 m/mês
3	Lento	5x10 ⁻⁵	1,6 m/ano
2	Muito lento	5x10 ⁻⁷	16 mm/ano
1	Extremamente lento		

⁽³⁾ A subdivisão dos solos tem como base a granulometria dos materiais (definição de solo de engenharia).

Os movimentos de vertente em arribas costeiras são predominantemente do tipo queda, tombamento, deslizamento e movimento complexo, que afectam a mobilização de volumes variáveis de material que pode ir desde pequenos blocos decimétricos a milhares de metros cúbicos.

Procede-se, de forma breve, a uma descrição dos diferentes tipos de movimentos que se podem encontrar na área de estudo.

1. Quedas ou desabamentos (*Falls*)

As quedas são definidas como uma deslocação de solo ou rocha a partir de uma vertente inclinada, como as arribas, ao longo de uma superfície onde os movimentos tangenciais são nulos ou reduzidos, num movimento rápido a extremamente rápido (*tabela 2.2*). O material desloca-se predominantemente pelo ar, por queda livre ou saltando ou rolando.

Podem ser denominados como quedas de blocos (*rock fall*), queda de detritos (*debris fall*) e queda de terra (*earth fall*), de acordo com a natureza e dimensão do material. De referir, que no caso das arribas é muito frequente a tipologia de queda de blocos.

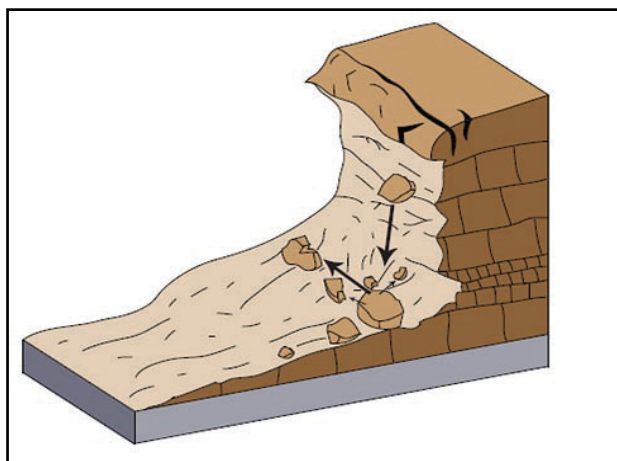


Figura 2.2 – Queda de blocos (Highland e Bobrowsky, 2008).

2. Tombamentos ou balançamentos (*Topples*)

Os tombamentos correspondem a um movimento de rotação de uma massa de solo ou de rocha, a partir de um ponto ou eixo situado abaixo do centro de

gravidade da massa afectada (WP/WLI, 1993). Os movimentos são extremamente lentos a extremamente rápidos (*tabela 2.2*) e verificam-se por influência da gravidade e pela acção de forças laterais, exercidas por unidades adjacentes ou por fluídos presentes em diaclases ou fracturas (Varnes, 1978; Zêzere, 2000).

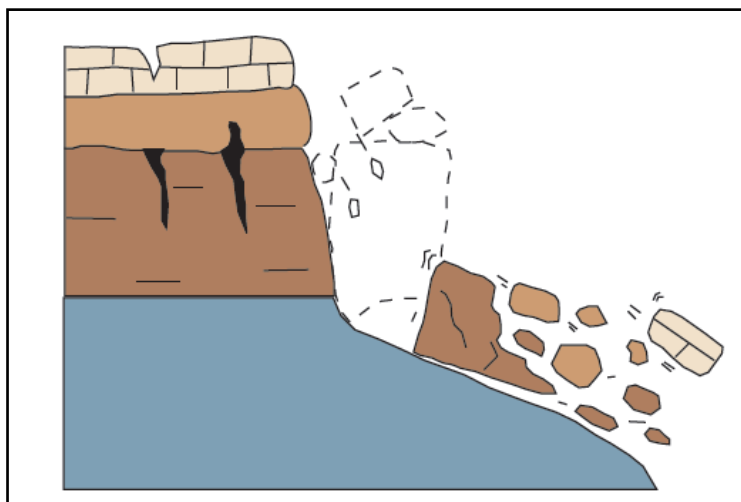


Figura 2.3 – Tombamento (Highland e Bobrowsky, 2008).

3. Deslizamentos (*Slides*)

Os deslizamentos são caracterizados como um movimento de solo ou rocha que ocorre predominantemente ao longo de planos de ruptura ou de zonas relativamente estreitas, alvo de intensa deformação tangencial (WP/WLI, 1993). A massa deslocada durante o movimento permanece em contacto com o material subjacente não afectado, apresentando graus de deformação bastante variáveis, consoante o tipo de deslizamento (Zêzere, 2000). Os movimentos são moderadamente rápidos a rápidos (*tabela 2.2*).

De acordo, com o tipo de ruptura e a natureza do material, os deslizamentos subdividem-se em dois principais subtipos: deslizamentos rotacionais (*figura 2.4- A*) e deslizamentos translacionais (*figura 2.4- B*).

Os deslizamentos rotacionais ocorrem ao longo de superfícies de ruptura curvas, em meios geralmente homogêneos e isotrópicos. Como o plano de deslizamento é côncavo, o movimento envolve uma rotação materializada por um abatimento na parte montante do deslizamento e por um levantamento do seu sector frontal (Hutchinson, 1988; Zêzere, 2000).

Os deslizamentos translacionais sucedem-se ao longo de superfícies de ruptura planares ou com uma ligeira ondulação, em meios geralmente anisotrópicos, e apresentando, frequentemente, um controlo estrutural evidente. O plano de deslizamento desenvolve-se ao longo de superfícies de fraqueza, marcadas por uma reduzida resistência ao corte, tais como falhas, planos de estratificação, diaclases ou o contacto entre uma cobertura detrítica e o substrato rochoso (Varnes, 1978).

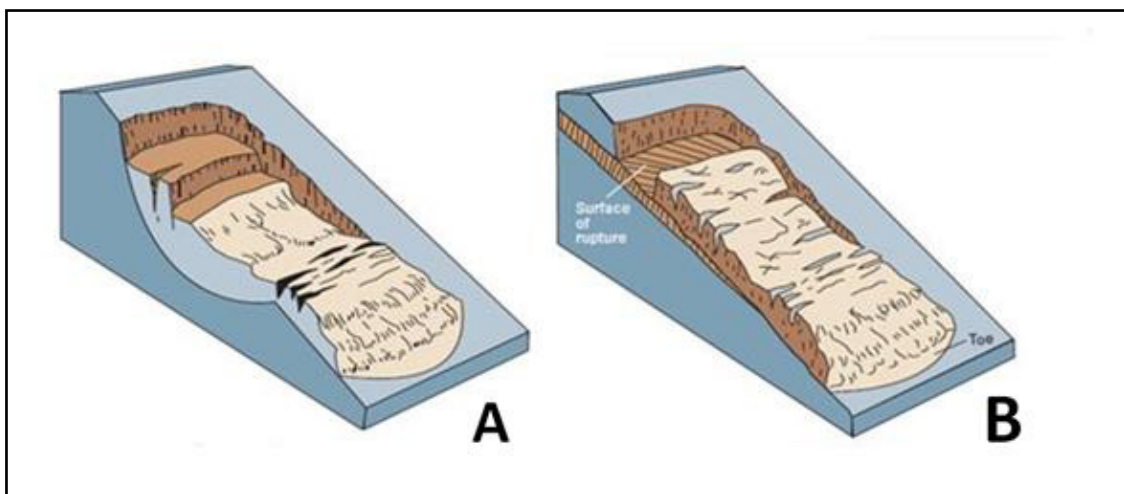


Figura 2.4 – Deslizamentos. A) Deslizamento rotacional; B) Deslizamento translacional (Highland e Bobrowsky, 2008).

4. Movimentos complexos (*complex*)

Segundo Varnes (1978), os movimentos complexos são todos os que envolvem uma combinação de dois ou mais movimentos referidos anteriormente. Contudo, Cruden e Varnes (1996) optaram por não individualizar estes movimentos, integrando-os nos tipos anteriores em função do movimento dominante. Van Asch *et al.*, (2007) referem que a maioria dos processos de instabilidade geomorfológica é do tipo complexo, embora, por norma, seja possível definir o mecanismo dominante.

Efectivamente, nas arribas costeiras é muito frequente a ocorrência de tombamentos seguidos de desabamentos ou de deslizamentos planares.

2.2.2 Factores condicionantes e factores desencadeantes

As causas da origem dos movimentos de vertente são várias e de naturezas diversas. Segundo Zêzere (2005), tentar definir “a causa” de um movimento de vertente, para além de se afigurar difícil, pode ser incorrecto.

Glade e Crozier (2005) consideram a existência de três tipos de factores de instabilidade das vertentes: os factores de predisposição, os factores preparatórios e os factores desencadeantes (*figura 2.5*).

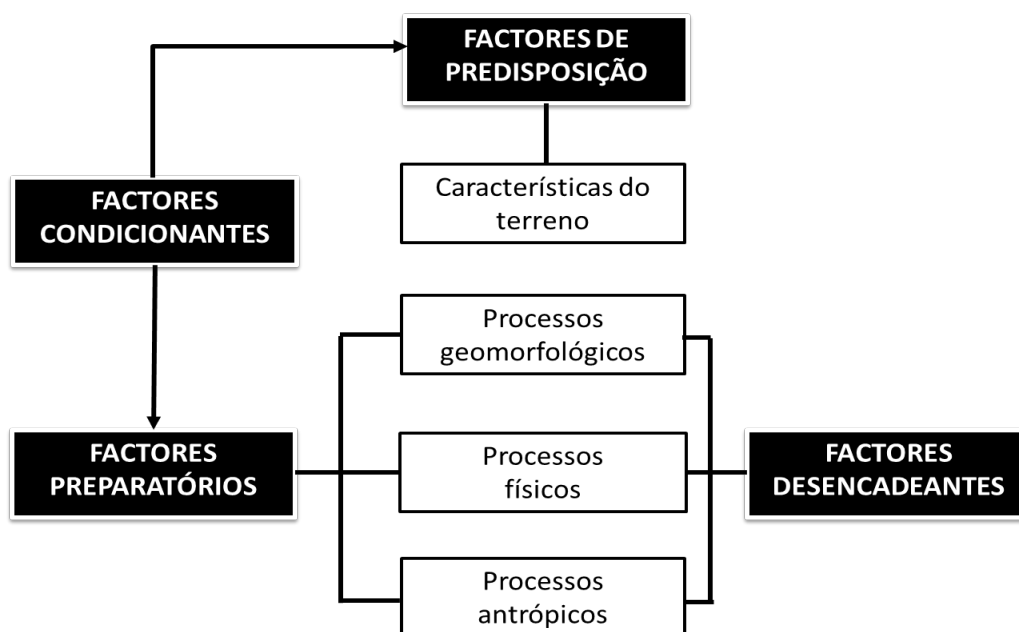


Figura 2.5 – Os factores dos movimentos de vertente (Modificado de Popescu, 1994).

Por factores de predisposição, compreendem-se todos os factores que são estáticos e inerentes ao terreno, que condicionam o grau de instabilidade potencial da vertente, sendo estes determinantes na variação espacial do grau de susceptibilidade de uma zona à instabilidade. Os factores preparatórios são dinâmicos e promovem a diminuição da estabilidade da vertente, sem iniciar o movimento. Por fim, os factores desencadeantes representam a causa imediata da instabilidade e determinam o ritmo temporal dos movimentos de vertente (Zêzere, 2005).

As características do terreno funcionam como factores de predisposição, em que se destacam os factores geológicos (litologia, estrutura geológica, *etc.*), factores morfológicos e morfométricos das vertentes. Os restantes factores, consequentes de processos geomorfológicos, físicos e antrópicos, podem funcionar como mecanismo preparatório ou desencadeantes, em função da sua intensidade e duração, bem como do estágio de estabilidade prévia da vertente (Zêzere, 2005). Alguns exemplos mais habituais de factores desencadeantes são as precipitações intensas e/ou demoradas, as erupções vulcânicas, os sismos ou outras vibrações, as sobrecargas decorrentes da actividade humana, *etc.*

No caso das arribas costeiras, além das causas mencionadas, acrescenta-se os processos relacionados com a acção do mar, que se traduz principalmente pela erosão da sua base, sendo tanto mais efectiva quanto mais erodíveis forem os materiais das arribas e mais activas as ondas e as correntes marítimas litorais (Ferreira, 2010).

2.3 Geodinâmica dos litorais rochosos

O litoral, segundo o ENGIZC, é um termo geral que descreve as porções de território que são influenciadas directa e/ou indirectamente pelo mar. Trata-se de uma faixa em que ocorre um conjunto de processos que determinam as suas dimensões, podendo ocorrer acreção ou remoção de material (Gusmão, 2010).

A linha de costa do território continental português, tendencialmente rectilínea, exposta substancialmente a oeste e a sul, com efeitos da forte agitação marítima e de ventos, é formada principalmente por praias de areia e por um litoral rochoso.

O termo litoral rochoso – *rock coast* – é utilizado como referência geral para sectores litorais em que predomina o afloramento do substrato rochoso, geralmente sob a forma de arribas e plataformas litorais (Trenhaile, 2002). Os litorais rochosos correspondem a faixas de contacto de oceano-continente periódico ou permanentemente emersa, talhada em material coerente, e cuja evolução recente e/ou actual é condicionada directa ou indirectamente pela acção de processos marinhos (Neves, 1995). Além dos processos marinhos, alguns

autores consideram que os litorais rochosos interagem também com processos antropogénicos (Andriani e Walsh, 2007).

Os litorais rochosos ocupam, segundo Emery e Kuhn (1982), cerca de 80%, da faixa costeira de todo o mundo, sendo predominantemente arribas. Estas são fortemente influenciadas pela resposta da geologia, particularmente a litologia e a estrutura das formações rochosas, à meteorização e a processos de erosão (Bird, 2008).

2.3.1 Arribas costeiras

As arribas litorais constituem elementos geomorfológicos situados na interface da litosfera, atmosfera e hidrosfera, sendo ainda actuados, com maior ou menor intensidade, pela biosfera (Marques, 1997).

Segundo Neves (1995), arriba é “uma forma erosiva com declive forte, talhada em rochas coerentes, localizada frente ao mar, que evolui, no sector cimeiro por processos subaéreos, frequentemente condicionados pela instabilização provocada na base por acção directa da ondulação ou por processos (físicos, químicos e/ou biológicos) ligados à presença da água do mar”. Marques (1997) define as arribas litorais como taludes naturais que sofrem erosão mais ou menos intensa no sopé, o que provoca o aumento do declive do talude ou mesmo a formação de subescavações, favorecendo a ocorrência de fenómenos de instabilidade.



Figura 2.6 – Arribas costeiras do litoral do concelho de Mafra. A) Praia do Matadouro; Fotografia de Outubro de 2011. B) Praia da Calada; Fotografia de Setembro de 2011.

As arribas são, portanto, uma forma particular de vertente costeira de rochas, mais ou menos coerente, com declives acentuados, devendo-se considerar como arriba todo o conjunto compreendido entre a base e a crista da arriba, designado por face de arriba. (*figura 2.7*). A crista da arriba corresponde à parte superior em que se verifica uma brusca ruptura de pendor, tornando-se mais aplanada, enquanto a base é a linha de encontro da arriba com o nível de base, onde, por vezes, se acumula praia ou depósitos de sopé.



Figura 2.7 – Morfologia da arriba, a Norte da Praia da Calada, Ericeira. Fotografia de Dezembro de 2010.

Na base das arribas surge por vezes uma plataforma talhada em substrato rochoso, testemunho do recuo da arriba adjacente, que é normalmente designada por plataforma de abrasão (*figura 2.8*). Corresponde, geralmente a superfícies mais ou menos regulares, sub-horizontais ou pouco inclinadas para o mar, e talhadas por acção directa da ondulação ou por processos (físicos, químicos e/ou biológicos) ligados à presença da água do mar (Marques, 1997; Neves, 2004).

Sunamura (1992) e Neves (2004) consideram que sempre que a base da arriba se encontra permanentemente submersa designa-se como “arriba mergulhante”.



Figura 2.8 – Exemplos de plataformas de abrasão no litoral de Mafra. A/B) Norte da Praia de Ribeira de Ilhas; Fotografias de Agosto de 2011. C) Norte da Praia da Empa; Fotografia de Outubro de 2011.

A morfologia de uma arriba e das plataformas de abrasão reflectem a conjugação de um conjunto de factores passivos e activos (Neves, 1995). Estas estão directamente relacionadas com as litologias das rochas que a constituem, o que pressupõe uma maior ou menor resistência aos processos erosivos, tanto físicos como químicos; à estrutura geológica (englobando a estratificação; xistosidade e presença e/ou ausência de falha e fracturas) e por último ao grau de exposição aos principais agentes erosivos.

Neste último factor deve ser dado destaque à intensidade e à frequência de acção com que actuam os agentes marinhos, mas também ao clima, à temperatura e o pH da água, à ocupação vegetal e animal e à actividade antrópica. O peso de

cada um destes factores é muito variável de local para local, condicionando deste modo os processos predominantes na evolução das arribas, como das plataformas de abrasão.

2.3.2 Evolução das arribas

A evolução das arribas resulta da acção combinada de diversos agentes erosivos que actuam no sopé da arriba produzindo, com frequência, uma zona de escavamento, que pode ser mais ou menos pronunciada. Esta zona é designada por sapa (*figura 2.9*).

É a progressiva evolução da sapa que tira sustentação à parte sobrejacente da arriba, acabando por cair, o que tem como consequência que toda a face da arriba acabe por evoluir e recuar na direcção ao continente.



Figura 2.9 – A seta indica a sapa no Sul da Praia da Orelheira. Fotografia de Outubro de 2011.

A erosão marinha é a principal responsável pelo retrocesso dos litorais rochosos e, conseqüentemente, da evolução dos sistemas costeiros. Destaca-se a erosão produzida pelas ondas que é, na maioria dos casos, o processo dominante na erosão do sopé das arribas. As ondas quando atingem as arribas exercem acções

hidráulicas e, quando existem sedimentos móveis que possam funcionar como carga abrasiva, acções mecânicas (abrasão) (Marques, 1997).

A energia das ondas que atinge a base da arriba está dependente da profundidade das águas junto à arriba, do declive da plataforma e das características das ondas junto ao litoral, podendo ser influenciadas por condições meteorológicas particulares na zona costeira, tal como a ocorrência de ventos fortes (Marques, 1997; Neves, 2004; Oliveira, 2005).

Contudo, os processos intervenientes na erosão do sopé podem estar relacionados com meteorização de natureza química, física e biológica, que originam fragmentação e/ou alteração da superfície rochosa em contacto com agentes atmosféricos e hidrosféricos.

As principais reacções químicas que actuam na faixa costeira são a dissolução/precipitação, a hidrólise e a oxidação-redução, provocando a alteração das rochas. As reacções intervenientes numa determinada litologia dependem em grande parte, da composição mineralógica e da textura mas, também, das características do clima (Marques, 1997). Por exemplo, nos litorais essencialmente constituídos por rochas carbonatadas, o processo químico principal é a dissolução, que desenvolve numerosas estruturas erosivas (*figura 2.10*), que se designam genericamente por carso ou *karst* litoral.



Figura 2.10 – Morfologia cársica na plataforma litoral entre a Praia de São Julião e a Praia da Foz do Lizandro. Fotografia de Agosto de 2011.

A meteorização física actua exercendo pressão sobre as paredes de fissuras e poros das rochas, quer por cristalização, hidratação e expansão de cristais de sal

– haloclastia, – quer por expansão do volume de água que ocupa essas depressões por congelação – crioclastia. A água do mar que existe nas fracturas e poros das rochas contém sais dissolvidos, que podem precipitar (*figura 2.11*) e iniciar o seu crescimento, exercendo, uma força expansiva, que contribui para uma maior desagregação das rochas.

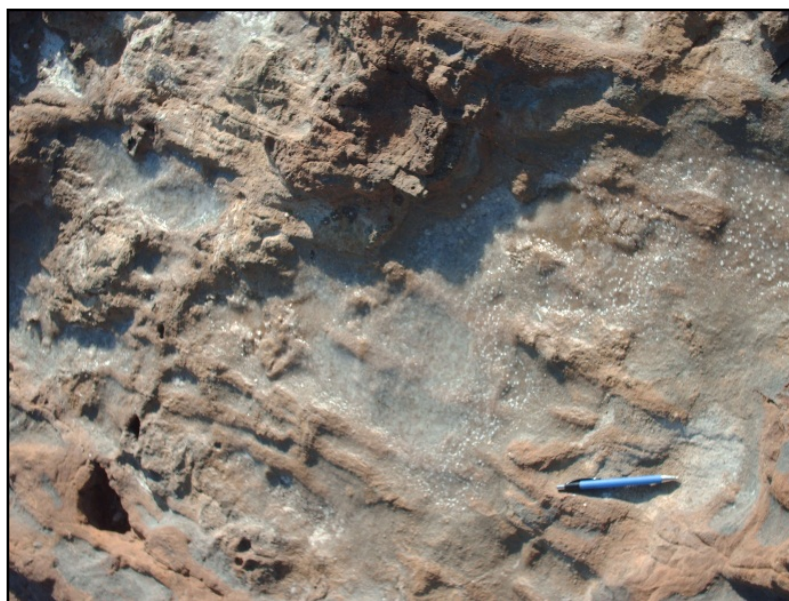


Figura 2.11 – Concentração de sal devido a intensa evaporação da água do mar. Norte da Praia da Empa. Fotografia de Outubro de 2011.

O conjunto dos processos responsáveis pela erosão basal é relevante na evolução das arribas porém, na maioria das litologias, os eventos mais importantes são os movimentos de vertente, cuja ocorrência induzem riscos geológicos consideráveis para a ocupação humana. O aumento de declive proporcionado pela erosão basal propicia a ocorrência de movimentos de vertente.

Os movimentos de vertente em arribas caracterizam-se por elevada velocidade de deslocamento, concretizando-se em intervalos de tempo da ordem dos segundos, e repetem-se no mesmo local em intervalos mais longos, da ordem de anos a séculos, durante os quais a arriba aparenta estabilidade (Marques e Andrade 2009). De facto, os detritos resultantes destes movimentos constituem protecção de sopé mais ou menos duradoura, que impede, durante algum tempo, a continuação da erosão marinha. Contudo, estes sedimentos tendem a ser desmantelados e transportados pelas ondas, redistribuindo-se pelas correntes

litorais, contribuindo para a alimentação de sistemas clásticos do litoral, tais como praias, ilhas barreira e dunas litorais. Após a remoção completa dos depósitos de sopé, reinicia-se o processo erosivo, que irá conduzir à ocorrência de novos movimentos de vertente (Marques, 1997). Define-se desta forma um ciclo de evolução que alterna entre os processos de erosão e o recuo das arribas (figura 2.12).

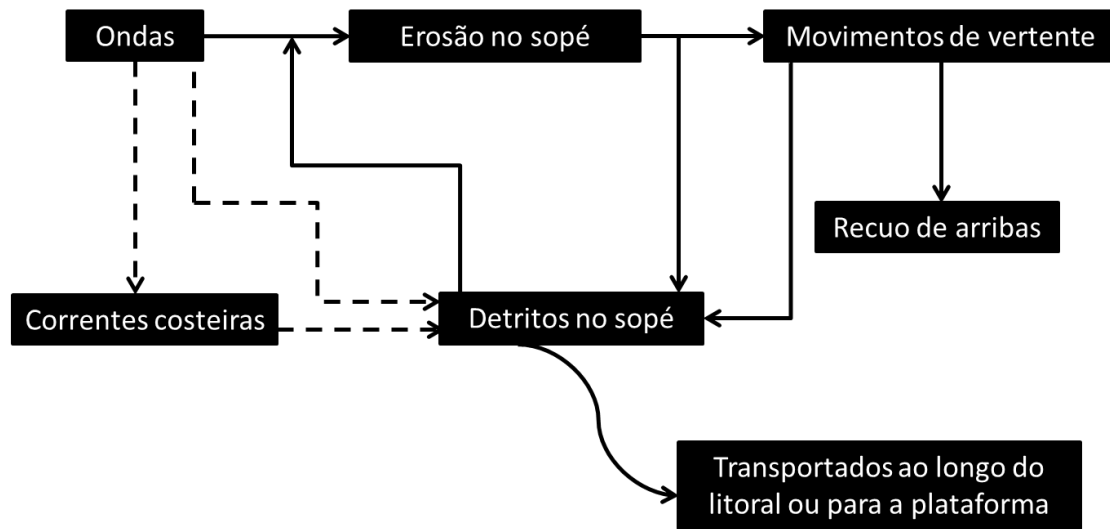


Figura 2.12 – Processo simplificado da evolução das arribas (Adaptado de Sunamura, 1992).

CAPÍTULO III. ENQUADRAMENTO DA ÁREA EM ESTUDO

3.1 Enquadramento Geográfico

O presente trabalho desenvolveu-se em todo o litoral do concelho de Mafra. Este município localiza-se no distrito de Lisboa e está integrado na periferia da Área Metropolitana de Lisboa (AML). Ocupa uma área de aproximadamente, de 291,43 Km² e está dividido em dezassete freguesias, em que apenas quatro têm linha de costa (Carvoeira, Ericeira, Santo Isidoro e Encarnação), sendo as restantes interiores. O município é limitado a Norte pelo concelho de Torres Vedras, a Nordeste por Sobral de Monte Agraço, a Este por Arruda dos Vinhos, a Sueste por Loures, a Sul por Sintra e a Oeste pelo oceano Atlântico (*figura 3.1*).

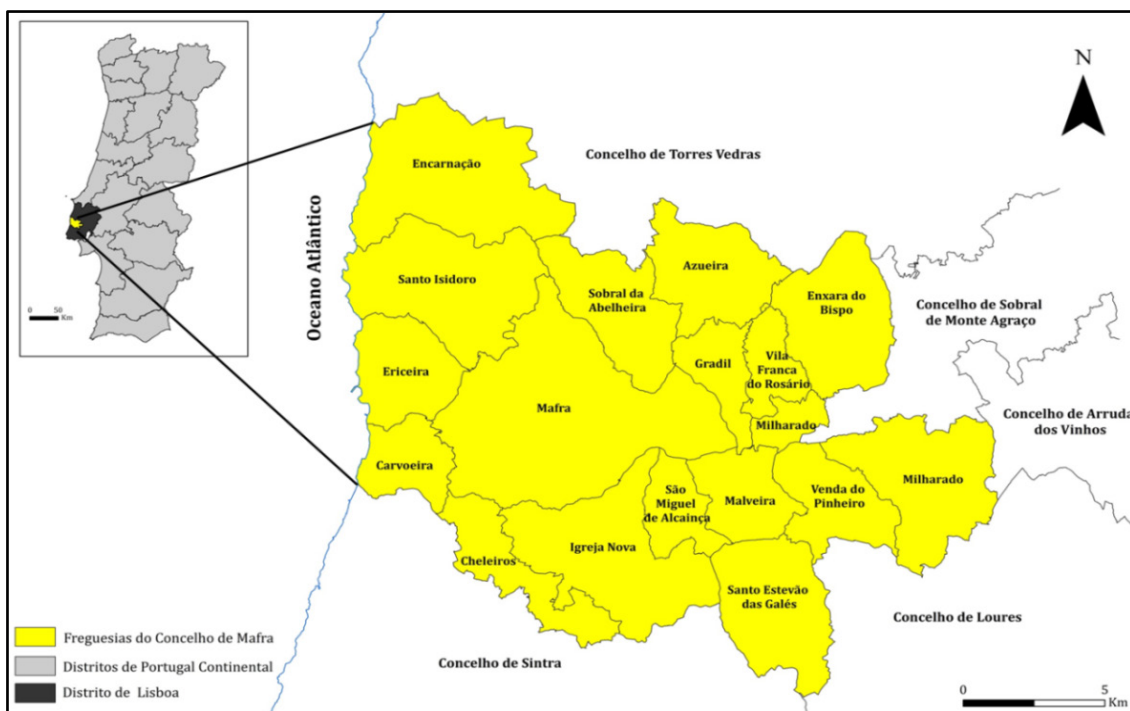


Figura 3.1 – Enquadramento geográfico do concelho de Mafra. Fonte de dados: Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP-2011) do Instituto Geográfico Português (IGP).

A faixa litoral abrange o sector costeiro entre a Praia de São Julião a Sul, e Messapez a Norte, perfazendo uma extensão de aproximadamente 16 km, segundo uma orientação norte-sul.

3.2 Caracterização Antrópica

Por razões conhecidas, as zonas costeiras têm sido, tradicionalmente, um importante foco de desenvolvimento da sociedade humana. Nas últimas décadas, a acelerada fixação de aglomerados urbanos e actividades económicas em toda a sua extensão do litoral têm promovido a intensa erosão na costa portuguesa.

O litoral de Mafra não é excepção, uma vez que a sua posição estratégica relativamente à AML, se traduz nos últimos anos a uma tendência de crescimento da população residente. De acordo com os dados referentes aos censos de 2011 do Instituto Nacional de Estatística (INE), o município de Mafra concentra uma população de 76685 habitantes. Pela análise da *tabela 3.1*, confirma-se uma tendência de crescimento positivo da população, verificando-se um aumento de 10627 habitantes entre 1991 e 2001 e 22327 habitantes entre 2001 e 2011. Deduz-se que nos últimos 10 anos a população cresceu o dobro em relação ao período de 1991-2001. Baseado nos mesmos dados dos censos de 2011 este foi o concelho português que apresentou maior aumento de densidade populacional, cerca de 41%.

Tabela 3.1 – População do concelho de Mafra, 1801 a 2011
([http://pt.wikipedia.org/wiki/Mafra_\(Portugal\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Mafra_(Portugal))).

População do concelho de Mafra (1801-2011)								
1801	1849	1900	1930	1960	1981	1991	2001	2011
4200	10734	25021	29750	35739	43889	43731	54358	76685

Pelos dados da *tabela 3.2*, verifica-se que as freguesias costeiras registam densidade populacional mais elevada que as freguesias do interior. A população no litoral é quase um terço da população total do município.

Uma análise mais detalhada ao nível das freguesias, mostra que Mafra é a que apresenta mais população residente, 17986 habitantes, porém quando

comparado a relação entre a população e a superfície do território verifica-se que é a Ericeira que apresenta maior densidade populacional, 841,7hab/km² sendo a segunda freguesia do concelho com mais população.

Tabela 3.2 – População do concelho de Mafra. Fonte de dados: Censos de 2011 do INE.

	Freguesias	População	Área (km ²)	Densidade populacional (hab/km ²)
FREGUESIAS COSTEIRAS	Encarnação	4798	28,54	168,1
	Santo Isodoro	3814	24,83	153,6
	Ericeira	10260	12,19	841,7
	Carvoeira	2155	8,32	259,0
Total das freguesias costeiras		21027	73,88	284,6
FREGUESIAS DO INTERIOR	Mafra	17986	47,67	377,3
	Azueira	3164	15,06	210,1
	Cheleiros	1347	11,53	116,8
	Enxara do Bispo	1740	17,96	96,9
	Gradil	1226	7,44	164,8
	Igreja Nova	3037	25,62	118,5
	Malveira	6493	9,92	654,5
	Milharado	7023	20,80	337,6
	Santo Estêvão das Galés	1709	18,46	92,6
	Sobral da Abelheira	1152	15,57	74
	Vila Franca do Rosário	871	6,17	141,2
	Venda do Pinheiro	8146	14,43	564,5
	São Miguel de Alcainça	1764	6,92	254,9
Total das freguesias do interior		55658	217,55	255,8

3.3 Enquadramento Geológico

O concelho de Mafra situa-se na Orla Mesocenozóica Ocidental, enquadrando-se na bacia sedimentar Lusitânica, onde afloram sedimentos de idade mesozóica.

A Bacia Lusitânica corresponde a uma bacia distensiva que se desenvolveu durante parte do Mesozóico na Margem Ocidental Ibérica, formada aquando da subsidência de extensas fossas associadas à abertura do Atlântico Norte, a que se seguiu a instalação do cortejo de filões de rochas eruptivas, de disposição radial de

Mafra, que corresponde predominantemente a diques, e a instalação do maciço intrusivo de Sintra e do Complexo Vulcânico de Lisboa no final do Cretácico, ocorrendo finalmente inversão tectónica em regime compressivo relacionados com a orogenia alpina (Kullberg *et al.*, 2006).

O município encontra-se representado na Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50000, nas folhas 34-A de Sintra (3ª Edição) e 30-C de Torres Vedras (4ª Edição), ambas publicadas pelos Serviços Geológicos de Portugal. Ainda, de salientar, que foi elaborada em protocolo de colaboração entre a Junta Metropolitana de Lisboa, Instituto Geológico Mineiro (IGM)⁽⁴⁾ e a Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, a revisão e actualização da cartografia geológica de AML à escala 1/25000, em formato vectorial, do qual se insere o sector costeiro em estudo, nas folhas 374-Torres Vedras, 388-Ericeira e 402-Mafra.

No litoral do concelho de Mafra, dominam as formações sedimentares do Cretácico e do Jurássico, que são cortadas por numerosos filões e chaminés vulcânicas. É possível ainda encontrar nalguns sectores do litoral ou, de uma maneira geral, na plataforma litoral, depósitos de antigas praias, na sua maior parte Plio-Plistocénicas constituídas por areias, alguns seixos e calhaus rolados. E ainda, depósitos aluvionares, localizados ao longo dos vales dos principais cursos de água e depósitos de areias de praia nas fases terminais dos rios Lizandro, Cuco e Safarujo (*figura 3.2*).

Segundo, a análise da *figura 3.2* os afloramentos cretácicos estendem-se em todo o Sul, do sector costeiro até ao Porto da Calada. A Norte de Ribamar, em contacto com os depósitos aluvionares, ocorre a passagem das formações Cretácicas para o Jurássico Superior.

De seguida, far-se-á uma breve descrição das diferentes unidades individualizadas, segundo a cartografia geológica representada na figura aludida.

⁽⁴⁾ Instituto Geológico Mineiro extinto durante este projecto, sendo substituído pelo Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), que actualmente é o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

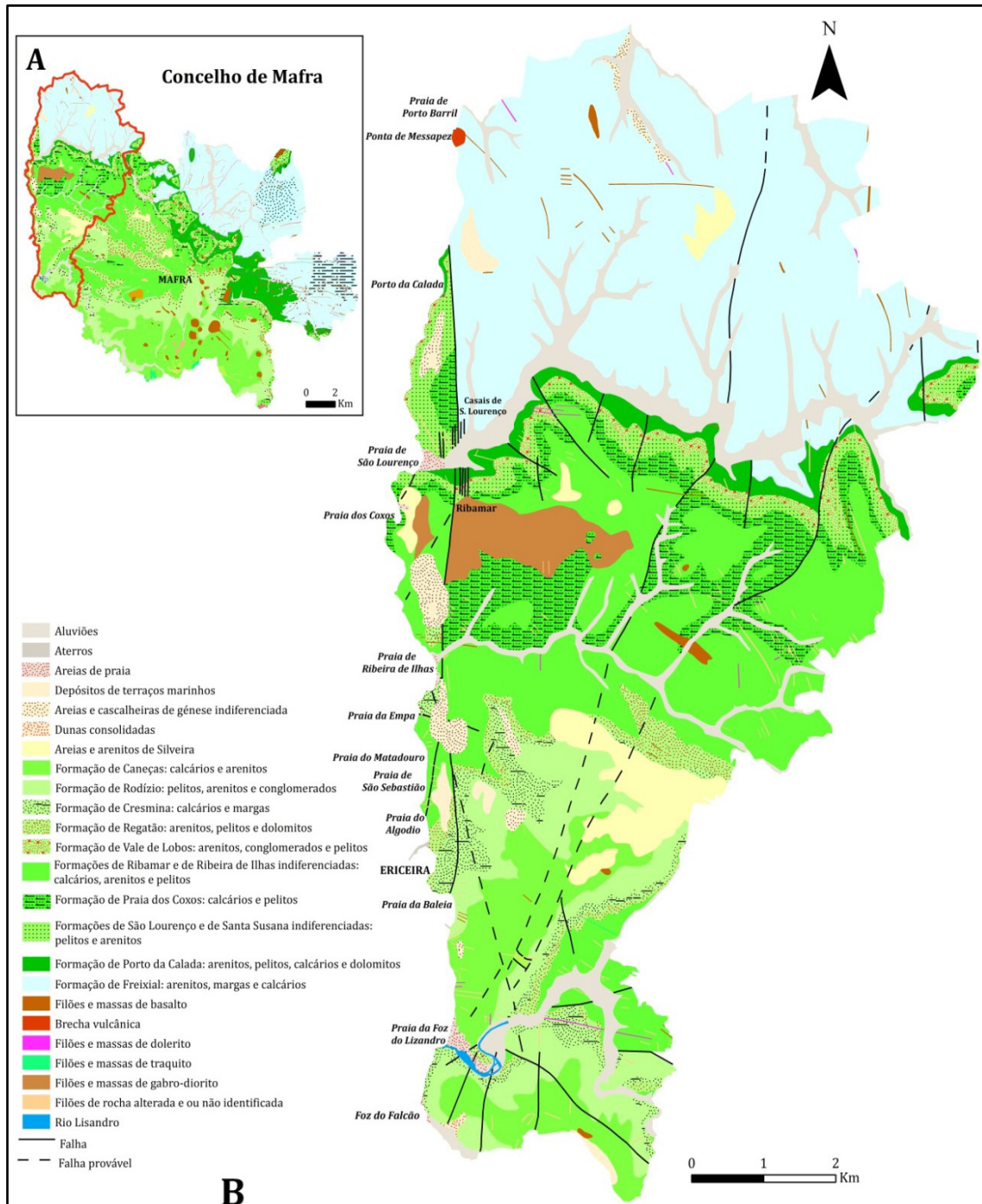


Figura 3.2 – Cartografia Geológica à escala 1.25000. A) Concelho de Mafra; B) Freguesias do concelho com linha de costa (Carvoeira, Ericeira, Santo Isidoro e Encarnação), (INETI, 2005).

A unidade mais antiga é a **formação de Freixial** atribuída ao Tioniano do Jurássico Superior. Definidas por Choffat sob o nome de “Freixialino” (1901), é de um modo geral representada por uma alternância de sedimentos siliciclásticos, margas e calcários. O meio de deposição corresponde a rampa de pequena profundidade, virada a sul, com águas de salinidade variável. Os acarreios

siliciclásticos vermelhos mostram vários episódios de progradação de norte para sul. (Kullberg *et al.*, 2006).

Na arriba da Praia de Porto Barril foram observados margas, calcários margosos e arenitos de cor avermelhada, com estruturas pós-deposicionais do tipo “estruturas em chama”, muito argilosos (*figura 3.3*).

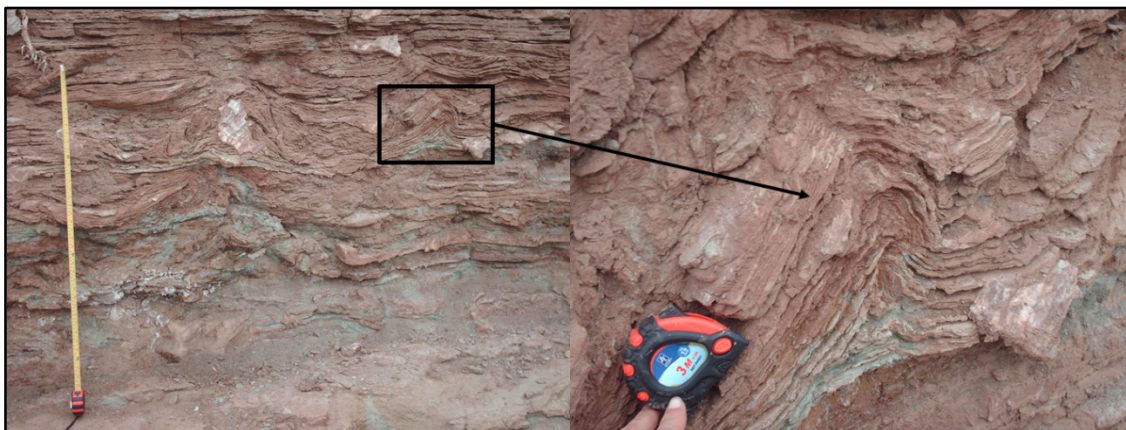


Figura 3.3 – Estruturas pós-deposicionais nos arenitos avermelhados. Fotografia de Agosto de 2011.

Segue-se toda a série do Cretácico Inferior, que ocupa a totalidade da porção Sul da zona de estudo. Rey *et al.*, (2006) referem que os afloramentos cretácicos da margem ocidental portuguesa representam as etapas finais de enchimento sedimentar da Bacia Lusitânica. Os depósitos cretácicos distribuem-se em dois sectores, setentrional e meridional, separados, sensivelmente, pelo paralelo das Caldas da Rainha. Segundo os mesmos autores, o Cretácico Inferior só foi identificado de modo seguro no sector meridional, compreendido entre o Maciço Hespérico, a este, que constitui a principal fonte de sedimentos clásticos, e os compartimentos marginais que incluem *horst* marginal granito-gnáissico da Berlenga, a oeste.

A sucessão estratigráfica do Cretácico Inferior encontra-se bem identificada na região da Ericeira, onde se distinguem dez formações com cerca de 250 m de espessura, aproximadamente. (Rey *et al.*, 2003; Kullberg *et al.*, 2006). A sedimentação é mista, silício-clástica a carbonatada com predominância de ambientes marinhos (*tabela 3.3*).

Tabela 3.3 – Unidades litostratigráficas do Cretácico Inferior da Bacia Lusitânica da região de Ericeira (Adaptado de Rey, 1993; Rey *et al.*, 2006).

ERICEIRA		
IDADES	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS	BIBLIOGRAFIA DE DEFINIÇÃO
ALBIANO	Formação de Rodízio	Rey, 1992
APTIANO	Formação de Cresmina	Rey, 1992
BARREMIANO	Formação de Regatão	Rey, 1992
	Formação de Ribeira de Ilhas	Rey, 1992
HAUTERIVIANO	Formação de Ribamar	Rey, 1992
	Formação de Praia dos Coxos	Rey 1992
	Formação de Santa Susana	Rey, 1992
VALANGINIANO	Formação de São Lourenço	Rey, 1992
	Formação de Vale de Lobos	Rey, 1992
BERRIASIANO	Formação de Porto da Calada	Rey, 1993

LEGENDA			
	clásticas fluviais a estuarinas		Clásticas litorais a lagunares
	mistas (clásticas e carbonatadas)		carbonatadas

A **Formação de Porto da Calada**, datada desde o Titoniano(?) até ao Berriasiano inferior, é constituída por alternância de arenitos brancos, finos a médios, com estratificação entrecruzada, arenitos com calhaus negros e estratificação planar, arenitos siltíticos com lenhites, laminações horizontais, argilas lenhitas e dolomitos amarelos e calcários acinzentados. Esta unidade corresponde essencialmente a depósitos estuarinos a fluviais distais, em que representa uma sedimentação em ambiente intermareal (Rey, 1993; Kullberg *et al.*, 2006).

Segue-se a **Formação de Vale de Lobos**, idade Berriasiano médio a Valanginiano inferior, que aflora nas arribas imediatamente a Sul da Praia da Calada. Litologicamente consiste em quartzarenitos grosseiros a finos, por vezes conglomeráticos, de matriz lutítica essencialmente formada por caulinite, o que lhe

confere a característica cor branca. Esta formação regista sistemas de ambiente fluvial de cursos de água divagantes.

A sucessão geológica visível nas arribas da Praia de São Lourenço foi cartografada (*figura 3.2*) em conjunto como **Formação de São Lourenço e de Santa Susana indiferenciadas**.

A **Formação de São Lourenço** datada desde o Valanginiano a Hauteriviano basal é definida a partir de um estrato tipo que se situa nas arribas de São Lourenço, a Norte da foz da ribeira Safarujó. É constituída por uma alternância de dolomias arenosas com siltes argilosos pretos, ricos em matéria orgânica e por arenitos maciços, brancos ou ocre, finos a grosseiros, com estratificação obliqua e lenticulas de lenhites (*figura 3.4*). Corresponde a depósitos de ambiente lagunar, com sedimentos inter a supramareais (Rey, 1993; Rey, 2006).



Figura 3.4 – Aspecto geral da arriba, a Norte da Praia de São Lourenço. Fotografia de Setembro de 2011.

A **Formação de Santa Susana** de idade Hauteriviano, definida a partir de um estrato tipo que se situa a Sul da foz do rio Safarujó, sobre a arriba do Forte Santa Susana, é formada por camadas horizontais de pelitos azulados, laminados, arenitos siltosos e oxidados, e por camadas maciças de arenitos finos amarelados com estratificação obliqua (*figura 3.4*). A sedimentação descrita testemunha deposição em ambiente estuarino.



Figura 3.5 – A) Aspecto geral da arriba a Sul da Praia de São Lourenço; C) Pormenor dos arenitos siltosos oxidados. Fotografias de Agosto de 2011.

Segue-se a **Formação de Praia dos Coxos** de idade Hauteriviano que constitui o suporte litológico principal das arribas compreendidas, entre o Norte e o Sul da Praia dos Coxos. A formação descrita por Rey (1992) está representada na base, por calcários arenosos, cinzentos, argilas verdes e argilas siltsas e um termo superior de calcários argilosos bastante bioturbados com gastrópodes, bivalves e *chofatellas*. Rey (2006) refere que estes sedimentos de ambiente de plataforma interna expressam o máximo da transgressão entre o Valangiano-Barremiano, na zona de Ericeira.

Entre o Hauteriviano e o Barremiano depositou-se um conjunto de sedimentos areníticos finos a grosseiros, arenitos arcósicos conglomeráticos com estratificação entrecruzada, e estratos finos de pelitos lenhitosos, de dolomitos areníticos a calcários areníticos bioturbados (**Formação de Ribamar**). Os níveis detríticos e os dolomitos podem ser interpretados como depósitos de planície de maré, enquanto os calcários arenosos representam os andares infra a intermareais de uma laguna (Rey *et al.*, 2003). Sobre esta unidade, assenta a **Formação Ribeira**

de Ilhas, de idade Barremiano, constituída litologicamente na base, por calcários argilosos e margas, a que sobrepõem uma fácies dominante de calcários arenosos com estratificação oblíqua, dolomias a margas lenhitosas pretas. Esta formação é muito fossilífera, em que predominam *chofatellas*, ostreídeos, gastrópodes e bivalves. O conjunto sedimentar depositou-se em plataforma marinha.

A **Formação de Ribamar e a Formação de Ribeira de Ilhas**, no mapa geológico da *figura 3.2* não se encontram diferenciadas, sendo referida como, **Formação de Ribamar e de Ribeira de Ilhas indiferenciadas** (*figura 3.6*). Esta sucessão geológica aflora nas arribas imediatamente a Sul da Praia dos Coxos até à Praia do Matadouro, e ainda, nas arribas compreendidas entre a Praia da Empa até à Praia do Algodio.

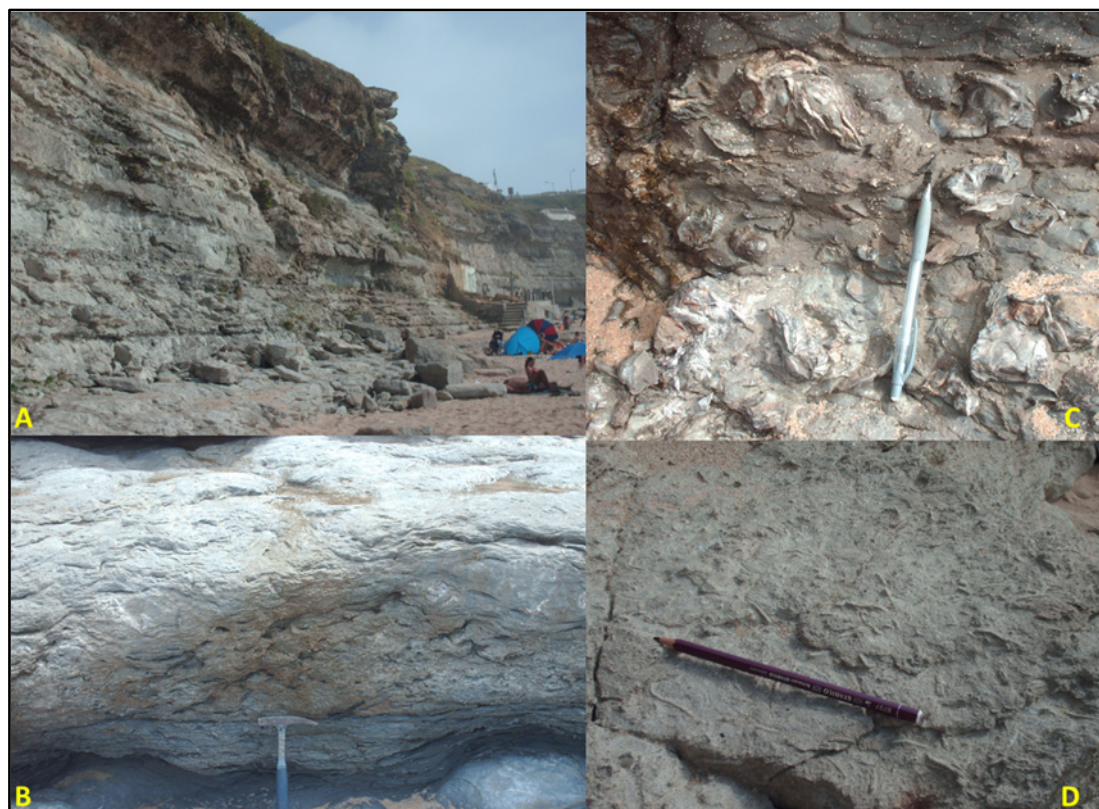


Figura 3.6 – Aspecto geral da Formação de Ribamar e de Ribeira de Ilhas indiferenciadas na Praia de São Sebastião A) Afloramento na Praia de São Sebastião; B) Calcário arenoso com estratificação oblíqua; C e D) Exemplos de fósseis nas margas lenhitosas pretas (C) e nos calcários margosos (D). Fotografias de Agosto de 2011.

Durante o Barremiano superior depositam-se sedimentos de influência marinha, a **Formação de Regatão**, que é constituída predominantemente de

arenitos, pelitos e dolomitos de planícies costeiras inter a supramareais e de ambientes estuarinos. A subida progressiva do nível relativo do mar favorece a deposição de sedimentação carbonatada na região de Ericeira, sucedem-se no tempo, com grande uniformidade espacial de fácies, calcários e margas de plataforma interna (**Formação de Cresmina, Membro de Cobre**) e biostromas de madreporários e rudistas associados a cordões litorais arenosos (**Formação de Cresmina, Membro de Ponte Alta**). Seguem-se margas com ostras, testemunho de meios de vasas protegidas (**Formação de Cresmina, Membro de Praia da Lagoa**). O máximo de transgressão em meados do Aptiano inferior é assinalado por numerosas superfícies endurecidas e níveis condensados no Membro de Ponte Alta, na Ericeira (Rey, 1992; Rey *et al.*, 2006).

A **Formação de Cresmina** é bem observável a Sul da Praia do Peixe, que segundo a Notícia Explicativa da Folha 30-C (Torres vedras) cita “ os calcários formam o promontório do semáforo (...) as camadas com *Orbitolina* tem aí uma possança de cerca de 10 m.” (*figura 3.7*). Para além do local referido, ocorre ainda nas arribas da Praia do Matadouro e, entre a Praia de São Julião e Praia da Foz do Lizandro.



Figura 3.7 – Calcário rico em orbitolinas. Fotografias de Agosto de 2011.

No Aptiano terminal a Albiano Inferior, em todo o sector meridional da Bacia Lusitânica instala-se um regime continental, acumulando-se conglomerados arenitos e argilas de canais fluviais divagantes, - **Formação de Rodízio**, -

ravinando mais ou menos profundamente todas as unidades subjacentes. (Rey, 1992; Rey *et al.*, 2006). Esta unidade aflora nas arribas da Praia da Baleia.

Imediatamente, a Sul da Praia da Baleia está bem caracterizada a **formação de Caneças** atribuída ao Albiano superior a Cenomaniano. Esta unidade corresponde à passagem do Cretácico Inferior para o Cretácico Superior e em termos litológicos são essencialmente calcários, margas, argilas e arenitos. Nas arribas compreendidas entre a Praia da Foz do Lizandro e a Praia da Baleia observa-se bancadas horizontais de calcários mais ou menos margosos e calcários arenosos, intercalados com margas escuras e por vezes arenosas.

Para além, do conteúdo sedimentar descrito até ao presente, é ainda observável a ocorrência de rochas eruptivas. Na arriba a Norte da área de estudo, na Ponta de Messapez aflora uma brecha vulcânica. As rochas constituintes da brecha são rochas basinitóides, provenientes de um magma ou de magmas deficitários em sílica (*figura 3.8*).



Figura 3.8 – A e B) Brecha vulcânica na Praia de Porto Barril; C) Encraves de rochas sedimentares na brecha vulcânica. Fotografias de Agosto de 2011.

Na foz da Ribeira de Ilhas, a **Formação de Ribamar e de Ribeira de Ilhas indiferenciadas** é cortada por uma chaminé vulcânica, que é visível aquando a maré baixa (*figura 3.9*). Esta chaminé não se encontra assinalada no mapa geológico da *figura 3.2*. A rocha vulcânica que a constitui é do tipo basáltica, com grandes fenocristais de piroxena e de olivina. São frequentes encraves de rochas sedimentares na rocha vulcânica, encontrando-se também alguns de rochas eruptivas de tipo gabróico (Romariz, 1962). Para além da brecha, observa-se uma intrusão magmática de material basáltico em forma de lacólito.



Figura 3.9 – Praia de Ribeira de Ilhas. A e B) Brecha vulcânica; C e D) Lacólito. Fotografias de Agosto de 2011.

Estão ainda cartografados numerosos filões, que afloram nas arribas do concelho de Mafra. São estruturas subverticais, de dimensões variadas de rocha ígnea, que aparecem em parte a preencher fracturas e/ou falhas.

Por fim, observa-se depósitos de areias de praia, nas numerosas praias. De salientar que as areias da Praia de São Lourenço apresentam um grão mais grosseiro que as restantes areias de praia do respectivo município.

Estruturalmente, as camadas sedimentares que afloram nas arribas do município de Mafra são predominantemente horizontais a sub-horizontais. As unidades são cortadas por diversas falhas e/ou fracturas verticais a subverticais, em que algumas se encontram preenchidas por veios de calcite e com circulação de água (figura 3.10).

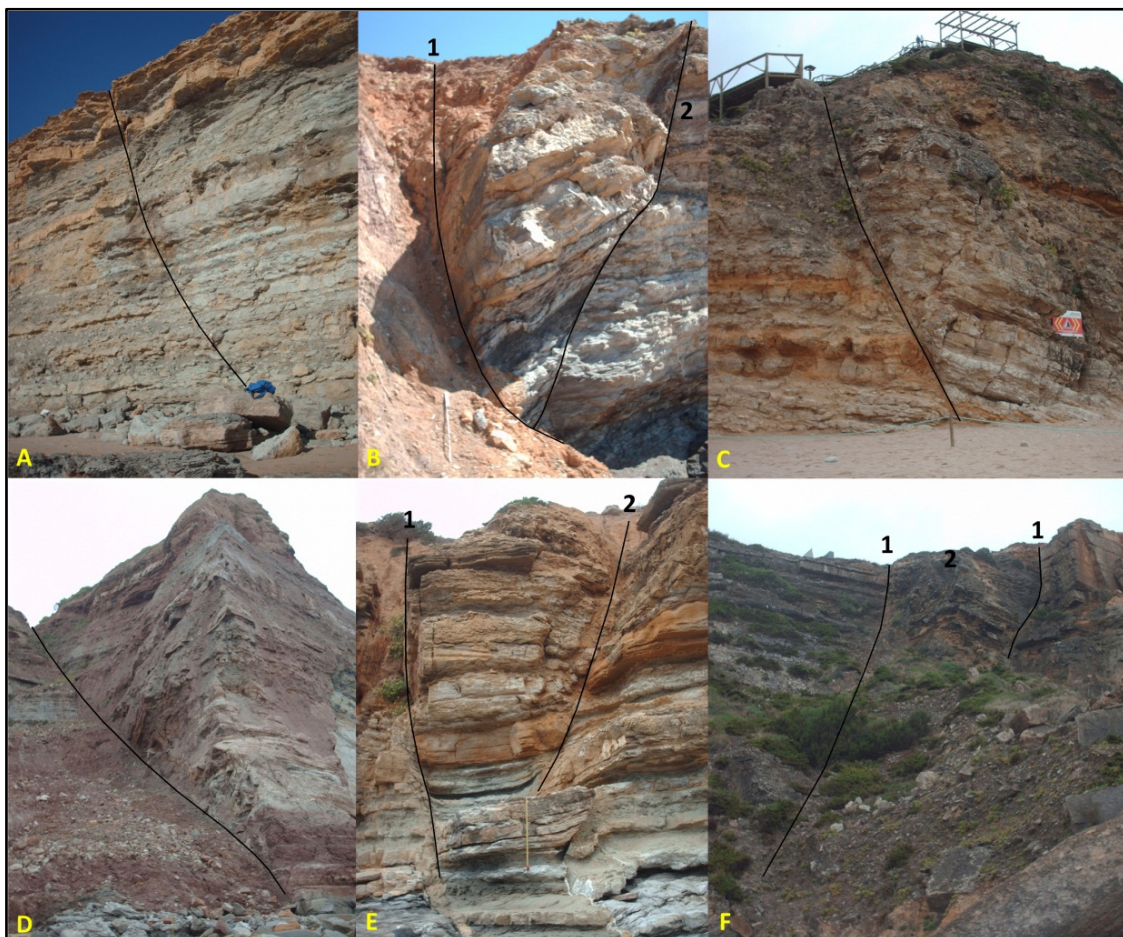


Figura 3.10 - Arribas com presença de falhas. A) Falha de direcção N8°W; vertical, Praia do Matadouro; B) Falhas preenchidas por calcite com direcções 1- N88°E; 4°NW e 2- N30°W; 60°SW, Praia da Empa; C) Falha de direcção EW; vertical, Praia de Ribeira de Ilhas; D) Falha de direcção N42°W; vertical, Praia de Porto Barril; E) Falhas com direcções (1) N10°W: vertical (2) N22°E; vertical, Praia de Ribeira de Ilhas; F) Microdobra (2) e falhas (1), Praia da Orelheira. Fotografias de Agosto e Setembro de 2011.

No mapa geológico da figura 3.2 também é possível deduzir que os sedimentos do mesozóico estão cortados em vários pontos, por importantes zonas de fractura de orientação geral NS, paralelas ao litoral. Uma destas pode ser observada ao longo da costa entre Ericeira, Ribamar, Casais de São Lourenço e

Porto da Calada. Falhas de importância menor juntam-se ou divergem a partir da falha mencionada.

3.4 Enquadramento Geomorfológico

O litoral do concelho de Mafra enquadra-se na bacia sedimentar Lusitânica e está localizado no que se costuma designar como “litoral oeste português”, uma vez que está exposto sensivelmente a ocidente.

Morfologicamente é dominado por arribas rochosas que apresentam alturas que variam entre os 4 a 5 metros na vila da Ericeira até os 92 metros a Norte da Praia da Calada. As arribas de maiores altitudes estão localizadas a Norte do concelho (*figura 3.11-A*), enquanto as de menor altitudes localizam-se a Sul da Praia da Foz do Lizandro (*figura 3.11-C*).

Na vila de Ericeira, o litoral está praticamente artificializado, uma vez que já ocorreram diversas intervenções antrópicas que modificaram, em maior ou menor grau, os sistemas naturais. Como exemplo é observável no litoral do Sul da vila, a presença de um molhe portuário e um esporão.

Por entre as arribas intercalam-se enseadas que correspondem a locais de deposição de materiais, - praias, - provenientes da acção erosiva do mar e/ou pelo abastecimento de sedimentos provenientes dos cursos de água que aqui têm a sua foz. Na área de estudo, os principais rios que desaguam directamente no mar são o rio Lizandro, o rio do Cuco e o rio do Safarujo. A foz destes rios encontra-se frequentemente obstruída por um areal (*figura 3.12*) que aponta para uma dinâmica marinha superior à dinâmica fluvial durante a maior parte do ano.

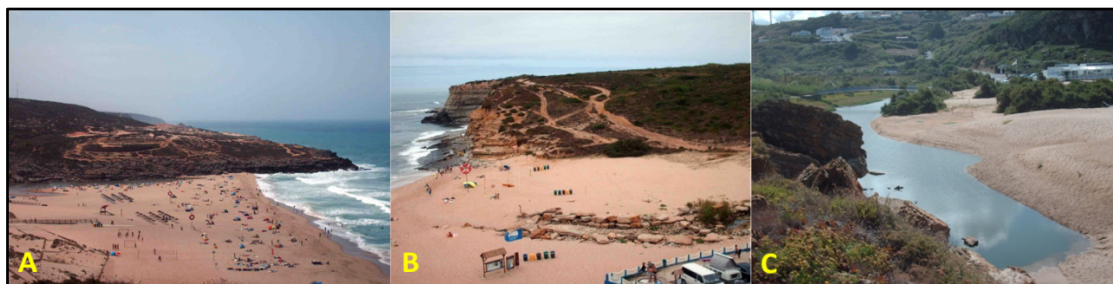


Figura 3.12 – A) Foz do rio Lizandro, na Praia da Foz do Lizandro; B) Foz do rio do Cuco, na Praia de Ribeira de Ilhas; C) Foz do rio Safarujo, na Praia de São Lourenço. Fotografias de Agosto e Setembro de 2011.

Avaliação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades em arribas no concelho de Mafra
ENQUADRAMENTO DA ÁREA EM ESTUDO

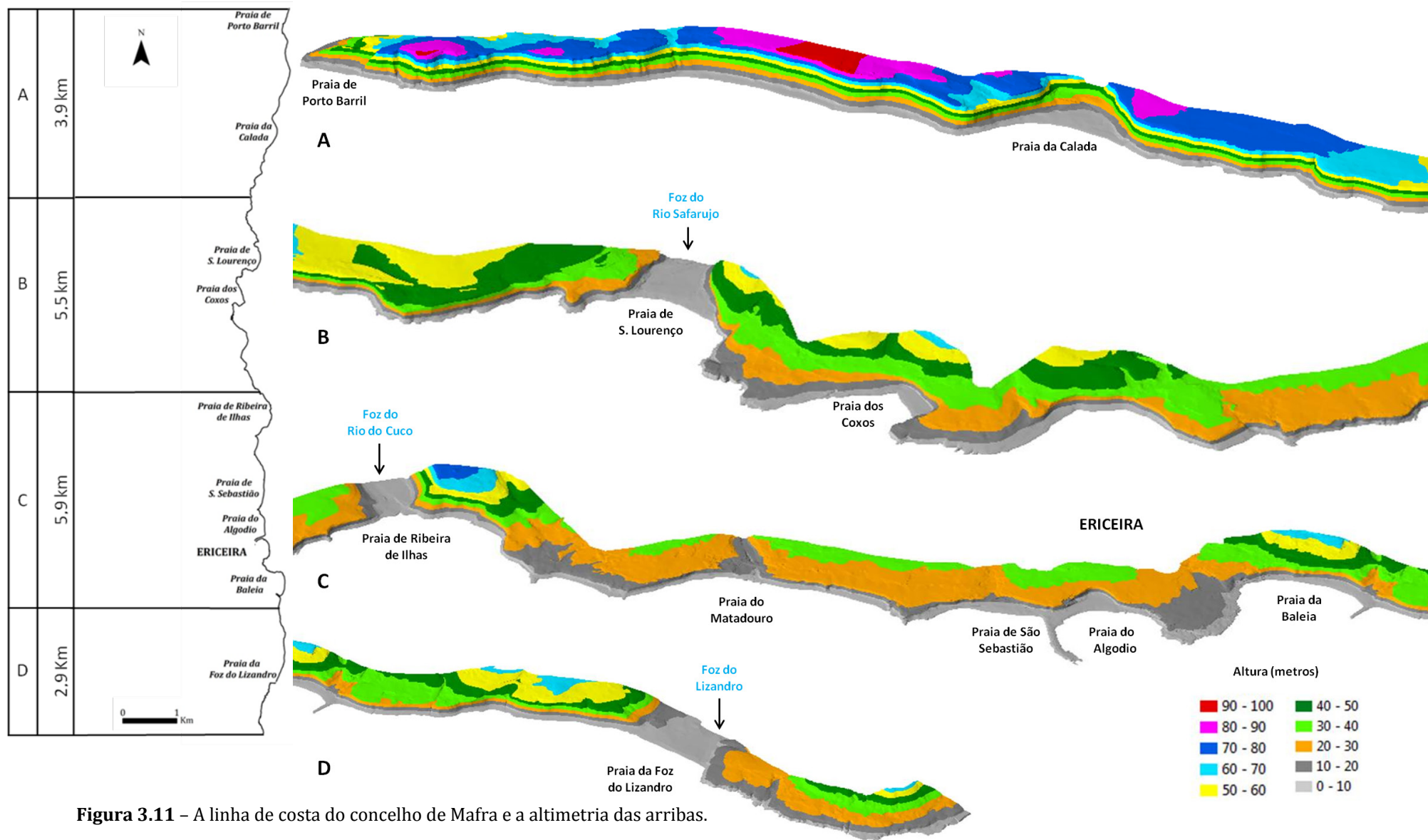


Figura 3.11 – A linha de costa do concelho de Mafra e a altimetria das arribas.

As praias de Mafra, na sua maioria, apresentam uma espessura de areias geralmente muito reduzida de tal modo que, na sequência de tempestades ou de modificações temporárias de circulação das correntes litorais, a plataforma rochosa que lhes está subjacente pode ficar a descoberto durante períodos variáveis, espacial e temporalmente, mas que, normalmente, não ultrapassam alguns meses.

3.5 Enquadramento Climático

Neste ponto pretende-se fazer um breve resumo do clima existente no litoral do concelho de Mafra. Apesar de todos os parâmetros climáticos serem importantes para caracterizar o tipo de clima de uma dada região, optou-se por evidenciar os elementos que mais directamente podem condicionar os principais processos de evolução dos litorais rochosos, – o vento, o nevoeiro, a temperatura e a precipitação. De referir, que por falta de informação de dados disponíveis dos parâmetros climáticos da área foi realizada uma pesquisa bibliográfica de trabalhos dedicados a este tema.

O vento é um dos factores responsáveis na dinâmica costeira, sendo essencial o conhecimento dos elementos que o caracterizam, particularmente a velocidade e o rumo. O predomínio de fluxos de ar marítimos ou continentais é determinante na caracterização do tipo de clima de uma determinada região costeira. A acção do vento é fundamental no transporte de sedimentos finos e na formação e direcção da ondulação, que influencia as correntes superficiais junto ao litoral. No caso dos litorais rochosos, a deposição das partículas de água salgada e a erosão no sopé das arribas estão estreitamente relacionados com a rebentação das ondas.

O Plano Director Municipal (PDM) de Mafra (2009) menciona que os ventos dominantes no concelho são de N e NW, sendo a velocidade moderada, em média 14,6 km/h. Segundo Neves (2004), o rumo NW predomina durante os meses de Novembro a Maio enquanto nos meses de Junho a Outubro o vento sopra de N, e que no mês de Julho, o vento sopra literalmente dos dois rumos observados. Este vento N durante o Verão é designado por *Nortada*. Por último, o autor ainda refere

que é no Inverno que há maior dispersão do vento pelos vários rumos, e maior frequência de períodos de acalmia, em oposição ao Verão, onde os dias sem vento quase não existem.

No litoral português, o nevoeiro é mais frequente nos períodos de Verão. Segundo Daveau e colaboradores (1985), toda a faixa costeira localizada entre a região da Nazaré e o Cabo da Roca está fortemente sujeita a *nevoeiros de advecção litoral*, fenómeno que ocorre fundamentalmente nos meses quentes do ano e que resulta da condensação da humidade atmosférica em contacto com as águas frescas do mar (*figura 3.13*). Embora este nevoeiro nunca esteja associado a ventos fortes, a penetração no litoral pode ocorrer muito rapidamente.

Aquando o trabalho de campo no litoral de Mafra, em Agosto ocorreu a situação descrita, em que numa hora o nevoeiro invadiu todo o litoral, dificultando por vezes os objectivos do trabalho.



Figura 3.13 – Nevoeiro que em uma hora invadiu todo o litoral, a Norte da Praia de São Julião. Fotografia de 15 de Agosto de 2011.

A temperatura é um factor que tem grande influência na dinâmica actual dos litorais rochosos, uma vez que este está directamente relacionado com a ocorrência de processos de meteorização química e física.

Segundo, o PDM de Mafra (2009) a temperatura média anual ronda os 15°C, no respectivo concelho. Daveau e colaboradores (1985) classificaram toda a faixa

litoral a Norte do Cabo da Roca como possuindo um Verão fresco, com a temperatura máxima média do mês mais quente inferior a 23°C, e menos de 20 dias por ano com temperatura máxima superior a 25°C. Enquanto, o Inverno caracteriza-se como tépido, com a temperatura mínima média do mês mais frio superior a 6°C, e menos de 2 dias por ano com temperatura mínima absoluta inferior a 0°C. Neves (2004) refere que estes valores eram expectáveis, pois são influenciados por fluxos de ar marítimos, com as temperaturas máximas dos meses mais quentes menos elevadas devido à ocorrência de nevoeiro.

Por último, de entre os factores externos, responsáveis na génese e desenvolvimento de alguns processos de evolução de vertentes, das quais as arribas também são parte integrante, a precipitação é um dos mais importantes. Para além, de ser responsável directa pela erosão hídrica, é importante factor desencadeador de movimentos de vertente, ao motivar aumento de tensões neutras instaladas e o aumento do peso das zonas instáveis dos maciços. E ainda, a precipitação, infiltrada ou escorrendo superficialmente, é elemento fundamental para a meteorização dos materiais rochosos.

Segundo o PDM de Maфра (2009) os valores médios anuais da precipitação variam desde os 500 e os 700 mm, em cerca de 75 a 100 dias de chuva por ano, no concelho. Estas diferenças devem-se, sobretudo, à maior ou menor proximidade do oceano e aos valores da altitude. Gusmão (2010) da análise à Estação Climatológica de Cabo da Roca (Normais Climatológicas de 1951-1980) obteve o valor de precipitação anual de 519,1mm, verificando-se uma menor intensidade nos meses de Junho a Setembro e maior precipitação nos meses de Inverno.

3.6 Enquadramento Sísmico

Portugal Continental situa-se numa região de sismicidade moderada a forte. No passado vários foram os sismos que atingiram o território, provocando graves danos materiais e perdas de vidas humanas.

A região em estudo localiza-se numa área de grande sismicidade, onde foram observadas intensidades de grau VIII nos sismos de 1531 e 1755 e grau VI pelo sismo de 1969 (Moreira, 1991). O concelho enquadra-se numa zona de

intensidade sísmica máxima de grau IX, o que corresponde no *Regulamento de Segurança e Acções para Estrutura de Edifícios e Pontes* (RSAEP, 1983) à zona A, ou seja, à região de maior risco sísmico (*figura 3.14*).

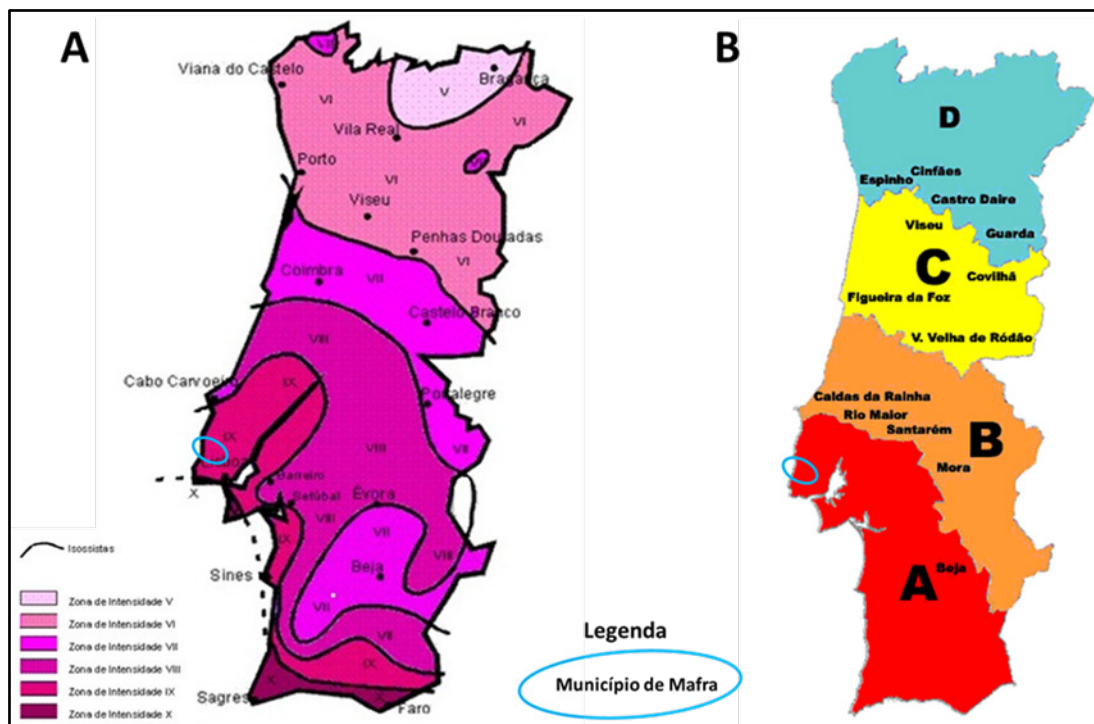


Figura 3.14 – A) Carta de isossistas de intensidades máximas em Portugal Continental (Instituto de Meteorologia, 1997); B) Carta de zonamento sísmico (RSAEP, 1983).

3.7 Hidrologia Marítima

A evolução da dinâmica dos sistemas do litoral depende fortemente do comportamento do oceano face à sua aproximação à faixa costeira. Esta pode ser entendida na análise de cinco conjuntos de factores: ondulação, deriva litoral, *upwelling*, marés e *storm surge*.

A acção das ondas é um dos principais agentes na evolução do litoral (como referido no capítulo 2), pois além de exercerem acção directa sobre as arribas e as praias, promovem processos erosivos e/ou de transporte, deposição de sedimentos e favorecem a ocorrência de vários processos de meteorização.

Segundo Pires (1989), a costa oeste portuguesa é dominada por ondulação de NW, em cerca de 80% das situações ocorridas ao longo do ano e com altura de

2,5 metros, podendo alcançar 6 metros em situação de tempestade. A ondulação de W ocorre durante o Inverno, originando tempestades com uma ondulação de altura média de 8 metros, podendo por vezes atingir 9 a 10 metros. Pouco frequentes, são as ondulações de direcção de SW, todavia quando ocorrem são muitas da vezes energéticas, podendo a ondulação atingir alturas médias de 7 metros.

A deriva litoral é induzida pela incidência da onda obliquamente à linha de costa, em consequência da qual se geram correntes costeiras. Estas correntes são de grande importância na dinâmica dos sistemas litorais, porque contribuem determinantemente para a distribuição longitudinal dos sedimentos fornecidos pelos cursos de água e pela evolução de praias e de arribas. Por esta razão, quando um obstáculo, como um esporão ou um quebra-mar, se interpõe à corrente, provoca acumulação de sedimentos no lado exposto à corrente, e a erosão do lado oposto.

A deriva litoral na costa oeste portuguesa tem direcção N-S, em consequência do predomínio da ondulação de NW. Todavia, em situações pontuais, derivados de ventos fortes dos rumos S a SW, rapidamente se pode inverter o sentido da deriva para norte. (Pereira, 1991 *in* Neves, 2004).

O *upwelling* são movimentos verticais ascendentes que ocorrem em determinadas situações atmosféricas. Ao largo da costa ocidental portuguesa o *upwelling* ocorre durante os meses de Verão, provocado pelos ventos do quadrante norte, que predominam nesta altura do ano, e provocam uma deflexão das massas de água superficiais para a direita, no hemisfério norte. Em função da direcção dos ventos referidos ocorre uma deslocação das águas superficiais para o largo que, consequentemente origina a ascensão de águas frias profundas junto à costa. Ainda, ao longo do Verão, a persistência de águas frias superficiais, em dias de vento fraco particularmente nos períodos de manhã, vai favorecer a condensação do vapor de água, contido nas massas de ar em contacto com o oceano, e conduzir à formação de nevoeiros de advecção litoral, que como se referiu anteriormente caracterizam a zona de estudo (Neves, 2004).

A variação periódica do nível do mar é causada pela interacção das forças de atracção gravitacional entre a Terra, a Lua e o Sol, conhecidas como marés. As marés do litoral português apresentam uma periodicidade semidiurna, ocupando o

limite superior do domínio mesotidal, com amplitude média entre 2 e 4 m (Neves, 2004).

Por último, o termo *storm surge* ou sobrelevação do nível do mar refere-se à subida temporária do nível das águas, pontual e aperiódica, resultante da existência de condições meteorológicas anómalas. Esta situação quando coincide com a ocorrência de grande temporais e períodos de mares vivas, pode provocar galgamentos oceânicos, com inundações de zonas ribeirinhas e recuo da linha de costa. Manifestamente, os litorais rochosos, em particular na base das arribas, durante estas situações, estão sujeitos a uma energia erosiva acrescida por parte da ondulação.

Em Portugal Continental o estudo sobre *storm surge* ainda é muito escasso. Contudo, segundo os resultados obtidos por Tabora e Dias (1992), demonstram que a amplitude da sobrelevação do nível do mar deve ser tomado em conta, pois estas ocorrências podem provocar elevados danos na faixa costeira.

CAPÍTULO IV. METODOLOGIAS

4.1 Considerações gerais

A determinação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente à escala regional tem sido realizada seguindo duas vias principais: uma que se baseia essencialmente no estabelecimento de relações estatísticas entre os inventários de movimentos ocorridos no passado e factores de predisposição para a sua ocorrência; outra que se baseia essencialmente na aplicação, à escala regional, de modelos derivados de métodos de análise de estabilidade de vertentes, correspondendo pois a métodos de base física.

Na aplicação de métodos de base estatística utilizados para avaliar a susceptibilidade de uma determinada região no que respeita a ocorrência de movimentos de vertente, devem (Soeters e Van Westen, 1996; Zêzere, 2005; Marques *et al.*, 2011) ser consideradas as seguintes etapas:

1. Elaboração de um inventário, ou seja, a análise e cartografia dos movimentos de vertente que já se verificaram na área em estudo. O inventário resultante será a base para a aplicação dos métodos de avaliação de susceptibilidade.
2. Identificação dos factores de predisposição responsáveis pela ocorrência da instabilidade de vertente.
3. Interpretação dos factores à luz do conhecimento adquirido, com recurso a modelos de relação espacial, directa e indirecta, tendo em conta os mecanismos detectados.

Neste sentido, para se obter um mapa de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente, utilizando um método de base estatística, foi necessário passar por um extenso período de preparação e aquisição da informação de base necessária e de qualidade.

4.2 Inventário de movimentos de vertente

De acordo com diversos autores (Malamud *et al.*, 2004; Guzzetti, 2005; Carrara *et al.*, 1982) o mapa de inventário dos movimentos de vertente pode ser a forma mais simples de avaliação directa de movimentos de vertente.

Os mapas de inventários são registos da localização e extensão de ocorrência de movimentos de vertente, possuindo outras informações mais ou menos completas, como dimensões, classificação tipológica, mecanismos desencadeantes, datação dos movimentos, *etc.* Os inventários podem ser produzidos através de diferentes técnicas dependendo, do seu objectivo, do tamanho da área em estudo, da escala da cartografia, das fotografias que se possui e dos recursos disponíveis para a realizar o trabalho (Guzzetti *et al.*, 2000).

Estes mapas permitem compreender a distribuição dos movimentos ocorridos no passado, para além de possibilitarem prever com algum grau de certeza, os locais onde vão ocorrer movimentos no futuro. Segundo Varnes (1984), pode ser aplicado o **Princípio do Uniformitarismo** de Lyell (1833) “*O presente é a chave do passado*” e o “*O passado e o presente são as chaves para o futuro*” em que admite, que a ocorrência de instabilidades de vertente no futuro será mais provável sob condições idênticas às que determinaram a instabilidade no passado e no presente.

Guzzetti (2005) sugere que os mapas de inventários podem ser classificados com base na escala ou no tipo de cartografia, classificando-se como inventários de arquivo, inventários geomorfológicos, inventários de eventos e inventários multi-temporais.

Neste trabalho, compilou-se um **inventário multi-temporal** de movimentos de vertente, que, segundo Guzzetti (2005), é a forma mais avançada de inventário de movimentos, visto que este tipo de inventários, além de indicarem a localização e a tipologia dos movimentos, demonstram a sua recente evolução no espaço e no tempo e estão constrangidos em intervalo de tempo bem definido. Segundo Guzzetti (2005), a compilação de um mapa de inventário deste género é uma tarefa complexa e demorada, pois envolve a reunião de informação de diferentes naturezas e fontes, tais como:

- interpretação sistemática de todas as fotografias aéreas que se possui para a área em causa, independentemente da idade, da escala e do tipo de formato disponível;
- dados de reconhecimento de campo, geralmente após eventos desencadeantes de movimentos de vertentes;
- informação retirada de eventos históricos acerca dos movimentos, obtida por pesquisa em arquivos e registos bibliográficos;
- informação relativa dos movimentos na superfície topográfica a partir de instrumentos de campo e de dados de detecção remota (SAR, LIDAR, *etc.*).

A qualidade e grau de completamento de um mapa deste tipo são cruciais e primordiais em qualquer programa de mitigação de susceptibilidade de instabilidade geomorfológica. Malamud *et al.*, (2004) refere que a qualidade da avaliação da susceptibilidade é fortemente dependente da consistência da base de dados cartográfica que a sustenta, sendo absolutamente decisiva a robustez do inventário dos movimentos de vertente. Portanto, é absolutamente decisivo a elaboração de inventários multi-temporais com bastante precisão, para a obtenção de resultados finais credíveis e ajustados à realidade.

No entanto, os mapas resultantes deste tipo de inventários são raros, devido às dificuldades inerentes à sua realização, nomeadamente: a disponibilidade de fotografias aéreas de diferentes datas da mesma área; a capacidade de reconhecer, interpretar e cartografar alterações subtis da morfologia; dificuldades na inferência consistente acerca da idade de movimentos de vertente com base no seu aspecto geomorfológico, em especial quando o período de tempo entre os dados é longo (dez anos ou mais); a possibilidade de cartografar movimentos com idades diferentes nos mesmos mapas que podem não caracterizar a topografia presente nas fotografias aéreas; e por último a perda de informação e a introdução de erros aquando da passagem dos dados dos movimentos de vertente a partir das fotografias aéreas para os SIG (Guzzetti, 2005). Por estes motivos, quando os inventários multi-temporais se encontram disponíveis, abrangem áreas relativamente pequenas, que vão desde algumas dezenas a poucas centenas de quilómetros quadrados.

4.2.1 Metodologias de inventariação na área em estudo

O inventário multi-temporal de movimentos de vertente nas arribas litorais no concelho de Mafra foi efectuado com recurso na interpretação e análise comparada de fotografias aéreas, por estereoscopia. Para o efeito, foram utilizadas fotografias aéreas realizadas em diferentes datas e a diferentes escalas, que se apresentam na *tabela 4.1*.

Tabela 4.1 – Voos seleccionados para o mapa de inventários.

Voo	Data	Escala aproximada
SPLAL	1937-1946	1/18000
RAF	1947	1/30000
USAF	1958	1/30000
FAP	1980	1/15000
FAP	2000	1/15000
MUNICÍPIA	2010	* ⁽⁵⁾

Nestas, as instabilidades de vertente foram identificadas e delimitadas com recurso a um estereoscópio de mesa, e posteriormente vectorizadas em ambiente SIG sobre as fotografias aéreas georreferenciadas. O *software* utilizado para a georreferenciação das fotografias aéreas e para a vectorização dos movimentos foi o *ArcGis 10*.

Contudo, durante a interpretação das fotografias aéreas verificou-se que apenas o voo de 1980 e de 2010 têm a cobertura de estereoscopia completa para a área em estudo, enquanto os restantes voos estão incompletos (*figura 4.1*).

É de destacar ainda, que as fotografias aéreas do voo RAF 1947 e do voo USAF 1958, para além de a suas escalas serem pequenas, não apresentam uma qualidade muito elevada, o que tornou difícil a tarefa de identificar movimentos de vertente nestes voos.

⁽⁵⁾ As fotografias do voo de 2010 são digitais, por isso não se refere em escala, mas em *Ground Sample Distance* (GSD) ou tamanho do *pixel* no terreno, que é 30 cm aproximadamente.

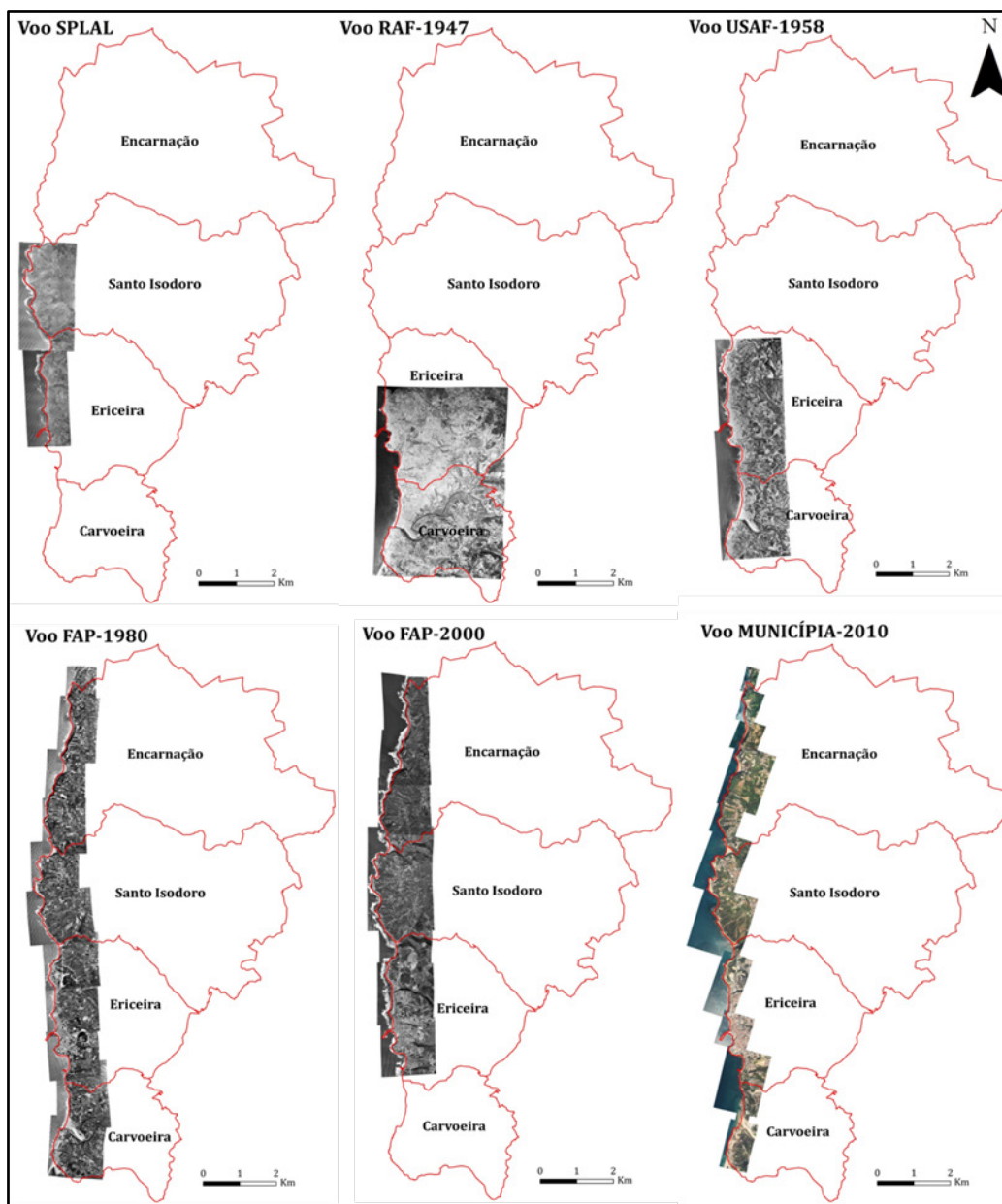


Figura 4.1 – Fotografias aéreas utilizadas para a realização do inventário.

A análise de fotografias aéreas possui indubitáveis qualidades, pois permite o estudo de arribas inacessíveis por terra e de difícil acesso pelo mar, ao longo de períodos de tempos consideráveis. Por outro lado, a resolução espacial das técnicas de trabalho baseadas em fotografias aéreas são muito dependentes da sua escala e qualidade, pelo que só são susceptíveis de serem detectados movimentos que provoquem recuos da crista das arribas caracteristicamente superiores a 2 metros a 3 metros, para escalas das fotos compreendidas entre 1:15000 e 1:30000.

Para apoiar a fotointerpretação realizada, foi utilizada a informação do inventário realizado e apresentado por Marques (2007). Este inventário, para o

período compreendido entre 1947-2000, regista os movimentos detectados desde o Norte da Praia da Empa até ao Sul da Praia da Calada.

Do trabalho de fotointerpretação realizado no âmbito do presente trabalho, resultou a identificação de 59 movimentos que foram representados em ambiente SIG por polígonos que materializam a área horizontal perdida à cota da crista das arribas. As instabilidades identificadas correspondem às seguintes tipologias principais: desabamentos, tombamentos, escorregamentos e movimentos complexos.

Por fim, foi realizado o trabalho de campo que permitiu validar os movimentos identificados na fotointerpretação, e permitiu a identificação de outros movimentos de menor dimensão, não detectados na análise das fotografias aéreas. O trabalho de campo possibilitou detectar mais 10 movimentos, pelo que o resultado final do inventário é de 69 movimentos ao longo da crista das arribas, responsáveis por 1870 m² de superfície horizontal instabilizada (*figura 4.2*).

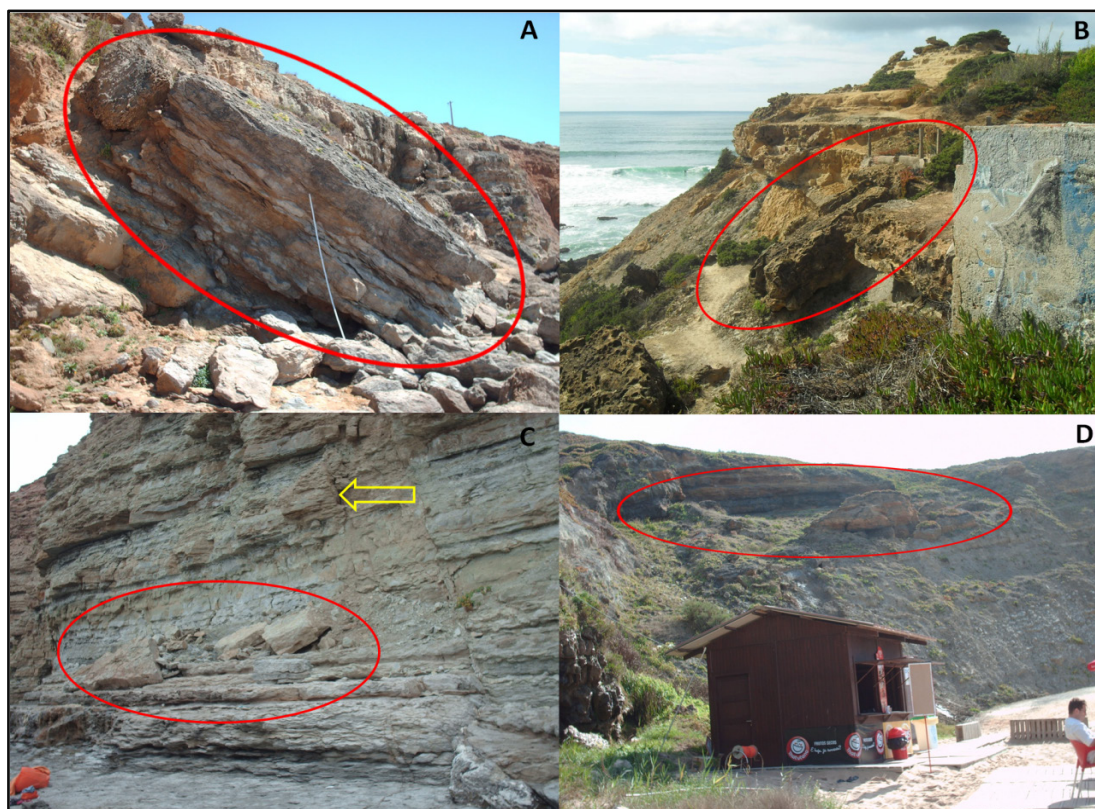


Figura 4.2 – Exemplos de movimentos de vertente nas arribas do concelho de Mafra. Fotografias de Agosto/Setembro de 2011. A) Tombamento de um grande bloco, Praia da Empa; B) Tombamento de um bloco a Norte da Praia de São Lourenço; C) Queda de blocos, Praia de Ribeira de Ilhas. A seta amarela indica um bloco instável; D) Escorregamento, Praia dos Coxos.

O maior movimento, com uma dimensão média de 329 m², foi identificado pela interpretação de fotografias aéreas entre as datas de 1980 e 2000. Como demonstra a *figura 4.3* verifica-se uma grande perda de material na crista da arriba, e conseqüentemente o seu recuo, colocando em causa a funcionalidade e a segurança da estrada. Em resultado da probabilidade de ocorrência de novos movimentos na crista foi construída uma nova via mais para o interior da linha da costa, para salvaguardar a segurança de pessoas e de bens, que por esta zona se deslocam e habitam.

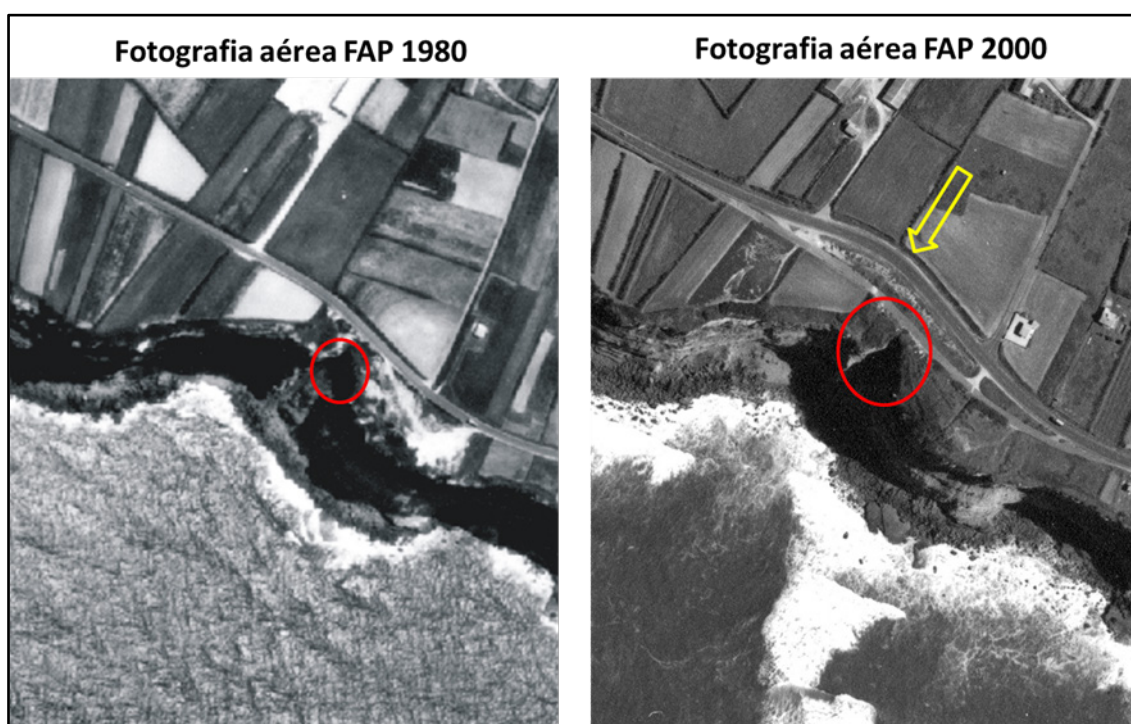


Figura 4.3 – Movimento de vertente na crista da arriba (círculo vermelho); Na fotografia aérea de 2000 observa-se uma nova via (seta amarela) devido ao elevado risco da utilização da antiga estrada.

4.3 Pré-processamento das variáveis

Para a determinação e representação dos factores de predisposição que integram o modelo estatístico foi necessário passar por um extenso período de preparação da informação de base necessária e a sua integração em ambiente *ArcGis 10*.

A primeira etapa consistiu na preparação da base topográfica do INAG (Instituto da Água) à escala 1/2000, em formato CAD (*Computer Aided Design*), que envolveu em remover os vestígios de informação vectorial correspondente ao edificado presente na referida base e, posteriormente, a passagem destes ficheiros em DWG para *shapefile*.

Com recurso à topografia e os ortofotomapas do sector em estudo foram vectorizadas as linhas da crista e de base das arribas, obtendo-se a delimitação da face das arribas costeiras (*figura 4.4*).

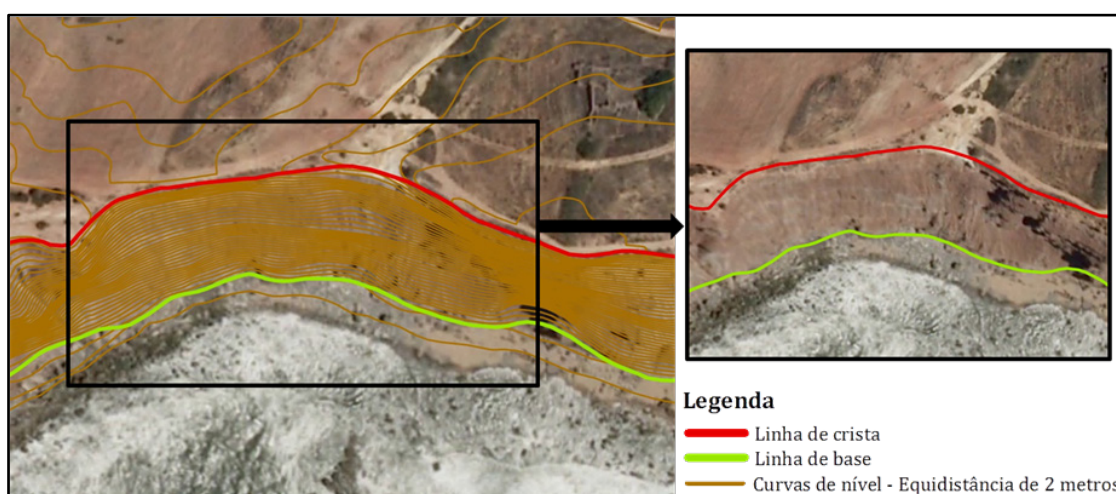


Figura 4.4 – Exemplo da materialização das linhas de crista e de base, num sector do litoral do concelho de Mafra.

Seguidamente foram definidos polígonos de igual dimensão, - *unidades de terreno*, - para futuramente se proceder à realização do cruzamento da informação aquando aplicação do modelo estatístico. Estas referem-se a uma área de terreno, com fronteiras bem definidas, que contém um conjunto de características, diferentes das unidades adjacentes (Hansen, 1984).

As unidades de terreno para o presente trabalho foram definidas com extensão de 25 metros ao longo de linha de crista, previamente adoçada com raio de curvatura de 5 metros, sendo que os limites laterais foram desenhados manualmente, seguindo orientação sensivelmente perpendicular às curvas de nível (*figura 4.5*). Obtiveram-se 518 unidades de terreno, ao longo de 13177 metros de arribas do litoral do município de Mafra.

Ainda, para garantir que cada unidade de terreno compreenderá toda a informação morfométrica que em seguida será calculada, criou-se através da ferramenta *buffer* do *ArcGIS 10*, linhas a distância constante de 2 metros das linhas de crista e de base das arribas.



Figura 4.5 – Exemplo da definição de unidades de terreno, num segmento do sector do litoral do concelho de Mafra – Praia da Empa.

4.4 Factores de predisposição

A ocorrência de instabilidade tem maior ou menor probabilidade de ocorrer em função de um conjunto de factores de predisposição. Neste contexto, apresentam-se os factores considerados relevantes para a geodinâmica das arribas no sector em estudo.

4.4.1 Morfometria

As características morfométricas foram facilmente determinadas através do Modelo Digital do Terreno (MDT) recorrendo a ferramentas automáticas de análise espacial do *ArcGIS 10*.

A partir da informação vectorial da altimetria do INAG, com curvas de nível de equidistância de 2 metros e pontos cotados, gerou-se uma rede irregular de triângulos ou *Triangular Irregular Network* (TIN), no qual, por análise sistemática foram corrigidos erros de altimetria.

Esse ficheiro TIN foi então convertido em formato matricial (*raster*) através da extensão *3D Analyst Tools* adoptando uma resolução de 2 metros, ou seja, células de 4 m² (*figura 4.6*).

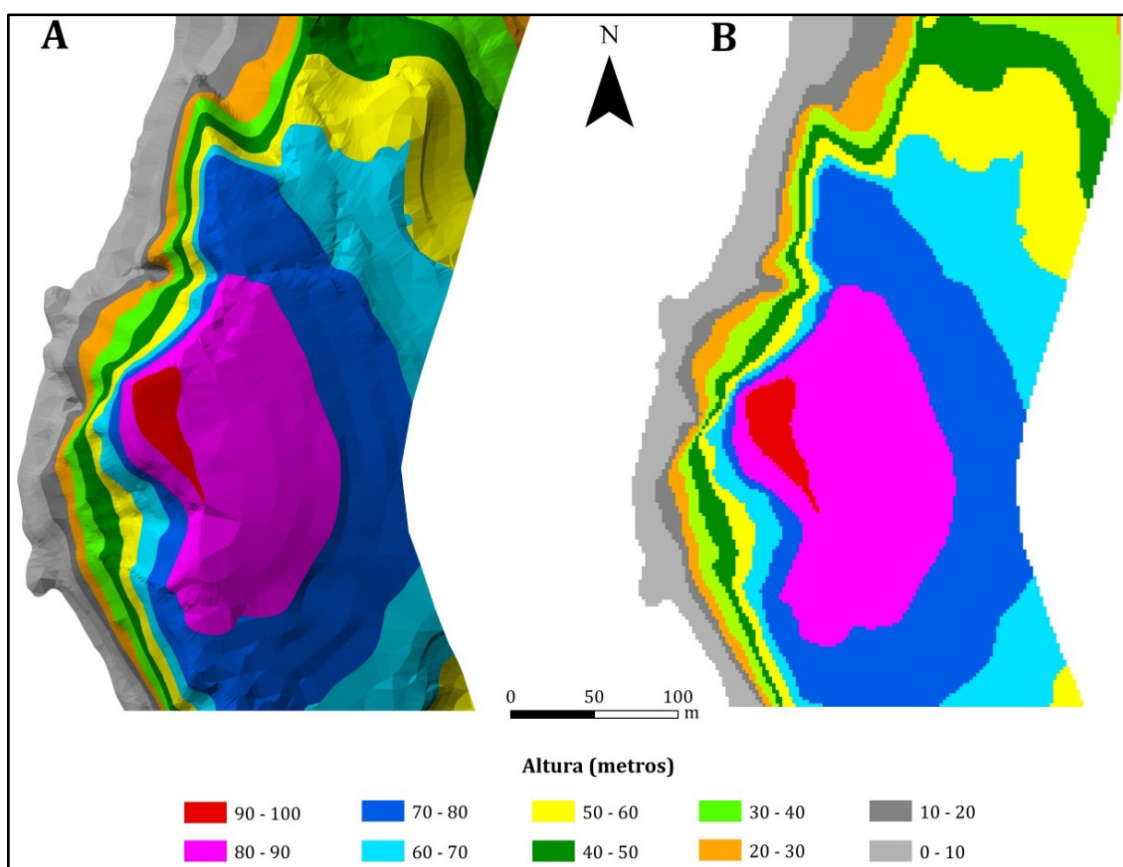


Figura 4.6 – Sector costeiro do concelho de Mafra (Ponta de Messapez). A) *Triangular Irregular Network* (TIN); B) Modelo Digital de Terreno com resolução de 2 metros.

Deste modo, foi criado o MDT que permite extrair um conjunto de dados relacionados directamente com a morfologia do terreno, tais como: a altitude, o comando, o declive, a exposição e a curvatura das arribas, essenciais na elaboração deste trabalho. Todas as operações foram efectuadas através das ferramentas do *3D Analyst Tools*, *Spatial Analyzt Tools* e *Analyst Tools*, garantindo para cada *raster* criado, um tamanho de *pixel* de 2 metros.

A altura máxima e o comando da arriba são directamente obtidos pelo MDT através da ferramenta *Zonal Statistics*, na qual por métodos estatísticos, calcula o valor máximo de altura (*maximum*) e o comando⁶ (*range*). Em seguida, realiza-se *Spatial Join* com as unidades de terreno definidas previamente, em que é atribuído a cada unidade de terreno o valor correspondente da altura máxima e do comando (*figura 4.7 e figura 4.8*).

O declive corresponde ao ângulo entre a horizontal e a superfície topográfica da vertente e pode ser expresso em percentagem ou em graus. A sua construção foi produzida a partir do ficheiro matricial MDT recorrendo à função "*Raster Surface*" -> "*Slope*", tendo em atenção que é necessário escolher os valores de declive em graus.

Da mesma forma, através da ferramenta *Zonal Statistics* foram obtidos os valores máximos e médios dos declives e atribuídos a cada unidade de terreno pelo *Spatial Join* (*figura 4.9 e figura 4.10*).

A exposição, que corresponde à direcção da face da arriba relativamente ao norte geográfico, é um factor importante na compreensão da dinâmica evolutiva das arribas. Para além, da influência que a exposição introduz à acção da ondulação, regulando a sua capacidade erosiva, de transporte e de acumulação também, a orientação da linha de costa condiciona a exposição solar e consequentemente a temperatura e a humidade relativa (Neves, 2004).

A exposição foi similarmente extraída do MDT através da função "*Raster Surface*" -> "*Aspect*", e inclui 10 classes, 9 relacionadas com a orientação da arriba e uma correspondente ao terreno plano, representando situações em que o declive é igual a 0. Obtido este tema calculou-se a exposição dominante para cada unidade de terreno (*figura 4.11*). O processo de obtenção destes valores para cada unidade de terreno é semelhante aos descritos anteriormente, sendo no presente caso, escolhido calcular o valor dominante (*majority*) da exposição. Contudo, antes deste procedimento é necessário a reclassificação dos resultados obtidos da variável exposição (*tabela 4.2*).

⁽⁶⁾ Comando refere-se a altura da arriba determinada como a diferença de nível entre a crista da arriba e a sua base.

Tabela 4.2 – Subdivisão da exposição em classes e a sua reclassificação.

Exposição das vertentes		Reclassiy
]0° - 22,5°]	Norte	1
]22,5° - 67,5°]	Nordeste	2
]67,5° - 112,5°]	Este	3
]112,5° - 157,5°]	Sudeste	4
]157,5° - 202,5°]	Sul	5
]202,5° - 247,5°]	Sudoeste	6
]247,5° - 292,5°]	Oeste	7
]292,5° - 337,5°]	Noroeste	8
]337,5° - 360°]	Norte	1
-1	Terreno plano	9

A curvatura, de uma maneira geral, faculta a descrição do escoamento superficial, em que por sua vez, este condiciona directa ou indirectamente, a intensidade dos processos erosivos e, conseqüentemente o comportamento de muitos movimentos de vertente. No presente estudo, este factor possibilita a análise quer em planta quer em perfil da face da arriba. A obtenção deste nível de informação foi igualmente realizada de maneira automática através do MDT, recorrendo à função “*Raster Surface*”-> “*Curvature*”. Desta operação resultaram três ficheiros matriciais, dos quais se aproveitaram dois: curvatura em planta e a curvatura em perfil. Tal como nos factores anteriores, a ferramenta *Zonal Statistics* permite a obtenção dos valores médios das curvaturas e o *Spatial Join* atribui a cada unidade de terreno o respectivo valor (*figura 4.12 e figura 4.13*).

A curvatura em perfil (*profile curve*), calculada ao longo da direcção do maior declive da vertente, está relacionada com o carácter convexo e côncavo da vertente, sendo decisivo na aceleração ou desaceleração do fluxo. Um valor negativo indica que a superfície é convexa enquanto um valor positivo a superfície é côncava. A curvatura em planta, (*plan curve*) calculada na direcção perpendicular à direcção do maior declive, refere-se ao carácter divergente e convergente do fluxo. Neste caso um valor positivo a superfície é convexa, enquanto um valor negativo a superfície é côncava. De salientar que em ambos os casos, um valor igual a zero indica que a superfície é rectilínea.

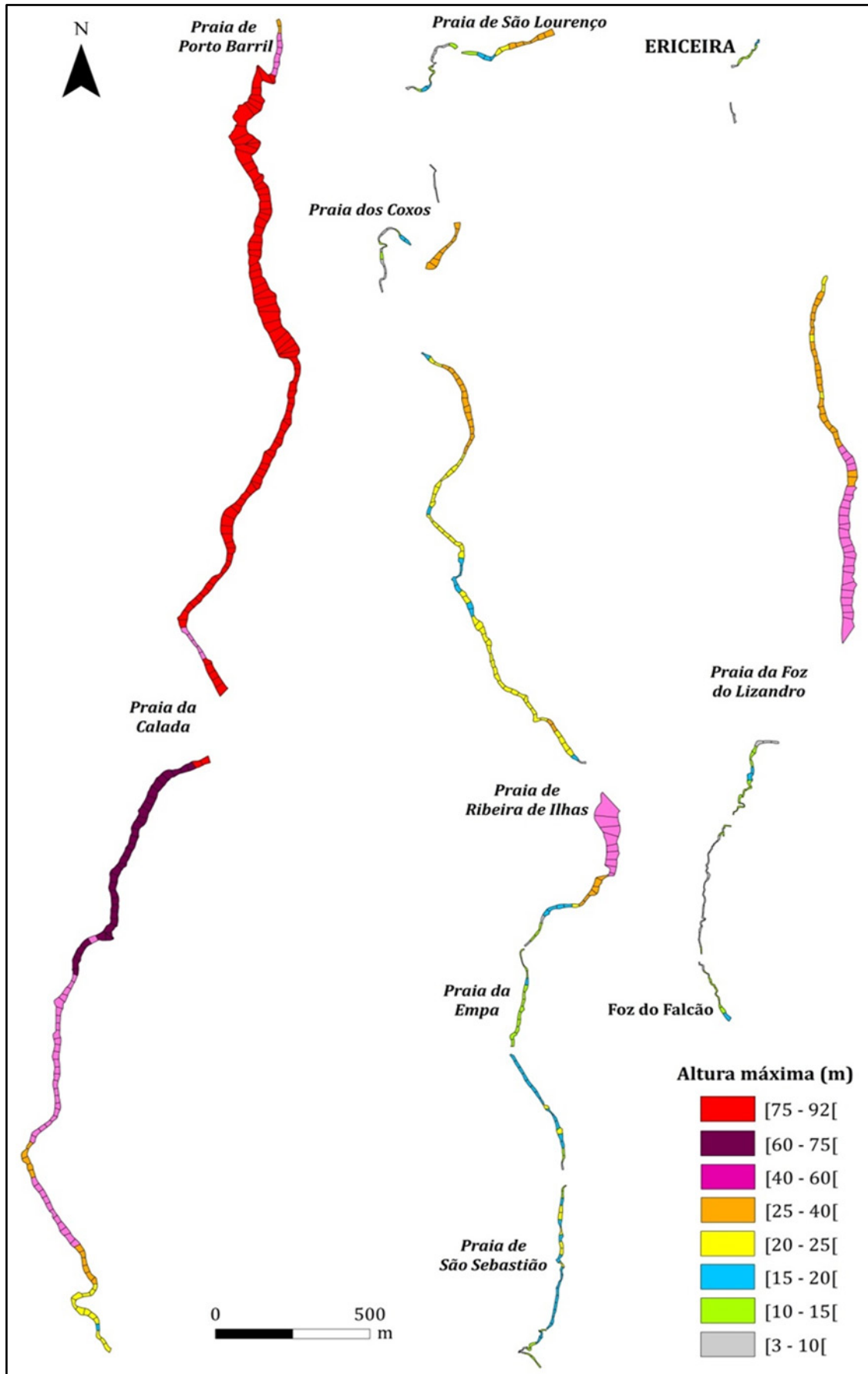


Figura 4.7 – Nível de informação referente à altura máxima para cada unidade de terreno.

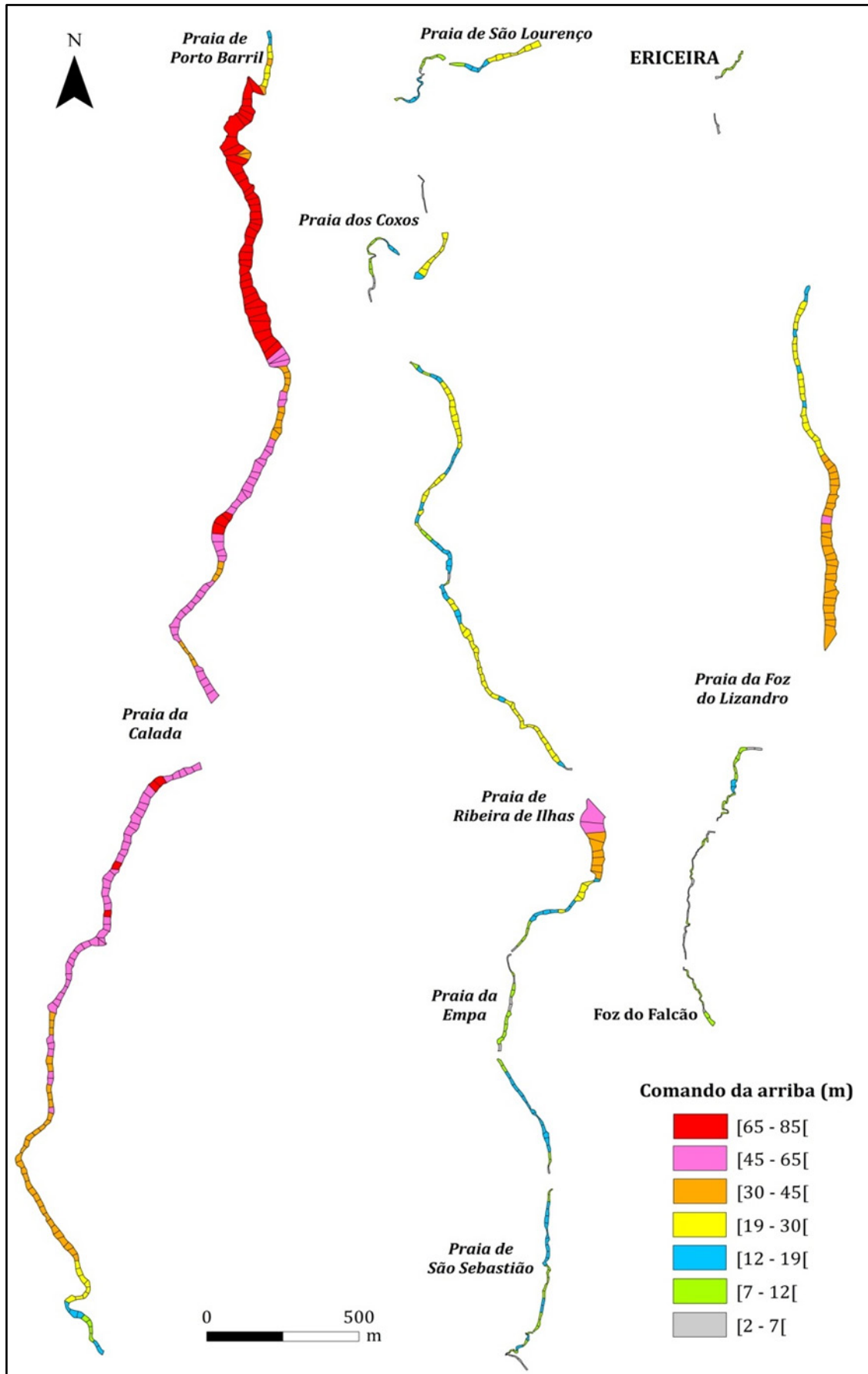


Figura 4.8 – Nível de informação referente ao comando para cada unidade de terreno.

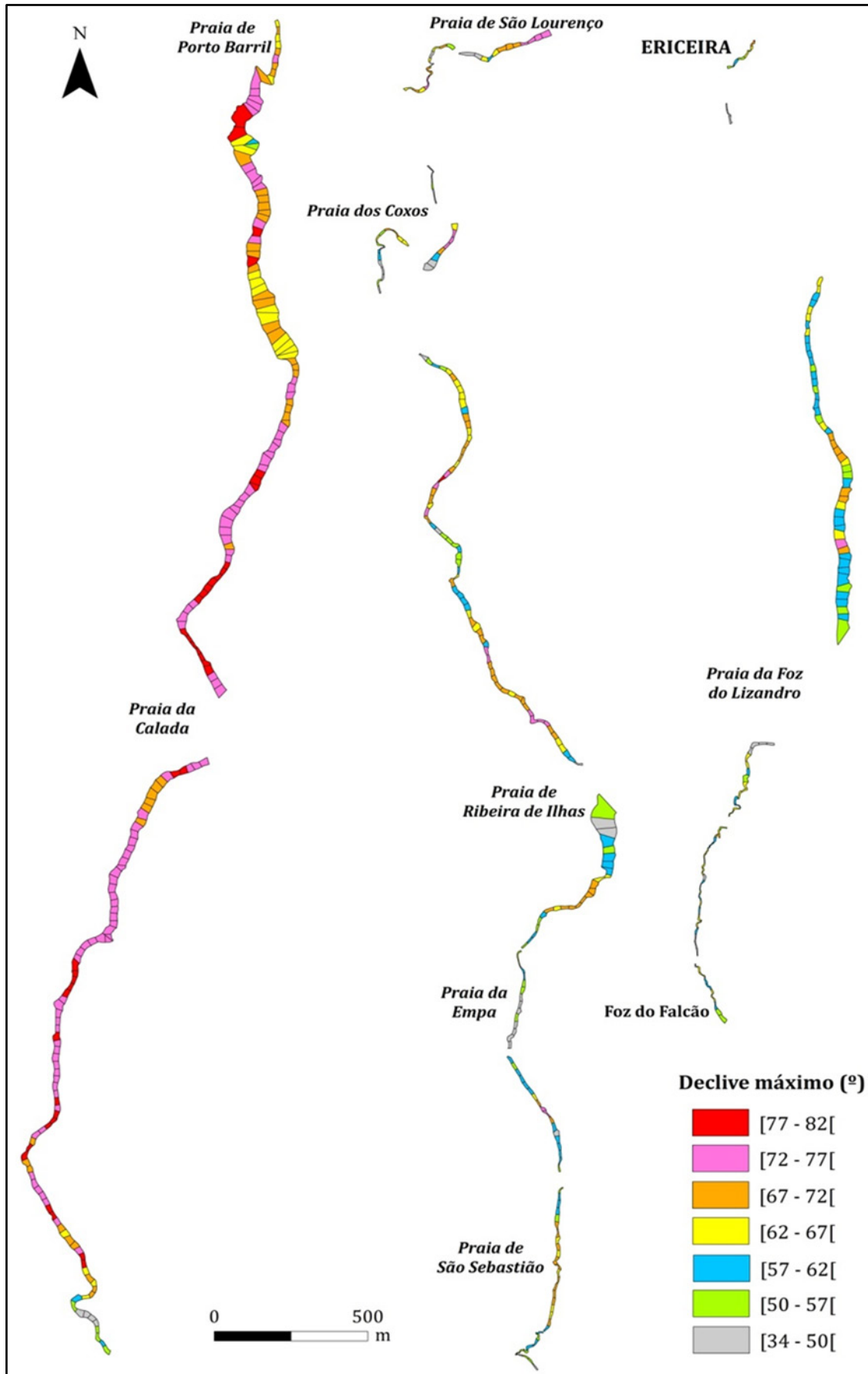


Figura 4.9 – Nível de informação referente ao declive máximo para cada unidade de terreno.

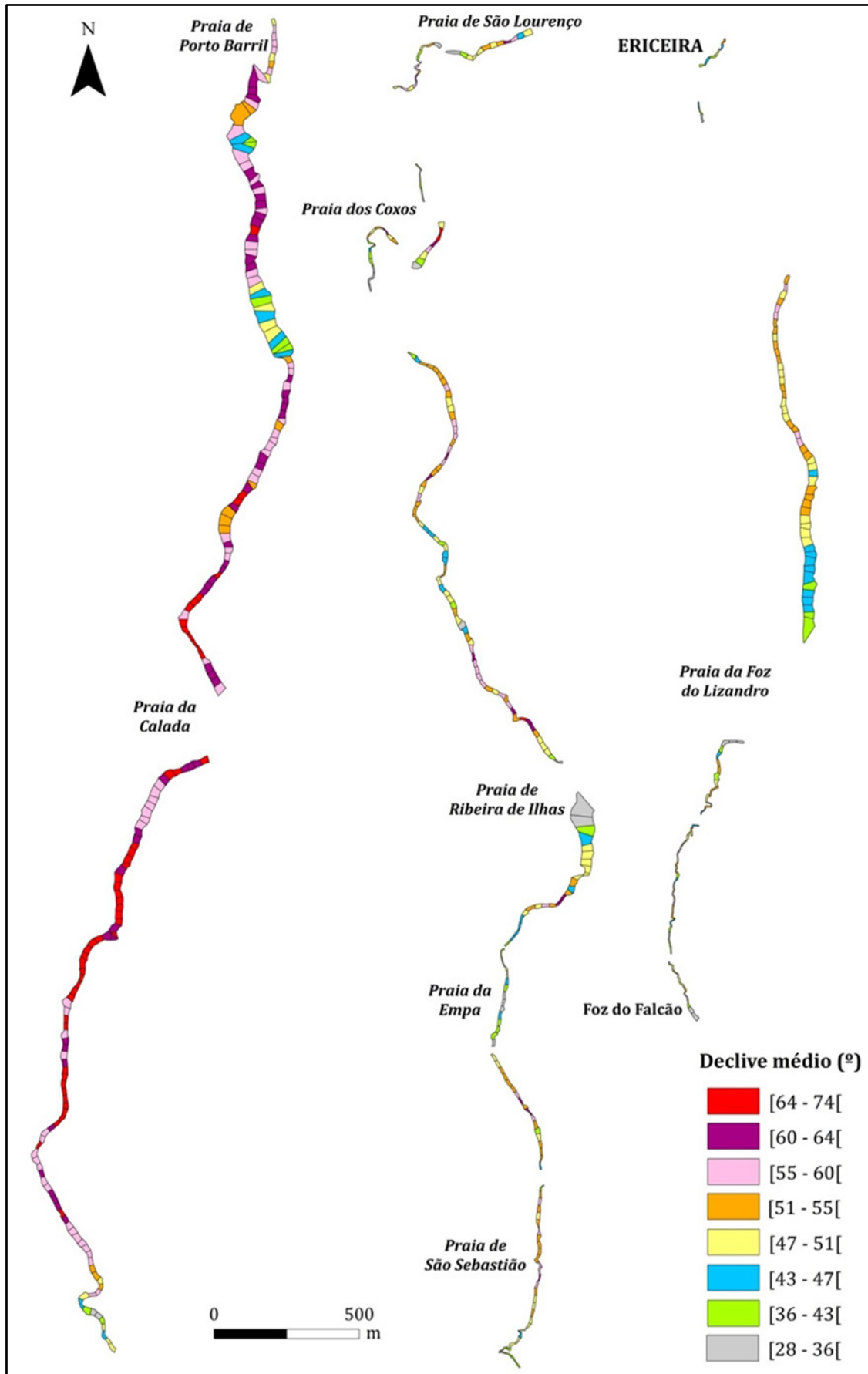


Figura 4.10 – Nível de informação referente ao declive médio para cada unidade de terreno.

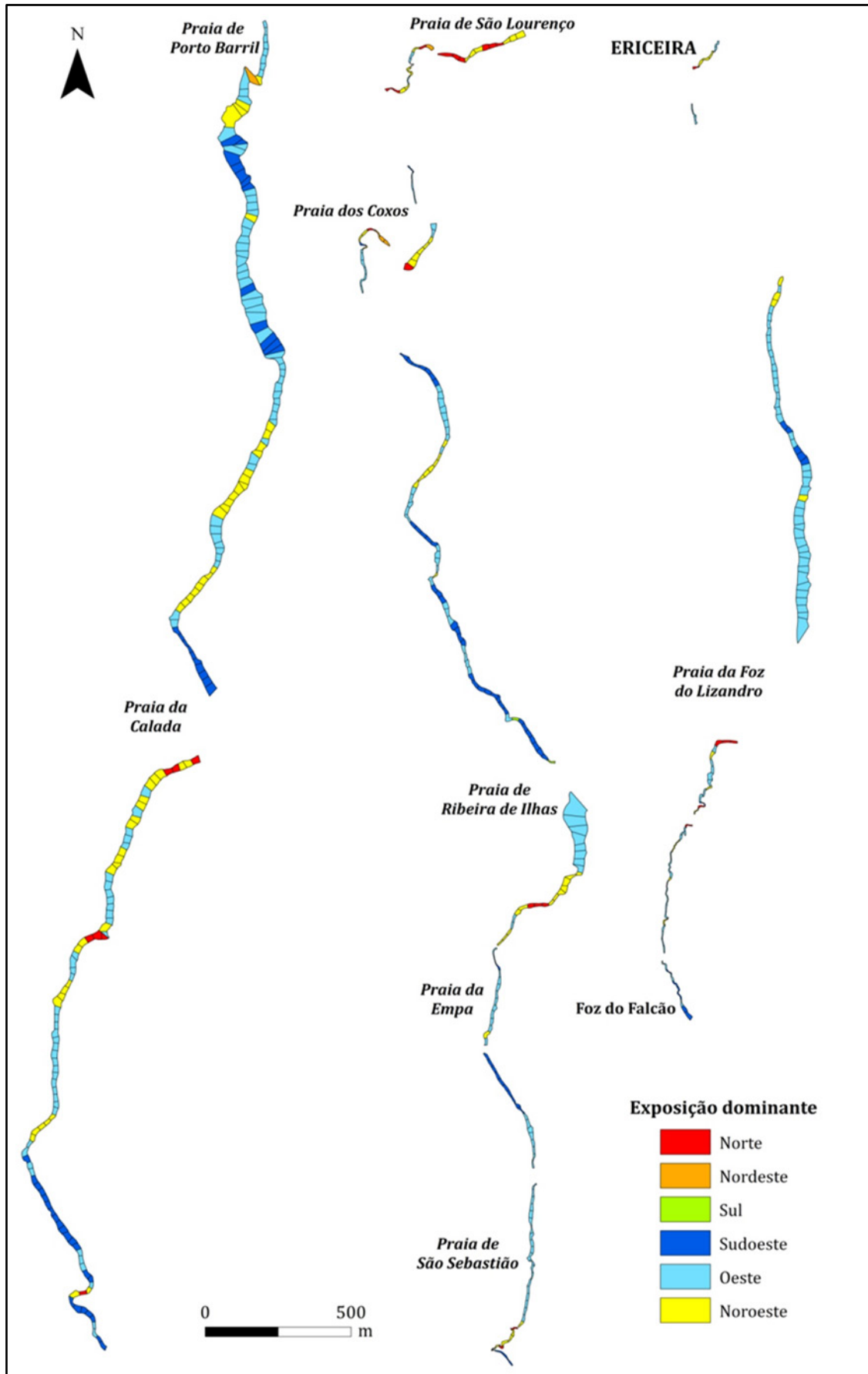


Figura 4.11 – Nível de informação referente à exposição dominante para cada unidade de terreno.

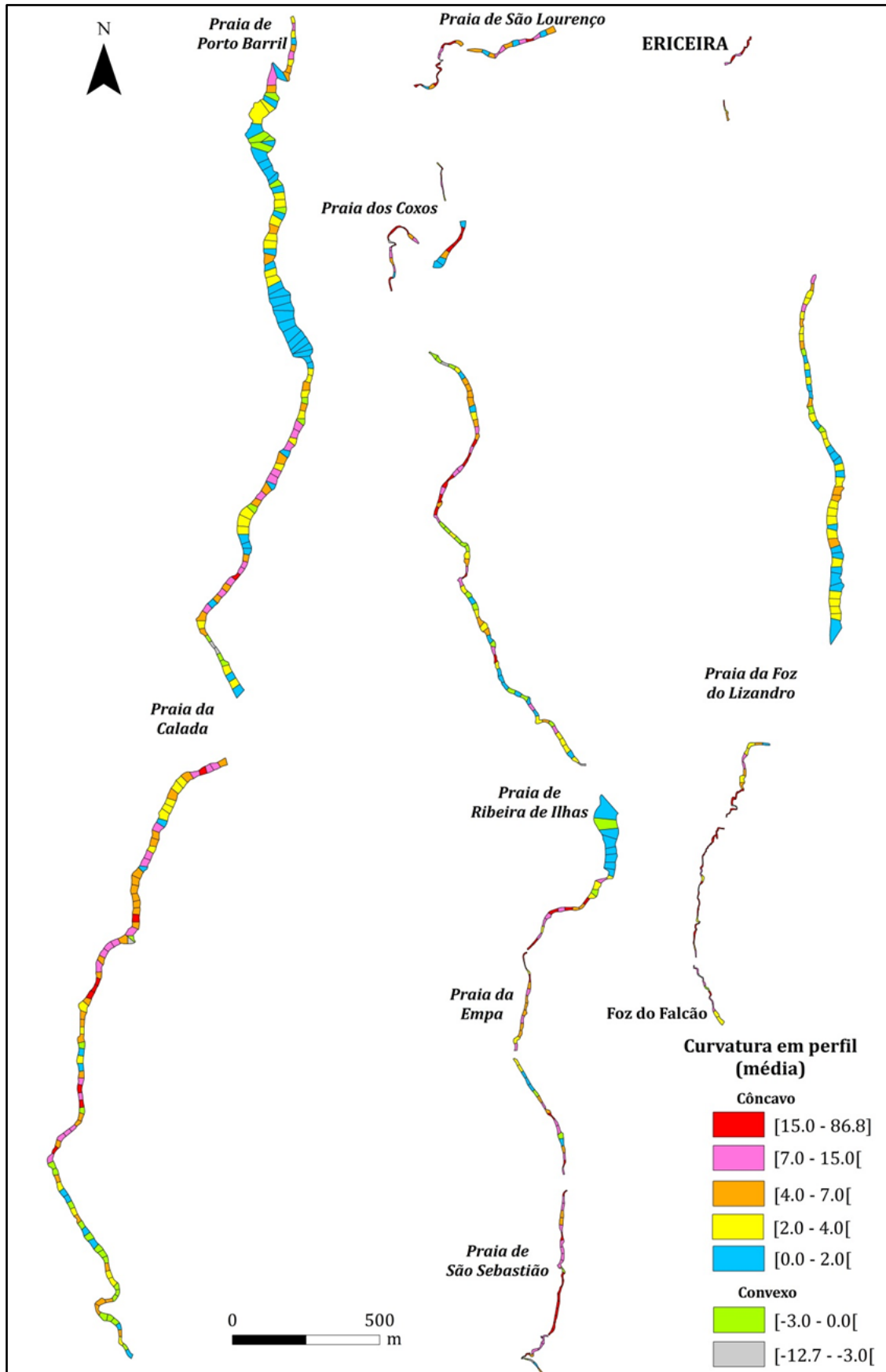


Figura 4.12 - Nível de informação referente à média da curvatura em perfil para cada unidade de terreno.

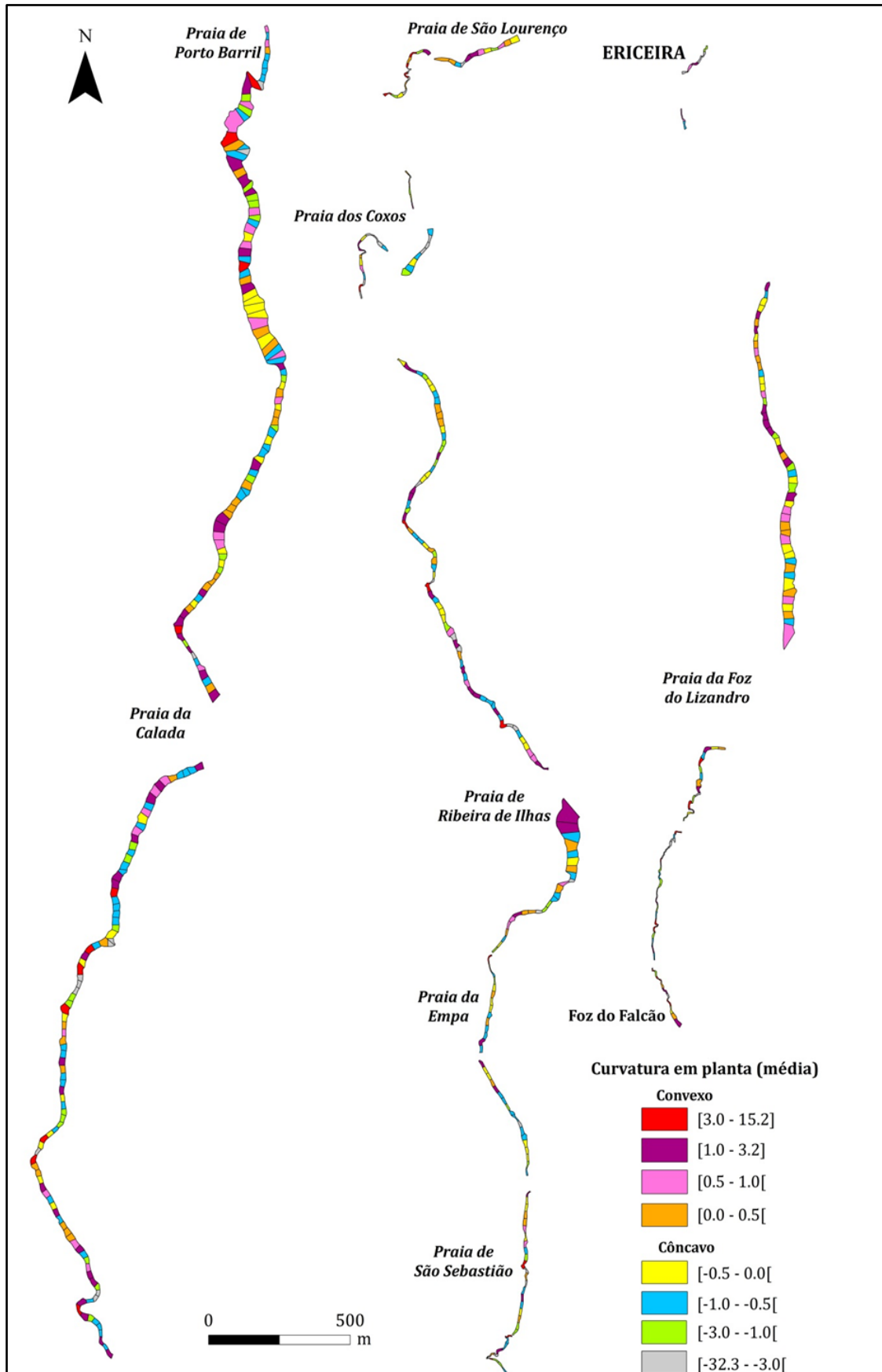


Figura 4.13 – Nível de informação referente à média da curvatura em planta para cada unidade de terreno.

4.4.2 Geologia

Os dados sobre os principais factores inerentes à geologia foram adquiridos da cartografia geológica produzida pelo INETI, à escala 1/25000, em formato vectorial, das folhas 374-Torres Vedras, 388-Ericeira e 402-Mafra, e da recolha bibliográfica que permitisse compreender as litologias e a estruturas da região.

A informação obtida em gabinete foi complementada e melhorada com trabalho de campo. As campanhas de campo permitiram a validação da informação existente, a cartografia de falhas e de filões na face da arriba, a descrição da estrutura e a rectificação da litologia sempre que a informação contida nas Cartas Geológicas e/ou Noticias Explicativas se apresentavam incompletas ou demasiado generalizadas. Foram ainda utilizadas fotografias aéreas oblíquas que permitiram confirmar características geológicas do litoral, - fundamentalmente a estrutura, - em troços inacessíveis por terra.

De um modo geral, o litoral do concelho de Mafra é constituído por afloramentos de rochas sedimentares, calcários, margas e arenitos, e de rochas ígneas. Em vários locais as rochas sedimentares são cortadas por filões, fracturas e falhas.

A estrutura compreende a orientação das camadas relativamente ao plano da arriba. A análise deste factor possibilitou concluir que 93,4% da zona em estudo corresponde a camadas sedimentares na horizontal, com excepção de pequenos sectores em que a direcção de máxima inclinação das camadas é próxima de paralela á direcção da fachada da arriba (5,0%). Nestes sectores as camadas sedimentares apresentam um valor de inclinação suave a moderado, mas inferior ao valor do declive da fachada das arribas. No litoral rochoso constituído por rochas ígneas a estrutura é classificada como maciça (*figura 4.14*).

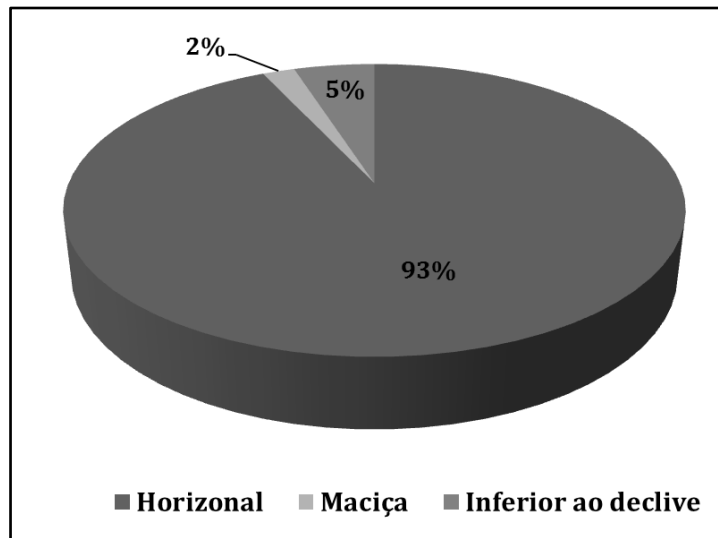


Figura 4.14 – Diagrama circular com as percentagens relativas de cada classe do factor estrutura.

Por fim todos estes parâmetros foram vectorizados utilizando as ferramentas de desenho da aplicação *ArcGis 10*. A conversão para unidades de terreno dos factores litologia (*figura 4.15*), estrutura, falhas e filões foi realizada através da ferramenta *Zonal Statistics*. Nos factores falhas e filões foi atribuído o valor de 1, caso a unidade de terreno tenha presente esta variável, ou o valor 0, se a situação anterior não ocorrer.

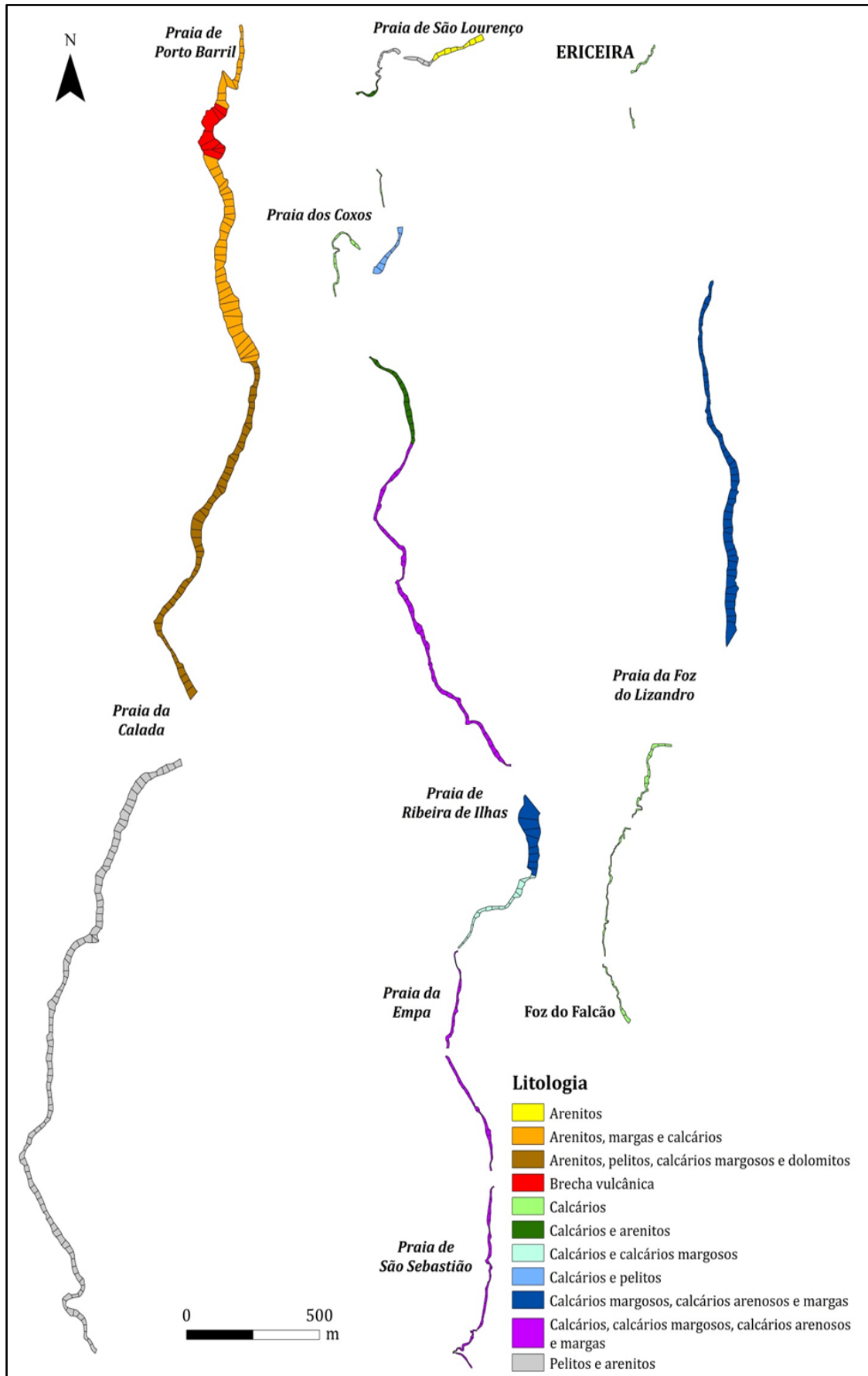


Figura 4.15 – Nível de informação referente à litologia para cada unidade de terreno.

4.4.3 Protecção de sopé

A protecção do sopé é um factor importante no estudo da evolução das arribas, uma vez que a base da arriba pode estar ou não, directamente em contacto com o mar, e naturalmente estar mais ou menos exposta a agentes erosivos.

Pela análise dos ortofotomapas, das imagens de satélite do *Google Earth*, da interpretação das fotografias aéreas oblíquas e, posteriormente por dados recolhidos no campo foram vectorizadas em ambiente *ArcGIS 10*, os seguintes elementos: plataformas de abrasão, acumulação de blocos, praias de areia e zonas da base da arriba sem protecção (*figura 4.16 e tabela 4.3*).



Figura 4.16 – Exemplos de protecção de sopé no litoral do concelho de Mafra. A) Praia de areia, Praia de São Sebastião; B) Plataforma, Norte da Praia da Empa; C) Sem protecção, Sul da Praia de Porto Barril; D) Blocos, Praia de São Lourenço. Fotografias de Agosto e Setembro de 2011.

Tabela 4.3 – Subdivisão do factor protecção de sopé em classes, no litoral do concelho de Mafra.

Grupo	Classe	
Blocos	Blocos	1
Plataformas	Plataforma	2
	Plataforma e blocos	3
Praias	Praia de areia	4
	Praia de areia e blocos	5
Sem protecção	Sem protecção	6

Por fim, realiza-se a conversão deste factor para as unidades de terreno através da ferramenta *Spatial Join* (figura 4.17).

4.4.4 Sapa

Como já foi referido no capítulo 2, a sapa é definida como uma zona de escavamento no sopé, em que a parte sobrejacente da arriba fica sem sustentação e, conseqüentemente, propício a ocorrências de queda da fachada e crista da arriba. Por esse motivo, as áreas de sapa foram cartografadas e vectorizadas em ambiente *ArcGis 10*, através da interpretação das fotografias aéreas oblíquas e de trabalho de campo.

A sobreposição deste factor nas unidades de terreno, através da ferramenta *Spatial Join*, atribui o valor de 1, caso a unidade de terreno tenha presente a variável, ou o valor 0, se a situação anterior não ocorrer.

4.4.5 Circulação de água

A circulação de água no interior dos maciços, assinalada pela ocorrência de nascentes nas fachadas das arribas, é uns dos factores responsáveis por erosão e um factor importante na estabilidade de vertentes e taludes, podendo ser relevante para a ocorrência de instabilidades nas arribas. A origem de nascentes na face da arriba normalmente está ligada a ocorrência de materiais permeáveis à

superfície e impermeáveis em profundidade, conduzindo à instabilização do material sobrejacente.

Durante o trabalho de campo foram inventariados zonas de circulação de água e/ou nascentes na face das arribas. Em seguida, esta informação foi vectorizada e de modo semelhante ao factor anterior, foi atribuído o valor 1 às unidades de terreno com presença de circulação de água e o valor 0 se a situação não ocorrer.

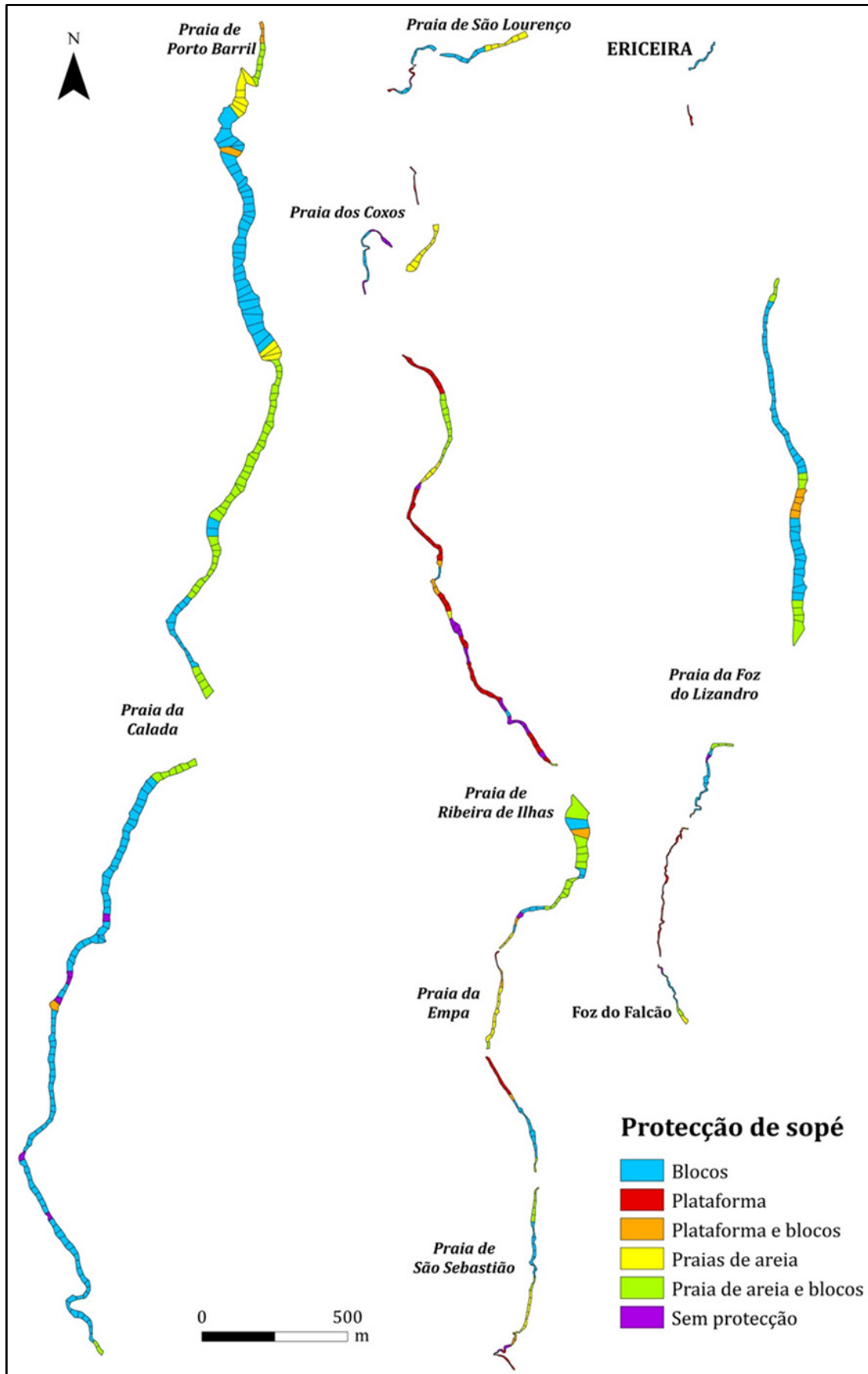


Figura 4.17 – Nível de informação referente à protecção de sopé para cada unidade de terreno.

4.5 Métodos de avaliação da susceptibilidade geomorfológica

A determinação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente pode efectuar-se através de métodos de cartografia directa e métodos de cartografia indirecta (*figura 4.18*).

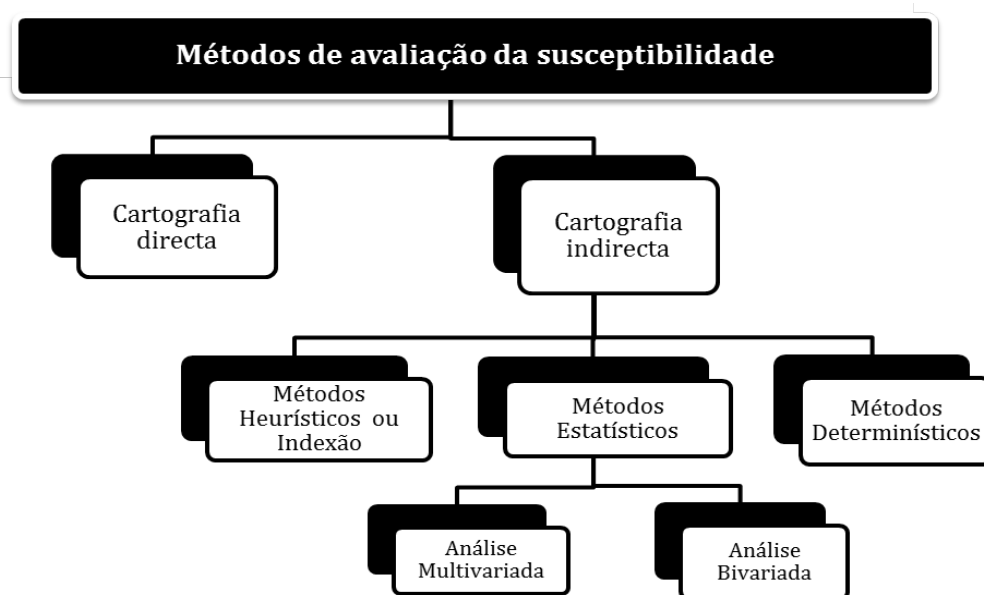


Figura 4.18 – Métodos cartográficos de avaliação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidade geomorfológica na escala regional.

O método de cartografia directa baseia-se na análise dos efeitos da instabilidade, em que o geomorfólogo determina o zonamento de susceptibilidade qualitativamente, com base na experiência e no conhecimento de campo. Por seu lado, os métodos de cartografia indirecta baseiam-se, essencialmente, nas causas da instabilidade geomorfológica, procurando inventariar e analisar os factores e os mecanismos que controlam os movimentos de vertente. Os resultados são consideravelmente menos subjectivos, em comparação com o método de cartografia directa, uma vez que são normalizadas técnicas de aquisição, procedimento, análise e representação da informação (Carrara, 1993) possibilitando a construção de modelos (heurísticos ou estatísticos). Além de que os resultados podem ser posteriormente validados através de partições temporais,

espaciais, ou aleatórias das bases de dados, e não apenas aguardando pela ocorrência de novos eventos, como sucede nos métodos de cartografia directa.

Na presente dissertação dar-se-á ênfase a métodos estatísticos bivariados, destacando-se o **Método de Valor Informativo**, uma vez que se recorrerá a este método para a produção da cartografia de susceptibilidade à instabilidade de arribas no concelho de Mafra.

Os métodos estatísticos baseiam-se nas relações dos factores que condicionaram a instabilidade geomorfológica no passado e no presente, através de uma função paramétrica empírica, permitindo a predição quantificada da susceptibilidade nas áreas ainda não afectadas por movimentos de vertentes (Zêzere, 1997). Estes métodos apresentam como vantagem a validação dos resultados, através da determinação das respectivas taxas de predição e de sucesso, visto que as análises de avaliação da susceptibilidade são objectivas e quantitativas, por derivarem de ensaios matemáticos. As análises estatísticas podem ser de dois tipos: bivariadas e multivariadas.

Na análise estatística bivariada, cada factor é combinado com a distribuição espacial dos movimentos, atribuindo a respectiva ponderação para cada uma das classes consideradas desse factor, com base na densidade de movimentos de vertente inventariados ou da respectiva área abrangida (Soeters e Van Westen, 1996).

4.5.1 Método de Valor Informativo

O Método do Valor Informativo (*Information Value Method*) é uma técnica introduzida por autores chineses (Yan, 1988; Yin e Yan, 1988) que tem como objectivo a subdivisão da área em diferentes níveis de susceptibilidade aos movimentos de vertente. Yan (1988) considera-o um método simples e generalista, apontado como ideal para predições espaciais de média e pequena escala.

Este método consiste em cruzar os factores de instabilidade com a distribuição dos movimentos, ou seja, descreve quantitativamente, sob forma de *scores* ou pesos relativos, as relações existentes entre cada uma das classes de cada factor e os movimentos de vertente. O método pressupõe a definição prévia de

unidades de terreno e a tomada em consideração de um conjunto de factores de predisposição.

O cálculo do Valor Informativo de cada variável obtém-se através da seguinte equação (Yin e Yan, 1988):

$$I_i = \log \frac{S_i/N_i}{S/N} \quad [2]$$

Sendo que:

I_i – Valor Informativo da variável i ;

S_i – número de unidade de terreno com movimentos de vertente e com a presença da variável i ;

N_i – número de unidades de terreno com a presença da variável i ;

S – número total de unidades de terreno com movimentos de vertente;

N – número de unidades de terreno, existentes na área de estudo.

Segundo Yin e Yan (1988) quando o valor I_i apresenta um valor negativo, considera-se que a variável em questão se opõe” ao desenvolvimento dos movimentos de vertente. Os resultados positivos indicam uma relação entre a presença da variável e as manifestações de instabilidade, enquanto valores próximos de zero indicam que a variável tem muito pouca influência na ocorrência das mesmas. Desta forma, quanto maior for o *score* de Valor Informativo em valor absoluto, maior a influência da variável na ocorrência de instabilidades.

O Valor Informativo total de uma unidade de terreno j resulta do somatório dos *scores* parciais de cada variável presente, e é determinado através da equação (Yin e Yan, 1988):

$$I_j = \sum_{i=1}^n X_{ji} \cdot I_i \quad [3]$$

Sendo que:

I_j – Valor Informativo da unidade de terreno;

n – número de variáveis;

X_{ji} – igual a 0 ou 1, consoante a variável está ausente ou presente na unidade de terreno.

A susceptibilidade das unidades de terreno à ocorrência de movimentos de vertente varia, assim, na relação directa do respectivo valor de informação, I_j . Consegue-se, deste modo, uma predição quantificada da susceptibilidade na zona em estudo, mesmo nas áreas ainda não afectadas por ocorrência de movimentos de vertente (Piedade, 2009). Zêzere (2002) refere que a principal fragilidade deste método, que pode conduzir a erros nos resultados, é o modelo não ter em conta as possíveis correlações entre as diversas variáveis.

Em suma, no presente estudo a aplicação do método do Valor Informativo foi precedida de uma divisão da área em estudo em unidades de terreno e, para cada unidade foi registada a ausência ou presença de movimentos de vertente, bem como os factores de predisposição aludidos previamente.

4.6 Validação dos Modelos

A parte final de um estudo relativo à determinação de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente, através de modelos estatísticos, passa pela validação dos resultados obtidos. Nesta dissertação optou-se à determinação das **taxas de sucesso** representada pelas respectivas curvas.

As taxas de sucesso correspondem às curvas obtidas através do cruzamento dos mapas de susceptibilidade com a distribuição dos movimentos de vertente, sendo determinado o grau de ajuste do modelo aos dados. Portanto, na avaliação do sucesso os movimentos utilizados na validação são os mesmos que foram utilizados na modelação.

Para se quantificar a qualidade global do modelo de sucesso deve ser calculada a “*áreas abaixo da curva*” (AAC). Esta é traduzida em valores entre zero e um.

A equação é a seguinte:

$$AAC = \sum_{i=1}^n \left[(L_{si} - L_i) \cdot \frac{a_i + b_i}{2} \right] \quad [4]$$

Sendo que:

$(L_{si} - L_i)$ – amplitude da classe;

a_i – valor da ordenada correspondente a L_i ;

bi – valor da ordenada correspondente a *Lsi*.

Segundo Guzzetti (2005), um modelo para que seja *aceitável* ou *bom* deverá ter pelo menos 0,75 de AAC. O modelo que tenha 0,80 a 0,90 de AAC deve ser considerado *muito bom*, e superior 0,90 de AAC deve ser considerado *excelente*.

CAPÍTULO V.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A avaliação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades em arribas no concelho de Mafra é o resultado do cruzamento do inventário de movimentos de vertente com um conjunto de factores de predisposição, através do *Método do Valor Informativo*. Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos através do método referido.

5.1 Valores Informativos dos factores de predisposição

A aplicação do *Método do Valor Informativo* foi precedida de uma divisão da área em 518 unidades de terreno, da introdução de todos os factores de predisposição em ambiente *ArcGis* e a respectiva atribuição a cada uma das unidades de terreno, como descrito em detalhe no capítulo dedicado à Metodologia.

No entanto, para o cálculo do Valor Informativo foi indispensável o conhecimento do número de unidades de terreno, afectadas por movimentos de vertente. Para tal, através da ferramenta *Spatial Join* foi obtida essa informação, indicada na *tabela 5.1*.

Tabela 5.1 – Informação relativa ao total de unidades de terreno que registam a presença e a ausência de movimentos de vertente.

Unidades de Terreno	
Com movimentos de vertente	75
Sem movimentos de vertente	443
Total	518

As tabelas 5.2, 5.3 e 5.4 apresentam os resultados obtidos na determinação dos scores do Valor Informativo, para o litoral do concelho de Mafra, calculado para cada variável de cada factor.

Tabela 5.2 – Procedimento de cálculo do método do Valor Informativo e os respectivos resultados, para cada classe dos factores de morfometria.

	Classes	<i>Si</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>Si/Ni</i>	<i>S/N</i>	<i>Ii</i>
Altura Máxima (m)	1 [3 – 10[	5	54	75	518	0,0926	0,1448	-0,4471
	2 [10 – 15[	11	60	75	518	0,1833	0,1448	0,2360
	3 [15 – 20[	11	55	75	518	0,2000	0,1448	0,3230
	4 [20 – 25[	18	71	75	518	0,2535	0,1448	0,5602
	5 [25 – 40[	9	71	75	518	0,1268	0,1448	-0,1330
	6 [40 – 60[	10	80	75	518	0,1250	0,1448	-0,1470
	7 [60 – 75[	9	74	75	518	0,1216	0,1448	-0,1744
	8 [75 – 92[	2	53	75	518	0,0377	0,1448	-1,3447
Comando (m)	1 [2 – 7[	6	52	75	518	0,1154	0,1448	-0,2270
	2 [7 – 12[	12	80	75	518	0,1500	0,1448	0,0354
	3 [12 – 19[	15	82	75	518	0,1829	0,1448	0,2338
	4 [19 – 30[	20	94	75	518	0,2128	0,1448	0,3849
	5 [30 – 45[	9	82	75	518	0,1098	0,1448	-0,2770
	6 [45 – 65[	10	84	75	518	0,1190	0,1448	-0,1957
	7 [65 – 85[	3	44	75	518	0,0682	0,1448	-0,7531
Declive máximo (°)	1 [34 – 50[	10	46	75	518	0,2174	0,1448	0,4064
	2 [50 – 57[	6	52	75	518	0,1154	0,1448	-0,2270
	3 [57 – 62[	6	82	75	518	0,0732	0,1448	-0,6825
	4 [62 – 67[	13	83	75	518	0,1566	0,1448	0,0786
	5 [67 – 72[	21	104	75	518	0,2019	0,1448	0,3326
	6 [72 – 77[	13	111	75	518	0,1171	0,1448	-0,2121
	7 [77 – 82]	6	40	75	518	0,1500	0,1448	0,0354
Declive médio (°)	1 [28 – 36[	6	27	75	518	0,2222	0,1448	0,4284
	2 [36 – 43[	10	51	75	518	0,1961	0,1448	0,3032
	3 [43 – 47[	2	44	75	518	0,0455	0,1448	-1,1586
	4 [47 – 51[	10	86	75	518	0,1163	0,1448	-0,2193
	5 [51 – 55[	15	95	75	518	0,1579	0,1448	0,0867
	6 [55 – 60[	15	97	75	518	0,1546	0,1448	0,0658
	7 [60 – 64[	8	64	75	518	0,1250	0,1448	-0,1470
	8 [64 – 74]	9	54	75	518	0,1667	0,1448	0,1407
Exposição dominante	1 Norte	6	29	75	518	0,2069	0,1448	0,3570
	2 Nordeste	0	5	75	518	0,0000	0,1448	-0,1095
	5 Sul	0	2	75	518	0,0000	0,1448	-0,1095
	6 Sudoeste	15	108	75	518	0,1389	0,1448	-0,0416
	7 Oeste	34	262	75	518	0,1298	0,1448	-0,1095
	8 Noroeste	20	112	75	518	0,1786	0,1448	0,2097

Avaliação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades em arribas no concelho de Mafra
APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Curvatura em planta (média)	1	[-32,3 – -3,0[	8	47	75	518	0,1702	0,1448	0,1618
	2	[-3,0 – -1,0[	10	60	75	518	0,1667	0,1448	0,1407
	3	[-1,0 – -0,5[	16	111	75	518	0,1441	0,1448	-0,0045
	4	[-0,5 – 0,0[	10	72	75	518	0,1389	0,1448	-0,0416
	5	[0,0 – 0,5[	6	71	75	518	0,0845	0,1448	-0,5384
	6	[0,5 – 1,0[	7	44	75	518	0,1591	0,1448	0,0942
	7	[1,0 – 3,0[	12	81	75	518	0,1481	0,1448	0,0229
	8	[3,0 – 15,2]	6	32	75	518	0,1875	0,1448	0,2585
Curvatura em perfil (média)	1	[-12,7 – 3,0[	1	9	75	518	0,1111	0,1448	-0,2647
	2	[-3,0 – 0,0[	9	54	75	518	0,1667	0,1448	0,1407
	3	[0,0 – 2,0[	9	92	75	518	0,0978	0,1448	-0,3921
	4	[2,0 – 4,0[	7	90	75	518	0,0778	0,1448	-0,6214
	5	[4,0 – 7,0[	17	93	75	518	0,1828	0,1448	0,2331
	6	[7,0 – 15[	16	91	75	518	0,1758	0,1448	0,1942
	7	[15,0 – 86,8]	16	89	75	518	0,1798	0,1448	0,2164

Tabela 5.3 – Procedimento de cálculo do método do Valor Informativo e os respectivos resultados, para cada classe dos factores geológicos.

	Classes	<i>Si</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>Si/Ni</i>	<i>S/N</i>	<i>Ii</i>
Litologia	1 Arenitos	1	8	75	518	0,1250	0,1448	-0,1470
	2 Arenitos, margas e calcários	4	43	75	518	0,0930	0,1448	-0,4424
	3 Arenitos, pelitos, calcários margosos e dolomitos	2	52	75	518	0,0385	0,1448	-1,3256
	4 Brecha vulcânica	0	8	75	518	0,0000	0,1448	-1,4174
	5 Calcários	6	76	75	518	0,0789	0,1448	-0,6065
	6 Calcários e arenitos	4	20	75	518	0,2000	0,1448	0,3230
	7 Calcários e calcários margosos	6	17	75	518	0,3529	0,1448	0,8910
	8 Calcários e pelitos	2	8	75	518	0,2500	0,1448	0,5462
	9 Calcários margosos, calcários arenosos e margas	2	57	75	518	0,0351	0,1448	-1,4174
	10 Calcários, calcários margosos, calcários arenosos e margas	25	119	75	518	0,2101	0,1448	0,3722
	11 Pelitos e arenitos	23	110	75	518	0,2091	0,1448	0,3675
Estrutura Geológica	1 Horizontal	66	484	75	518	0,1364	0,1448	-0,0599
	2 Maciça	0	8	75	518	0,0000	0,1448	-0,0599
	3 Inferior ao declive	9	26	75	518	0,3462	0,1448	0,8716

Filões	0 Ausente	71	489	75	518	0,1452	0,1448	0,0028
	1 Presente	4	29	75	518	0,1379	0,1448	-0,0485
Falhas	0 Ausente	45	437	75	518	0,1030	0,1448	-0,3408
	1 Presente	30	81	75	518	0,3704	0,1448	0,9392

Tabela 5.4 – Procedimento de cálculo do método do Valor Informativo e os respectivos resultados, para cada classe dos seguintes factores: protecção de sopé, sapas e circulação de água.

Classes		Si	Ni	S	N	Si/Ni	S/N	Ii
Protecção de sopé	1 Blocos	29	236	75	518	0,1229	0,1448	-0,1640
	2 Plataforma	16	81	75	518	0,1975	0,1448	0,3106
	3 Plataforma e blocos	3	23	75	518	0,1304	0,1448	-0,1044
	4 Praias de areia	11	48	75	518	0,2292	0,1448	0,4592
	5 Praias de areia e blocos	9	99	75	518	0,0909	0,1448	-0,4654
	6 Sem protecção	7	31	75	518	0,2258	0,1448	0,4444

Sapa	0 Ausente	68	479	75	518	0,1420	0,1448	-0,0197
	1 Presente	7	39	75	518	0,1795	0,1448	0,2148
Circulação de água	0 Ausente	74	497	75	518	0,1489	0,1448	0,0280
	1 Presente	1	21	75	518	0,0476	0,1448	-1,1120

Nas classes onde não existe ocorrência de movimentos de vertente, não é possível determinar o *score* do Valor Informativo, devido à transformação logarítmica. Nestes casos é atribuído o *score* mais baixo registado em cada factor independente (valores a negrito).

Nos factores de morfometria é o factor altura máxima que apresenta o *score* mais elevado, na classe [20 – 25[, com 0,5602, seguindo-se a classe [28 – 36[do factor declive médio com 0,4284 e muito próximo, a classe [34 – 50[do factor declive máximo, com 0,4064 (*figuras 5.1, 5.2 e 5.3*). Observa-se quer no declive máximo quer no declive médio que o *score* é mais elevado na primeira variável. Além disso, no declive médio a classe [36 – 43[apresenta o segundo *score* mais elevado (0,3032).

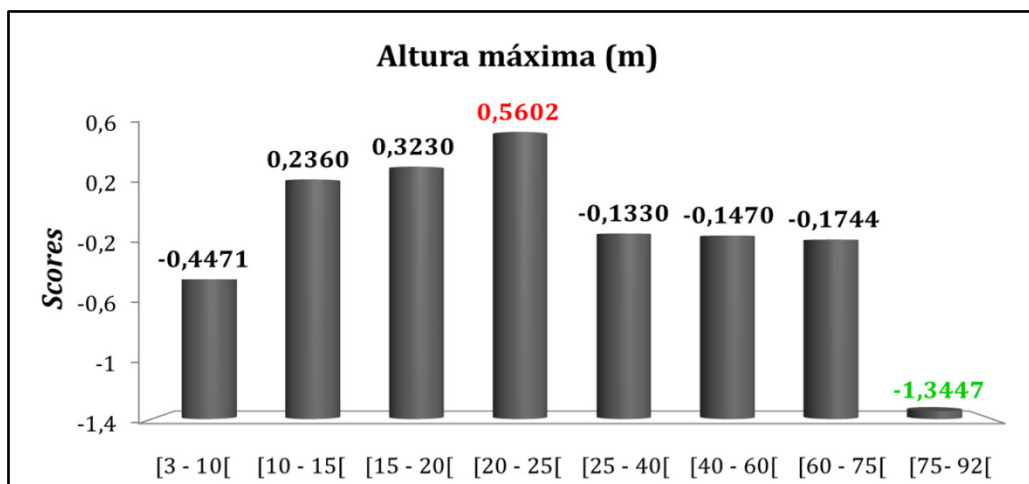


Figura 5.1 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição *altura máxima*.

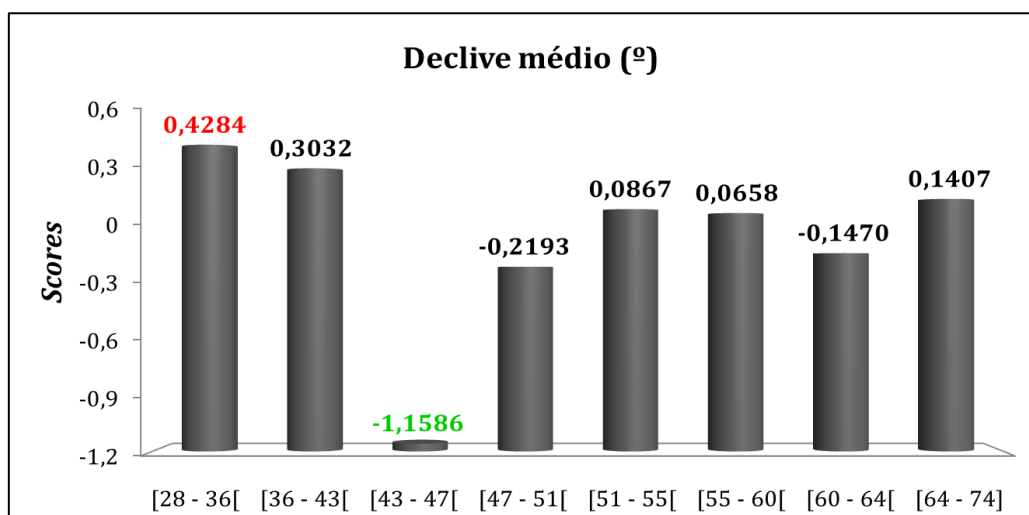


Figura 5.2 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição *declive médio*.

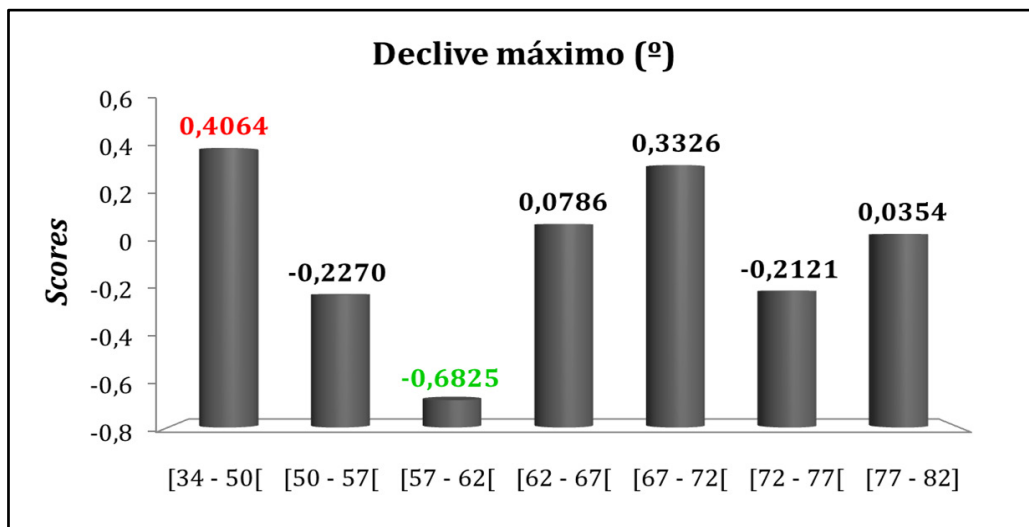


Figura 5.3 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição *declive máximo*.

O score mais elevado para o comando das arribas corresponde à classe ([19 - 30]) com 0,3849 (figura 5.4).

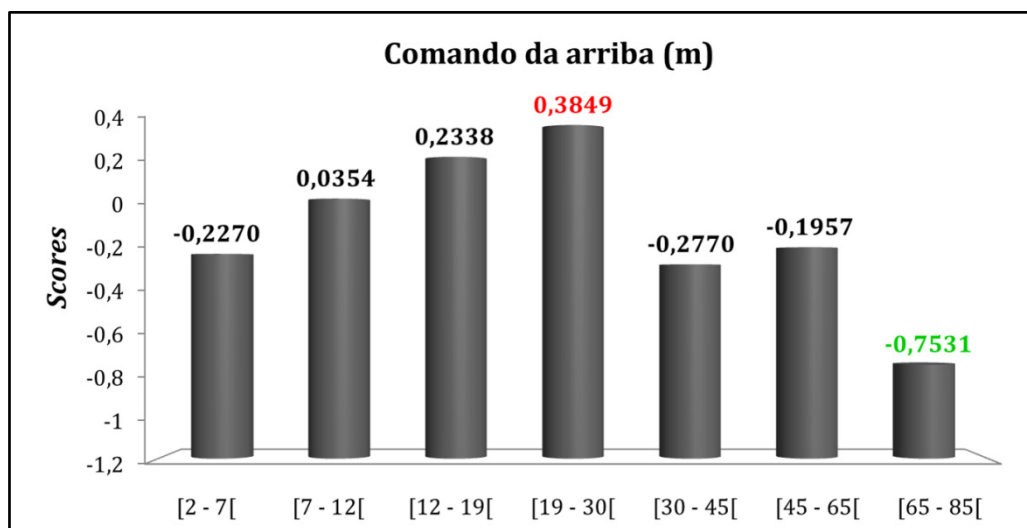


Figura 5.4 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição *comando*.

No factor exposição dominante (figura 5.5), a orientação norte e a noroeste destacam-se relativamente às restantes, no que se refere à predisposição para ocorrência de movimentos de vertente. Este facto pode relacionar-se pelo menor número de horas/diárias com incidência solar, que consequentemente se associa a uma maior humidade relativa e menor temperatura, o que pode produzir um acréscimo de susceptibilidade de vertentes. De mencionar que nas arribas estudadas não foram observadas exposições quer para este, quer para sudeste.

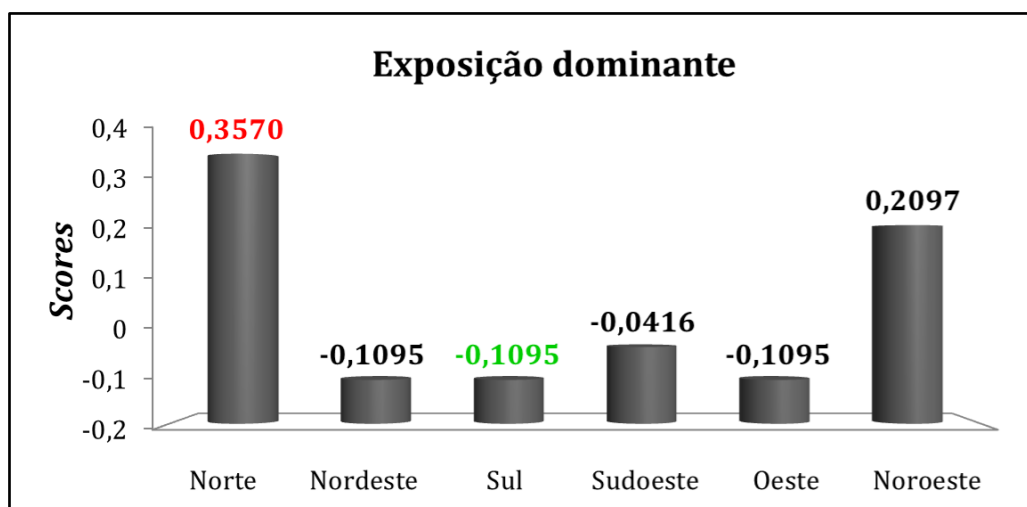


Figura 5.5 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição *exposição dominante*.

Os resultados do Valor Informativo do factor associada à curvatura em planta (figura 5.6) não são conclusivos, já que os *scores* mais elevados se apresentam na classe [3,0 - 15,2], com 0,2585 e na classe [-32,3 - -3,0], com 0,1618. Estas duas classes correspondem, respectivamente ao máximo e ao mínimo deste factor.

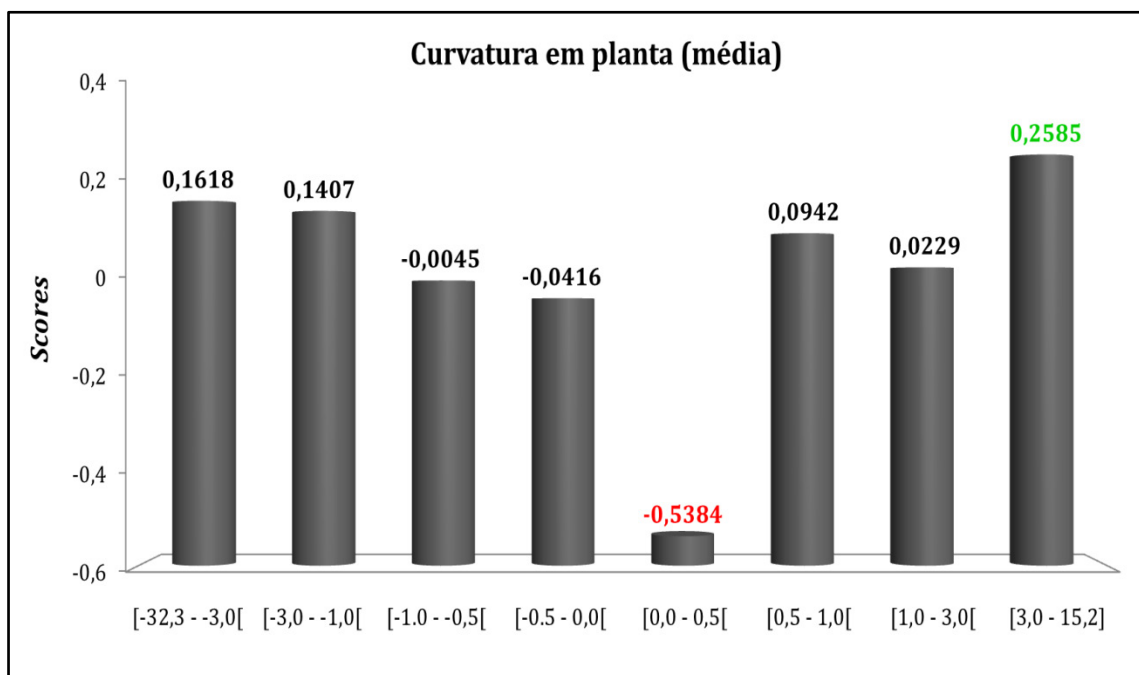


Figura 5.6 – *Scores* das classes, alusivo ao factor de predisposição *curvatura em planta (média)*.

Como os resultados não foram razoáveis, procedeu-se ao cálculo do *scores* para apenas duas variáveis, - vertentes convexas e vertentes côncavas. Os dados obtidos (tabela 5.5) continuam a ser insuficientes para determinar qual a classe mais relevante na propensão para a ocorrência de movimentos de vertente, uma vez que, os *scores* para o perfil côncavo e convexo diferem muito pouco entre si. Ainda, que as vertentes côncavas se apresentem mais importantes.

Tabela 5.5 – Procedimento de cálculo do método do Valor Informativo e os respectivos resultados, para cada classe do factor curvatura em planta.

Classes	<i>Si</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>Si/Ni</i>	<i>S/N</i>	<i>Ii</i>
1 Côncava	44	290	75	518	0,1517	0,1448	0,0468
2 Convexa	31	228	75	518	0,1360	0,1448	-0,0629

Em relação à curvatura em perfil (*figura 5.7*) os *scores* mais elevados são observados nas últimas três classes, que correspondem a superfícies côncavas.

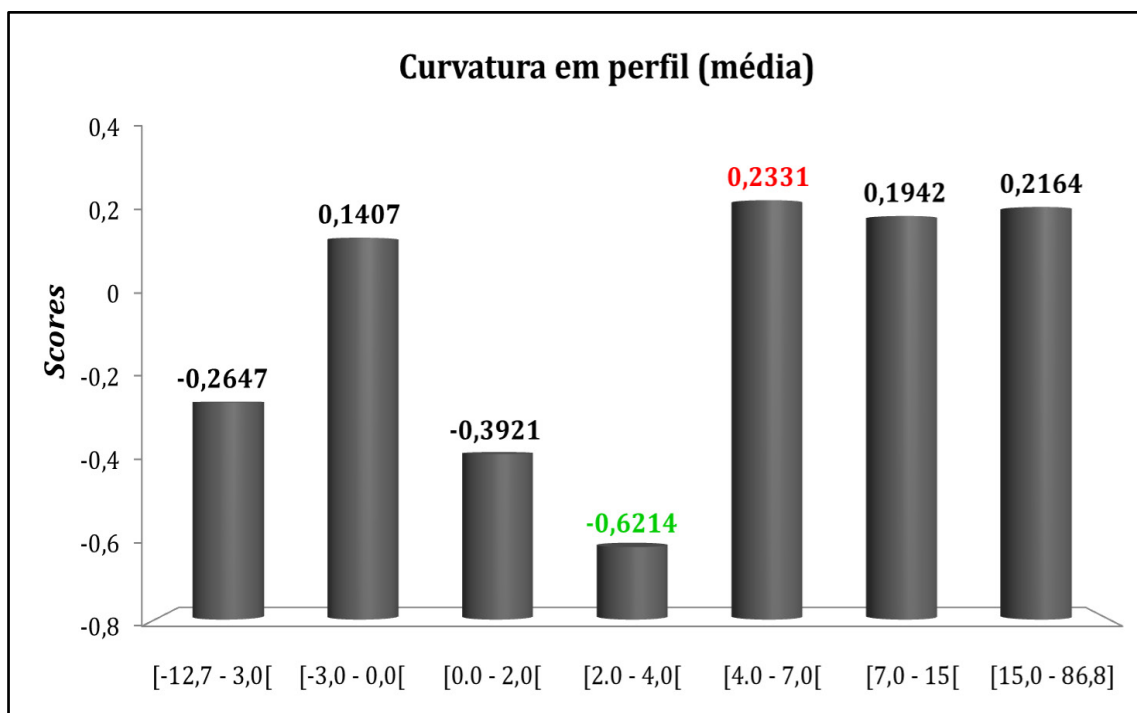


Figura 5.7 – *Scores* das classes, alusivo ao factor de predisposição *curvatura em perfil (média)*.

No que se refere aos factores inerentes à geologia são os que apresentam, maior relação espacial com os movimentos de vertente, uma vez que as três classes com *scores* mais elevados, comparativamente com todos os factores estudados, pertencem a este grupo (*ver anexo A.1*). Destaca-se o factor falhas com 0,9392 na classe de “presença”, seguindo-se a classe “calcários e calcários margosos” do factor litologia e a classe “inferior ao declive” do factor estrutura, com 0,8910 e 0,8716, respectivamente.

De acordo, com os *scores* calculados para o factor falhas, os movimentos de vertente na área em estudo são significativamente favorecidos pela presença de falhas nos afloramentos das arribas (*figura 5.8*).

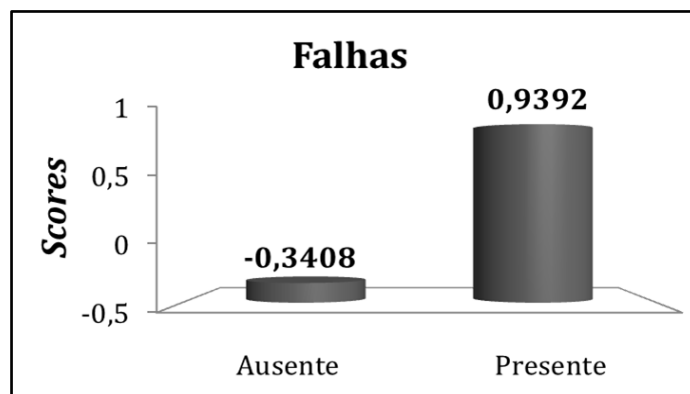


Figura 5.8 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição *falhas*.

No factor litologia (*figura 5.9*), como aludido anteriormente, a classe que apresenta um *score* mais elevado é correspondente aos “calcários e calcários margosos”, seguindo-se “calcários e os pelitos”. Este facto deve-se à presença de materiais mais brandos, níveis argilosos e margosos, intercalados com níveis de calcários mais resistentes, o que causa variações na resistência ao corte entre as camadas em causa.

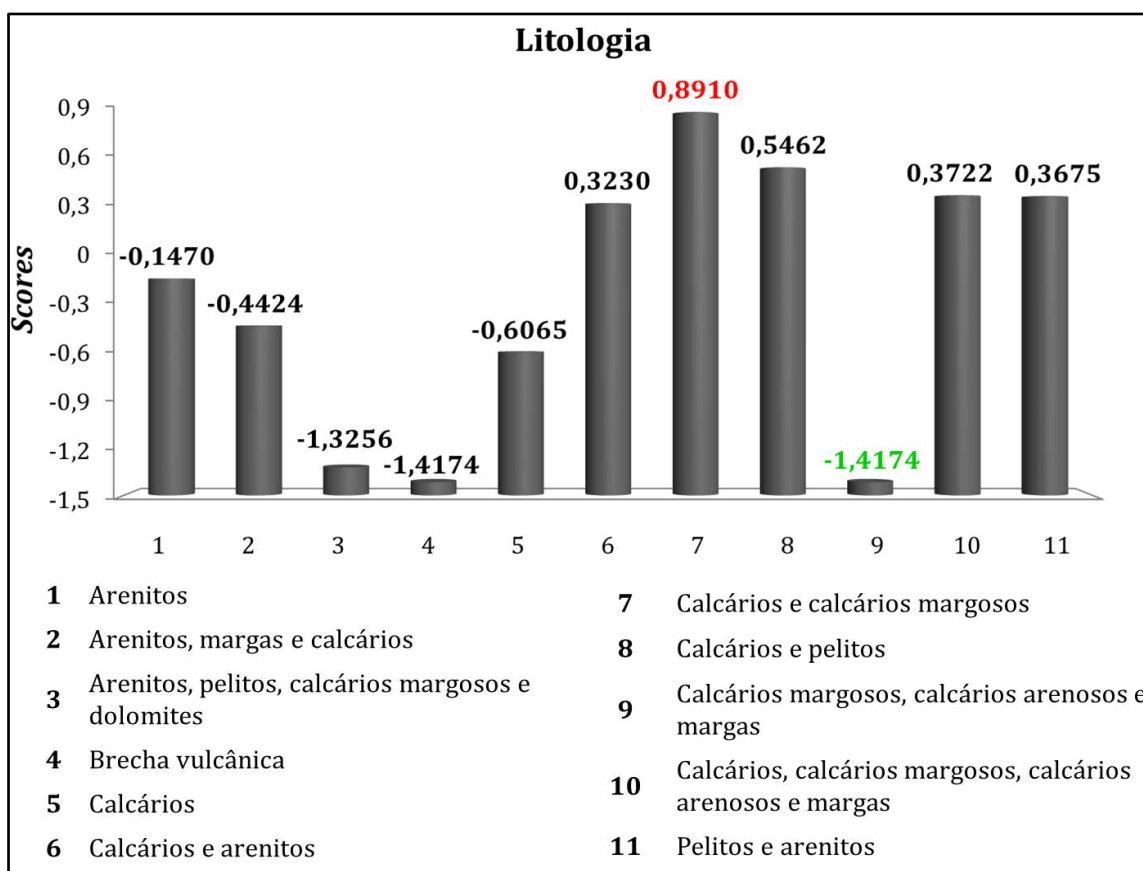


Figura 5.9 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição *litologia*.

De referir, que a classe “brecha vulcânica” foi a única que dentro deste factor, onde não se inventariaram movimentos. Este facto pode ser justificado pela sua reduzida expressão territorial e/ou pela elevada resistência das rochas.

Em contrapartida, a presença de filões nas arribas apresenta um *score* negativo próximo de zero (-0,0485), o que evidência que a sua influência no desenvolvimento de movimentos de vertente é reduzida.

Quanto aos resultados obtidos para a orientação das camadas relativamente às arribas (*figura 5.10*) pode-se referir que o *score* mais elevado é correspondente à classe “inferior ao declive”. Isto pode se dever à pequena extensão que esta classe apresenta, quando comparada com a classe “horizontal”. De referir que, a classe “maciço” apresenta idêntico valor que a classe precedente, facto justificado pela ausência de movimentos, uma vez que esta coincide com a classe “brecha vulcânica” do factor litologia.

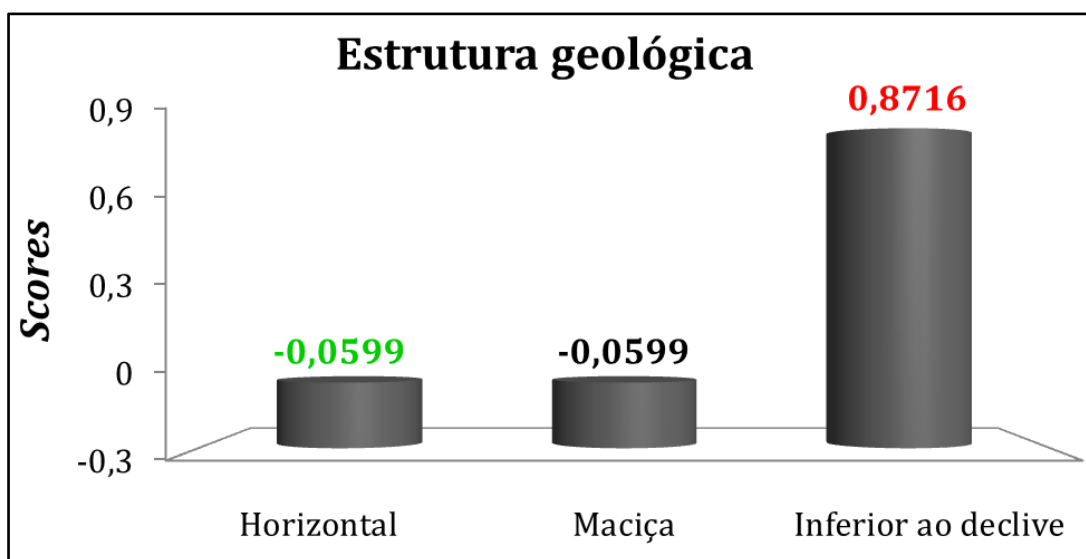


Figura 5.10 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição *estrutura geológica*.

A leitura da informação relativa ao tema protecção de sopé apresenta resultados interessantes. Como se pode observar na *figura 5.11* os *scores* mais elevados correspondem, às seguintes classes: “praias de areia”, “sem protecção” e à “plataforma”.

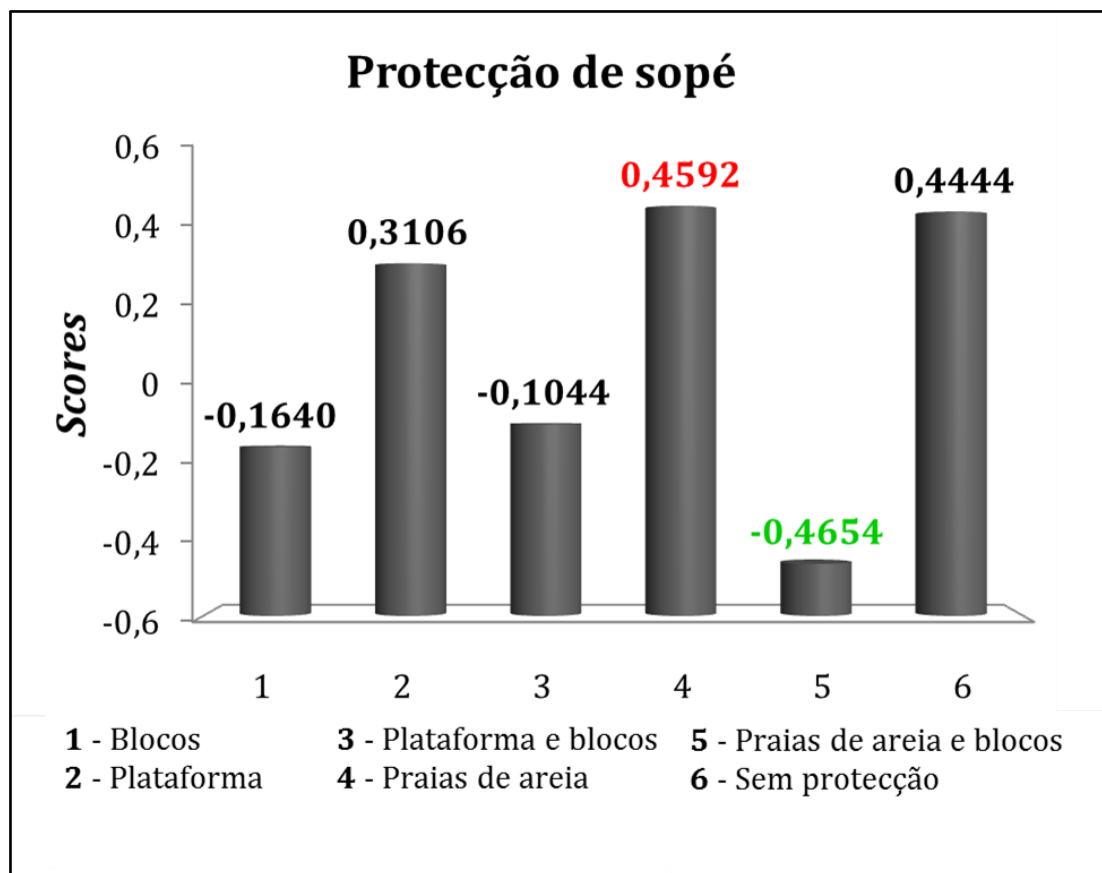


Figura 5.11 – Scores das classes, alusivo ao factor de predisposição *protecção de sopé*.

Este facto é compreensível, uma vez que nestas classes, a base da arriba está mais exposta ao contacto com o mar, favorecendo a ocorrência dos processos erosivos e conseqüentemente a fenómenos de instabilidade. Por outro lado, as classes onde há a presença de blocos são as que apresentam os *scores* negativos. Facto que confirma que a presença de blocos na base da arriba condiciona a energia da ondulação aplicada na arriba e, naturalmente os processos de erosão.

No que diz respeito ao factor sapa verifica-se um *score* positivo (0,2148) na presença de sapas e um *score* negativo na sua ausência (-0,0197). Os resultados obtidos permitem concluir que as presenças de sapas nas arribas são propícias à ocorrência de movimentos.

No factor relacionado com a circulação de água, a classe correspondente a “presença” de água na face da arriba apresenta um *score* negativo (-1,1120), suficiente para se poder afirmar que a sua influência é manifestamente contrária ao desenvolvimento de movimentos de vertente.

Por último, através do cálculo da média dos valores absolutos dos *scores* correspondente às classes de cada factor de predisposição estudado, determina-se quais os factores mais importantes no desencadeamento de movimentos de vertentes. O cálculo é de acordo com a seguinte expressão (Vasconcelos, 2011):

$$SC_{abs} = \frac{1}{n_c} \times \sum_{i=1}^n (|a_1|, \dots, |a_n|) \quad [5]$$

Sendo que:

SC_{abs} – média dos valores absolutos dos *scores* de cada factor;

n_c – número de classes de cada factor;

a_1 – valor do *score* da primeira classe do factor;

a_n – valor do *score* da última classe do factor;

Os valores do cálculo são apresentados na *tabela 5.6*, ordenados por ordem decrescente de influência na ocorrência de movimentos. Da observação da tabela é possível concluir que o factor que maior influência tem na predisposição à ocorrência de movimentos de vertente é a litologia, seguido das falhas e da circulação de água, sendo que a que tem menor importância é o factor dos filões.

Tabela 5.6 – Valores de SC_{abs} obtidos para cada factor de predisposição.

Factores	SC_{abs}
Litologia	0,7142
Falhas	0,6400
Circulação de água	0,5700
Altura máxima	0,4207
Estrutura geológica	0,3305
Protecção de sopé	0,3247
Declive médio	0,3187
Comando	0,3010
Curvatura em perfil	0,2947
Declive máximo	0,2821
Curvatura em planta	0,1578
Sapa	0,1173
Exposição	0,1171
Filões	0,0257

Ao analisar os valores de SC_{abs} do factor circulação de água e os *scores* das suas classes, verifica-se que a presença de água está relacionada a uma muito baixa ocorrência de instabilidades nas arribas. Este resultado, à primeira vista algo surpreendente, pode dever-se a que nas zonas com circulação de água, o maciço se encontra saturado ou quase, pelo que os fenómenos de expansão e contracção decorrentes da expansibilidade das camadas argilosas e margosas se encontram fortemente limitados. Pelo contrário, nas restantes zonas dos maciços, a alternância de períodos secos e húmidos conduz a ciclos muito frequentes de secagem e saturação, com as consequentes variações volumétricas que produzem degradação rápida das rochas argilosas.

5.1.1 Valor Informativo total

O Valor Informativo de uma unidade de terreno resulta do somatório dos *scores* das classes de cada factor, como explanado pela equação [3] do Capítulo 4.

Através dos resultados obtidos procede-se à representação cartográfica do Valor Informativo. Para uma melhor representação espacial, o litoral do concelho de Mafra foi dividido em subsectores, que de acordo com as *figuras 5.12, 5.13 e 5.14* representam, respectivamente, o Norte, o Centro e o Sul.

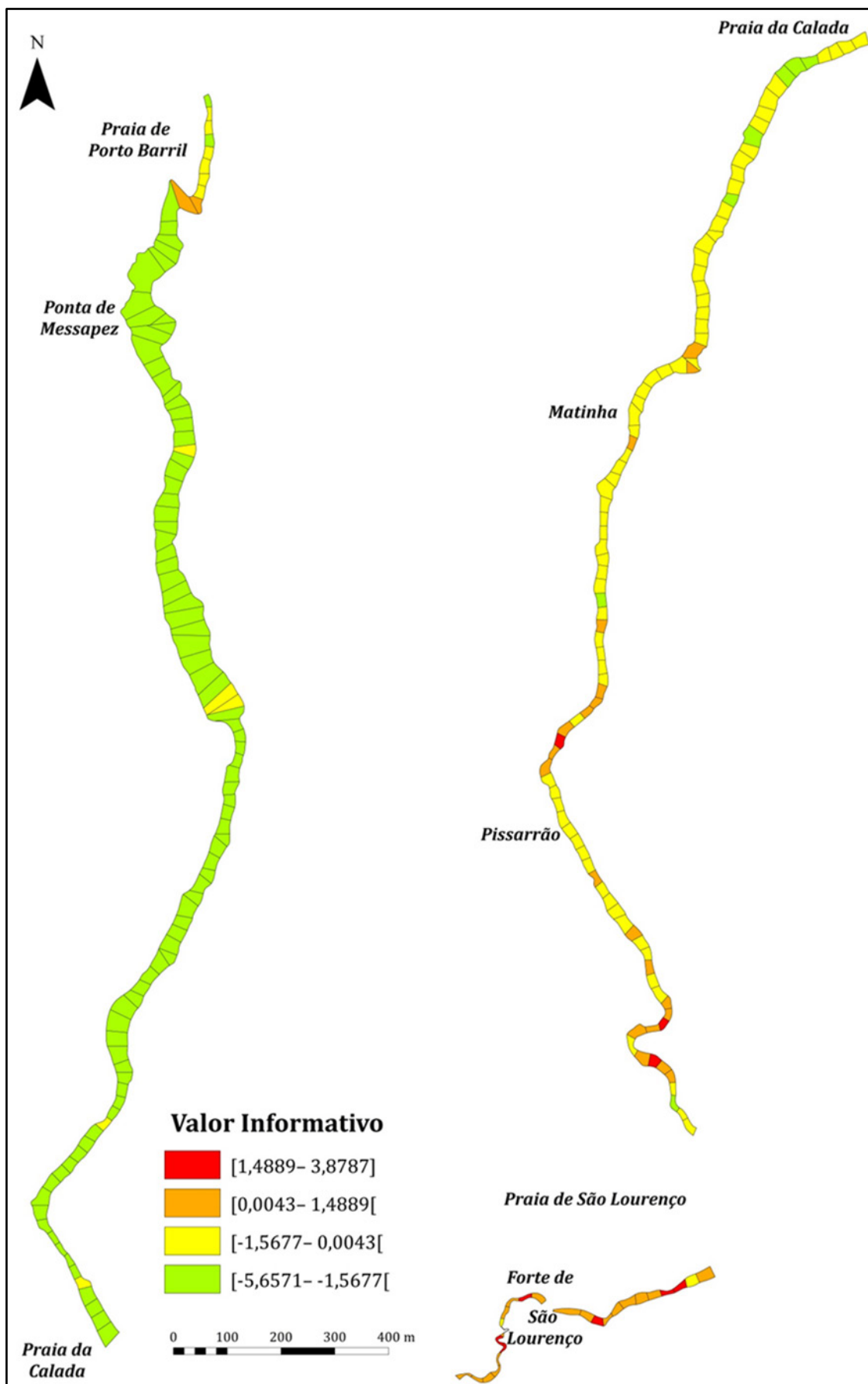


Figura 5.12 – Valor Informativo total do sector costeiro Norte, do concelho de Mafra.

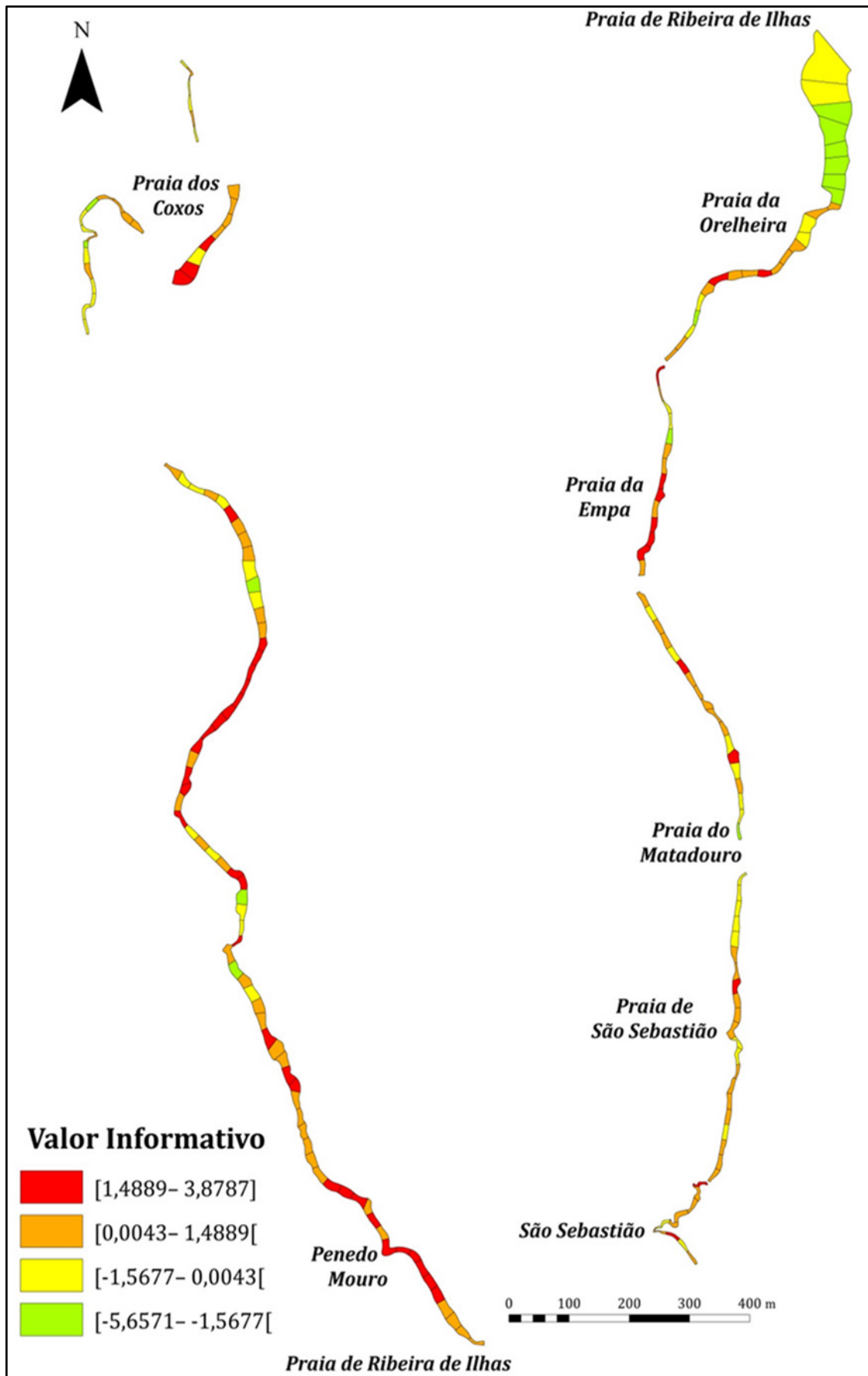


Figura 5.13 – Valor Informativo total do sector costeiro Centro, do concelho de Mafra.

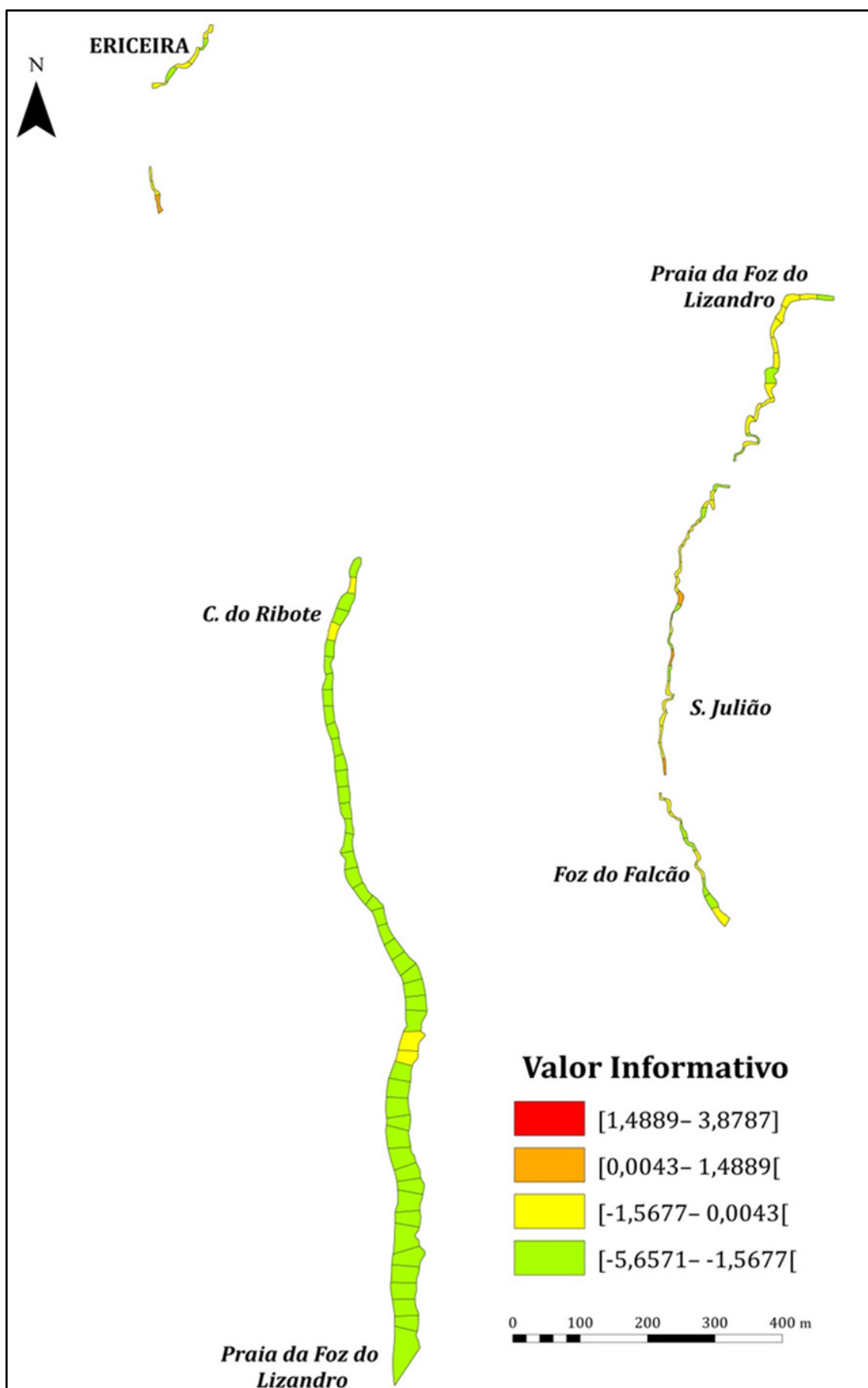


Figura 5.14 – Valor Informativo total do sector costeiro Sul, do concelho de Mafra.

Sublinhe-se, que as áreas cuja conjugação dos factores resulta numa maior instabilidade referem-se aos intervalos que apresentam os Valores Informativos mais elevados, principalmente o intervalo que corresponde à cor vermelha, enquanto os Valores Informativos negativos, representam áreas com maior estabilidade.

5.2 Validação dos resultados

A etapa final do presente trabalho prende-se na validação dos resultados obtidos anteriormente, pelo método do Valor Informativo. Neste caso, para a análise quantitativa da eficácia dos resultados foram utilizadas curvas de taxa de sucesso. A *figura 5.15* apresenta a curva de sucesso e a respectiva área abaixo da curva (AAC).

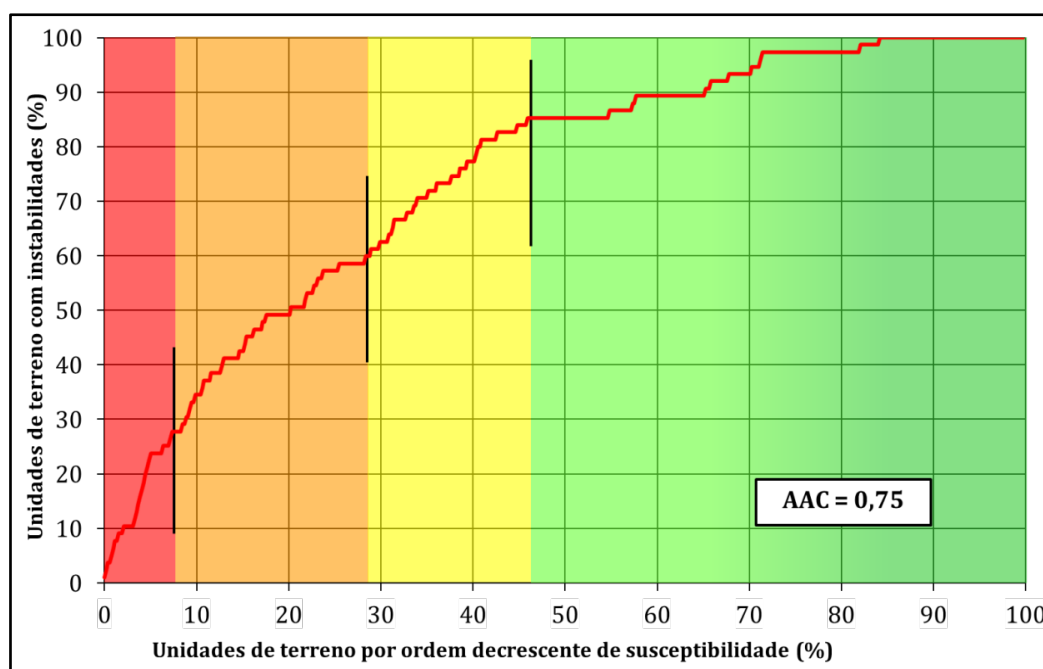


Figura 5.15 – Curva de sucesso obtida pelo método do Valor Informativo.

Analisando mais pormenorizadamente a referida figura, conclui-se que, nos 8% classificados como mais instáveis são explicados cerca de 28% dos movimentos do inventário, e nos 29% classificados como mais susceptíveis são justificados cerca de 60% do inventário de movimentos de vertente. Aos 46% da

área total são explicados 85% dos movimentos, sendo que a totalidade dos mesmos é justificada aos 84% da área total. O modelo obtido apresenta AAC de 75%, o que faz com que, segundo Guzzetti (2005), se inclua no grupo dos modelos aceitáveis ou bons.

Deve notar-se que para este resultado concorre o facto de existir uma proporção relativamente elevada de unidades de terreno com instabilidades, cerca de 14,5%, pelo que um modelo ideal, que representasse a totalidade das unidades de terreno nos valores de Valor Informativo mais elevados, sem incluir unidades de terreno sem movimentos, teria um valor de AAC de 92,8%.

Uma forma de representar os resultados que obvia, este inconveniente é o do gráfico que, projectando os dados dos valores mais altos para os mais baixos do Valor Informativo, relaciona os verdadeiros positivos (unidades de terreno com instabilidades inventariadas) com os falsos positivos (unidades de terreno sem instabilidades inventariadas). A *figura 5.16* representa esta mesma curva.

Em comparação com a curva da *figura 5.15*, esta tem um comportamento ligeiramente diferente, salientando-se uma AAC superior (79%). Neste caso, utilizando os limiares da curva anterior, - 8%, 29% e 46% -, o modelo explica, respectivamente, 39%, 71% e 85% dos movimentos de vertente, valores que representam uma melhoria nos resultados.

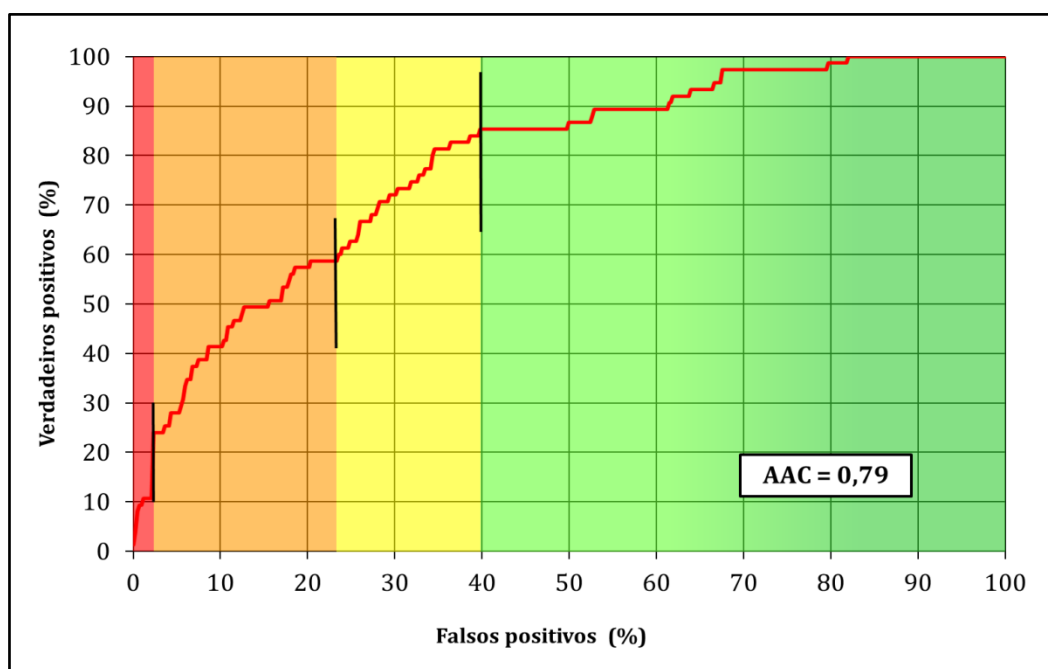


Figura 5.16 – Curva de sucesso obtida pelo método do Valor Informativo.

5.2.1 Análise Sensitiva dos Factores

A análise sensitiva dos factores é uma metodologia que tem similarmente como objectivo final, a determinação dos factores de predisposição mais relevantes na génese de movimentos de vertente em arribas.

Este método envolve o cálculo da AAC de cada curva de sucesso para cada factor isoladamente, tornando-se uma abordagem menos expedita que o cálculo da média dos valores absolutos (SC_{abs}). Segundo Vasconcelos (2011), estes resultados serão mais fiáveis, uma vez que o procedimento estatístico é mais robusto.

A *figura 5.17* e a *tabela 5.7* apresentam, respectivamente as curvas de sucesso e a AAC dos diferentes factores de predisposição.

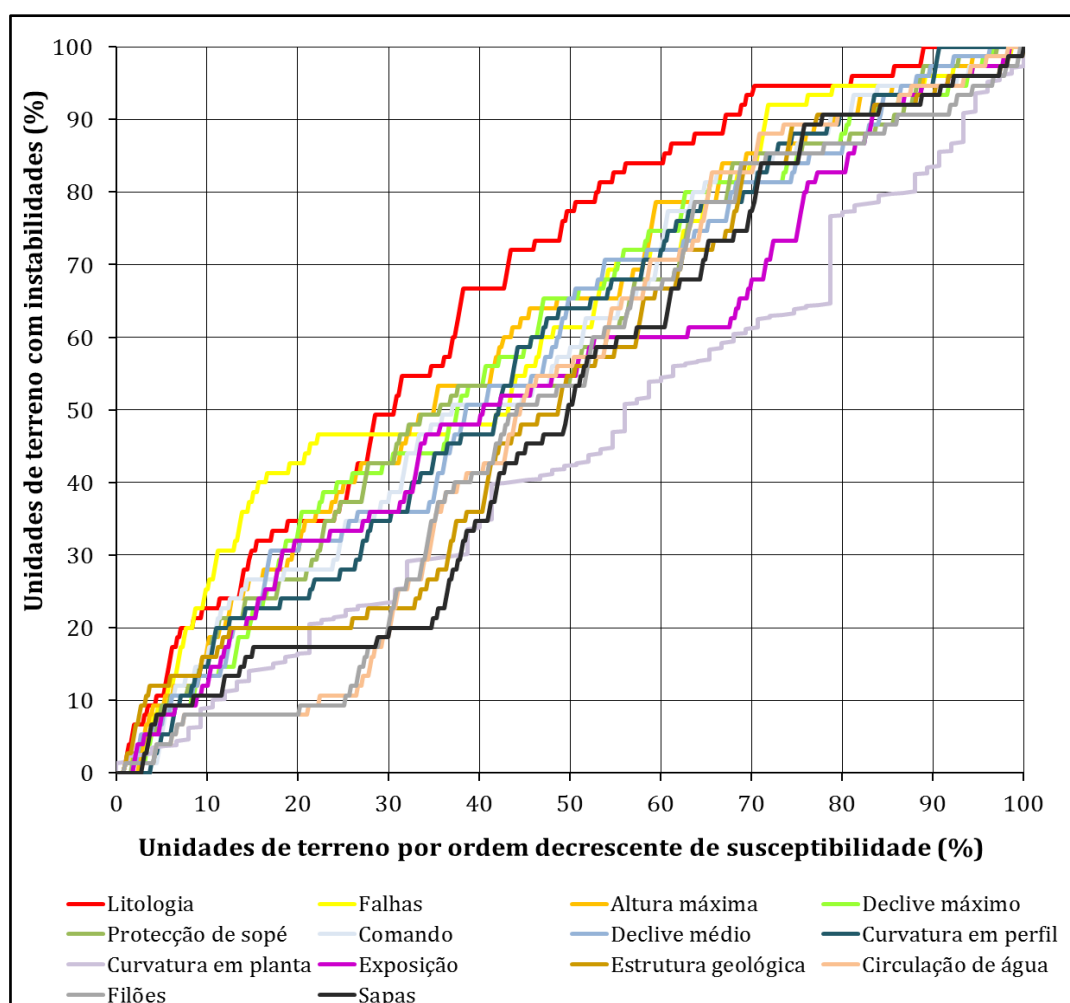


Figura 5.17 – Curvas de sucesso para cada factor de predisposição, obtidas pelo método do Valor Informativo.

Tabela 5.7 – Valores de AAC para cada factor de predisposição.

Código	Factor	AAC
L	Litologia	0,6713
F	Falhas	0,6246
HMáx	Altura máxima	0,6106
DMáx	Declive máximo	0,5963
PS	Protecção de sopé	0,5841
C	Comando	0,5835
DMéd	Declive médio	0,5790
CPerfil	Curvatura em perfil	0,5784
CPlanta	Curvatura em planta	0,5507
Exp	Exposição	0,5438
E	Estrutura geológica	0,5334
CA	Circulação de água	0,5246
Fi	Filões	0,5131
S	Sapas	0,5095

Através do cálculo AAC para cada factor isoladamente verifica-se que é a litologia que mais contribui para a explicação dos movimentos de vertentes no litoral do concelho de Maфра, com uma AAC de 0,6713, seguindo-se as falhas com 0,6246 e a altura máxima (0,6106). No final desta hierarquia surgem os filões e as sapas. Em comparação com os valores de SC_{abs} , (tabela 5.6) é possível concluir que em ambas metodologias os dois factores que maior influência tem na predisposição à ocorrência de movimentos de vertente são a litologia e as falhas.

Seguidamente foram desenvolvidos novos modelos de susceptibilidade de forma sistemática, com base na hierarquia dos factores, através da introdução de um novo factor em cada passo (figura 5.18 e tabela 5.8). De acordo com Zêzere *et al.*, (2005), esta abordagem permite verificar qual a importância de cada factor nos resultados finais.

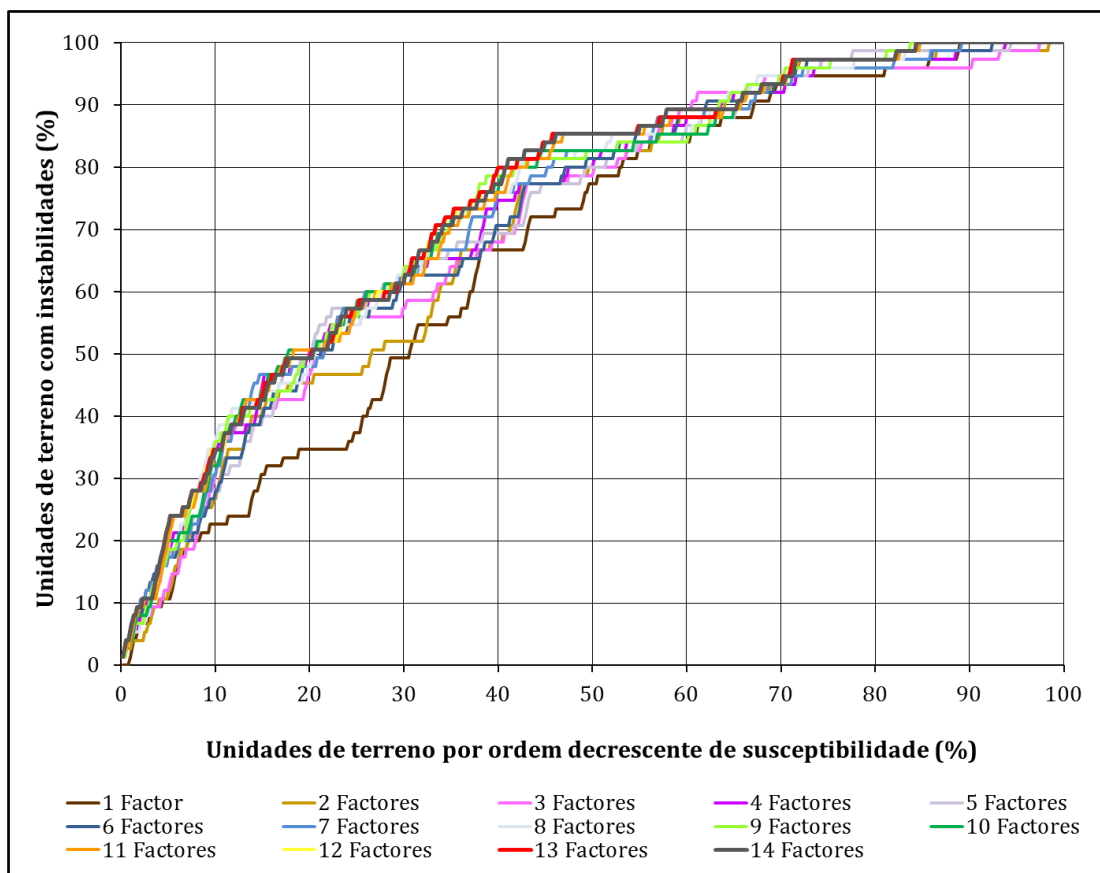


Figura 5.18 – Curvas de sucesso, introduzindo sucessivamente factores hierarquicamente menos importantes, segundo os resultados obtidos AAC para cada factor.

Tabela 5.8 – AAC de modelos de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente em arribas, introduzindo sucessivamente factores hierarquicamente menos importantes, segundo os resultados obtidos AAC para cada factor.

Factores do modelo	AAC
1 Factores (L)	0,6713
2 Factores (L+F)	0,7058
3 Factores (L+F+HMáx)	0,7129
4 Factores (L+F+HMáx+DMáx)	0,7282
5 Factores (L+F+HMáx+DMáx+PS)	0,7236
6 Factores (L+F+HMáx+DMáx+PS+C)	0,7206
7 Factores (L+F+HMáx+DMáx+PS+C+DMéd)	0,7321
8 Factores (L+F+HMáx+DMáx+PS+C+DMéd+CPerfil)	0,7382
9 Factores (L+F+HMáx+DMáx+PS+C+DMéd+CPerfil+CPlanta)	0,7381
10 Factores (L+F+HMáx+DMáx+PS+C+DMéd+CPerfil+CPlanta+Exp)	0,7388
11 Factores (L+F+HMáx+DMáx+PS+C+DMéd+CPerfil+CPlanta+Exp+E)	0,7409
12 Factores (L+F+HMáx+DMáx+PS+C+DMéd+CPerfil+CPlanta+Exp+E+CA)	0,7459
13 Factores (L+F+HMáx+DMáx+PS+C+DMéd+CPerfil+CPlanta+Exp+E+CA+Fi)	0,7463
14 Factores (L+F+HMáx+DMáx+PS+C+DMéd+CPerfil+CPlanta+Exp+E+CA+Fi+S)	0,7456

Os resultados da *tabela 5.8* mostram que a capacidade preditiva dos modelos melhora com a introdução de um novo factor, até 4 factores, sofrendo redução por inclusão dos factores protecção de sopé e comando, voltando a subir para a inclusão sucessiva dos restantes factores, com excepção do último nesta sequência de factores, a presença de sapas. A combinação de 13 factores é a que apresenta a AAC mais elevada (0,7463). Pelo contrário, a introdução do factor 14 (sapas), conduziu a uma ligeira perda de capacidade de predição do modelo, como se atesta pela AAC correspondente (0,7456).

Segundo Guzzetti (2005), os modelos são somente considerados aceitáveis ou bons com uma AAC igual ou superior a 0,75, que no presente caso é a partir da combinação de 12 variáveis.

Analogamente, à metodologia antecedente foram desenvolvidos modelos de susceptibilidade, com base na hierarquia da média dos valores informativos absolutos (SC_{abs}) recorrendo aos resultados apresentados na *tabela 5.6*, e no qual se obteve a *figura 5.19* e *tabela 5.9*.

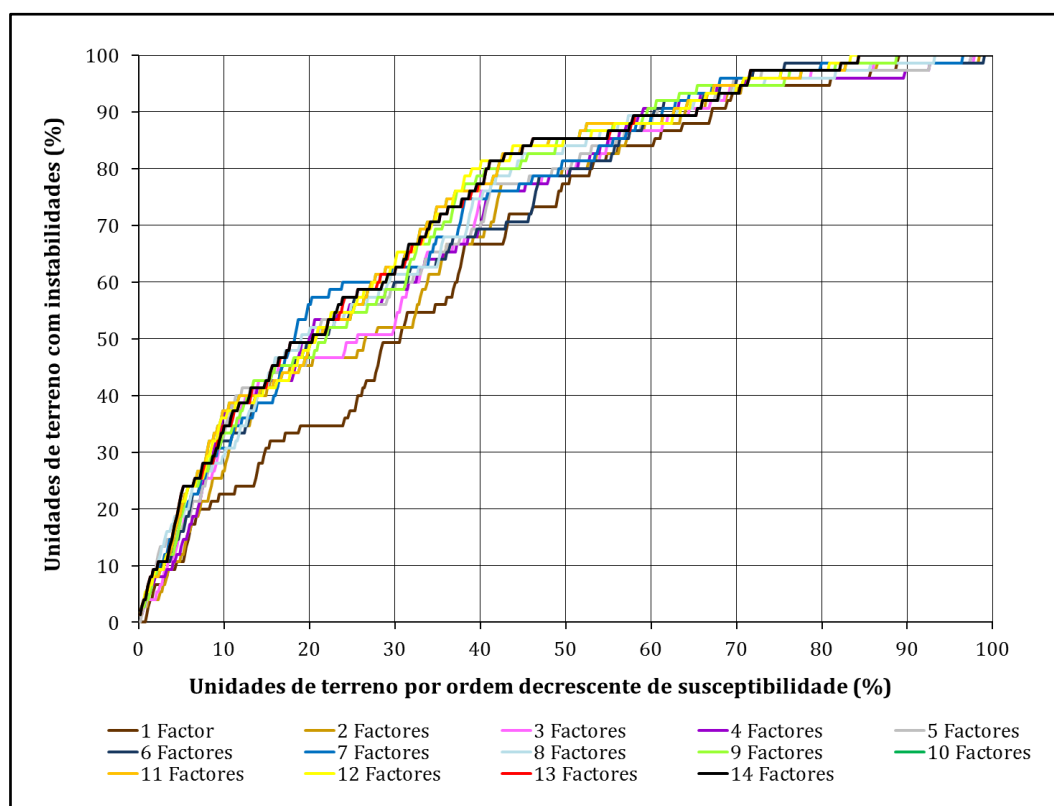


Figura 5.19 – Curvas de sucesso, introduzindo sucessivamente factores hierarquicamente menos importantes, segundo os resultados obtidos SC_{abs} para cada factor.

Tabela 5.9 – AAC de modelos de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente em arribas, introduzindo sucessivamente factores hierarquicamente menos importantes, segundo os resultados obtidos SC_{abs} para cada factor.

Factores do modelo	AAC
1 Factor (L)	0,6713
2 Factores (L+F)	0,7058
3 Factores (L+F+CA)	0,7143
4 Factores (L+F+CA+HMáx)	0,7210
5 Factores (L+F+CA+HMáx+E)	0,7255
6 Factores (L+F+CA+HMáx+E+PS)	0,7209
7 Factores (L+F+CA+HMáx+E+PS+DMéd)	0,7346
8 Factores (L+F+CA+HMáx+E+PS+DMéd+C)	0,7322
9 Factores (L+F+CA+HMáx+E+PS+DMéd+C+CPerfil)	0,7392
10 Factores (L+F+CA+HMáx+E+PS+DMéd+C+CPerfil+DMáx)	0,7450
11 Factores (L+F+CA+HMáx+E+PS+DMéd+C+CPerfil+DMáx+CPlanta)	0,7452
12 Factores (L+F+CA+HMáx+E+PS+DMéd+C+CPerfil+DMáx+CPlanta+S)	0,7450
13 Factores (L+F+CA+HMáx+E+PS+DMéd+C+CPerfil+DMáx+CPlanta+S+Exp)	0,7451
14 Factores (L+F+CA+HMáx+E+PS+DMéd+C+CPerfil+DMáx+CPlanta+S+Exp+Fi)	0,7456

Segundo os resultados da *tabela 5.9*, a capacidade preditiva dos modelos melhora até à introdução do quinto factor. Porém na introdução do sexto factor, - protecção de sopé, - observa-se uma perda da capacidade de predição do modelo, o mesmo se sucedendo na introdução do oitavo factor,- comando,- e no décimo terceiro, - sapas.

Tal como é possível verificar na *figura 5.20*, sucedem-se inversões de aumento da AAC com a inclusão de novos factores, o que sugere que em ambos os casos, - quer na análise individual das AACs correspondentes (*tabela 5.8*), quer na análise com base na hierarquia da média dos Valores Informativos absolutos (*tabela 5.9*), - estas não serão as formas mais eficientes de hierarquizar a sua importância relativa como factores de predisposição para a ocorrência das instabilidades.

É transversalmente verificado que, para ambas análises, ocorre uma perda da capacidade de predição do modelo na introdução dos seguintes factores: protecção de sopé, comando e sapas.

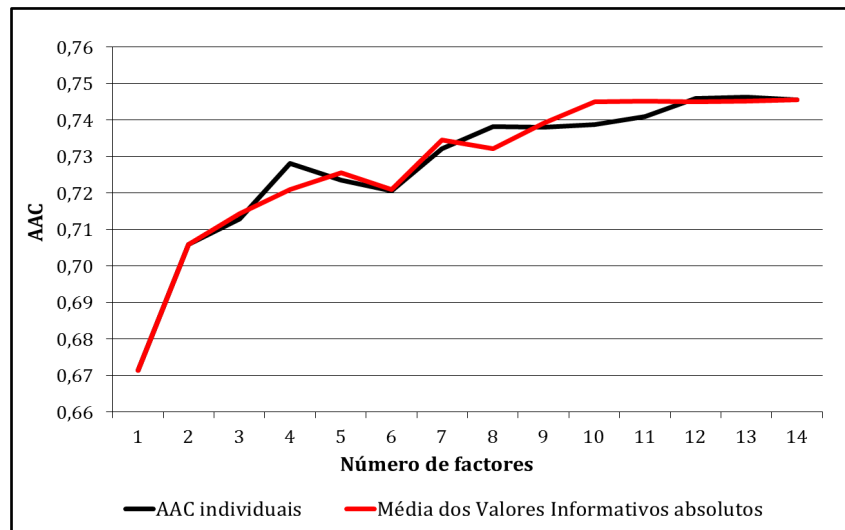


Figura 5.20 – Gráfico com a representação dos valores de AAC, utilizando a análise da AAC individuais (tabela 5.8) e a análise da média dos Valores Informativos absolutos (tabela 5.9).

5.3 Mapa final de susceptibilidade

A curva de sucesso do modelo de susceptibilidade, apresentada na *figura 5.21*, pra além de ter sido utilizada para validar a qualidade do modelo, é utilizada para estabelecer as classes de susceptibilidade à ocorrência de instabilidade de arribas no concelho de Mafra.

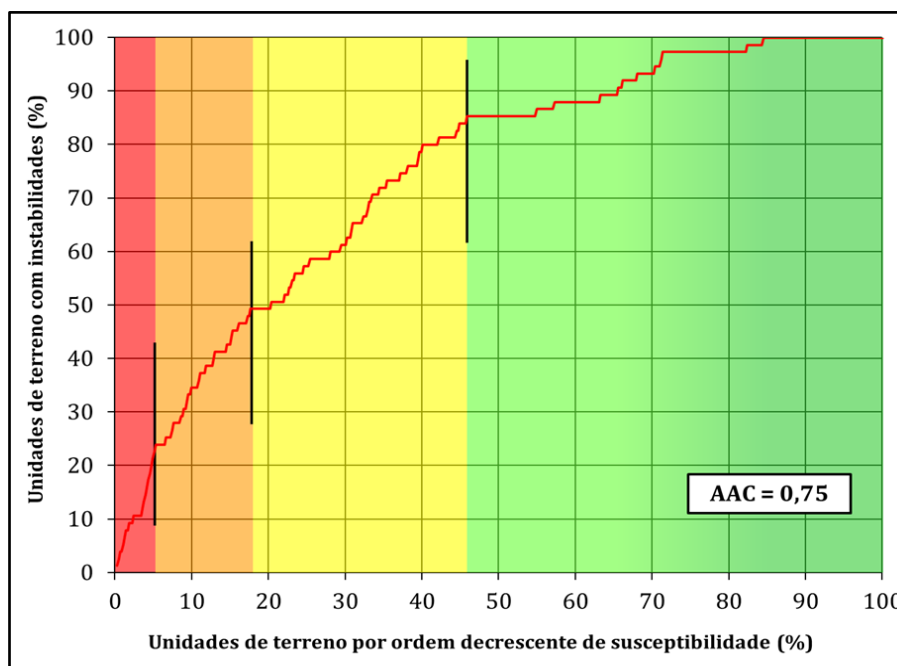


Figura 5.21 – Curva de sucesso correspondente ao modelo de susceptibilidade à ocorrência de instabilidades em arribas e respectivas AAC, utilizando 13 factores.

O modelo seleccionado foi o que obteve melhor AAC (0,7463), ou seja, o que integra 13 variáveis (litologia, falhas, altura máxima, declive máximo, protecção de sopé, comando, declive médio, curvatura em perfil, curvatura em planta, exposição, estrutura, circulação de água e filões). É de notar que a construção do modelo foi realizada pelo somatório dos valores individuais do Valor Informativo, não tendo sido considerada a possibilidade de ocorrência de correlações elevadas entre factores diferentes, ou seja, não foi garantida a estrita independência dos factores e variáveis utilizados no decurso do presente trabalho.

O mapa de susceptibilidade à ocorrência de instabilidade em arribas adquirida no decurso desta dissertação está exposto nas figuras 5.22, 5.23 e 5.24, que correspondem respectivamente, - ao Norte, ao Centro e ao Sul, - do litoral do concelho de Mafra.

As classes de susceptibilidade resultaram da observação atenta da curva de sucesso (*figura 5.21*), procurando identificar as quebras naturais desta curva, a qual foi dividida em quatro classes (*tabela 5.10*).

Tabela 5.10 - Classificação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades em arribas no concelho de Mafra.

Classe de susceptibilidade	Score do Valor Informativo	Unidades de terreno abrangidas	Unidades de terreno instabilizadas validadas pelo modelo
Muito Elevada	[3,8984 – 2,0437[	5,2%	24,0%
Elevada	[2,0437 – 0,9933[	12,9%	25,3%
Moderada	[0,9933 – -0,4241[	27,5%	34,7%
Baixa	[-0,4241 – -5,6374]	54,4%	16,0%

Analisando os mapas, as classes de maior susceptibilidade observam-se maioritariamente na *figura 5.23*, ou seja, no sector costeiro a Sul da Praia dos Coxos até a Norte da Praia de Ribeira de Ilhas e, no sector Sul da Praia da Orelheira até a Praia de São Sebastião.

A classe de baixa susceptibilidade, que se refere a áreas de reduzida propensão para a ocorrência de movimentos de vertente, ocupa mais que 50% da área de estudo e ocorre substancialmente em toda a zona a Sul da Ericeira e a Norte da Matinha.

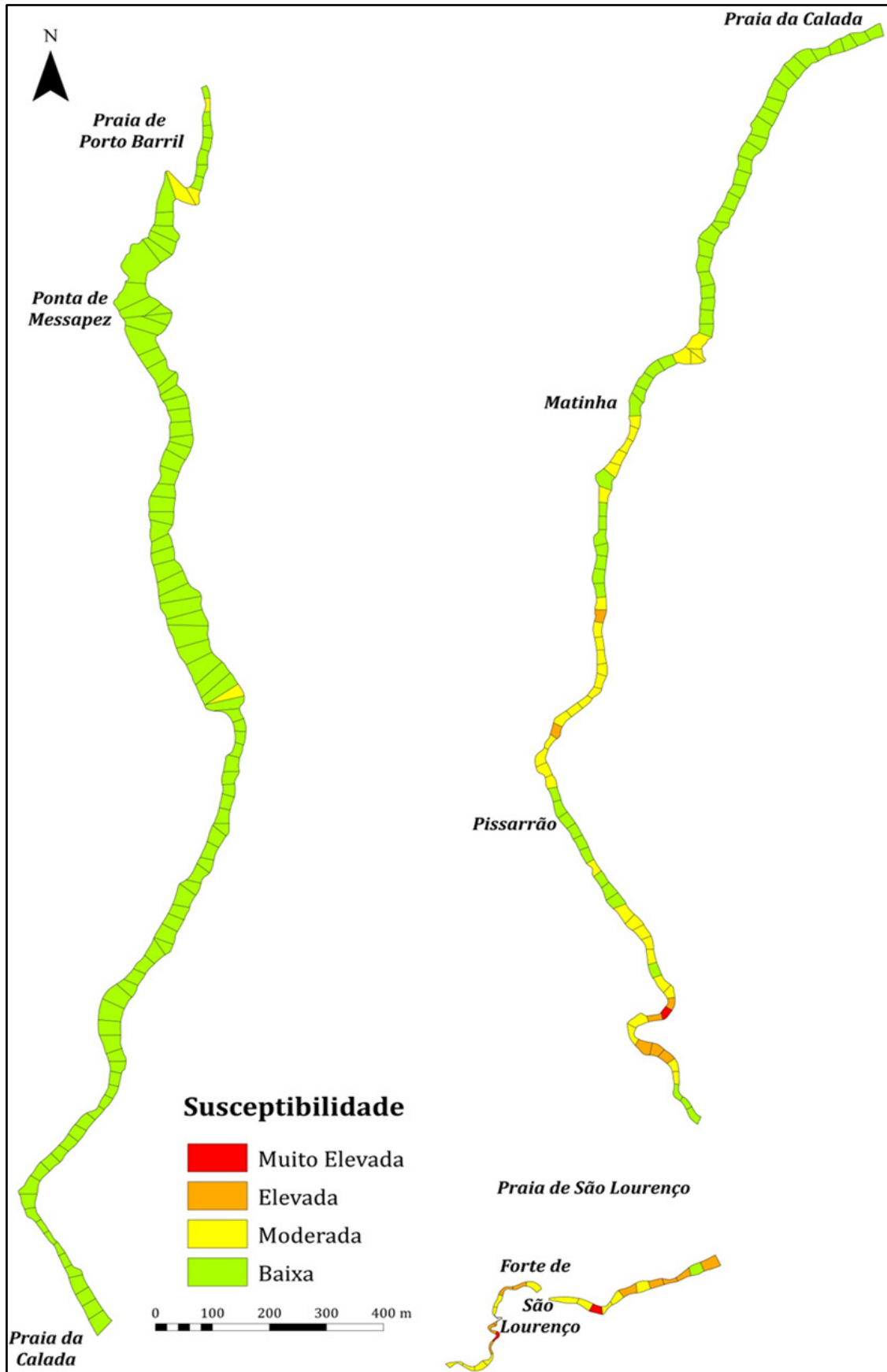


Figura 5.22 – Mapa de susceptibilidade á ocorrência de instabilidade em arribas no sector Norte, do concelho de Mafra.

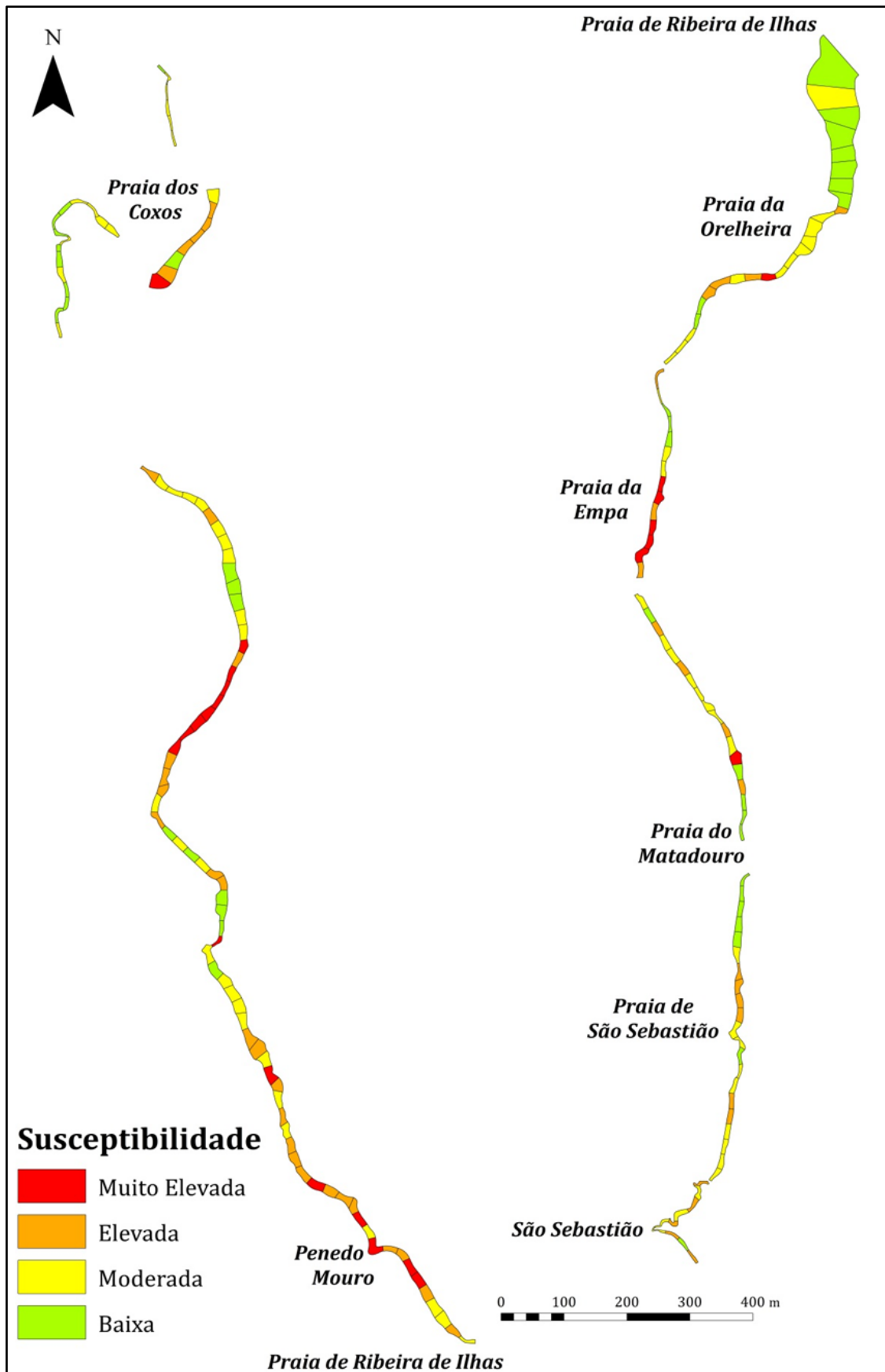


Figura 5.23 – Mapa de susceptibilidade á ocorrência de instabilidade em arribas no sector Centro, do concelho de Mafra.

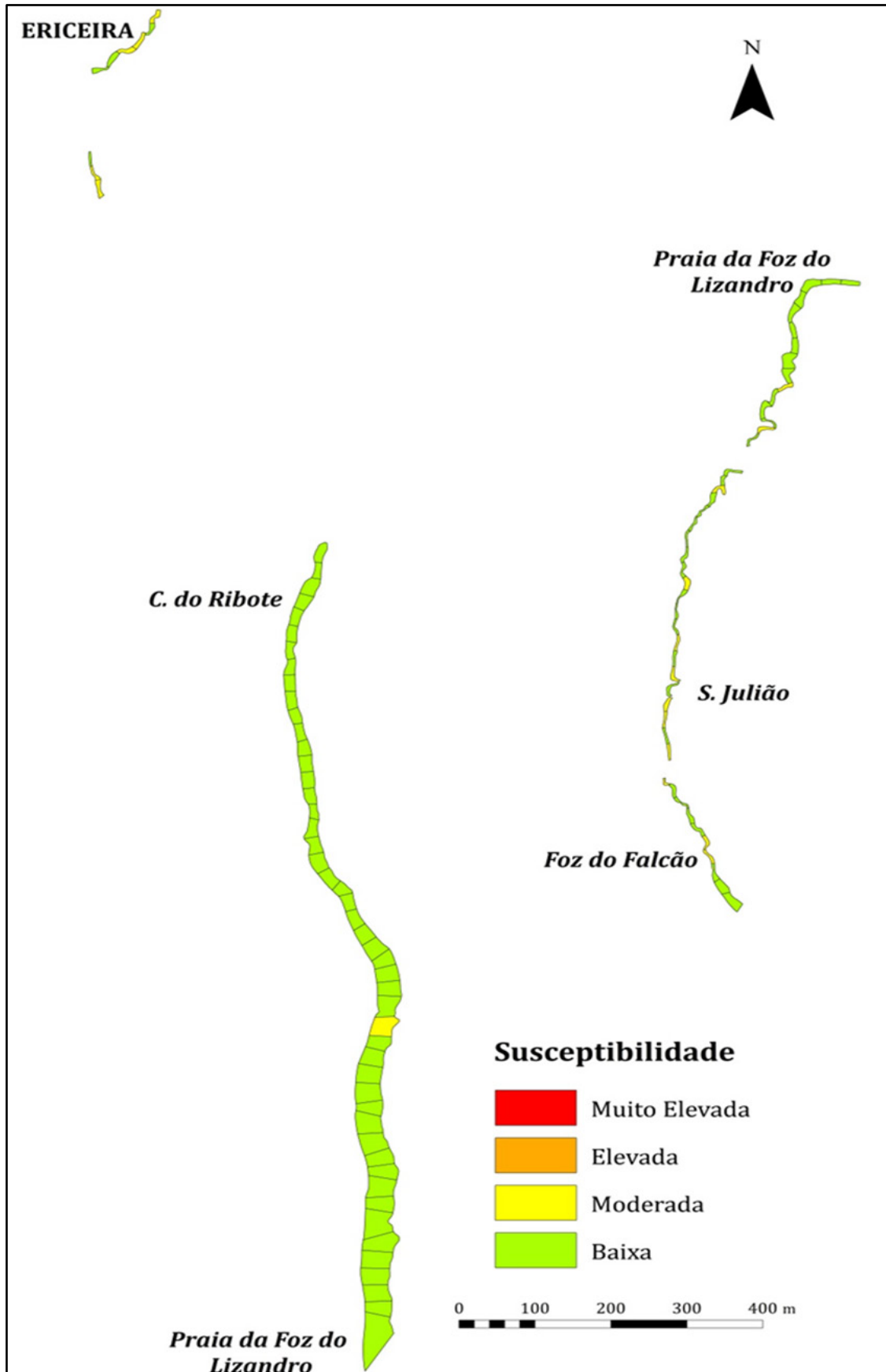


Figura 5.24 – Mapa de susceptibilidade á ocorrência de instabilidade em arribas no sector Sul, do concelho de Mafra.

CAPÍTULO VI.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHO FUTURO

A realização do trabalho demonstra que a utilização do método estatístico bivariado do Valor Informativo, na caracterização da susceptibilidade à ocorrência de instabilidade em arribas à escala regional, apresenta resultados fiáveis e eficientes.

A preparação da informação de base compreendeu a elaboração de um inventário multi-temporal de ocorrência de movimentos em arribas costeiras no concelho de Mafra, a identificação e a preparação dos factores de predisposição e a definição da área de estudo em unidades de terreno. Deste processo resultaram 518 unidades de terreno e a construção de uma base de dados cartográfica que inclui 14 factores de predisposição à instabilidade geomorfológica e 69 movimentos de vertente, a que corresponde a uma área total instável, de cerca de 1870 m² (14,5% de unidades de terreno). Além, dos factores morfométricos, que incluíram a altura máxima, o declive médio e máximo, a exposição, o comando e a curvatura de perfil e de planta, obtidos pelo MDT, foram seleccionados factores geológicos como, a litologia, a estrutura e a cartografia de falhas e de filões, e ainda a caracterização do tipo de protecção de sopé de arriba, a presença de sapas e de circulação de água na fachada das arribas.

A aplicação do método estatístico facultou o conhecimento dos factores mais relevantes na propensão para a ocorrência de movimentos de vertente, através do cálculo da média dos valores absolutos dos *scores* correspondente às classes de cada factor (SC_{abs}). Os factores mais importantes para a caracterização de susceptibilidade foram a litologia e a presença de falhas, ambos factores geológicos, seguindo-se a circulação de água e altura máxima. A presença de filões e sapas, bem como a exposição constituíram factores de influência reduzida.

A validação do modelo através das curvas de sucesso permitiu concluir que se insere no grupo dos modelos aceitáveis ou bons (classificação segundo Guzzetti,

2005), com uma AAC de 75% apresentando o modelo maior AAC quando o cálculo é realizado em termos da razão verdadeiros positivos/ falsos positivos, com 79%.

Adicionalmente foi realizada a análise sensitiva dos factores envolvidos no cálculo do Valor Informativo. Nesta fase foram calculados a AAC introduzindo sucessivamente factores hierarquicamente menos importantes, em que no primeiro caso foi de acordo com os resultados obtidos AAC para cada factor e no segundo caso consoante os resultados obtidos SC_{abs} de cada factor.

A aplicação da análise sensitiva ao modelo desenvolvido nesta dissertação, em ambos dos casos, permitiu a confirmação dos resultados obtidos pelo SC_{abs} , ou seja, que os dois primeiros factores mais importantes na caracterização da susceptibilidade, da área em estudo, foram a litologia e a presença de falhas. E ainda que a introdução dos factores protecção de sopé, comando e sapa conduziu a uma perda de capacidade de predição do modelo.

Simultaneamente pode-se concluir que a análise sensitiva ao modelo recorrendo a AAC de cada factor foi o que apresentou AAC mais elevada (0,7463) com a combinação de 13 factores.

O mapa de susceptibilidade à ocorrência de instabilidades em arribas no concelho de Mafra, resultou da conjugação de 13 factores e foi reclassificado em quatro classes, - *Baixa, Moderada, Elevada e Muito Elevada*, - tendo em conta a quebra natural dos valores de validação.

Concluído este trabalho pode-se afirmar que a metodologia testada, embora tenha um carácter académico, revela ser robusta na produção de documentos cartográficos rigorosos e de leitura simplificada. Face às problemáticas de instabilidade de arribas, provocada em parte pela elevada pressão da ocupação humana que o litoral do concelho de Mafra tem sentido nos últimos anos, a metodologia testada nesta dissertação consiste numa tentativa de produzir cartografia de susceptibilidade que contribua na melhoria das práticas de planeamento e ordenamento da orla costeira.

Por último, no que diz respeito a trabalhos futuros para melhorar o conhecimento da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades nas arribas rochosas costeiras, importa referir algumas perspectivas de estudo. Desde logo, o melhoramento dos factores de predisposição e a inclusão de novos, como a *potência das ondas*, uma vez que a erosão produzida pelas ondas é, na maioria dos

casos, o processo influente na erosão do sopé das arribas. E ainda, a melhoria da caracterização geotécnica dos maciços rochosos compatível à escala regional.

Por outro lado, a continuação da construção e a actualização do inventário de movimentos de vertente, bem como a aplicação de outros métodos de base estatística, quer de análise bivariada quer multivariada, que permita a comparação dos modelos de susceptibilidade finais através das respectivas curvas de sucesso e da AAC.

Por fim, como trabalho de maior ambição, compreende a análise e a avaliação da perigosidade da ocorrência dos movimentos de vertente no sector costeiro. Todavia, como Guzzetti (2005) refere o estudo da perigosidade é claramente mais complexo e moroso de realizar do que o da susceptibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andriani, G. F. e Walsh, N. (2007) – Rocky coast geomorphology and erosional processes: A case study along the Murgia coastline South Bari, Apulia - SE Italy. *Geomorphology*, **87**: 224-238.
- Bird, E. (2008) – *Coastal Geomorphology: An Introduction, Second Edition*. John Wiley & Sons, Chichester, England, 411 pp.
- Carrara, A. (1993) – *Uncertainty in evaluating landslide hazard and risk*. Em: Nemeč, J., Nigg, J. M. e Siccardi, F. (Eds.) – *Predictions and Perception of Natural Hazards*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 101-109.
- Carrara, A., Sorriso-Valvo, M. e Reali, C. (1982) – Analysis of landslide form and incidence by statistical technique, Southern Italy. *Catena*, **9**: 35-62.
- Carta Administrativa Oficial de Portugal (2011), na escala de 1:25.000. *Instituto Geográfico Português*, Lisboa. Consultado em 12 de Novembro de 2011, em <http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/caop/versao2011.htm>.
- Carta de isossistas de intensidades máximas (1997). *Instituto de Meteorologia*, Lisboa.
- Choffat, P. (1901) – Notice préliminaire sur la limite entre le Jurassique et le Crétacique en Portugal. *Bull. Soc. Belge Géol. Paléont. Hydrol.*, **XV**: 111-140.
- Cruden, D. M. e Varnes, D. J. (1996) – *Landslide Types and Processes*. Em: Turner, A. K. e Schuster, R. L. (Eds.) – *Landslides - Investigation and Mitigation*. Special Report 247, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington D.C., pp. 36-75.
- Daveau, S. e colaboradores (1985) – *Mapas climáticos de Portugal. Nevoeiro e nebulosidade. Contrastes térmicos*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, nº 7, Lisboa, 84 pp. + 2 mapas em anexo.
- Decreto-Lei n.º96/2010 de 30 de Junho. Diário da República, 1.ª série – N.º 147. *Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território*, Lisboa, pp. 2954-2955.
- Emery, K. e Kuhn, G. (1982) – Sea cliffs: their processes, profiles and classification. *Geological Society of America Bulletin*, **93**: 644-654.
- Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira (ENGIZC) – Resolução do Conselho de Ministros n.º 82/2009 de 8 de Setembro. Diário da República, 1.ª série – N.º174, *Presidência do Conselho de Ministros*, Lisboa, pp. 6056-6088.

Ferreira, Q. M. (2010) – O estudo dos taludes e da sua estabilidade. In: Neiva, J. M. C., Ribeiro, A., Victor, M., Noronha, F. e Ramalho, M, *Ciências Geológicas - Ensino e Investigação e sua História* – Geologia aplicada, Volume II, Capítulo III: pp. 305- 315.

Garcia, R. A.C (2002) – *Avaliação do risco de movimentos de vertente na Depressão da Abadia (Torres Vedras)*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ambiente, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 140 pp. + anexo cartográfico.

Glade, T. e Crozier M. J. (2005) – *The nature of landslide hazard and impact*. In: Glade, T., Anderson, M. e Crozier M. J. – *Landslide hazard and risk*. John Wiley & Sons Ltd., London, pp. 43- 74.

Gusmão, M. F. F. C. C. (2010) – *Evolução actual do litoral foz do Lizandro – Malhadinha*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território do Departamento de Geografia da Universidade de Lisboa, 128 pp.

Guzzetti, F. (2005) – *Landslide Hazard and Risk Assessment*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Matemática e Ciências Naturais da Universidade de Bona, 373 pp.

Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. e Carrara, A. (2000) – Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management*, **25**: 247-263.

Hansen, A. (1984) – *Landslide hazard analysis*. Em: Brunnsden, D. e Prior, D. B. (Eds.) – *Slope Instability*. Wiley, New York, pp. 523–602.

Highland, L.M. e Bobrowsky, P. (2008) – *The landslide handbook - A guide to understanding landslides*. U.S. Geological Survey Circular 1325, Reston, Virginia, 129 pp.

Hutchinson J. N. (1968) – *Mass Movement*. Em: Fairbridge, R. W. (Ed) – *Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold, New York, pp. 688 -695.

Hutchinson J. N. (1988) - *General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology*. Em: Bonnard, C. (Ed) – *Landslides. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne, 1, Balkema Rotterdam, pp. 3-35.

Instituto Nacional de Estatística – Resultados Provisórios dos Censos 2011, Lisboa. Consultado em 26 de Abril de 2012, em http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos2011_apresentacao.

Kullberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A. A., Rey J., Terrinha, P., Callapez P. e Martins, L. (2006) – *A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica* Em: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. e Kullberg, J.C. – *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Universidade de Évora, pp. 317-368.

Mafra (Portugal) – Em Wikipedia, a enciclopédia livre. Consultado em 26 de Abril de 2012, em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Mafra_\(Portugal\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Mafra_(Portugal)).

Lyell, C. (1833) – *Principles of Geology: being An Attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation*, Volume III. John Murray, London, 109 pp.

Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F. e Reichenbach P. (2004) – Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, **29**: 687-711.

Marques, F. M. S. F (2007) – Instabilidades de arribas em três locais da costa ocidental de Portugal: distribuições no espaço, no tempo e de magnitude-frequência. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, **Volume V**: 147 -161.

Marques, F. M. S. F (1997) – *As arribas do litoral do Algarve. Dinâmica, Processos e Mecanismos*. Tese de Doutoramento em Geologia, na especialidade de Geotecnia, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 556 pp.

Marques, F. M. S. F., Matildes, R. e Redweik, P. (2011) – Statistically based sea cliff instability hazard assessment of Burgau-Lagos coastal section (Algarve, Portugal). *Journal of Coastal Research*, SI **64**: 927-931.

Marques, F. M. S. F. e Andrade, C. F. (2009) – *Parecer sobre risco associado às arribas do Algarve*, Administração da Região Hidrográfica do Algarve, I.P. Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, 25 pp.

Moreira, V. J. S. (1991) – *Sismicidade Histórica de Portugal Continental*. Separata da Revista do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa, 79 pp.

Neves, M. R. N. (2004) – *Evolução actual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia*. Tese de Doutoramento em Geografia Física, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 554 pp.

Neves, M. R. N. (1995) – *Dinâmica actual e recente dos litorais rochosos. Exemplos do SW português*, Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ambiente, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 127 pp. + anexos.

Oliveira, S. M. C. (2005) – *Evolução recente da linha de costa no troço costeiro Forte Novo . Garrão (Algarve)*. Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 115 pp.

Plano Director Municipal de Mafra, Processo de Revisão (2009) – *Estudos de Caracterização do Território Municipal*. Caracterização Física, Versão 2. Consultado em 3/06/2012, em <http://www.cm-mafra.pt/planeamento/pdf/pdm/CapII.pdf>.

Piedade, A. (2009) – *Modelação espacial em Sistemas de Informação Geográfica da susceptibilidade a deslizamentos na área de Lousa-Loures*. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, 127 pp. + anexos.

Pires, H. Oliveira (1989) – *Alguns aspectos do clima de agitação marítima de interesse para a navegação na costa de Portugal*. O Clima de Portugal, Fasc. XXXVII, vol. 2, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa, 34 pp.

Popescu, M. (1994) – A suggested method for reporting landslide causes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, **50**: 71-74.

Relatório do Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território (PNPOT) – Anexo à Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro. *Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional*, Lisboa, 149 pp. Consultado em 24/04/ 2012, em: http://www.territorioportugal.pt/pnpot/Storage/pdfs/PNPOT_RELATORIO.pdf.

Rey, J. (2006) – Stratigraphie Séquentielle et Séquences de Dépôt dans le Crétacé Inférieur du Bassin Lusitanien. *Ciências de Terra*, **Volume Especial VI**: 120 pp.

Rey, J. (1993) – Les unités lithostratigraphiques du groupe de Torres Vedras (Estremadura, Portugal). *Comunicações Instituto Geológico e Mineiro*, **78 (2)**: 103-124.

Rey, J. (1992) – Les unités lithostratigraphiques du Crétacé inférieur de la région de Lisbonne. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, **79**: 75-85.

Rey, J., Dinis, J. L., Callapez, P. e Cunha, P. P. (2006) – *Da rotura continental á margem passiva. Composição e evolução do Cretácico de Portugal*. Cadernos de Geologia de Portugal, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Lisboa, 53 pp. + 10 estampas.

Rey, J., Graciansky, P. C. e Jacquin, Th. (2003) – Les séquences de dépôt dans le Crétacé inférieur du Bassin Lusitanien. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, **90**: 15-42.

RSAEPP (1983) – *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, Decreto-Lei n.º 235/83 de 31 de Maio*. Imprensa Nacional - Casa da Moeda, Lisboa 114 pp.

Romariz, C. (1962) – *Encraves calcários da chaminé vulcânica da Ribeira de Ilhas, Ericeira*. Em: *Notas Petrográficas sobre rochas sedimentares portuguesas*. Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências, **9 (1)**, pp. 87-92.

Soeters, A. S. e Van Westen, C. J. (1996) – *Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation*. Em Turner, A. K. e Schuster, R. L. (eds.) – *Landslides - Investigation and Mitigation*. Special Report 247, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington D.C., pp. 129-177.

Sunamura, T. (1992) – *Geomorphology of rocky coasts*. John Wiley & Sons, Chichester, England, 302 pp.

Taborda, R. e Dias, J. A. (1992) – Análise da sobrelevação do mar de origem meteorológica durante os temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1981. *Geonovas*, **Especial 1**: 89-97.

Trenhaile, A. S. (2002) – Rock coasts, with particular emphasis on shore platforms. *Geomorphology*, **48**: 7-22.

Van Asch, Th. W.J., Malet, J.-P., Van Beek, L. P. H. e Amitrano, D. (2007) – Techniques, advances, problems and issues in numerical modelling of landslide hazard. *Bulletin de la Société Géologique de France*, **178**: 65-88.

Varnes, D. J. (1958) – *Landslide types and processes*. Em: Eckel, E B – *Introduction to Landslides and Engineering Practice*, Highway Research Board, Special Report, 29. National Research Council, Washington, D.C., pp. 20-47.

Varnes, D. J. (1978) – *Slope Movement Types and Processes*. Em: Schuster, R. L. e Krizek, R. J. (Eds) – *Landslides – Analysis and Control*. Special Report 176, Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington D.C., pp. 11-33.

Varnes, D. J. (1984) – *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Volume 3, Natural Hazards. UNESCO, Paris, 63 pp.

Vasconcelos, M. A. D. F (2011) – *Cartografia de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente em contexto urbano: o concelho de Lisboa*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 212 pp.

WP/WLI (1993) – *Multilingual landslide glossary*. International Geotechnical Societies, Canadian Geotechnical Society, Richmond.

Yan, T. Z. (1988) – *Recent advances of quantitative prognoses of landslides in China*. Em: Bonnard, C. (Ed) – *Landslides. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne, 2, Balkema. Rotterdam, pp. 1263-1268.

Yin, K. L., Yan, T. Z. (1988) – Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. Em: Bonnard, C. (ed.) – *Landslides. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, 2, Balkema, Rotterdam, pp. 1269–1272.

Zêzere, J. L. (2005) – *Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos*. Relatório nº. 41, Centro de Estudos Geográficos, Área de Geografia Física e Ambiente, Lisboa, 128 pp.

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*, 2: 73-82.

Zêzere, J. L. (2000) – *A classificação dos Movimentos de Vertente: Tipologia, Actividade e Morfologia*. Apontamentos de Geografia, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, 33 pp.

Zêzere, J. L. (1997) – *Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. Tese de Doutoramento em Geografia Física, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 575 pp.

Zbyszewski, G., D'Almeida, F. M. e Assunção, C. T (1955) – Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50.000. Notícia Explicativa da Folha 30-C Torres Vedras. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 33 pp.

CARTAS GEOLÓGICAS CONSULTADAS

Folha Geológica 30-C Torres Vedras (1954). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50.000. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.

Folha Geológica 30-C Torres Vedras (2005). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50.000. Protocolo de Colaboração para o Desenvolvimento da Cartografia Geológica na AML. *Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*, Lisboa.

Folha Geológica 34-A Sintra (1991). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50.000. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa.

Folha Geológica 34-A Sintra (2005). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50.000. Protocolo de Colaboração para o Desenvolvimento da Cartografia Geológica na AML. *Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*, Lisboa.

Folha 374-Torres Vedras (2005). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:25.000. Protocolo de Colaboração para o Desenvolvimento da Cartografia Geológica na AML. *Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*, Lisboa.

Folha 388-Ericeira (2005). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:25.000. Protocolo de Colaboração para o Desenvolvimento da Cartografia Geológica na AML. *Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*, Lisboa.

Folha 402-Mafra (2005). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:25.000. Protocolo de Colaboração para o Desenvolvimento da Cartografia Geológica na AML. *Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*, Lisboa.

ANEXOS

Anexo A.1

Tabela A.1 – Scores de cada uma das variáveis dos factores de predisposição.

Factores de predisposição	Classes	Valor Informativo
Falhas	1 (Presente)	0,9392
Litologia	Calcários e calcários margosos	0,8910
Estrutura geológica	Inferior ao declive	0,8716
Altura máxima (m)	[20 - 25 [	0,5602
Litologia	Calcários e pelitos	0,5462
Protecção de sopé	Praia de areia	0,4592
Protecção de sopé	Sem protecção	0,4444
Declive médio (º)	[28 - 36 [	0,4284
Declive máximo (º)	[34 - 50 [	0,4064
Comando (m)	[19 - 30 [	0,3849
Litologia	Calcários, calcários margosos, calcários arenosos e margas	0,3722
Litologia	Pelitos e arenitos	0,3675
Exposição dominante	Norte	0,3570
Altura máxima (m)	[15 - 20 [	0,3230
Litologia	Calcários e arenitos	0,3230
Protecção de sopé	Plataforma	0,3106
Declive médio (º)	[36 - 43 [	0,3032
Curvatura em planta (média)	[3,0 - 15,2]	0,2585
Altura máxima (m)	[10 - 15 [	0,2360
Comando (m)	[12 - 19 [	0,2338
Curvatura em perfil (média)	[4,0 - 7,0[	0,2331
Curvatura em perfil (média)	[15,0 - 86,8]	0,2164
Sapa	1 (Presente)	0,2148
Exposição dominante	Noroeste	0,2097
Curvatura em perfil (média)	[6,0 - 15[	0,1942
Curvatura em planta (média)	[-32,3 - -3,0[	0,1618
Declive médio (º)	[64 - 74]	0,1407
Curvatura em planta (média)	[-3,0 - -1,0[	0,1407

Factores de predisposição	Classes	Valor Informativo
Curvatura em perfil (média)	[-3,0 - 0,0[	0,1407
Curvatura em planta (média)	[0,5 - 1,0[	0,0942
Declive máximo (º)	[60 - 70 [	0,0903
Declive médio (º)	[51 - 55 [	0,0867
Declive médio (º)	[55 - 60 [	0,0658
Comando (m)	[7 - 12 [	0,0354
Circulação de água	0 (Ausente)	0,0280
Curvatura em planta (média)	[1,0 - 3,0[	0,0229
Declive máximo (º)	[70 - 83 [	0,0080
Filões	0 (Ausente)	0,0049
Curvatura em planta (média)	[-1,0 - -0,5[	-0,0045
Sapa	0 (Ausente)	-0,0197
Exposição dominante	Sudoeste	-0,0416
Curvatura em planta (média)	[-0,5 - 0,0[	-0,0416
Estrutura geológica	Horizontal	-0,0599
Estrutura geológica	Maciça	-0,0599
Filões	1 (Presente)	-0,0824
Protecção de sopé	Plataforma e blocos	-0,1044
Exposição dominante	Nordeste	-0,1095
Exposição dominante	Sul	-0,1095
Exposição dominante	Oeste	-0,1095
Altura máxima (m)	[25 - 40 [	-0,1330
Altura máxima (m)	[40 - 60 [	-0,1470
Declive médio (º)	[60 - 64 [	-0,1470
Litologia	Arenitos	-0,1470
Protecção de sopé	Blocos	-0,1640
Altura máxima (m)	[60 - 75 [	-0,1744
Comando (m)	[45 - 65 [	-0,1957
Declive médio (º)	[47 - 51[	-0,2193
Comando (m)	[2 - 7 [	-0,2270
Curvatura em perfil (média)	[-12,7 - 3,0[	-0,2647

Factores de predisposição	Classes	Valor Informativo
Comando (m)	[30 - 45 [	-0,2770
Falhas	0 (Ausente)	-0,3408
Curvatura em perfil (média)	[0.0 - 2,0[	-0,3921
Litologia	Arenitos, margas e calcários	-0,4424
Altura máxima (m)	[3 - 10 [	-0,4471
Protecção de sopé	Praia de areia e blocos	-0,4654
Declive máximo (º)	[50 - 60 [	-0,5147
Curvatura em planta (média)	[0,0 - 0,5[	-0,5384
Litologia	Calcários	-0,6065
Curvatura em perfil (média)	[2.0 - 4,0[	-0,6214
Comando (m)	[65 - 85 [	-0,7531
Circulação de água	1 (Presente)	-1,1120
Declive médio (º)	[43 - 47[	-1,1586
Litologia	Arenitos, pelitos, calcários margosos e dolomitos	-1,3256
Altura máxima (m)	[75- 92 [	-1,3447
Litologia	Brecha vulcânica	-1,4174
Litologia	Calcários margosos, calcários arenosos e margas	-1,4174

