



Universidade de Coimbra
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

Análise de Suscetibilidade Geológica e Geotécnica de áreas do Concelho da Figueira da Foz

Dissertação apresentada à FCTUC – Departamento de Ciências da Terra, para obtenção do grau de Mestre em Geociências - Ramo de Ambiente e Ordenamento do Território

Hugo Ventura Correia

Mestre em Geociências - Ramo Ambiente e Ordenamento do Território

Setembro, 2012



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

Análise de Suscetibilidade Geológica e Geotécnica de áreas do Concelho da Figueira da Foz

Hugo Correia

**Mestrado em Geociências – Ramo de Ambiente e Ordenamento do
território**

Orientadores científicos

Prof. Doutor Pedro Santarém Andrade

Prof. Doutor Pedro Callapez Tonicher

Resumo

Neste trabalho pretende-se elaborar um estudo de suscetibilidade geológica e geotécnica de uma área do concelho da Figueira da Foz.

Procedeu-se ao estabelecimento de uma classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica para maciços rochosos de modo a que estes possam ser avaliados, esta classificação apresenta-se dividida em diversos parâmetros e respetivos subparâmetros e foi aplicada em 43 afloramentos localizados na área de estudo.

De modo a garantir um maior rigor na avaliação de determinados parâmetros e subparâmetros da classificação de suscetibilidade foram realizados ensaios de caracterização como o da determinação da dureza (R) utilizando o martelo de Schmidt e o ensaio de resistência à carga pontual (*Point Load Test*). No sentido de definir alguns parâmetros foram também construídas cartas/modelos digitais do terreno e foi ainda utilizada uma ficha de trabalho complementar para situações de instabilidade de modo a enriquecer a classificação proposta.

A partir da aplicação da classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica aos 43 afloramentos procedeu-se à criação de uma carta de suscetibilidade geológica e geotécnica, em que se definiram três áreas (baixa, média e elevada suscetibilidade) das cinco classes de suscetibilidade geológica e geotécnica estabelecidas.

Palavras chave: suscetibilidade geológica e geotécnica, zonas suscetíveis, Figueira da Foz, classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica.

Abstract

The purpose of this work is to carry out a study of the geologic and geotechnical susceptibility in an area of the Figueira da Foz county.

A geological and geotechnical susceptibility classification was established to evaluate rock masses. This classification, divided into several parameters and sub-parameters, was applied in 43 outcrops located in the studied area.

To ensure a greater rigor in evaluating certain parameters and sub-parameters, characterization tests were performed such as the determination of hardness (R) using the Schmidt hammer and the Point Load Test. In order to set some parameters, digital maps of the terrain surface were constructed and a supplementary worksheet for unstable situations was used in order to enrich the proposed classification.

Based on the application of the geological and geotechnical susceptibility classification in all 43 outcrops, a chart of geological and geotechnical susceptibility was created, which defined three areas (low, medium and high susceptibility) of the five defined classes of geological and geotechnical susceptibility.

Keywords: geological and geotechnical susceptibility, susceptible areas, Figueira da Foz, geological and geotechnical susceptibility classification.

Agradecimentos

A realização deste trabalho é o culminar de uma longa jornada académica cheia de peripécias e acontecimentos, sendo que chegando aos agradecimentos, queria sem dúvida evidenciar as pessoas que me acompanharam nesta caminhada, bem como as que trabalharam e colaboraram na realização deste trabalho. Sem todo o seu apoio, carinho e colaboração seria impossível a realização deste trabalho pelo que quero desde já expressar os meus mais profundos, sinceros e verdadeiros agradecimentos.

Ao Professor Doutor Pedro Santarém Andrade pelo apoio incansável, orientação, sugestões, propostas, disponibilidade, paciência, ajuda, amizade e contributo crítico deste trabalho. Um agradecimento muito especial por ter sido o orientador do trabalho e por ter ajudado na escolha do tema.

Ao Professor Doutor Pedro Callapez pelo apoio prestado, ajuda, orientação, sugestões, amizade e contributo crítico para este trabalho. Um agradecimento especial pelo papel de coorientador que desempenhou.

À Patrícia Toste por todo o amor, carinho, amizade, apoio, força, incentivo, paciência, compreensão e ajuda prestada.

Um agradecimento especial ao Mário Sequeira pela amizade, colaboração, disponibilidade e apoio prestado.

Um agradecimento ao Marco Aurélio Cunha pela amizade e pela ajuda prestada.

Aos meus amigos de sempre / família, Pedro Pinho, Gonçalo Amaro, David Vaz, Rui Pires, Sérgio Pinheiro, Renato Cambraia, Dany Abreu, José Álvarez, Pedro Dias, Marco Ramos, Cristel Martins, Nazaré Almeida, Carlos Teixeira, Suzana Loureiro, Marisa Santos, Tiago Ferreira, Fábio Marques, Bruno Teixeira, André Martins, Filipa Coelho, Miguel Toste. Não esquecendo claro todos os meus afilhados, afilhadas e restantes amigos, as minhas desculpas pois não posso colocar o nome de todos.

Agradecer desde já ao Departamento de Ciências da Terra – FCTUC e todos os seus docentes com quem tive a oportunidade e o gosto de trabalhar, em especial um agradecimento às funcionárias da biblioteca, Sr. Conceição Cruz e Dr. Cristina Bojo, pela sua ajuda constante na localização bibliográfica.

Aos meus Pais por tudo o que fizeram por mim e que certamente continuaram a fazer, se não fossem vocês não seria o que sou hoje. Um muito obrigado desde já e para sempre.

Índice

1 – Introdução	1
2- Conceitos de Suscetibilidade e Risco	3
2.1 Conceitos de Perigo, Suscetibilidade, Vulnerabilidade e Risco	3
2.2 Riscos geológicos	10
2.2.1 Movimentos de vertente e taludes	11
2.2.2 Colapsos e subsidência	20
2.2.3 Sismicidade	30
2.2.4 Cheias e inundações	33
2.2.5 Processos erosivos	34
2.3 Riscos geotécnicos	36
3 - Enquadramento geral da área em estudo	39
3.1 Enquadramento geográfico	39
3.2 Enquadramento geológico	42
3.2.1 Geomorfologia	45
3.2.2 Estratigrafia	52
3.2.2.1 Jurássico	53
3.2.2.2 Cretácico	58
3.2.2.3 Pliocénico	61
3.2.2.4 Quaternário	62
3.2.3 Enquadramento tectónico	63
4 – Metodologia	65
4.1. Classificação utilizada	65
4.2. Classificação de Suscetibilidade	66
4.2.1. Registo histórico e Indicadores de instabilidade	67
4.2.2. Litologia (resistência)	67
4.2.3. Estruturas geológicas	69
4.2.3.1 - Orientação das discontinuidades	69
4.2.3.2 - Número de famílias de fraturas	70
4.2.3.3 – Espaçamento da fracturação	71
4.2.3.4 – Cavidades	71
4.2.3.5 - Ação sísmica	72
4.2.4. Morfologia	77
4.2.4.1 – Declives	77
4.2.4.2 – Percolação e Nível Freático	78

4.2.4.3 – Erosão	78
4.2.4.4 – Tipo de Vegetação	79
4.2.5. Inundações	80
4.2.6. Tensões “ <i>in situ</i> ”	81
4.3. Ensaios de campo e ensaios laboratoriais	82
4.3.1 Martelo de Schmidt	82
4.3.2 Ensaio de resistência à carga pontual (“ <i>Point Load Test</i> ”)	84
4.4. Ficha de trabalho complementar (Situações de Instabilidade)	90
5 - Aplicação da Metodologia	94
5.1. Resultados da classificação utilizada	94
5.2. Resultados dos ensaios realizados	111
5.2.1 Martelo de Schmidt	111
5.2.2 Resistência à Carga Pontual (<i>Point Load Test</i>)	118
5.3. Caracterização das situações de instabilidade da área estudada	124
5.4. Distinção das zonas de igual suscetibilidade	134
5.5. Limitações Metodológicas	137
6 – Conclusões	138
7 – Referências Bibliográficas	140

Índice de Quadros

Quadro 2.1 – Classificação dos movimentos de vertente (adaptado de Varnes (1978), Cruden & Varnes (1996) e Hyndman, D. & Hyndman, D. (2006)).	12
Quadro 2.2 – Classificação da velocidade dos movimentos de vertente proposta por Cruden & Varnes (1996).	13
Quadro 4.1 - Classificação de Maciços Rochosos.	66
Quadro 4.2 - Classificação do estado de alteração de um maciço rochoso (adaptado de ISRM, 1981).	68
Quadro 4.3 - Classificação atribuída ao parâmetro de Identificação litológica.	68
Quadro 4.4 - Classificação atribuída ao Subparâmetro: número de famílias de fraturação.	70
Quadro 4.5 - Classificação do subparâmetro relativo ao espaçamento de fraturação..	71
Quadro 4.6 - Classificação atribuída ao subparâmetro relacionado com as cavidades existentes.	71
Quadro 4.7 - Classificação atribuída ao subparâmetro relativo à ação sísmica.	76
Quadro 4.8 - Classificação atribuída ao subparâmetro relativo aos declives.	77
Quadro 4.9 - Classificação atribuída ao subparâmetro da percolação e do nível freático.	78
Quadro 4.10 - Classificação atribuída ao subparâmetro referente à erosão.	79
Quadro 4.11 - Classificação atribuída ao subparâmetro relativa ao tipo de vegetação.	80
Quadro 4.12 - Classificação atribuída ao subparâmetro referente as inundações.	80
Quadro 4.13 - Classificação atribuída ao subparâmetro relativo às tensões “ <i>in situ</i> ” nos maciços rochosos.	81
Quadro 4.14 – Tipo de vegetação.	90
Quadro 4.15 – Tipos de instabilidade.	91
Quadro 4.16 – Velocidade dos movimentos de vertente/talude.	92
Quadro 4.17 - Estados da atividade da Instabilidade.	92
Quadro 4.18 - Consequências da Instabilidade.	93
Quadro 4.19 - Causas Externas da Instabilidade.	93
Quadro 4.20 - Causas Internas da Instabilidade.	93
Quadro 5.1 – Formações Geológicas, respetivos afloramentos e valores totais da classificação de suscetibilidade utilizada.	96
Quadro 5.2 – Classificação atribuída a cada um dos afloramentos, relativamente ao número de famílias de fraturas.	101

Quadro 5.3 – Classificação atribuída a cada um dos afloramentos, relativamente ao subparâmetro de ausência ou presença de cavidades.	103
Quadro 5.4 – Classificação ponderada para cada um dos afloramentos relativamente ao subparâmetro da erosão.	108
Quadro 5.5 – Classificação ponderada para o subparâmetro do Tipo de Vegetação.....	109
Quadro 5.6 – Classificação dos indícios de libertação de tensões nos afloramentos.....	110
Quadro 5.7 – Resultados da dureza (R), determinada através do Martelo de Schmidt para os afloramentos A1 a A14.	112
Quadro 5.8 – Resultados da dureza (R), determinada através do Martelo de Schmidt para os afloramentos A15 a A24.	113
Quadro 5.9 – Resultados da dureza (R), determinada através do Martelo de Schmidt para os afloramentos A25 a A43.	114
Quadro 5.10 – Correção dos valores de R, para uma inclinação horizontal a partir do ábaco de Deere e Miller (1966).	115
Quadro 5.11 – Valores $Is_{(50)M}$, $Is_{(50)DV}$ e coeficiente de variação dos ensaios de resistência à carga pontual.	119
Quadro 5.12 – Valores de R e $Is_{(50)M}$ utilizados na comparação entre ambos os ensaios realizados.	120
Quadro 5.13 – Resultados da determinação da compressão uniaxial a partir de R e a partir de $Is_{(50)M}$	122
Quadro 5.14 – Divisão das volumetrias consoante a sua classe e tipo.	130
Quadro 5.15 – Classificação do tipo de volumetria para cada afloramento.	130
Quadro 5.16 – Caracterização dos blocos instabilizados.	132
Quadro 5.17– Classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica.	134

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Diagrama de articulação dos conceitos fundamentais (adaptado de Julião, et. al., 2009).	6
Figura 2.2 – Definição dos vários tipos de riscos (Ayala-Carcedo, 1987; Gaspar, J. (coord.) (2004,2005), Rebelo,F. 2003; Simões, L. 1997; Hewitt, 1997; White et al. 2001; Cerri, 1993, 2001).	8
Figura 2.3 – Fluxograma para análise e gestão dos riscos (adaptado de Ayala-Carcedo, 2002).	9
Figura 2.4 – Classificação dos perigos geológicos segundo a sua origem (adaptado de Ayala-Carcedo, 1987).	11
Figura 2.5 – A) Representação de queda de blocos/desabamento (Infanti Jr. & Filho, 1998); B) Queda de blocos na baía do Mexilhoeiro, Cascais, (ADA Desnível, 2006).....	14
Figura 2.6 – A) Esquema de um Tombamento ou Basculamento (<i>Toopling</i>) (Infanti Jr. & Filho, 1998); B) Imagem de Tombamento ou Basculamento (<i>Toopling</i>), (Capes & Unesp IGCE, 1999).	15
Figura 2.7 – A) Esquema de um deslizamento rotacional (<i>slump</i>) (Tarbuck, & Lutgens, 1984); B) Imagem de um deslizamento rotacional (<i>slump</i>), Panoche Hill, California (E.U.A.), 2008 (About.com, Geology landslides).	16
Figura 2.8 – A) Esquema de um deslizamento de material rochoso (<i>rockslide</i>) (Geoscience Australia , 2009); B) Imagem de um deslizamento de material rochoso (<i>rockslide</i>), Porteau Cove, B.C. (U.S.A), 2008 (<i>Canadian Press</i>).	17
Figura 2.9 – A) Esquema de um deslizamento de detritos (<i>debris slide</i>) (Maquaire and Malet, 2006); B) Imagem de um deslizamento de detritos (<i>debris slide</i>), Glenoma, Washington (E.U.A.), 2009 (Gabe Taylor.net).	18
Figura 2.10 – A) Esquema de um deslizamento de lamas (<i>mudslide</i>) (Sam’s global science, 2010/ USGS, 2004); B) Imagem de um deslizamento de lamas (<i>mudslide</i>), Pe Ell, Washington (E.U.A.), 2007, (Washington State Department of Transportation). ...	19
Figura 2.11 – A) Esquema de uma expansão lateral (<i>lateral spreading</i>) (Highland & Browsky, 2008); B) Imagem de uma expansão lateral, Watsonville, (E.U.A.), 1989 (U.S. Geological Survey).	20
Figura 2.12 – A) Esquema de um fluxo lamacento (<i>sooil flow; earth flow</i>) (Middle Tennessee State University,1998); B) Imagem de um fluxo lamacento (<i>sooil flow; earth flow</i>), Osh province, Quirguistão, 2008, (Panoramio).	21

Figura 2.13 – A) Esquema de um fluxo de detritos (<i>debris flow</i>) (North Vancouver District, 2009); B) Imagem de um fluxo de detritos (<i>debris flow</i>), Grizzly Peak, Colorado (E.U.A), 2004 (Colorado Department of Transportation).	22
Figura 2.14 – A) Esquema de solifluxão (adaptado de Press & Siever (1997)); B) Imagens de solifluxão do solo, Lewis Hills, Canada (Geological Survey of Canada)...	23
Figura 2.15 – A) Esquema do movimento de reptação (<i>creep</i>) (BC online school, 2007); B) Imagem de uma vertente afectada por reptação (<i>creep</i>), Godshill, Isle of Wight (Inglaterra), 2009 (flickr from yahoo).	24
Figura 2.16 – A) Esquema de uma avalanche rochosa (adaptado de geology campus, 2009); B) Imagem de uma avalanche rochosa, Alberta, Canada, 1903 (Franck Interpretive Centre).	25
Fig. 2.17 – Sequência de eventos que provocam a formação de cavidades por dissolução (adaptado de USGS, 2007). A) A água da chuva e a água superficial infiltra-se nas fissuras e fraturas do calcário. Deste modo a rocha carbonatada dissolve-se e é transportada em profundidade afastando-se da superfície, e uma pequena depressão forma-se gradualmente. B) Em áreas de rochas carbonatadas que afloram à superfície, uma depressão pode concentrar a drenagem superficial, acelerando o processo de dissolução. Os detritos transportados para a depressão em desenvolvimento, podem originar zonas húmidas.	26
Figura 2.18 – Subsidiências e colapso de solos, exemplo da formação de uma dolina de subsidiência lenta e de uma dolina de colapso (N.F. = nível freático) (adaptado de Teixeira <i>et al.</i> (2001)).	27
Fig. 2.19 - Sequência de eventos que levaram a formação de colapsos de cavidades subterrâneas. (adaptado de USGS, 2007 e Hyndman & Hyndman, 2006).	28
Figura 2.20 - Sequência de eventos que levaram a formação de subsidiências (adaptado de USGS, 2007).	29
Figura 2.21 – Mapa de zonamento do potencial de liquefação de Portugal Continental, onde foi marcada a área em estudo (adaptado de Jorge (1994)).	32
Figura 2.22 - Problemas encontrados na construção de obras de engenharia (adaptado de Clayton (2001) <i>in</i> Henderson & Pickles (2007)).	38
Figura 2.23 - Origem dos problemas geotécnicos encontrados na construção de obras de engenharia ((adaptado de Clayton, 2001, <i>in</i> Henderson & Pickles (2007)).	38
Figura 3.1 – Enquadramento Geográfico do município da Figueira da Foz em Portugal Continental (adaptado de www.wikienergia.pt/www.iplb.pt/www.dholmes.com/master-list/coimbra/district-coimbra.html).	39

Figura 3.2 – Mapa interpretativo da região utilizando as cartas militares nº 238-A de Vais (Figueira da Foz), nº 228 de Quiaios (Figueira da Foz) e nº 239 da Figueira da Foz a escala de 1/25000 e onde estão presentes os afloramentos estudados e o respetivo limite da área em estudo.	41
Figura 3.3 – Mapa interpretativo da região onde estão presentes os afloramentos estudados e a geologia da área definida para estudo (adaptado de Rocha <i>et al.</i> , 1981).....	43
Figura 3.4 – Série-tipo do Jurássico inferior e médio no sector noroeste da Bacia Lusitânica, com presença das litofáceis mais significativas, dos principais marcadores biostratigráficos e sedimentares, das várias formações e a evolução paleoambiental, sendo de destacar as alternâncias de calcários e calcários margosos do Pliensbaquiano representados pelas formações de Vale das Fontes e de Lemedo (Duarte, 1997; Duarte & Soares, 2002).	44
Figura 3.5 - Cornija de calcário branco, representativa da base da sucessão local atribuída ao Jurássico Superior, Serra da Boa Viagem, Figueira da Foz.	47
Figura 3.6 – Distribuição das dolinas na Serra da Boa Viagem. Inventariação com especial ênfase na área compreendida entre a Vela e a estrada da Serra da Boa Viagem – Quiaios (adaptado de Almeida, 1997).	48
Figura 3.7 – Esboço Geomorfológico da Serra da Boa Viagem e área envolvente da Figueira da Foz (Ramos, 2008; Ramos, <i>et al.</i> , 2009).	50
Figura 3.8 – Carta com o Modelo digital de Terreno da área em estudo e com a localização dos afloramentos estudados.	51
Figura 3.9 – Esquema Tectono-Estratigráfico de Portugal (Ferreira, 2000).	52
Figura 3.10 – Sucessão sedimentar de litótipos composta por alternâncias de camadas de calcário com camadas de marga (Jurássico Médio), Cabo Mondego, Portugal, Janeiro de 2012 (Banco de Imagens da Casa das Ciências).	55
Figura 3.11 – Formação da Fig. da Foz composta por bancadas espessas de arenitos com presença de arenitos finos e lutitos no topo, sequência tipicamente fluvial onde foi aplicada a classificação de suscetibilidade.	58
Figura 3.12 - Quadro litostratigráfico dos membros da formação de Figueira da Foz. Apresentam-se os ciclos e a variação da granulometria bem como as idades propostas. 1-conglomerados; 2-arenitos e lutitos; 3-conglomerados e arenitos; 4-arenitos grosseiros; 5-arenitos lutíticos; 6-lutitos arenosos; 7-margas e lutitos; 8-calcários e dolomitos; 9-calcários. Os calcários presentes no topo sob o membro de Caldelas correspondem ao corpo carbonatado cenomano-turoniano (adaptado e modificado de Dinis, 1999).	59

Figura 3.13 – Formação Carbonatada - Calcários apinhoados margosos, com carsificação preenchida por depósitos argilosos com terra rosa. No centro podemos observar uma buraca.	60
Figura 3.14 – Localização da área em estudo na Carta Neotectónica de Portugal (adaptado de Cabral & Ribeiro, 1988).	63
Figura 4.1 - Representação das possíveis orientações das discontinuidades principais (Modelo adaptado de Ko Ko et al., 2004).	70
Figura 4.2 - Carta proposta pelo Instituto de Meteorologia (2005) relativa às intensidades históricas máximas registadas em Portugal continental (Instituto de Meteorologia, 2005).	73
Figura 4.3 - Carta de zonamento sísmico de Portugal Continental (RSA,1983).	74
Figura 4.4 – Ação sísmica Tipo 1 (sismo afastado) e ação sísmica Tipo 2 (sismo próximo). As zonas 2.1 e 2.2 identificadas na ação sísmica do Tipo 2 não possuem correspondência no território continental, sendo unicamente definidas no arquipélago dos Açores (ACSS, 2007).	75
Figura 4.5 – Martelo de Schmidt, para determinação da dureza de Schmidt (R) nos ensaios “ <i>in situ</i> ”.	83
Figura 4.6 - Equipamento de Point Load Test que permite determinar a resistência à carga pontual dos materiais rochosos.	85
Figura 4.7 - Ábaco para correção do tamanho dos provetes de rocha, para obtenção de um índice de resistência a carga pontual normalizado, para um diâmetro padrão de 50 mm (adaptado de Broch & Franklin (1972) <i>in</i> Stacey & Page, (1986)).	86
Figura 4.8 – Requisitos das dimensões dos provetes nos ensaios a resistência a carga pontual (adaptado de ISRM (1981) <i>in</i> Menezes (2004)).	88
Figura 4.9 – Fraturas válidas e inválidas nos ensaios de resistência à carga pontual (adaptado de Menezes (2004)).	89
Figura 5.1 – Carta de Declives da área em estudo e localização dos afloramentos estudados.	105
Figura 5.2 – Carta de Orientação de Vertentes da área em estudo e localização dos afloramentos estudados.	107
Figura 5.3 – Valores da dureza de Schmidt registadas nos afloramentos estudados.	117
Figura 5.4 – Valores de $Is_{(50)M}$ dos ensaios de resistência à carga pontual.	119
Figura 5.5 – Gráfico de relação entre os valores de R e de $Is_{(50)}$ (r corresponde ao coeficiente de correlação, enquanto o r^2 corresponde ao coeficiente de determinação).	120

Figura 5.6 – Ábaco de Deere & Miller (1966) para estimativa da resistência a compressão uniaxial a partir da dureza de Schmidt.	122
Figura 5.7 – Gráfico de relação entre a resistência a compressão uniaxial obtida a partir de R e a partir de $I_s_{(50)}M$	123
Figura 5.8 – Queda de blocos rochosos no afloramento A7.	125
Figura 5.9 – Queda de detritos/solos no afloramento A39.	126
Figura 5.10 – Instabilidade do tipo “ <i>Toppling</i> ”, afloramento A3 (Margas e Calcários do Bajociano).	126
Figura 5.11 – Rutura planar no afloramento A10.	127
Figura 5.12 – Rotura circular, afloramento A30 (Arenitos da Boa Viagem).	128
Figura 5.13 – Afloramento A37, trabalho de estabilização recorrendo a cobertura do afloramento com betão projetado que se prolonga ao longo de todo o talude na traseira do prédio.	128
Figura 5.14 – Gráfico volumétrico dos blocos rochosos instabilizados no afloramento A5.	131
Figura 5.15 – Gráfico de divisão das volumetrias em classes do afloramento A5.	131
Figura 5.16 – Carta de Suscetibilidade geológica e geotécnica da área em estudo....	136

Abreviaturas

A - Área da seção do provete;
ACSS - Administração Central do Sistema de Saúde;
ADA – Associação de Desportos de Aventura
ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil;
CMR – Classificação de Maciços Rochosos
CT 115 – Comissão Técnica Portuguesa de Normalização – Eurocódigos Estruturais;
D – Diâmetro;
D_e – Diâmetro equivalente;
E – Exposição ou elementos em risco;
F - fator de correção;
I_{a(50)} - índice de anisotropia;
IGCE – Instituto de Geociências e Ciências Exatas
I_s - índice de resistência a carga pontual;
I_{s(50)} - é o valor de I_s corrigido para um teste com D= 50mm;
I_{s(50)DV} – desvio padrão do valor de I_{s(50)};
I_{s(50)M} – média do valor de I_{s(50)};
ISRM – International Society for Rock Mechanics;
MDT – Modelo Digital de Terreno;
NESDE - Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas;
N.F. – Nível Freático;
NUTS – Nomenclatura Comum das Unidades Territoriais Estatísticas de Portugal;
ONU – Organização das Nações Unidas;
P - carga responsável pela rotura;
P_i – Perigosidade;
R – Dureza de Schmidt;
r – coeficiente de correlação;
r² - coeficiente de determinação;
RSA - Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes;
SIG – Sistema de Informação Geográfica;
UNDRO - Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator;
UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization;
USGS - United States Geological Survey
V_i - corresponde à Vulnerabilidade;
W – Espessura;
WP/WLI - Working Party on World Landslide Inventory;
σ_c – resistência a compressão uniaxial.

1 Introdução

Na presente dissertação do Mestrado em Geociências (área de especialização em Ambiente e Ordenamento do Território), é proposta a realização de uma análise de suscetibilidade geológica e geotécnica numa área do concelho da Figueira da Foz, que envolve o essencial dos espaços urbanizados da cidade e das povoações limítrofes de Buarcos, Chã-Tavarede e Vila Verde.

O objetivo do trabalho é a identificação de zonas suscetíveis de risco geológico e/ou geotécnico. Para tal foi criada uma classificação para maciços rochosos, que permite avaliar a sua suscetibilidade geológica e geotécnica. Esta classificação proposta encontra-se dividida e subdividida em diversos parâmetros e subparâmetros adaptados à especificidade da morfologia e geologia locais. De modo a que esta classificação fosse estabelecida foi necessário observar as diferentes características e particularidades dos afloramentos, sendo que, para auxílio e validação de alguns valores obtidos na sua aplicação se procedeu à realização de ensaios complementares tais como ensaios laboratoriais, ensaios de campo e elaboração de cartas através de modelos digitais de terreno. Foi ainda utilizada uma ficha complementar para situações de instabilidade, de maneira a enriquecer a classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica adotada.

Inicialmente, para que a classificação pudesse ser aplicada, foi necessário estabelecer uma área de estudo. Após uma adequada delimitação desse foi, então, realizado um estudo aprofundado sobre as formações rochosas existentes na região da Figueira da Foz. Para tal foi efetuado um enquadramento geográfico da área, bem como um enquadramento geológico. Com auxílio destes enquadramentos foi possível identificar as formações existentes na área para aplicação da classificação de maciços rochosos e ainda selecionar, identificar e ponderar a localização de alguns dos afloramentos presentes na área em estudo, nos quais a classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica proposta foi aplicada. Para a realização deste estudo foram selecionados 43 afloramentos, tendo em conta a sua localização, dimensão, tipo de exposição e proximidade a infraestruturas. Efetuaram-se ainda ensaios “*in situ*” como o da determinação da dureza (R) utilizando o martelo de Schmidt e ensaios laboratoriais, como o ensaio de resistência à carga pontual (*Point Load Test*) de forma a determinar as características mecânicas do material rochoso e a validar alguns resultados de determinados parâmetros presentes na classificação de maciços rochosos. Foi também preenchida a ficha complementar de situações de instabilidade para cada um dos afloramentos estudados e numa fase posterior foram elaboradas as

cartas/modelos digitais do terreno em que se definiram de modo mais preciso alguns dos parâmetros utilizados na classificação.

Com a finalização do trabalho proposto e após os valores totais obtidos na aplicação da classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica, procedeu-se à criação de uma carta de suscetibilidade geológica e geotécnica para a área estudada.

O trabalho desenvolvido pode vir a ser utilizado em outras regiões e/ou formações rochosas, permitindo identificar situações de suscetibilidade geológica e geotécnica de maneira a permitir eventuais medidas de alerta e proteção para a população e possibilitar um melhor ordenamento do território.

2 Conceitos de Suscetibilidade e Risco

2.1 Conceitos de Perigo, Suscetibilidade, Vulnerabilidade e Risco

Os conceitos de “Perigo”, “Suscetibilidade”, “Vulnerabilidade” e “Risco”, têm sido utilizados em estudos sobre eventos naturais, muitas vezes de consequências catastróficas. Em paralelo, estes conceitos têm sido mais aplicados nos últimos anos devido a um crescente interesse, designadamente por parte da comunicação social. Numerosas publicações recentes têm abordado a temática dos eventos naturais e o seu respetivo impacto sobre a atividade humana. Os termos perigo, suscetibilidade, vulnerabilidade e risco têm sido usados com vários significados, por diferentes autores.

Na tentativa de definir de modo explícito o significado dos termos mencionados, foi realizado um trabalho pelas Organizações das Nações Unidas, UNDRP (Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator) e UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). No seguimento deste trabalho propuseram-se as seguintes definições para Perigo, Vulnerabilidade e Risco (Varnes, 1984):

- Perigo Natural corresponde à probabilidade de ocorrência num determinado período de tempo e numa dada área de um fenómeno natural que pode ser prejudicial;
- Vulnerabilidade traduz o grau de perda de um dado elemento ou conjunto de elementos de risco que se podem verificar devido à ocorrência de um fenómeno de uma determinada grandeza. Deve ser expressa numa escala de 0 (ausência de danos) a 1 (perda total);
- O Risco específico é definido como o grau de perda previsto e que está relacionado com uma ação de perigo. Os elementos de risco podem ser a: população, habitações, as atividades económicas. Sendo que o risco total é considerado como o número previsto de vidas perdidas, pessoas feridas, prejuízos provocados às propriedades ou à atividade económica, devido a um determinado fenómeno, definindo-se como o produto entre o risco específico e os elementos de risco.

De acordo com a aceitação da ONU (2004), a vulnerabilidade pode ser considerada como um conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, económicos, e ambientais, os quais determinam o quanto a comunidade ou elementos em risco estão suscetíveis ao impacto dos eventos perigosos.

O conceito de “Risco Natural” corresponde à probabilidade de um território e a sua estrutura socioeconómica serem atingidos por um evento natural de proporções extraordinárias (Cantos & Ayala-Carcedo, 2002).

O risco R pode expressar-se em termos quantitativos, em valores de perda total ou anual, ou em valores qualitativos (baixo, aceitável, não aceitável). Na expressão 2.1 apresentam-se os vários componentes da análise do risco:

$$R = \sum P_i \times (E \times V_i) \quad (2.1)$$

em que:

P_i – Perigosidade – representa a probabilidade de um território ser afetado por um evento ou processo natural ou tecnológico, é função nomeadamente de parâmetros como a magnitude e severidade (capacidade de produzir danos);

V_i - corresponde à Vulnerabilidade.

E – Exposição ou elementos em risco (conjunto de bens a preservar e que podem sofrer danos por ação do perigo);

De acordo com Bruseke (2001), não existe risco sem a valorização positiva de algo que possa ser perdido. O Risco é um acontecimento futuro, que não pode existir sem que o Homem tenha perdas.

A noção de “Perigo” de acordo com Bell, 2002 está relacionada com situações ou eventos que representam uma ameaça para o Homem, para a sociedade e para o ambiente.

A “Suscetibilidade”, segundo Cantos e Ayala-Carcedo (2002), é a propensão ou tendência de uma zona ser afetada por um perigo, em comparação com outras áreas que tenham sido afetadas anteriormente. É estabelecida por uma análise comparativa dos fatores condicionantes e desencadeantes, quantitativos e qualitativos. É ainda possível definir a “Suscetibilidade”, de acordo com Vallejo et al. (2002) como a possibilidade de uma área ser afetada por determinado processo, sendo este expresso em graus qualitativos e relativos. Esta é condicionada por fatores intrínsecos às próprias formações geológicas ou que podem mesmo ser externas. Em geral, a

suscetibilidade relativa a uma determinada área é expressa em termos cartográficos, apresentando-se mapas temáticos dos fatores condicionantes e efetuando-se a sobreposição dos mesmos. Ao analisar estes fatores condicionantes e tendo em conta a avaliação da suscetibilidade é assim possível elaborar cartas de perigosidade.

A Fig. 2.1 mostra como se relacionam os conceitos fundamentais em todo o processo de avaliação de riscos, sendo de salientar os seguintes quatro conceitos fundamentais;

- Perigo
- Suscetibilidade
- Vulnerabilidade
- Risco

O termo catástrofe corresponde a um episódio natural que provoca um efeito perturbador num determinado território e que pode causar a perda de vidas humanas. Se as consequências desse evento natural forem de grande magnitude, chegando a ser necessária ajuda externa e verificando-se a perda de numerosas vidas humanas, a terminologia adotada será de calamidade, nesses casos será necessário assumir medidas de modo a repor as condições das atividades socioeconómicas de uma determinada região. Devido a um determinado território ser vulnerável a um possível cenário catastrófico, é necessário definir hierarquias, conduzindo à determinação de graus de risco (Cantos & Ayala-Carcedo, 2002).

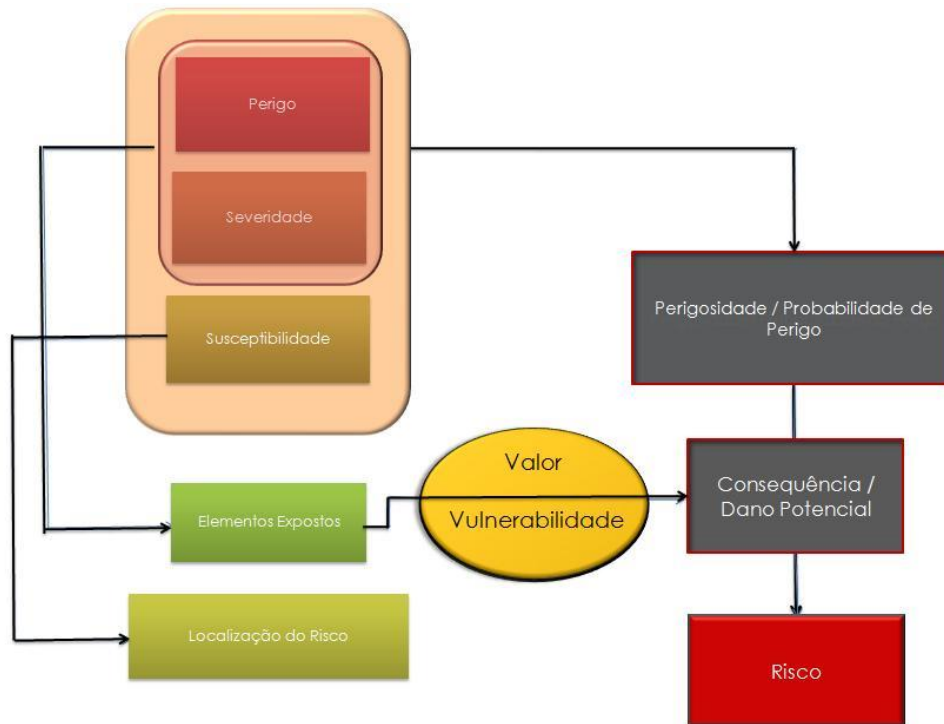


Figura 2.1 - Diagrama de articulação dos conceitos fundamentais (adaptado de Julião, et. al., 2009).

Deste modo o conceito “Risco”, devido à sua complexidade pode ser dividido em diferentes grupos ou tipos, consoante a classificação utilizada. Os riscos podem então ser distinguidos em três grandes tipos/grupos de acordo com a sua origem sendo eles: os Naturais, os Tecnológicos e os Mistos.

De acordo com Ayala-Carcedo (1987), os riscos tecnológicos estão relacionados com acontecimentos imprevistos/acidentais e não planeados (falhas dos sistemas tecnológicos), podendo envolver substâncias perigosas e deste modo originando danos significativos no Homem e no Meio Ambiente.

Os riscos tecnológicos são maioritariamente provocados pela ação humana, embora algumas vezes estejam associados a fenómenos naturais. Como exemplos, de situações relacionadas com os riscos tecnológicos, podemos mencionar: os acidentes em centrais nucleares, em unidades industriais e também nos sistemas de transporte (transporte marítimo e fluvial, redes viárias).

Riscos Naturais podem ser subdivididos em várias categorias de acordo com a sua origem, deste modo podemos então dividi-los em riscos biológicos e em riscos físicos, estes por sua vez podem ainda ser subdivididos em vários grupos (Ayala-Carcedo, 1987).

Nos Riscos biológicos, são de salientar as infestações e as epidemias originadas por micro-organismos.

Nos Riscos físicos pode estabelecer-se uma divisão em quatro grupos distintos; climáticos (atmosfera), geológicos (geosfera e hidrosfera), geoclimáticos (cheias e inundações) e cósmicos (impactos de objetos extraterrestres). Nos riscos climáticos salientam-se tornados, ciclones tropicais, ondas de frio e de calor, secas, trovoadas, tempestades, queda de neve intensa, nevoeiro, granizo, geada e ventos fortes. Nos riscos geológicos destacam-se, a sismicidade, as erupções vulcânicas (vulcanismo), os movimentos de vertente/taludes, a erosão costeira e de solos, as roturas ao longo de falhas geológicas ativas, as variações do nível freático, a subsidência e ainda o assoreamento dos rios e estuários. Os riscos geoclimáticos envolvem uma interação entre os riscos atmosféricos e os riscos geológicos, onde se destacam as cheias e as inundações, estas últimas resultam da elevação do nível médio das águas de um rio e conseqüente extravasamento. Os riscos cósmicos como o seu próprio nome indica estão associados ao impacto de objetos extraterrestres, tais como meteoritos, asteroides, cometas, à evolução do sistema solar e à conseqüente intensificação dos raios cósmicos, o que está relacionado com a decadência do campo magnético da Terra (Ayala-Carcedo, 1987).

Os riscos mistos resultam da combinação de ações continuadas da atividade humana com o funcionamento dos sistemas naturais, dentro dos riscos mistos destacam-se: incêndios florestais, contaminação de cursos de água e aquíferos, erosão, degradação e contaminação dos solos. Na Figura 2.2 pode observar-se um esquema referente à divisão dos riscos em diferentes grupos/tipos de acordo com a sua origem.

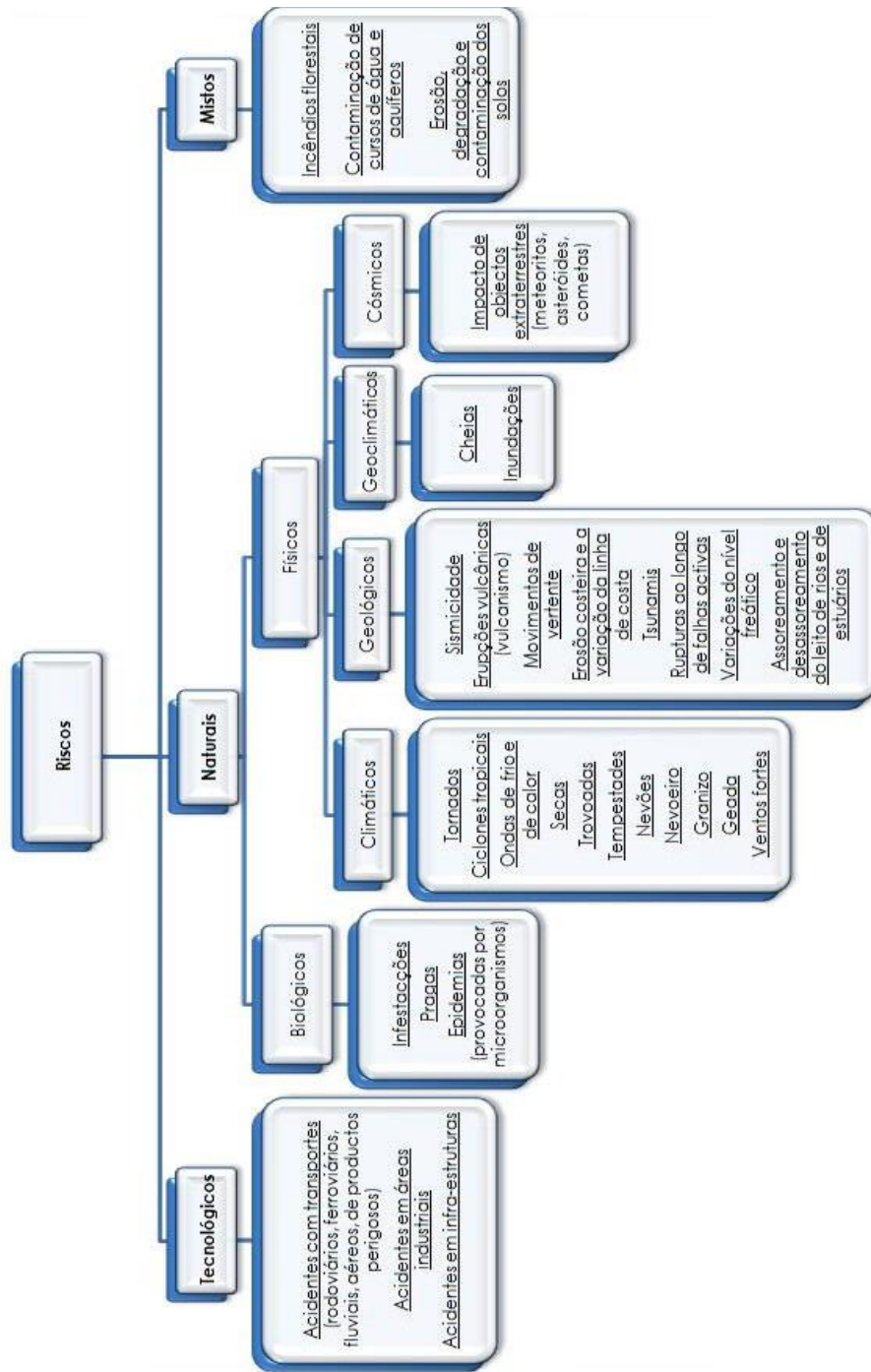


Figura 2.2 – Definição dos vários tipos de riscos (Ayala-Carcedo, 1987; Gaspar, J. (coord.) (2004,2005), Rebelo, F. 2003; Simões, L. 1997; Hewitt, 1997; White et al. 2001; Cerri, 1993, 2001).

A análise da gestão e redução do risco engloba um conjunto de medidas de carácter decisivo tendo em vista o controlo, dos custos e perdas ou dos benefícios resultantes da redução dos riscos. No fluxograma seguinte (Fig. 2.3) adaptado de Ayala-Carcedo (2002), estão identificados e relacionados as várias fases de análise que possibilitam avaliar o grau de aceitação ao risco por parte de uma determinada área e as opções de controlo e/ou mitigação.

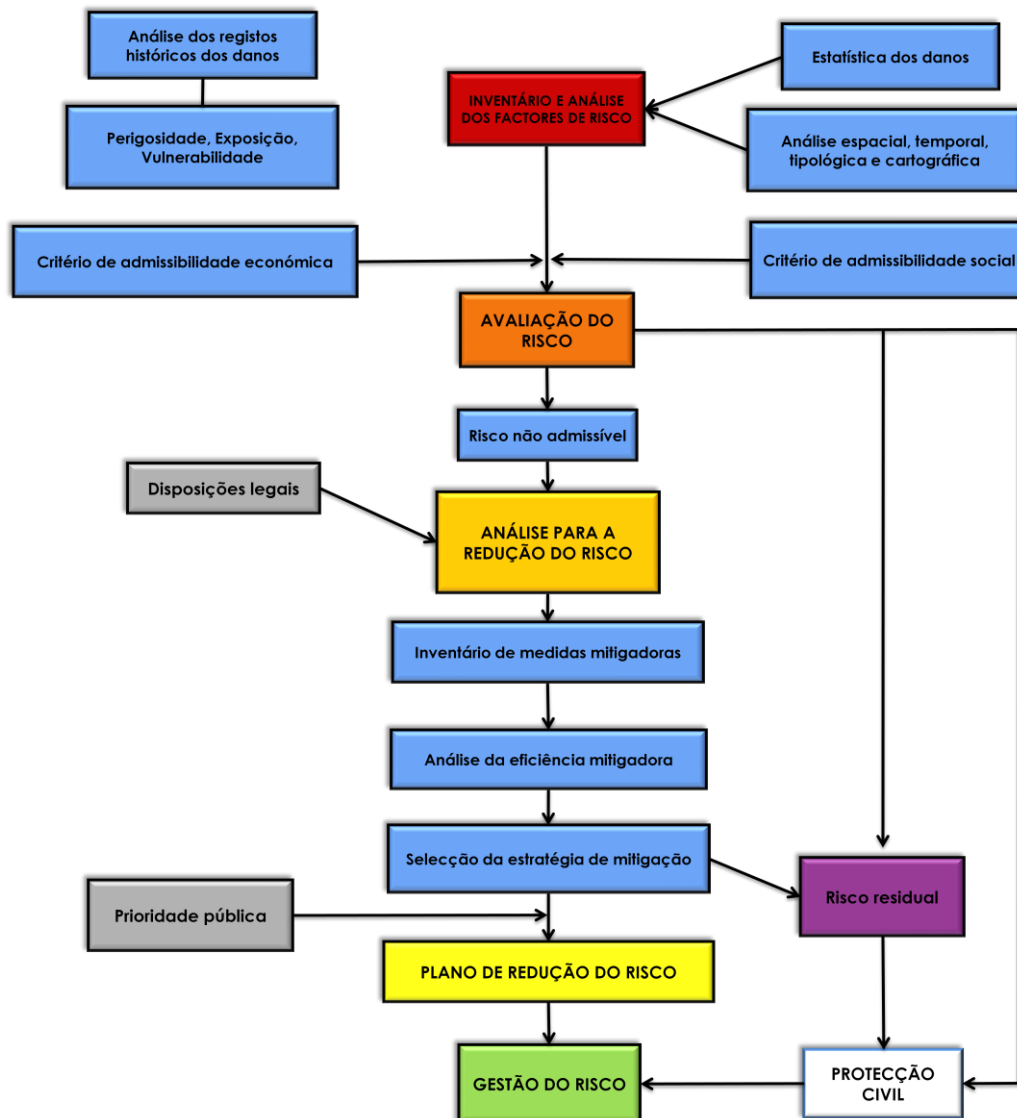


Figura 2.3 – Fluxograma para análise e gestão dos riscos (adaptado de Ayala-Carcedo, 2002).

2.2 Riscos geológicos

Segundo Simões (1997), o risco geológico é um termo que se integra num conceito mais vasto, que é o de risco natural. Aquando da ocorrência de uma catástrofe seja ela de origem natural ou antrópica, esta depende primeiramente da natureza e da intensidade das suas causas, mas ainda das características do terreno em que ocorre. Podemos assim concluir que existem zonas da superfície terrestre que possuem vulnerabilidades distintas a potenciais riscos. Esta vulnerabilidade a determinados riscos depende de vários fatores entre eles a densidade populacional, a situação socioeconómica da região e a sua capacidade de reação aos fatores de risco. Deste modo é de extrema importância compreender os riscos geológicos de modo a que o seu comportamento e ocorrência sejam objeto de estudo, mitigação e previsão, para que certas medidas possam ser tomadas para reduzir o seu impacto. Na análise de riscos geológicos um aspeto importante são os danos que os perigos/processos geológicos podem causar. Estes danos relacionados com determinados processos geológicos podem depender segundo Vallejo et al. (2002) da velocidade, magnitude e extensão do mesmo; os movimentos de um terreno podem apresentar um desenvolvimento rápido de forma repentina e catastrófica (sismos, colapsos, deslizamentos) ou podem apresentar um desenvolvimento lento (fluxos, subsidência). O conceito de risco geológico no meio científico é algo controverso, de modo geral abarca os processos de origem natural como a sismicidade, a atividade vulcânica ou o movimento de vertentes. Uma definição abrangente é indicada por Ayala-Carcedo (1987) que considerou risco geológico como toda a situação ou evento que ocorre no meio geológico, sendo ele de origem natural, induzida ou mista que possui a capacidade de provocar danos económico-sociais numa determinada comunidade, e cuja sua previsão, prevenção ou correção devem empregar critérios geológicos. Outra definição abrangente é a indicada por Cerri (1993) que considera o risco geológico como qualquer situação de perigo, dano ou perda para o homem e, para as suas propriedades, em caso da possibilidade de ocorrência de processos geológicos, induzidos ou não.

Na Figura 2.4 apresentam-se os três principais tipos de riscos geológicos de acordo com a sua origem: naturais, induzidos ou mistos. Os riscos geológicos de origem natural, apresentam-se divididos em dois grandes grupos: os processos geodinâmicos internos que incluem os sismos e a atividade vulcânica, e os processos geodinâmicos externos como os movimentos de vertente ou as subsidências.

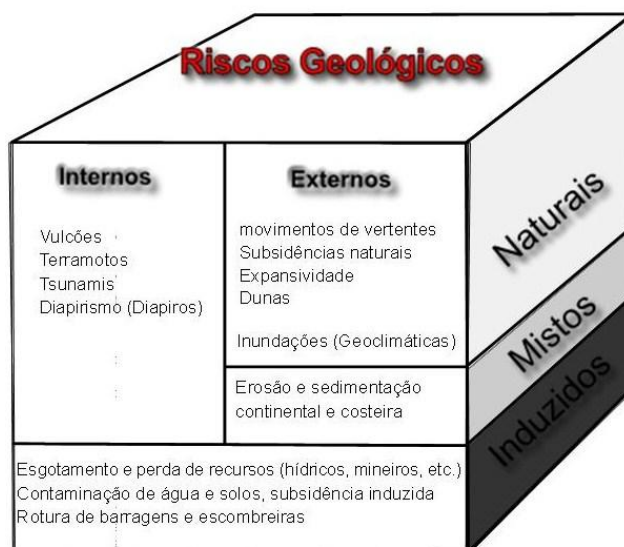


Figura 2.4 – Classificação dos perigos geológicos segundo a sua origem (adaptado de Ayala-Carcedo, 1987).

2.2.1 Movimentos de vertente e taludes

Os movimentos de vertente e de taludes abrangem uma enorme variedade de processos. Os materiais instabilizados incluem rochas e/ou solos e podem verificar-se, por basculamento, desabamentos, deslizamento, fluxos e movimentos complexos (Varnes, 1978; WP/WLI, 1990; Cruden & Varnes, 1996; Hyndman & Hyndman, 2006). Consoante o tipo de material envolvido e o seu modo de deslocamento, estes movimentos podem ser diferenciados segundo um sistema de classificação, no qual parâmetros como a natureza do material, a velocidade do movimento, o tipo de movimento e a presença de água, ar ou gelo em fissuras ou poros podem ser individualizados. O Quadro 2.1 apresenta os vários tipos de movimentos de vertentes/taludes distinguidos através dos critérios anteriormente referidos, com exceção da quantidade e conteúdo de água, ar ou gelo no material e da velocidade; este último critério encontra-se representado no Quadro 2.2, no qual se procedeu a uma adaptação do trabalho de Cruden & Varnes (1996) com a representação da escala das classes de velocidade dos movimentos de vertente/talude e do seu possível grau de destruição.

Quadro 2.1 – Classificação dos movimentos de vertente (adaptado de Varnes; 1978), Cruden & Varnes, 1996; e Hyndman & Hyndman, 2006).

Tipo de Movimento		Material		
		Rocha (Maioria das vezes partida)	Detritos (geralmente > 2mm; <80% de areia e material mais fino)	Solo (geralmente < 2mm; >80% de areia e material mais fino)
Desmoronamento		Desmoronamento de rochas	Desmoronamento de detritos	Desmoronamento de solos
Basculamento		Basculamento de rochas	Basculamento de detritos	Basculamento de solos
Deslizamento	Rotacional	Deslizamento rotacional de material rochoso	Deslizamento rotacional de detritos	Deslizamento rotacional de solos
	Translacional	Deslizamento translacional em bloco rochoso Deslizamentos translacionais em rochas	Deslizamento translacionais em bloco de detritos Deslizamento translacionais de detritos	Deslizamento translacionais de solos Deslizamento translacionais lamacentos
Expansão Lateral		Expansão lateral de material rochoso	Expansão lateral de detritos	Expansão lateral de solos
Fluxos		Fluxo de material rochoso	Fluxo de detritos	Fluxo de solos
Complexo		Combinação de movimentos em material rochoso	Combinação de movimentos em material detrítico	Combinação de movimentos em material tipo solo

Quadro 2.2 – Classificação da velocidade dos movimentos de vertente proposta por Cruden & Varnes, 1996.

Classe da Velocidade	Movimentação	Velocidade	Exemplos de Movimentos	Possível grau de destruição
7	Extremamente rápida	> 5 m/s	Desmoronamentos	Catástrofe de elevada violência; destruição de edifícios através do impacto do material deslocado; número de vítimas mortais elevado; fuga improvável.
6	Muito rápida	> 3 m / min		Algumas perdas de vidas; velocidades demasiado elevadas para prever este tipo de acontecimentos e permitir a fuga de todas as pessoas.
5	Rápida	> 1,8 m / hora	Deslizamentos	Possível evacuação; estruturas, bens e equipamentos destruídos.
4	Moderada	> 13 m / mês		Algumas estruturas podem ser mantidas temporariamente.
3	Lenta	> 1,6 m / ano	Creep/Solifluxão	Construção corretiva pode ser desenvolvida durante o movimento; estruturas podem ser mantidas com trabalhos frequentes de manutenção.
2	Muito Lenta	> 1,6 mm/ano		Algumas estruturas permanentes não são danificadas pelo movimento.
1	Extremamente Lenta	< 1,6 mm/ano		Somente perceptível através de instrumentos.

De acordo com Hunt (2005) a definição do perigo existente em taludes e as respetivas medidas preventivas e de mitigação a adotar, requerem o estudo aprofundado de um conjunto de fatores que compreendem desde a classificação de roturas num talude, as características geológicas e a forma da rotura potencial, bem como os elementos de estabilidade do talude (possibilidade e tendência de ocorrência de movimentos de massa naturais ou induzidos pelo Homem, a forma dos taludes e os processos responsáveis por diferentes características naturais e regionais, efeitos de sobrecarga no talude, resistência ao cisalhamento, entre outros.

As instabilidades em vertentes ou taludes podem ser provocadas pela atuação das forças gravíticas. A estabilidade está dependente de um conjunto de variáveis complexas tais como a topografia, a geologia, o clima e a atividade sísmica.

Os desmoronamentos correspondem a roturas súbitas de taludes ou vertentes verticais ou próximo da vertical, em que o material se movimenta em grande parte ou completamente em queda livre (Fig. 2.5). Os desmoronamentos correspondem a movimentos muito rápidos, provocados por planos de descontinuidade pré-existentes (fraturas, superfícies de estratificação, diaclases, falhas ou planos de xistosidade), o material desloca-se predominantemente pelo ar, por saltos ou rolamento (WP/WLI, 1993b). Este tipo de movimentos pode ocorrer em taludes rochosos, em zonas de montanhosas escarpadas ou em arribas. Os fatores que provocam este tipo de movimento são os processos erosivos, a água presente nas descontinuidades e fissuras, a ação antrópica como escavações relacionadas com obras de engenharia, bem como a atividade sísmica e outras vibrações intensas (Highland & Bobrowsky, 2008).

A queda de blocos é muito frequente em formações de estratificação horizontal ou sub-horizontal, em que se verifica erosão dos materiais subjacentes.

Zêzere (2005) considera quatro critérios para a classificação dos desabamentos: (1) material afetado (desabamento rochoso, desabamento de detritos, desabamento de terra); (2) geometria da rotura; (3) origem do material desabado (desabamentos primários e desabamentos secundários); (4) dimensões do material afetado.

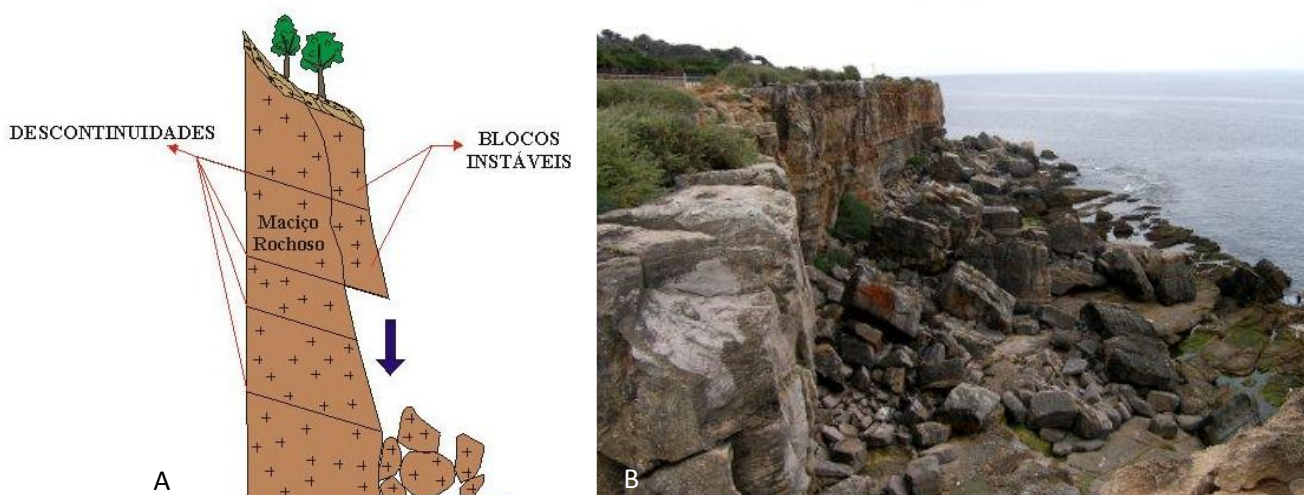


Figura 2.5 – A) Representação de queda de blocos/desabamento (Infanti Jr. & Filho, 1998); B) Queda de blocos na baía do Mexilhoeiro, Cascais, (ADA Desnível, 2006).

O tombamento ou basculamento (*Toppling*), é um movimento de instabilidade que consiste na rotação de um bloco de solo ou de rocha em torno de um ponto ou eixo que se localiza inferiormente ao centro de gravidade da massa instabilizada (WP/WLI, 1993b). Pode ocorrer em taludes íngremes constituídos por material rochoso, onde os estratos apresentam um declive contrário à inclinação do talude (Romana, 1991) e uma direção paralela ou subparalela ao mesmo. São movimentos geralmente mais lentos que os desabamentos (Vallejo *et al.*, 2002), podendo evoluir para desabamento ou deslizamento, em função da geometria da massa afetada e da dimensão e orientação dos planos de estratificação e/ou diaclases (Zêzere, 2005). Estes movimentos são desencadeados sobretudo pela gravidade, pelas forças exercidas pelo terreno adjacente ou pela presença de água em superfícies de descontinuidade (Fig. 2.6).

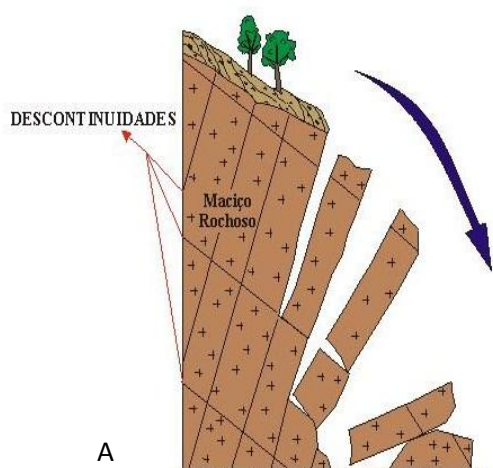


Figura 2.6 – A) Esquema de um Tombamento ou Basculamento (Toopling) (Infanti Jr. & Filho, 1998); B) Imagem de Tombamento ou Basculamento (Toopling), (Capes & Unesp IGCE, 1999).

Os deslizamentos correspondem a movimentos de solos ou massas rochosas que se verificam, geralmente ao longo de planos de rotura ou de zonas relativamente estreitas (WL/WLI, 1993b). O material deslocado durante o movimento permanece em contacto com o material subjacente que não foi afetado.

Os movimentos de deslizamento ocorrem quando a resistência ao corte dos terrenos é inferior à tensão tangencial a que os materiais estão sujeitos, apresentam frequentemente estrias (*slickensides*) ao longo do plano de rutura e nos flancos, indicando assim a direção do deslocamento (Ayala, 1991).

Os deslizamentos podem ser subdivididos de acordo com as características da rutura e do material afetado. De acordo com Dikau *et al.* (1996) podemos ter deslizamentos rotacionais e translacionais para material rochoso, detrítico e solos.

Os deslizamentos rotacionais (*slumps*) verificam-se ao longo de superfícies de rutura curvas, e ocorrem em materiais de características homogêneas e isotrópicas, como solos ou materiais rochosos extramente alterados e fraturados. O plano de deslizamento apresenta uma secção côncava e deste modo compreende uma rotação, apresentando um abatimento na parte montante do deslizamento e um levantamento na parte frontal (Hutchinson, 1988). De acordo com Varnes (1978), quando a existência de água é abundante, a área de acumulação do deslizamento rotacional, pode sofrer movimentos de fluxo (Fig. 2.7). O deslizamento rotacional pode ser originado por diferentes mecanismos tais como precipitações elevadas, inundações, sismos e atividade antrópica.

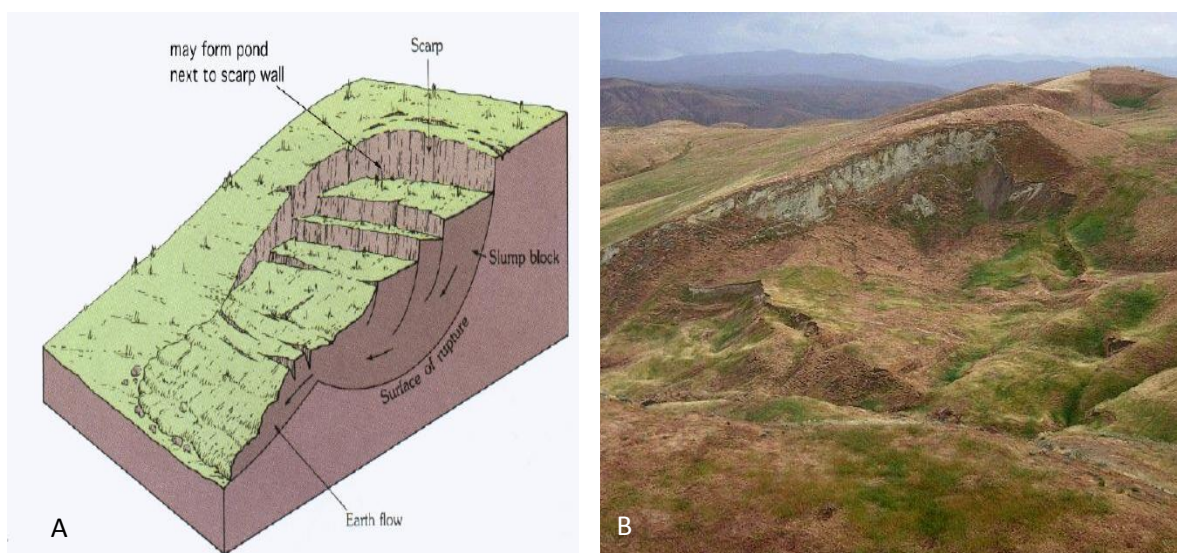


Figura 2.7 – A) Esquema de um deslizamento rotacional (*slump*) (Tarbuck, & Lutgens, 1984); B) Imagem de um deslizamento rotacional (*slump*), Panoche Hill, California (E.U.A.), 2008 (About.com, Geology landslides).

Os deslizamentos translacionais podem ser classificados de acordo com o tipo de rutura, a forma dos planos de deslizamento, ou o número de blocos rochosos envolvidos no deslizamento. Deste modo podem considerar-se quatro tipos distintos de deslizamentos translacionais: os deslizamentos translacionais com plano de rutura compósito e os deslizamentos translacionais de rutura planar com material rochoso, detrítico e lamacento.

Os deslizamentos translacionais com plano de rotura compósito foram definidos por Dikau *et al.* (1996), e correspondem a deslizamentos translacionais em bloco. É de salientar que este tipo de deslizamento constitui um movimento de características intermédias entre os deslizamentos rotacionais e os translacionais com rutura planar. Este tipo de deslizamento apresenta um plano de rutura com duas secções, uma de forma circular ou planar, de inclinação acentuada, a montante e uma forma planar, de inclinação reduzida, a jusante (Zêzere, 2005).

Os deslizamentos translacionais com rotura planar são movimentos que ocorrem ao longo de superfícies de fraqueza que possuem uma resistência tangencial diminuta tais como planos de falhamento, estratificação, xistosidade, diaclases ou de contacto entre material detrítico e um substrato rochoso (Varnes, 1978).

De acordo com o tipo de material instabilizado podem distinguir-se diferentes categorias de deslizamentos com rotura planar: deslizamentos de material rochoso (*rockslides*), deslizamentos de detritos (*debris slides*) e ainda os deslizamentos de lamas (*mudslides*).

Os deslizamentos de material rochoso são frequentes nas zonas montanhosas cujas encostas apresentam superfícies de descontinuidades com sentido de pendor para o exterior das vertentes (Fig.2.8). De acordo com os planos de rotura podem definir-se os deslizamentos de material rochoso como: deslizamentos de rotura planar simples, rotura em escadaria e rotura em cunha.

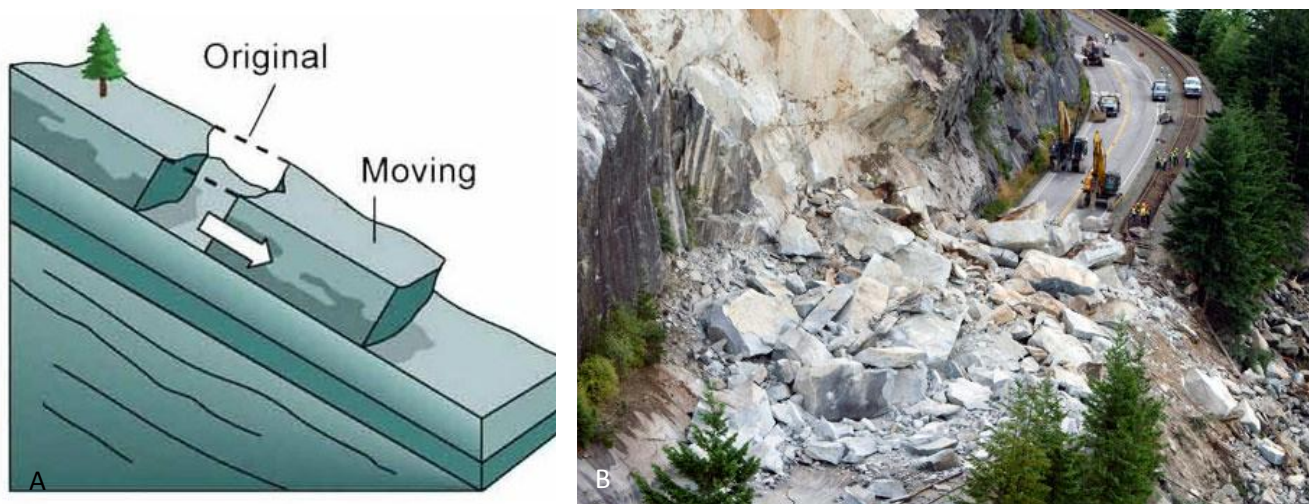


Figura 2.8 – A) Esquema de um deslizamento de material rochoso (*rockslide*) (Geoscience Australia, 2009); B) Imagem de um deslizamento de material rochoso (*rockslide*), Porteau Cove, B.C. (U.S.A), 2008 (*Canadian Press*).

Os deslizamentos translacionais em escadaria, foram incluídos por Hutchinson (1988) na sua classificação nos deslizamentos translacionais. Estes deslizamentos verificam-se geralmente em taludes/vertentes de pendores elevados, para a sua ocorrência é necessária a existência de duas famílias de descontinuidades praticamente perpendiculares e que correspondem aos “degraus” da superfície de deslizamento.

Os deslizamentos translacionais com rotura em cunha, podem ocorrer quando duas descontinuidades têm uma orientação oblíqua em relação à face do talude/vertente e a sua linha de intersecção intersecta a face do talude/vertente. A cunha do material rochoso movimenta-se paralelamente à linha de intersecção, desde que o pendor desta linha seja superior ao ângulo de atrito.

Os deslizamentos de detritos são um dos tipos de instabilidade mais frequente nas vertentes. Correspondem a deslizamentos de profundidade reduzida e estão relacionados com a parte superficial do talude que se encontra frequentemente alterada (Andrade, 2008), apresentam planos de rotura aproximadamente paralelos à superfície topográfica (Fig.2.9). A sua velocidade de deslocação e a extensão percorrida estão diretamente relacionados com o declive (Hutchinson, 1988).

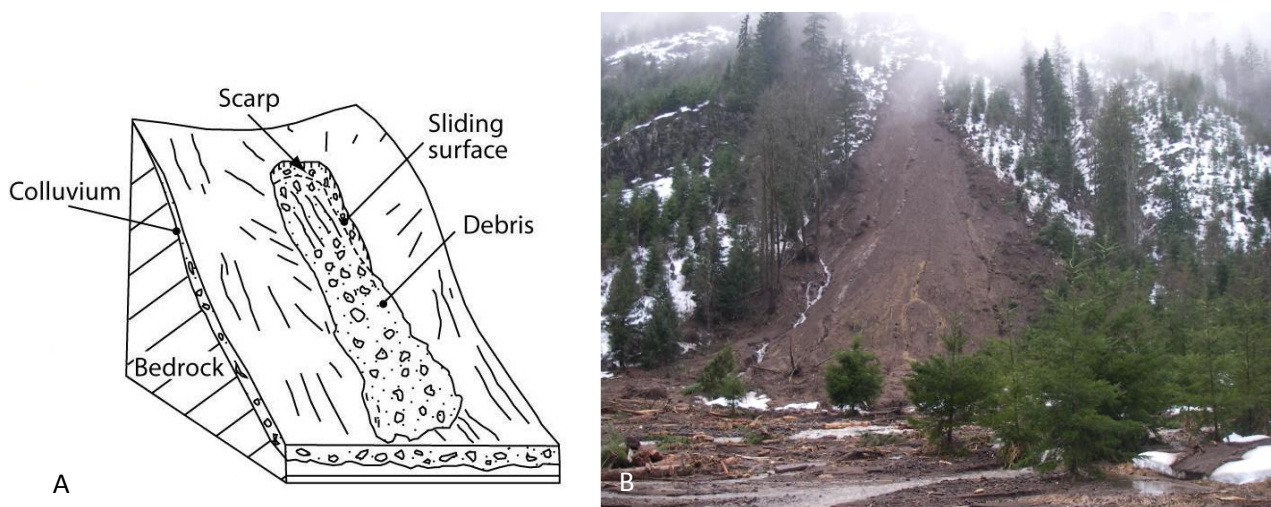
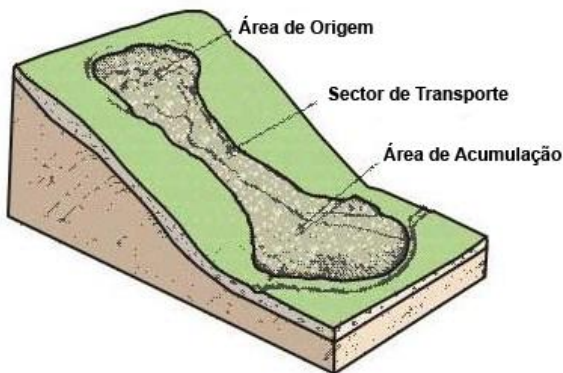


Figura 2.9 – A) Esquema de um deslizamento de detritos (*debris slide*) (Maquaire and Malet, 2006); B) Imagem de um deslizamento de detritos (*debris slide*), Glenoma, Washington (E.U.A.), 2009 (Gabe Taylor.net).

Os deslizamentos de lamas ocorrem quando materiais argilosos brandos, siltsosos ou de areia fina, se deslocam de modo lento e ao longo de superfícies de rotura não contínuas, as formas mais comuns deste tipo de movimento são em lóbulo ou alongadas (Brunsden, 1984). Estes possuem três zonas distintas em termos morfológicos como a origem, o sector de transporte e a área de acumulação (Fig.2.10).



A



B

Figura 2.10 – A) Esquema de um deslizamento de lamas (*mudslide*) (Sam's global science, 2010/ USGS, 2004); B) Imagem de um deslizamento de lamas (*mudslide*), Pe Ell, Washington (E.U.A.), 2007, (Washington State Department of Transportation).

A expansão lateral constitui um movimento de material rochoso ou constituído por solo coerente que ocorre sobre um material mais brando, que pode apresentar liquefação ou movimentos de fluxo. De acordo com Dikau *et al.* (1996) os movimentos ocorrem devido à perda de resistência do material subjacente, que se deforma com o peso dos blocos sobrejacentes (Fig. 2.11). Os materiais rochosos deslocam-se a velocidades muito lentas, enquanto a expansão lateral em solo caracteriza-se por ser muito rápida e responsável por situações de perigo imediato.



Figura 2.11 – A) Esquema de uma expansão lateral (lateral spreading) (Highland & Browsky, 2008); B) Imagem de uma expansão lateral, Watsonville, (E.U.A.), 1989 (U.S. Geological Survey).

Os fluxos/fluências/escoadas correspondem a movimentos contínuos de materiais como solos, detritos ou materiais rochosos que apresentam uma quantidade de água significativa, verificando-se um comportamento similar a um “fluido” (Vallejo *et al.*, 2002). Ocorrem geralmente em taludes de pendor reduzido constituídos por solos suscetíveis de sofrerem uma perda considerável de resistência. Pode proceder-se à distinção deste tipo de movimentos em: fluxos em rocha; fluxos de detritos e fluxos lamacentos.

Os fluxos em rochas ocorrem em zonas montanhosas, em maciços rochosos muito fraturados, correspondem a movimentos lentos e são provocados pela ação da gravidade (Varnes, 1978). Ayala (1987) considerou que o fluxo rochoso de maciços rochosos ocorre em maciços rochosos deformados ou que possuem um comportamento plástico.

Os fluxos lamacentos consistem num tipo de instabilidade, em que água desempenha um papel muito importante e em que mais de 50% dos materiais presentes correspondem a areia, silte e argila (Fig. 2.12). A velocidade dos fluxos lamacentos apresenta uma variação desde de muito lenta a muito rápida (Zêzere, 2005). Este tipo de movimento é mais frequente nas regiões montanhosas ou semiáridas, onde são maioritariamente desencadeados após períodos de precipitação de intensidade elevada, surgem igualmente relacionados com o aumento do teor em água de depósitos de cinzas vulcânicas (Hyndam & Hyndam, 2006).

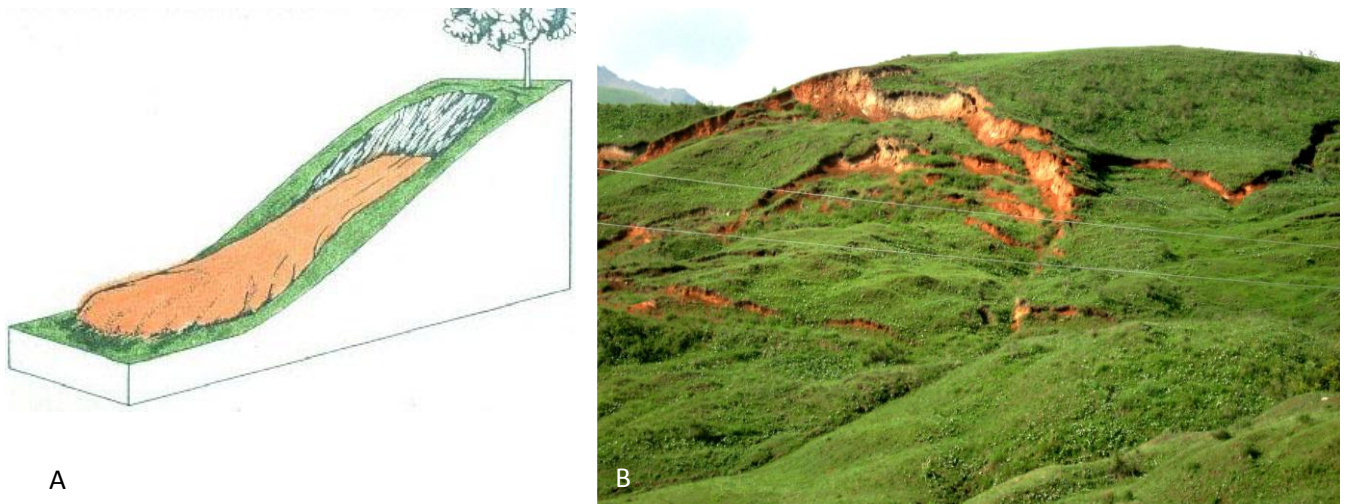


Figura 2.12 – A) Esquema de um fluxo lamacento (*soil flow; earth flow*) (Middle Tennessee State University, 1998); B) Imagem de um fluxo lamacento (*soil flow, earth flow*), Osh province, Quirguistão, 2008, (Panoramio).

Os fluxos de detritos são constituídos por uma mistura de material de granulometria mais fina (areia, silte, argila) e de material mais grosseiro (calhaus, blocos) que na presença de água se podem deslocar no sentido descendente, atingindo velocidades diferenciadas, quase sempre mais elevadas na parte mais próxima da superfície (Highland & Browsky, 2008). Estes fluxos apresentam elementos morfológicos característicos como a área de origem, o canal principal, os diques laterais e ainda a sua área de acumulação. Segundo Zêzere (2005), existem três tipos de fluxos de detritos: fluxos de vertente, fluxos canalizados (seguindo canais fluviais já existentes) e lahars. Os fluxos de detritos ocorrem na maioria das zonas climáticas, podem apresentar uma extensão de vários quilómetros e ser particularmente destrutivos nas vertentes de declive acentuado (Fig. 2.13). Entre as principais causas dos fluxos de detritos destacam-se a precipitação intensa, as ações sísmicas e a ocorrência do degelo rápido. A existência de material mal consolidado pode favorecer a ocorrência de fluxos de detritos, através de remoção da vegetação e de processos de escavação (Zaruba & Mencl, 1976).

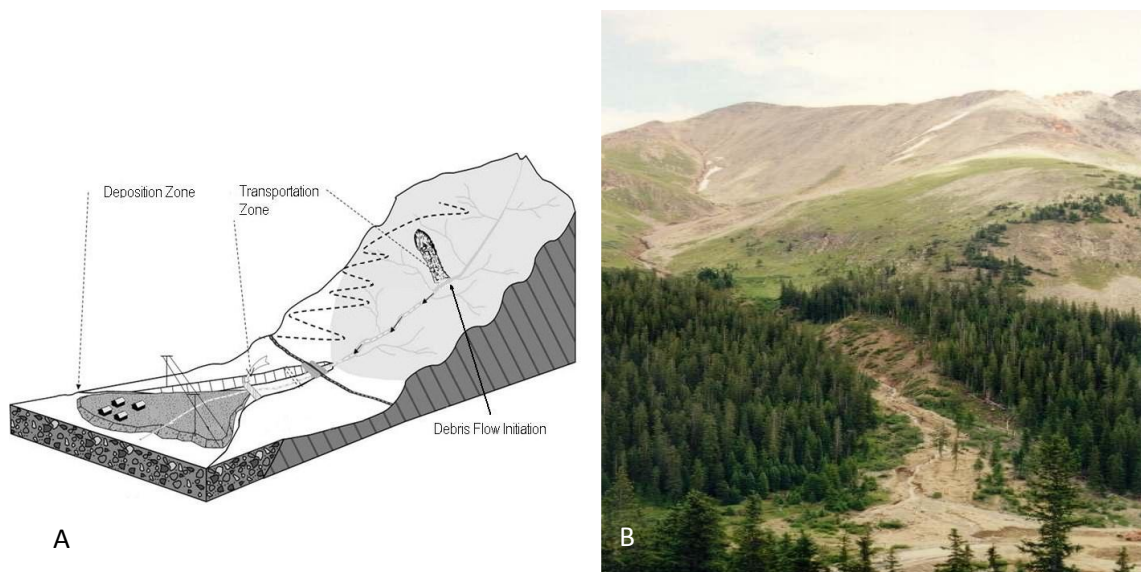


Figura 2.13 – A) Esquema de um fluxo de detritos (*debris flow*) (North Vancouver District, 2009); B) Imagem de um fluxo de detritos (*debris flow*), Grizzly Peak, Colorado (E.U.A), 2004 (Colorado Department of Transportation).

Em algumas classificações são considerados como fluxos outros tipos de movimento como a solifluxão e o *creep* e que apresentam características próprias.

A solifluxão verifica-se nas zonas mais superficiais dos taludes/vertentes e está relacionado com saturação de água nos solos. Nas vertentes/taludes onde os materiais são pouco coerentes ou são resultantes de fenómenos de meteorização e/ou erosão, os interstícios podem saturar-se de água e podem ocorrer movimentações com uma velocidade variável. Os fenómenos de solifluxão têm uma grande importância, quando ocorre a fusão de gelo intersticial e o degelo. As vertentes/taludes afetadas por fenómenos de solifluxão possuem características morfológicas específicas, de acordo com a sua forma e dimensão, são designadas em escoadas, lóbulos, bancos e mantos de solifluxão (Fig.2.14).

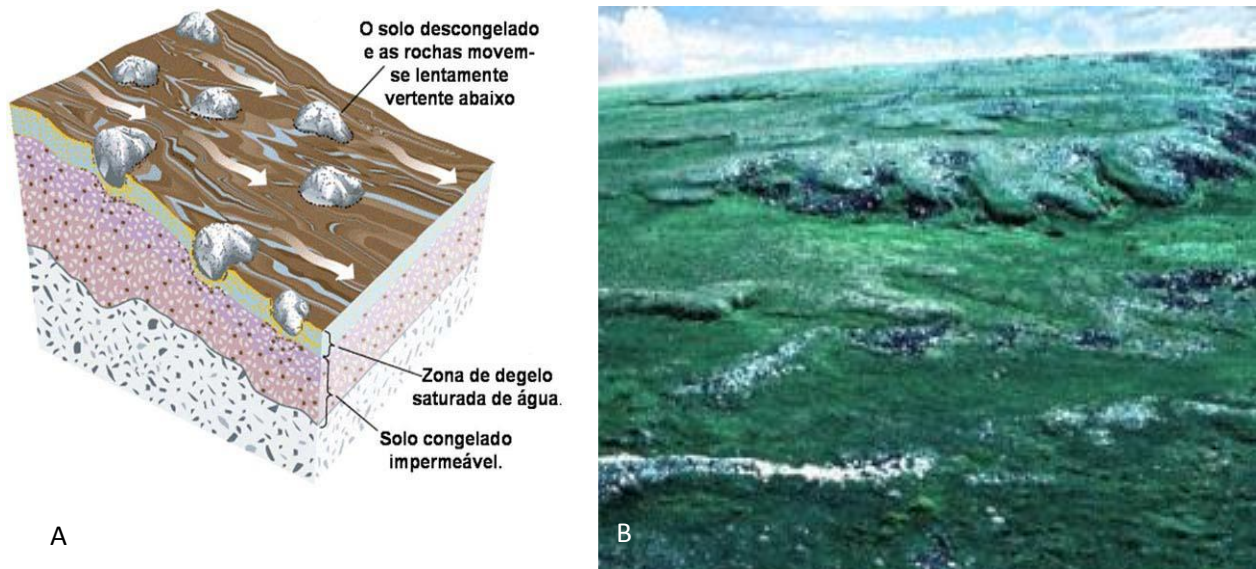


Figura 2.14 – A) Esquema de solifluxão (adaptado de Press & Siever (1997)); B) Imagens de solifluxão do solo, Lewis Hills, Canada (Geological Survey of Canada).

O *creep* é um movimento superficial, de velocidade muito lenta, quase imperceptível, que afeta o solo e os materiais alterados, observando-se deformações contínuas que se manifestam ao longo do tempo na inclinação ou desalinhamento de árvores, valas, muros ou postes nos taludes e vertentes (Fig.2.15). O *creep* pode ser provocado pela ação de forças gravíticas e pela presença de água (Hunt, 2007), bem como atividade de animais e crescimento de raízes, e a escavação de buracos por animais. Os movimentos são mais pronunciados próximos da superfície, diminuindo gradualmente em profundidade.

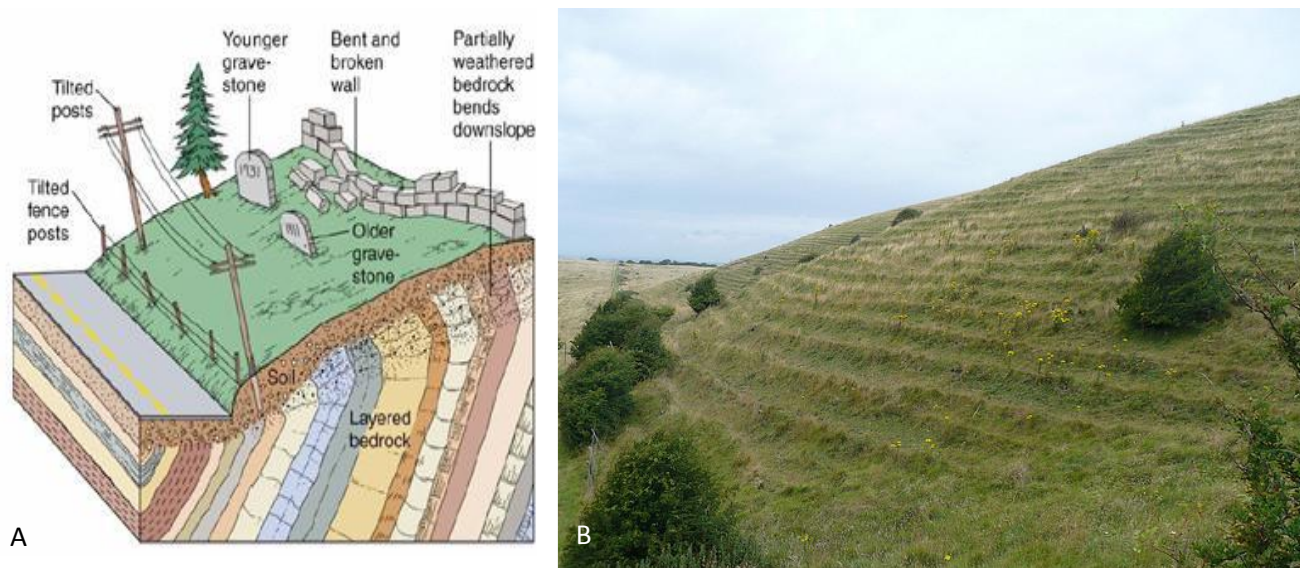
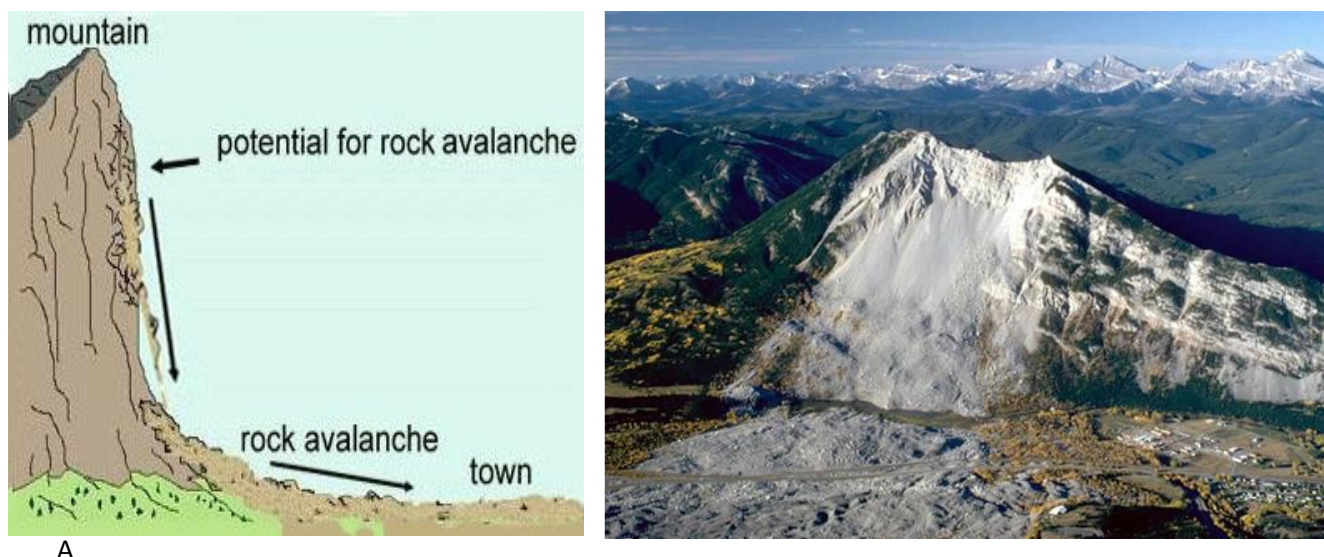


Figura 2.15 – A) Esquema do movimento de reptação (*creep*) (BC online school, 2007); B) Imagem de uma vertente afetada por reptação (*creep*), Godshill, Isle of Wight (Inglaterra), 2009 (flickr from yahoo).

Devido à variedade e diversidade de movimentos é de esperar que em muito casos estes possam ocorrer de modo simultâneo, deste modo os designados movimentos complexos correspondem à combinação de mais do que um tipo dos movimentos anteriormente referidos, verificando-se que os vários movimentos ocorrem em sequência. Dentro dos movimentos complexos são de assinalar as avalanches rochosas e os deslizamentos de fluxo, estes últimos são aparentados com o fluxo de detritos e envolvem material instável, mal compactado e disperso.

As avalanches rochosas correspondem a movimentos muito rápidos, com queda de massas rochosas ou de detritos que se desprendem de taludes ou vertentes escarpadas, podendo conter neve e gelo (Vallejo *et al.*, 2002). As avalanches rochosas são muitas vezes consideradas como a combinação de um ou mais tipos de situação de instabilidade, ou seja um movimento complexo. Estes movimentos podem ser originados por um deslizamento ou desabamento de grandes dimensões e as suas principais causas são a precipitação atmosférica, degelo ou atividade sísmica (Fig.2.16).



A

Figura 2.16 – A) Esquema de uma avalanche rochosa (adaptado de geology campus, 2009); B) Imagem de uma avalanche rochosa, Alberta, Canada, 1903 (Franck Interpretive Centre).

2.2.2 Colapsos e subsidência

Tanto os colapsos como as subsidências correspondem a movimentos verticais. Os colapsos de solo e rocha são movimentos repentinos, que provocam o surgimento de uma cratera relativamente arredondada ou elíptica, com uma secção vertical que resulta de roturas que ocorrem em cavidades existentes no subsolo, estes ocorrem sem sinais de aviso prévio que os denunciem. Por outro lado as subsidências são processos de rebaixamento do solo, de velocidade lenta e que originam pequenas fissuras, ruturas e desabamentos de pequenas dimensões.

Segundo Vallejo *et al.* (2002) podem definir-se os seguintes tipos de colapsos e subsidências: Colapsos de cavidades subterrâneas em rochas, com ou sem influência à superfície; Colapsos superficiais em rochas ou solos; Subsidência ou processos lentos e progressivos.

Hyndman & Hyndman (2006), também distinguiram a formação de cavidades por dissolução; os colapsos de cavidades subterrâneas; e as subsidências. Como se pode constatar estes três tipos de processos são muito semelhantes aos definidos por Vallejo *et al.*, (2002).

As cavidades formadas por dissolução estão diretamente relacionadas com terrenos cárscicos ou solúveis, constituídos por rochas carbonatadas ou evaporíticas. Nestas situações a cobertura de solo é geralmente pouco espessa e permeável, através de processos de dissolução vão-se originar fraturas e vazios no material subjacente, o que possibilita o aparecimento de situações de instabilidade, levando assim à

formação de uma depressão à superfície (Fig. 2.17). Estas depressões/colapsos cárnicos são denominados como dolinas que também podem ser originadas pela dissolução de rochas à superfície (Vallejo *et al.*, 2002).

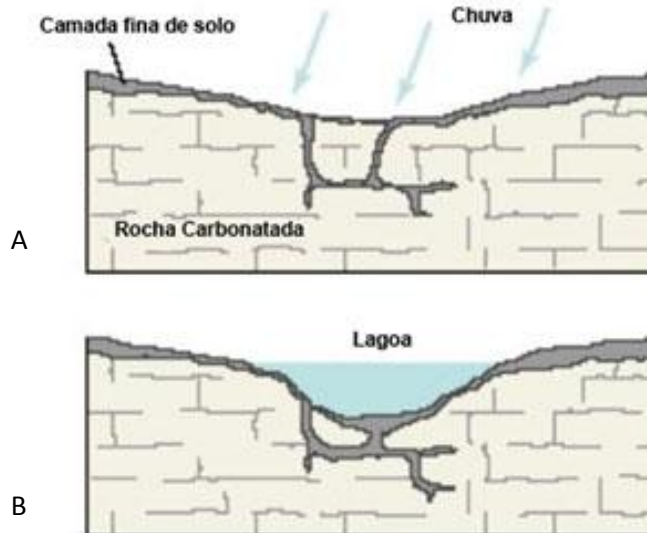


Fig. 2.17 – Sequência de eventos que provocam a formação de cavidades por dissolução (adaptado de USGS, 2007). A) A água da chuva e a água superficial infiltra-se nas fissuras e fraturas do calcário. Deste modo a rocha carbonatada dissolve-se e é transportada em profundidade afastando-se da superfície, e uma pequena depressão forma-se gradualmente. B) Em áreas de rochas carbonatadas que afloram à superfície, uma depressão pode concentrar a drenagem superficial, acelerando o processo de dissolução. Os detritos transportados para a depressão em desenvolvimento, podem originar zonas húmidas.

Na Fig. 2.18 podem observar-se exemplos de formação de dolinas de colapso e de subsidência resultantes da evolução dos relevos cársticos.

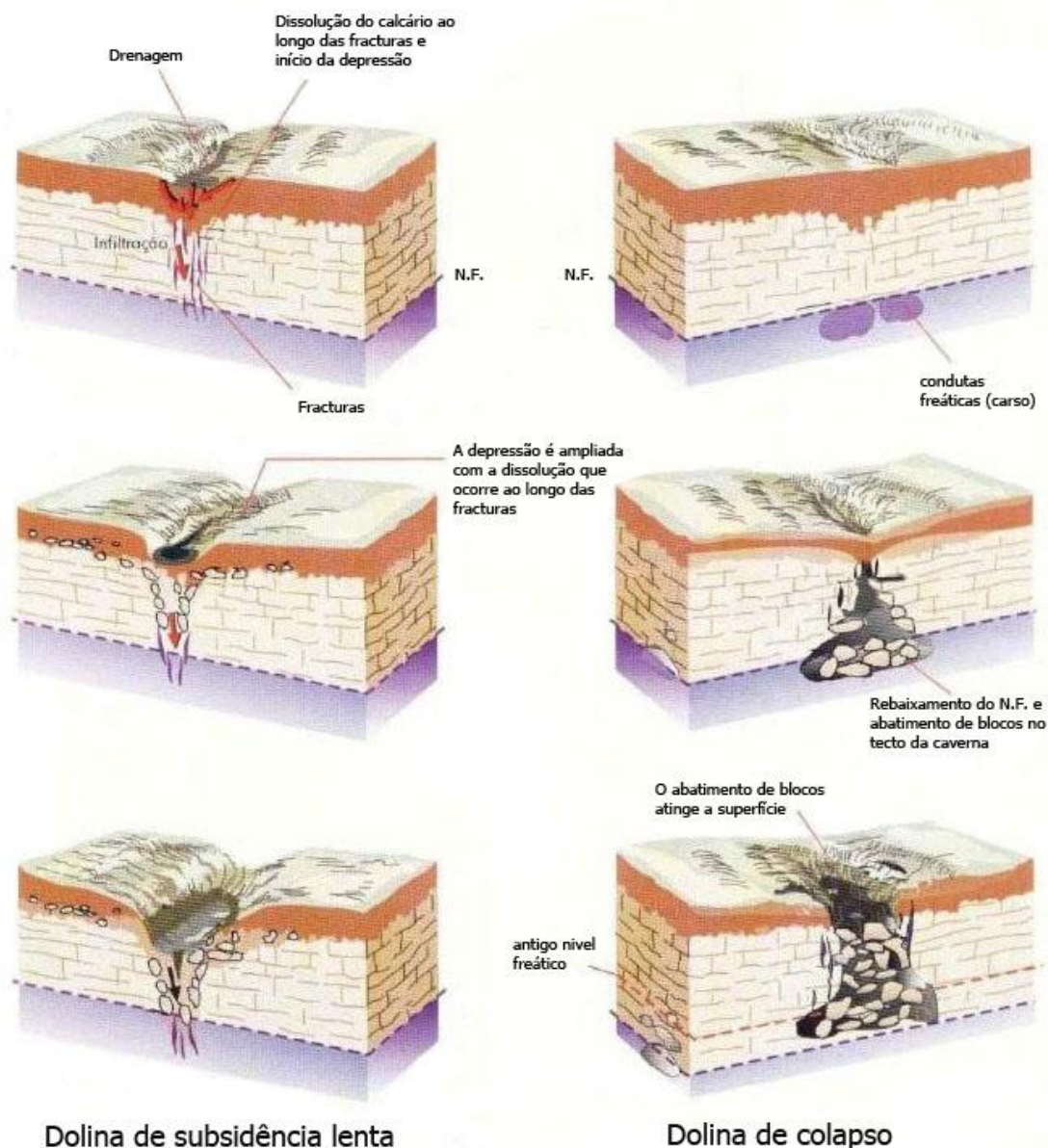


Figura 2.18 – Subsidências e colapso de solos, exemplo da formação de uma dolina de subsidência lenta e de uma dolina de colapso (N.F. = nível freático) (adaptado de Teixeira *et al.* (2001)).

Os colapsos de cavidades subterrâneas estão associados a movimentos repentinos na vertical que resultam de roturas que ocorrem nas cavidades do subsolo (Fig. 2.19). Os materiais carbonatados que envolvem estas cavidades apresentam um comportamento frágil que se pode traduzir por uma rotura súbita e violenta. A ocorrência destes colapsos pode dever-se a situações tais como a forma e dimensão das cavidades existentes no subsolo, a espessura do revestimento da cavidade e a sua resistência e ainda o comportamento mecânico e as características do material sobrejacente às cavidades.

Estes colapsos podem conseqüentemente ter uma origem natural ou antrópica, sendo que as causas relacionadas com a ação humana prendem-se com explorações mineiras e/ou escavações e utilização de túneis e/ou galerias, parques de estacionamento subterrâneos, utilização de espaços subterrâneos para fins comerciais, industriais e/ou de armazenamento de resíduos.

Nestes colapsos como se pode observar na figura 2.19, inicialmente os sedimentos partidos resultantes de corpos de maiores dimensões, infiltram-se numa cavidade cársica. De seguida e a medida que a fragmentação continua, os sedimentos coesivos que cobriam os calcários formam um arco estrutural. Posteriormente a cavidade do solo aumenta a medida que os sedimentos continuam a ocupar a cavidade devido ao colapso progressivo do teto. Por último a esta cavidade eventualmente atinge a superfície do solo, provocando uma repentina queda do solo, originando assim um colapso.

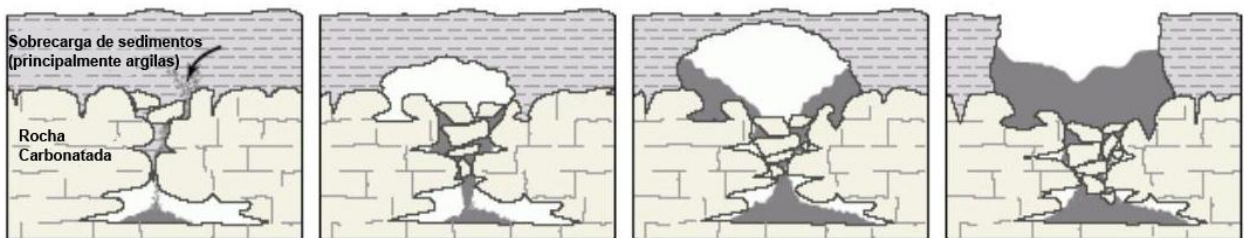


Fig. 2.19 - Sequência de eventos que levaram a formação de colapsos de cavidades subterrâneas. (adaptado de USGS, 2007 e Hyndman & Hyndman, 2006).

As subsidências estão associadas a movimentos lentos e são imperceptíveis a olho nu, podem afetar todo o tipo de terrenos, designadamente os solos. Estes processos que afetam a superfície são simples, nos entanto quando estudados de modo pormenorizado revelam-se, de modo geral, complexos. Quando os fluídos do subsolo (água, gás, petróleo) são extraídos, o solo circundante tem tendência a reajustar-se às variações de pressão, tal como aconteceria aquando da ocorrência de quaisquer outras alterações na tensão aplicada (Legget & Hatheway, 1988).

Os processos de subsidência podem ser provocados pela variação da pressão induzida no terreno, do qual resultam o preenchimento de fraturas e das cavidades subterrâneas em expansão pelos sedimentos do solo (Fig.2.20). Vallejo *et al.* (2002) refere que as situações de subsidência podem ocorrer devido ao rebaixamento do nível freático; às explorações mineiras subterrâneas; à abertura de túneis/galerias; à extração de gás ou petróleo; à obtenção de água existente nos aquíferos; aos

processos lentos de dissolução e de lixiviação pela água; processos tectônicos e de sedimentação e por último processos de consolidação de solos orgânicos.

As subsidências são formadas a partir de uma sequência de eventos (Fig. 2.20), que se iniciam quando os sedimentos granulares partidos em lascas resultantes de corpos de maiores dimensões se infiltram nas aberturas secundárias existentes nas rochas carbonatadas subjacentes. De seguida uma coluna de sedimentos sobrejacentes acomoda-se e assenta nos espaços vazios (processo denominado de *piping*). A dissolução e o enchimento continua, formando gradualmente uma depressão perceptível à superfície. Por último uma lenta erosão criada à superfície acaba eventualmente por formar pequenas depressões podendo atingir vários metros de profundidade e diâmetro.

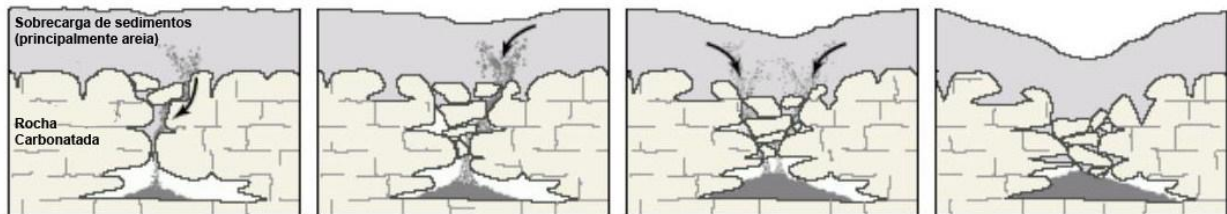


Figura 2.20 - Sequência de eventos que levaram a formação de subsidências (adaptado de USGS, 2007).

Estes processos apresentam um risco elevado quando a sua ocorrência se verifica em zonas urbanas, de tal modo que podem dar origem a ruturas, fissuras e danos nos edifícios afetando inclusive as suas fundações, podendo ainda provocar danos em vias de comunicação bem como a perda de vidas humanas.

2.2.3 Sismicidade

Os sismos são fenómenos que afetam a crosta terrestre e que, usualmente, se devem, a deslocamentos que ocorrem ao longo de falhas geológicas ou dos contatos existentes entre as placas tectónicas. Deste modo a sua distribuição geográfica está relacionada com a distribuição dos acidentes tectónicos existentes nas diferentes regiões da crosta terrestre. De uma maneira geral, o registo de um sismo é influenciado pela profundidade do foco, pela distância do epicentro ao local onde se efetua o seu registo, pela morfologia tectónica e pelo comportamento físico do meio através do qual as ondas sísmicas se propagam (ANPC).

Os efeitos de maior importância dos sismos são as deformações e fissuras à superfície, a possibilidade de liquefação, os movimentos de vertentes e/ou taludes, os tsunamis ou cheias (Costa, 2005), ainda de acordo com este autor as movimentações de falhas ativas junta a falhas sismogénicas podem despoletar o aparecimento de um fluxo de líquido ou gás que acompanha o movimento, sendo proveniente do solo ou rocha presente no local afetado. A ocorrência deste fenómeno possibilita a formação de escarpas ou fraturas na superfície, devido aos deslocamentos horizontais ou verticais provocados pela movimentação das falhas ativas com libertação do fluxo ou gás.

Do ponto de vista histórico o território de Portugal Continental é caracterizado por uma atividade sísmica significativa, marcada por um número relativamente pequeno de eventos muito energéticos (Zêzere *et, al.*, 2005).

A atividade sísmica do território português é dividida em dois tipos de sismicidade: a sismicidade interplacas e a sismicidade intraplacas, localizada no interior da placa. No entanto esta sismicidade interplacas é caracterizada por sismos de elevada magnitude e de grande profundidade, o que não se verifica no caso do território português, sendo que pelo contrário a sismicidade é baixa a moderada e difusa, tornando assim difícil a relação entre as falhas existentes e os epicentros dos sismos (NESDE, 2005).

A distribuição espacial das intensidades sísmicas máximas, com base na sismicidade histórica e a sismicidade instrumental, demonstram que as zonas mais suscetíveis de sofrerem eventos sísmicos de maior intensidade são as localizadas nas extremidades Sudoeste e Sul de Portugal Continental, tais como o Algarve e a região de Lisboa e Vale do Tejo, constatando-se deste modo uma diminuição da sismicidade no sentido Sul-Norte.

Segundo Cabral (2003) o território português onde domina o ambiente intraplaca pressupõe que os sismos de maior magnitude localizados no território emerso possuem um valor máximo próximo de 6,5 e um longo período de recorrência.

É de realçar que a proximidade do território nacional à fronteira entre placas, justifica a possibilidade de ocorrência de sismos catastróficos com epicentro no Oceano Atlântico, esta atividade provocada pelos movimentos entre placas podem originar consequências graves devido à magnitude dos sismos que se podem verificar.

A ocorrência de tsunamis (maremotos) associados a eventos sísmicos com epicentro no mar, a movimentos de vertente, a erupções vulcânicas submarinas e mais raramente ao impacto de meteoritos, podem ter um impacto devastador para as regiões costeiras, como é o caso da área em estudo. Este impacto na costa traduz-se pela inundação das cotas topográficas mais baixas, pela erosão litoral e pelo embate sobre o edificado construído, entre outros.

A liquefação que está associada aos movimentos sísmicos, pode originar danos muito consideráveis. Este processo ocorre quando os solos se encontram saturados em água e que, devido à movimentação provocada pelo sismo, perdem a sua coesão e passam a ter um comportamento mais próximo de um líquido viscoso de que como um solo. Os tipos de sedimentos mais suscetíveis a esta ocorrência são depósitos de areia fina pouco compactos ou de areia e silte mal graduados, podendo ainda verificar-se ocasionalmente em material cascalhento. No estado de liquefação a perda de resistência está relacionada com a elevada pressão intersticial, o solo pode deformar-se devido à resistência ao corte (cisalhamento) ser reduzida. Estas deformações podem causar danos a edifícios e a outras estruturas (Youd, 1992). No entanto a liquefação não ocorre aleatoriamente, é um fenómeno restrito a determinados ambientes geológicos e hidrológicos. A liquefação pode provocar rotura de fundações, desabamentos e deslizamento de vertentes e/ou taludes, expansões laterais e oscilação de solos. Regra geral os ambientes que sofrem este tipo de ocorrência estão dependentes da composição e das características do solo, bem como das características do evento sísmico.

Em Portugal Continental o fenómeno da liquefação tem sido estudado, sendo de realçar os trabalhos desenvolvidos por Jorge (1994), que estabeleceu o zonamento do potencial de liquefação em Portugal Continental. Este trabalho teve como objetivo a tentativa de criar um mapa de zonamento do potencial de liquefação, mapa esse que foi baseado em dados históricos relativos a sismicidade e nos critérios geológicos e características geotécnicas das formações. Nos relatos históricos verificaram-se fluxos de água e areia visíveis em fissuras ou aberturas no solo, subsidência ou colapso de solos em extensões limitadas, em material arenoso, ou ainda pelo afundamento de edifícios situados em zonas de material arenoso.

A figura 2.21 representa o zonamento do potencial de liquefação de Portugal Continental e onde foi delimitada a área em estudo no presente trabalho.

Relativamente à área em estudo localizada no concelho da Figueira da Foz, Jorge (1994) classificou a suscetibilidade à liquefação como praticamente nula, sendo que as regiões de suscetibilidade alta relativamente à ocorrência de liquefação verificam-se em toda a área estuarina da Figueira da Foz e a Norte da Serra da Boa Viagem, não atingindo a área em estudo mas apenas o seu limite Norte. A NE da Serra da Boa Viagem a suscetibilidade é definida como baixa a muito baixa. As zonas do território continental português com suscetibilidade mais elevada para a ocorrência de liquefação são áreas essencialmente de baixa altitude e associadas a cursos de água, com presença de aluviões e terraços fluviais e onde as formações geológicas são constituídas por sedimentos plistocénicos e holocénicos litorais.

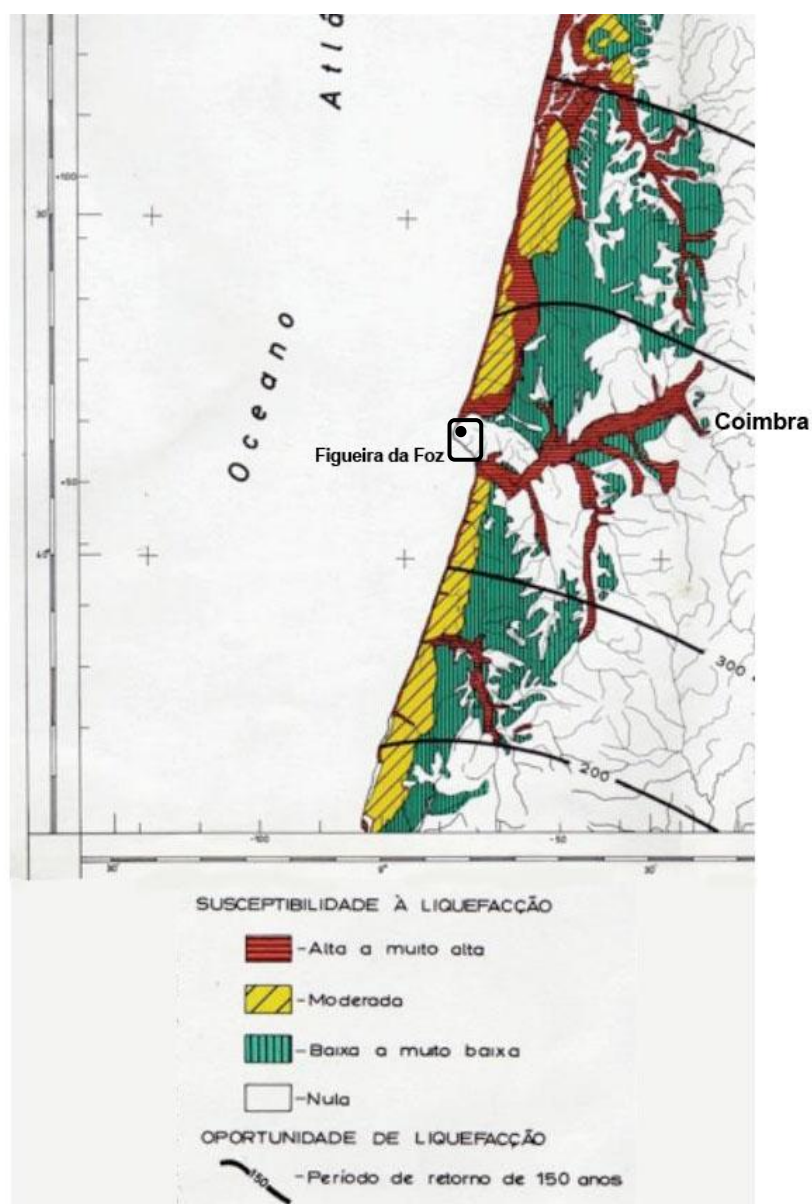


Figura 2.21 – Mapa de zonamento do potencial de liquefação de Portugal Continental, onde foi marcada a área em estudo (adaptado de Jorge (1994)).

De acordo com NESDE, 2005 o conhecimento atual que se tem relativamente a atividade sísmica que afeta Portugal Continental, indica que, a nível mundial, a perigosidade sísmica é moderada. Esta perigosidade entra igualmente para a determinação do risco sísmico de Portugal, no entanto essa determinação do risco sísmico é condicionada por diversos fatores consoante as diferentes regiões do país.

2.2.4 Cheias e inundações

As cheias e inundações correspondem a fenómenos naturais extremos e temporários. As cheias estão relacionadas com a ocorrência de precipitações elevadas na área de uma determinada bacia hidrográfica que provocam um aumento considerável do caudal num curso de água, originando um extravasamento ou inundação desse corpo de água sobre terrenos adjacentes. As inundações são definidas de uma forma variada e por vezes de uma forma pouco precisa, pelo que podemos considerar que as inundações estão associadas ao processo de submersão, de uma determinada área, por parte de certo volume de água, devido ao excesso de pluviosidade relativamente à sua capacidade de drenagem. Desta forma, segundo Rocha (1995) uma inundação ocorre quando uma cheia origina o transbordamento do leito normal de um curso de água que apresenta capacidade para o escoamento de caudais de cheia.

As cheias e inundações correspondem a acontecimentos extremos, mas isto não significa que sejam raros (Ramos, 2000). As suas características principais estão relacionadas com a sua magnitude e intensidade e não com a sua frequência.

O perigo de ocorrência de inundações é predominantemente verificado em zonas aluvionares dos principais rios de Portugal Continental. Contudo as bacias hidrográficas de menor dimensão também estão sujeitas a cheias rápidas ou repentinas. E inclusive as situações de perigosidade mais elevada verificam-se nas pequenas bacias hidrográficas, devido ao tempo de acumulação ser mais reduzido e o seu escoamento ser normalmente caracterizado como muito agressivo e com uma elevada carga transportada (Zêzere *et al.* (2005)).

Em Portugal Continental, as cheias são normalmente originadas e estão associadas a longos períodos de chuva intensa provocada por situações de instabilidade atmosférica que se fazem sentir com maior intensidade durante o Outono e a Primavera. Toda esta situação de instabilidade atmosférica que ocorre durante este período de tempo tem origem no Oceano Atlântico e é causada por núcleos de baixa pressão associados a uma sucessão de frentes húmidas que afetam o território para Este, originando desta forma os longos períodos de precipitação intensa (ANPC).

As cheias são influenciadas de modo determinante pelas características geomorfológicas presentes na bacia hidrográfica.

Outras das causas da ocorrência de cheias e de inundações nas bacias hidrográficas, é a própria ocupação humana e o desenvolvimento das suas atividades, que certamente trarão uma destruição/degradação dos solos e das suas propriedades (Azevedo, 2007).

As cheias podem igualmente ser provocadas pela rotura de barragens, esta estar relacionada pode estar associada a situações meteorológicas extremas (Zezêre *et al.*, 2005), bem como a problemas estruturais, de construção ou das fundações das barragens.

2.2.5 Processos erosivos

Em termos de processos erosivos, deve destacar-se a erosão costeira observada em todo o litoral português. Este é um problema existente desde a parte final do século XIX e que se tem vindo agravar. De acordo Pereira (2004) estes fenómenos de erosão costeira apresentam três causas principais: o notório défice sedimentar no litoral devido à diminuição da carga transportada pelos rios, devido à construção de barragens, esta diminuição da carga sólida é assim compensada pela erosão acelerada das praias e das dunas litorais; a cada vez mais elevada ocupação populacional e a construção de infraestruturas em toda a faixa litoral portuguesa, que representa uma tendência de ordenamento do território muito desfavorável e que levou à destruição do funcionamento equilibrado dos diversos sistemas biofísicos litorais; por último temos ainda a subida eustática do nível médio do mar, que embora seja uma subida lenta ao longo do tempo, implica que toda a faixa costeira se adapte a essa evolução.

A erosão costeira mais intensa ocorre nas zonas de costa arenosa de cota mais reduzida, pelo que os sistemas de praia-duna são os mais vulneráveis às variações do nível do mar e aos galgamentos oceânicos (Zêzere *et al.*, 2006). Os sistemas costeiros de arriba e de praia-arriba são os que apresentam menor vulnerabilidade aos efeitos provocados pela erosão costeira. Por outro lado estes sistemas costeiros de arriba podem apresentar situações de instabilidade (movimentos de vertente), devido às características litológicas e estruturais dos materiais constituintes das arribas, que influenciam de modo determinante a sua resistência à erosão e propensão para a ocorrência de fenómenos de instabilidade.

A evolução das arribas é condicionada por processos marinhos e subaéreos, provocando assim a ocorrência dos movimentos de massa (Neves, 2004).

Estes movimentos de massa em arribas são predominantemente do tipo queda de blocos, deslizamento planar e tombamento “*toppling*”, estas implicam a mobilização de volumes variáveis de material podendo abranger pequenos blocos decimétricos a milhares de m³ (Pinto & Vinhais, 2011).

Segundo Marques & Andrade (2009), em litorais de arriba o recuo da linha de costa é normalmente despoletado por um conjunto de fatores que ocorrem ao longo do tempo, nomeadamente a ação erosiva das ondas do mar, a escorrência superficial, infiltração e circulação de água subterrânea ou pela imposição de vibrações e sobrecargas (fatores externos), este conjunto de fatores é auxiliado por uma degradação progressiva das características de resistência dos materiais afetados.

Esta erosão das praias e das arribas em determinadas zonas constitui um perigo natural e de certa forma é um perigo com dispersão e expressão geográfica diversa, no entanto em determinadas zonas da costa portuguesa esta erosão é sinonimo de risco elevado, consequência da cada vez mais elevada ocupação e pressão antrópica constituindo assim um risco que é necessário ter em conta (Borges *et al.*, 2004).

É certo que todos os problemas inerentes à dinâmica sedimentar da zona costeira têm implicações económicas, sociais e ambientais graves e que consequentemente afetarão negativamente o turismo, os habitats, a indústria piscatória bem como a navegação de embarcações (Fortunato *et al.*, 2008).

Para além da erosão costeira temos ainda outros processos erosivos que provocam a degradação das formações geológicas. Estes processos são a erosão provocada por agentes da dinâmica externa, a erosão diferencial e ainda a erosão interna. Como agentes da dinâmica externa que provocam a erosão das formações geológicas temos o vento, a água, o gelo, ações que provocam modificações químicas nas rochas, movimentações de rochas e sedimentos causadas pela força da gravidade e ainda o arrastamento de produtos que resultam da degradação dos materiais geológicos. O processo de erosão diferencial ocorre em taludes/vertentes onde as formações mais brandas sofrem uma erosão mais rápida do que as formações subjacentes de maior resistência, deixando-as assim numa situação delicada de instabilidade. Por último o processo de erosão interna prende-se com a percolação das águas subterrâneas, com as características granulométricas das formações e com a sua erodibilidade.

Devido a este fenómeno erosivo podem resultar cavidades que vão provocar o desabamento de zona subjacente do maciço e que provocaram situações de instabilidade nas vertentes/taludes (Oliveira, 1980).

É de prever ainda que as vertentes/taludes compostos por materiais friáveis são mais propícios a sofrerem fenómenos erosivos, e que estes se desenvolvem de modo mais rápido do que nos vertentes/taludes compostos por materiais não friáveis.

2.3 Riscos geotécnicos

Os riscos geotécnicos geralmente resultam das características geotécnicas dos terrenos da área em estudo e da sua probabilidade de gerar situações de perigo, podendo mesmo chegar a casos extremos onde pode provocar danos e/ou perdas ao Homem, à sociedade e /ou meio ambiente.

Segundo Caldeira (2005), os riscos geotécnicos são constituídos por três componentes: a técnica, a contratual e a de gestão do projeto. Os riscos técnicos surgem de problemas específicos do local, devido ao facto da natureza, o tipo e a diversidade de condições do subsolo não serem completamente conhecidas antes do início da escavação, das atividades de construção e com a deteção de anomalias após a entrada ao serviço da estrutura. Os riscos contratuais estão relacionados com o tipo de contrato adotado, onde existem aspetos como a partilha de risco para as condições do terreno, a sua atribuição e assunção por parte dos intervenientes na obra, Dono da Obra e Empreiteiro. Por fim, os riscos de gestão do projeto são função da coordenação e financiamento do projeto.

A grande maioria dos riscos geotécnicos pode ser controlada por soluções de projeto previamente estabelecidas e adequadas, prevenindo deste modo a ocorrência de eventos de risco (ex: através da alteração da localização de um túnel de modo a evitar a intersecção com uma zona de falha), ou minimizando as consequências de risco (ex: através do controlo adequado das deformações ou da implementação de um sistema apropriado de drenagem para as zonas com afluxo de água considerável). Contudo alguns riscos geotécnicos não podem ser controlados por soluções técnicas e/ou económicas. Deste modo as consequências dos eventos relacionados com os riscos, devem ser avaliadas e consideradas no plano de gestão de risco do projeto.

No caso de trabalhos geotécnicos em maciços rochosos, a maior parte dos riscos está diretamente relacionada com as propriedades dos maciços e com a influência de fatores como as tensões “*in situ*”, as características das descontinuidades, a presença de água subterrânea, a orientação e as dimensões das escavações, entre outros.

A interação das propriedades do maciço rochoso e de outros fatores influentes definem, eventualmente, o comportamento do maciço rochoso durante as escavações sem a aplicação de medidas de melhoramento ou estabilização.

A descrição do comportamento do maciço rochoso sem os eventuais suportes é necessária para a compreensão básica dos potenciais modos de rotura e dos eventos de risco (Poschl & Kleberger, 2004).

Nas figuras 2.22 e 2.23 podemos observar dois gráficos relativos aos resultados de um estudo sobre diferentes tipos de problemas geotécnicos encontrados no decorrer da construção de vários tipos de obras de engenharia e ainda os resultados obtidos num estudo sobre a origem dos problemas geotécnicos encontrados durante a construção de vários tipos de obras de engenharia. É de realçar que no gráfico da figura 2.23, foi suposto que os problemas relacionados com a estrutura do terreno, suas propriedades, águas subterrâneas e estudos geológico-geotécnicos realizados de forma inadequada, possam ser agrupados num grupo definido como questões de base geotécnica. Desta forma, a distribuição obtida na figura 2.23 torna-se mais significativa e focada do que a distribuição da figura 2.22, mostrando assim que os problemas de base geotécnica representam 64% dos problemas inventariados. Podendo-se concluir que mais de metade dos problemas relacionados com o solo e subsolo encontrado na construção de obras, levaram a um atraso e/ou paragem da construção devido ao seu mau, inadequado e insuficiente estudo geotécnico (Henderson & Pickles, 2007).

Uma insuficiente qualidade e aprofundamento do projeto, vão traduzir-se em termos económicos num elevado aumento dos custos totais de uma obra (Tyrrell, 1983; Mott MacDonald, 1994, *in* Longo & Gama, 2004).

Percebe-se assim a importância de traçar e planear da melhor maneira possível a investigação do maciço, bem como proceder a monitorização das fases de escavação e da construção e ainda identificar os possíveis danos que afetarão estruturas próximas, de modo a permitir uma redução do risco geotécnico e conseqüentemente os custos adicionais causados por imprevistos (Longo & Gama, 2004).

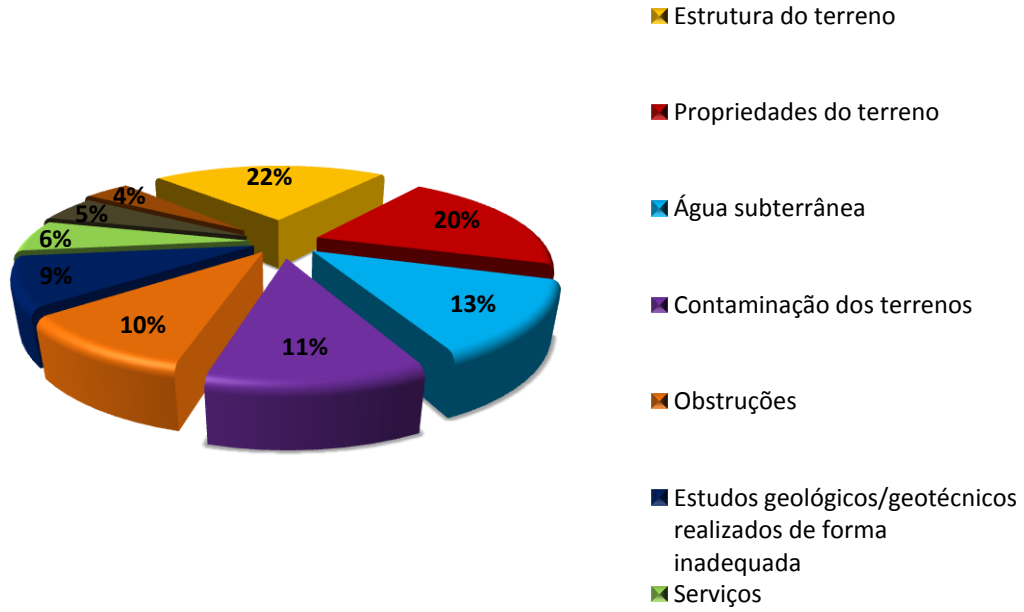


Figura 2.22 - Problemas encontrados na construção de obras de engenharia (adaptado de Clayton (2001) in Henderson & Pickles (2007)).

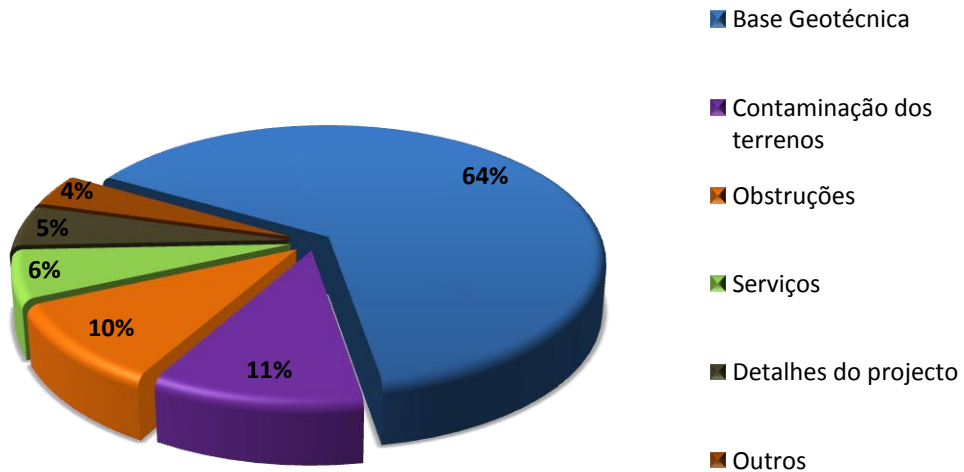


Figura 2.23 - Origem dos problemas geotécnicos encontrados na construção de obras de engenharia ((adaptado de Clayton (2001) in Henderson & Pickles (2007)).

3 Enquadramento geral da área em estudo

3.1. Enquadramento Geográfico

A área abrangida pelo estudo, análise e aplicação das classificações relativas à suscetibilidade localizam-se na Costa Atlântica de Portugal Continental, no concelho da Figueira da Foz. Este município pertence ao distrito de Coimbra e encontra-se inserido na região (NUTS II) Centro e sub-região (NUTS III) do Baixo Mondego, abrangendo o estuário e a desembocadura do rio Mondego.

A Figueira da Foz é, também, a segunda maior cidade do distrito, com cerca 62.105 habitantes (Censos, 2011). Quanto ao concelho em si, este confronta a Norte com o seu congénere de Cantanhede, a Sul com o de Pombal, a Este com o de Montemor-o-Velho e a Sudeste com o de Soure, abrangendo uma área de cerca de 379,1 km², divididos presentemente em 18 freguesias: Alhadadas, Alqueidão, Bom Sucesso, Borda do Campo, Brenha, Buarcos, Ferreira-a-Nova, Lavos, Maiorca, Marinha das Ondas, Moinhos de Gândara, Paião, Quiaios, São Julião da Figueira da Foz, São Pedro, Santana, Tavadrede e Vila Verde (Fig.3.1).

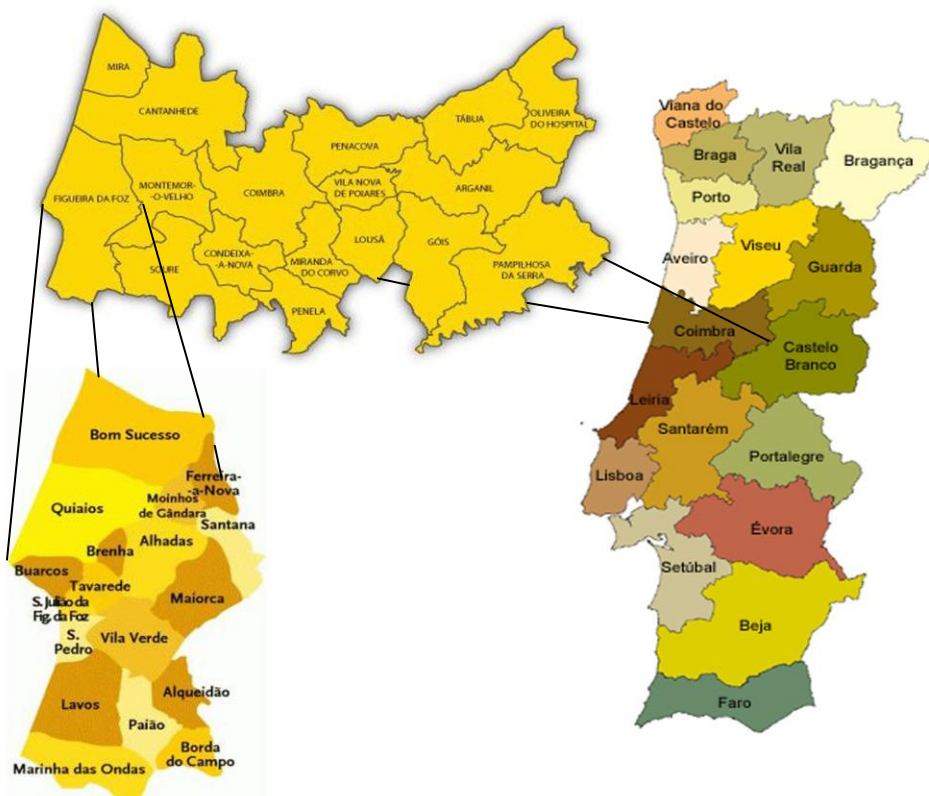


Figura 3.1 – Enquadramento Geográfico do município da Figueira da Foz em Portugal Continental (adaptado de www.wikienergia.pt/www.iplb.pt/www.dholmes.com/masterlist/coimbra/district-coimbra.html).

Quanto à zona definida para o presente estudo no concelho da Figueira da Foz, esta apresenta-se delimitada a Sul pelo estuário do Rio Mondego, a Oeste pelo Oceano Atlântico, a Norte pela estrada nacional 596 que liga as povoações de Praia de Quiaios e Murtinheira a Quiaios, Brenha e Alhadas de Baixo e, a Este, pelo corredor meridiano da autoestrada A17 ou do Litoral-Oeste. No seu todo, o espaço intervencionado corresponde a uma área de 29.635.191 m² com um perímetro de 43.812 m que abrange alguns dos principais aglomerados e relevos do concelho, incluindo a própria cidade sede, mas também Quiaios, Murtinheira, Alhadas de Cima e Carniçosas, Brenha, Lírio, Vais, Buarcos, Tavadrede, Chã, Fontela, Vila Verde, Feiteira e Lares, a par do Cabo Mondego, da Serra da Boa Viagem, da Serra das Alhadas e das costeiras da Salmanha, Fontela e Vila Verde, estas últimas sobranceiras ao braço norte do estuário (Fig.3.2).

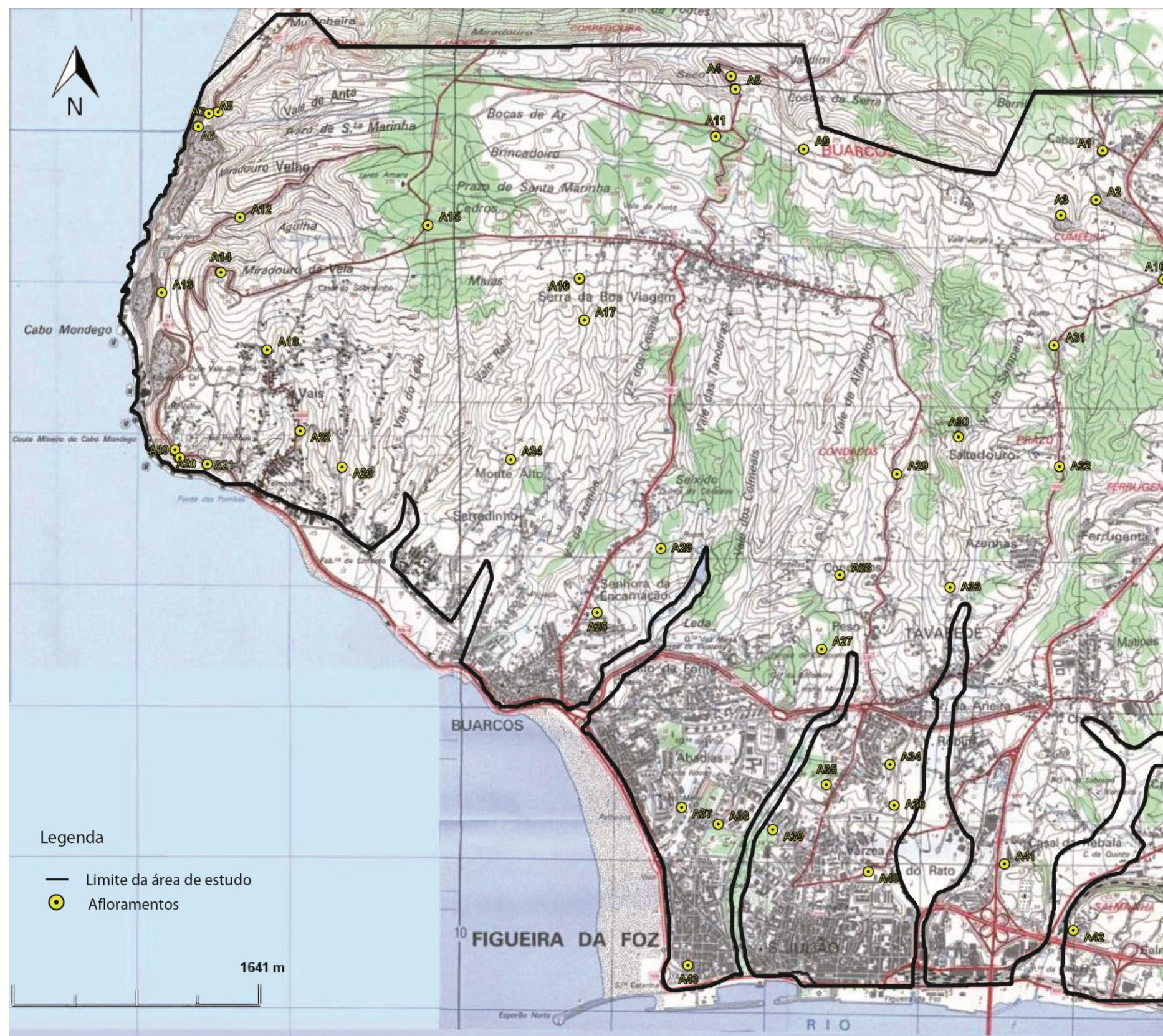


Figura 3.2 – Mapa interpretativo da região utilizando as cartas militares nº 238-A de Vais (Figueira da Foz), nº 228 de Quaios (Figueira da Foz) e nº 239 da Figueira da Foz a escala de 1/25000 e onde estão presentes os afloramentos estudados e o respetivo limite da área em estudo.

3.2. Enquadramento Geológico

A Fig. 3.3 apresenta um mapa interpretativo da região no qual estão representados os afloramentos estudados e a geologia da área definida para estudo, com base nas folhas nº 19-A e 19-C (Cantanhede e Figueira da Foz respetivamente) da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50.000 (Barbosa *et al.*, 1987; Rocha *et al.*, 1981).

As unidades estratigráficas mais recentes que afloram nesta área, consistem em depósitos modernos de aluvião e em areias de praia, os quais estão presentes ao longo de toda a faixa litoral e estuário do Rio Mondego, colmatando também as principais linhas de água das redes de drenagem do maciço calcário da Serra da Boa Viagem e da Serra das Alhadas. O Plistocénico também está presente através de extensa cobertura de depósitos marinhos, fluviais ou eólicos situados a diferentes cotas.

A Sul da Serra da Boa Viagem afloram formações do Cretácico, compostas por um extenso corpo carbonatado de origem marinha que se sobrepõe a uma sucessão espessa, de natureza detrítica e tradutora de sedimentação em meio aluvial ou de transição, flúvio-deltaico. Distinguem-se unidades principais, designadas, da mais recente para a mais antiga, como Formação dos calcários apinhoados de Costa de Arnes e Formação da Figueira da Foz (Dinis, 1999).

As restantes formações que afloram na área em estudo remontam ao Jurássico, constituindo a ossatura geológica do maciço calcário da Serra da Boa Viagem. Deste modo e de acordo com a terminologia de Rocha *et al.* (1981), as unidades do Jurássico superior compreendem, da mais recente para a mais antiga, a Formação dos Arenitos de Boa Viagem, as “Camadas marinhas ricas em lamelibrânquios”, os “Calcários hidráulicos” e o Complexo Carbonoso”. Quanto ao Jurássico médio este compreende uma sucessão monótona de calcários, margas e calcários margosos com abundantes Paleofaunas marinhas de amonóides, pautada pela sua grande espessura e ritmicidade. Ressalva-se, todavia, uma importante lacuna no Caloviano médio a superior (Azerêdo *et al.*, 2002), assim como o estratótipo de limite do Aaleniano-Bajociano definido no Cabo Mondego (Henriques *et al.*, 1993).

Por fim, as unidades do Jurássico inferior aflorantes no flanco Norte da serra da Boa Viagem, compreendem, do topo para a base, um conjunto espesso de tendência mais margosa (Margas calcárias) e de idade Toarciano (Formação de S. Gião), alternâncias de calcários e calcários margosos do Pliensbaquiano (Formação de Vale das Fontes e Formação de Lemedre) (Fig.3.4), e calcários e margas dolomíticas do Sinemuriano (Camadas de Coimbra) (Duarte, 1997; Duarte & Soares, 2002).

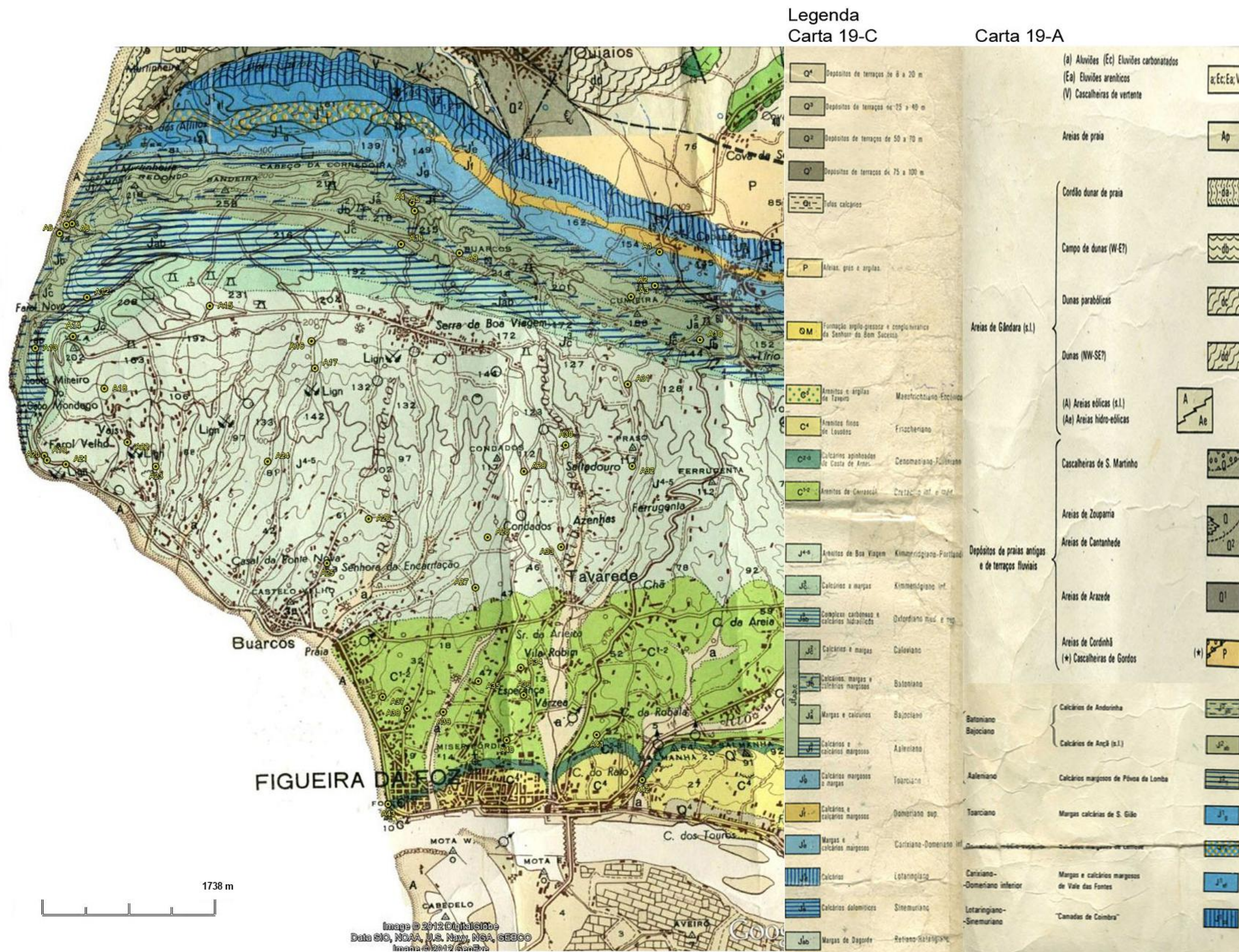


Figura 3.3 – Mapa interpretativo da região onde estão presentes os afloramentos estudados e a geologia da área definida para estudo (adaptado de Rocha *et al.*, 1981).

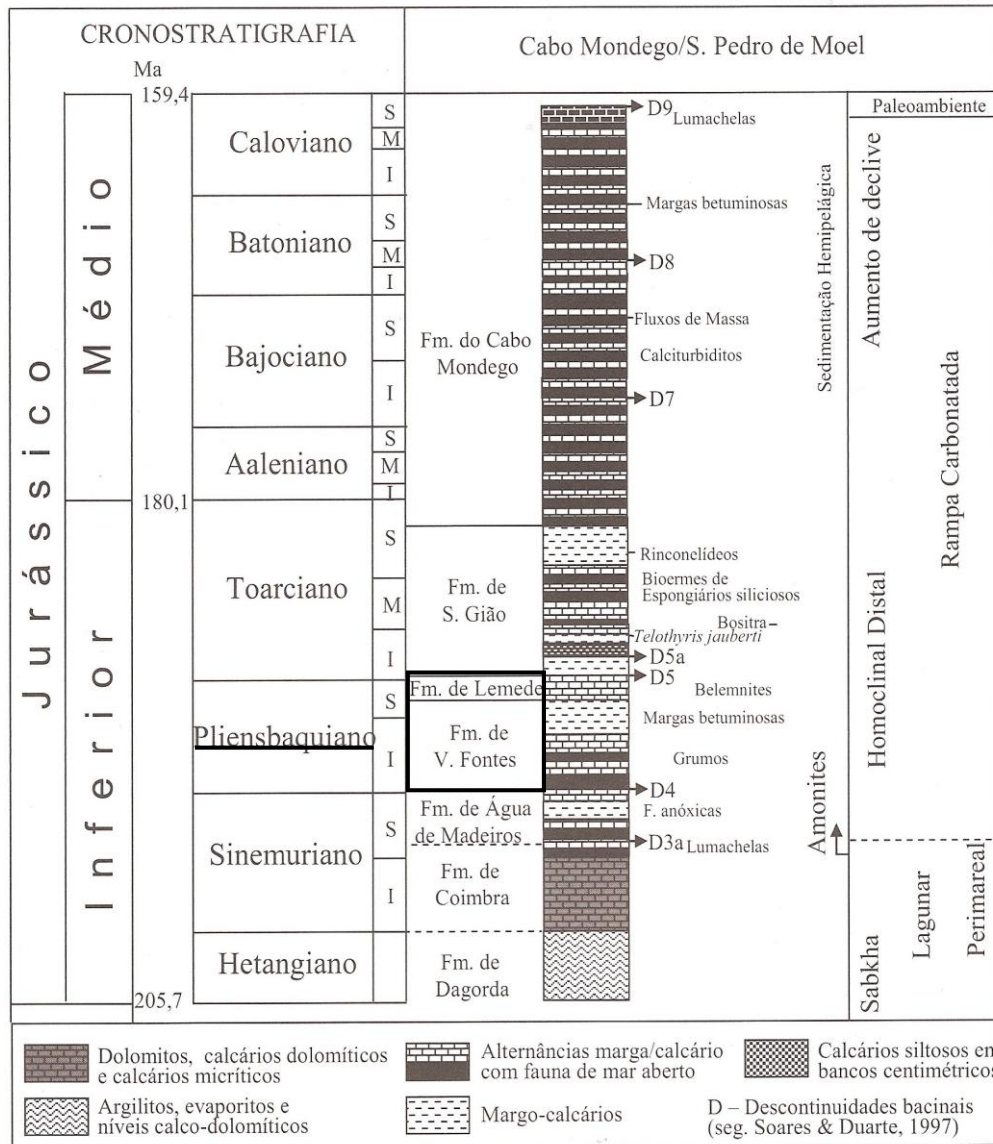


Figura 3.4 – Série-tipo do Jurássico inferior e médio no sector noroeste da Bacia Lusitânica, com presença das litofácies mais significativas, dos principais marcadores biostratigráficos e sedimentares, das várias formações e a evolução paleoambiental, sendo de destacar as alternâncias de calcários e calcários margosos do Pliensbaquiano representados pelas formações de Vale das Fontes e de Lameda (Duarte, 1997; Duarte & Soares, 2002).

3.2.1. Geomorfologia

A paisagem sedimentar onde se insere a área definida para o presente estudo compreende as seguintes unidades geomorfológicas: (1) o Cabo Mondego, (2) o maciço calcário das serras da Boa Viagem e das Alhadas, (3) a bordadura de colinas greso-argilosas do flanco sul destes relevos, (4) as costeiras da Salmanha, Fontela e Vila Verde e (5) a faixa de praias arenosas que medeia entre os Vais e a foz do Rio Mondego.

A unidade morfológica que constitui um contraste de maior relevância em relação ao meio envolvente é a Serra da Boa Viagem. Embora não sendo imponente como serra, devido à sua pequena estatura, impõe-se, no entanto, suficientemente na paisagem do extremo ocidental do Baixo Mondego, uma vez que se destaca de uma área baixa onde predominam extensas planícies arenosas. Esta tem funcionado e continua a funcionar, como uma condicionante da evolução e configuração da costa nesta região centro-litoral (Almeida, 1994). Embora tenha sido classificada como um “*horst*” basculado, a serra apresenta uma estrutura monoclinal com um pendor que vai diminuindo para Sul na razão inversa das idades relativas das unidades estratigráficas aflorantes.

A mesma unidade apresenta-se com frentes escarpadas a Norte, das quais a da Bandeira se relaciona, sobretudo, com ação erosiva diferencial em unidades mais margosas de idade toarciana; a de Quiaios, embora menos imponente, corresponde ao desenvolvimento de escarpa de falha (limitada pela falha de Quiaios) que põe em contacto os calcários e margas com areias marinhas do Plistocénico (Barbosa *et al.*, 1988).

Segundo Almeida (1992) o facto da superfície da Serra ser relativamente aplanada deve-se a que, possivelmente, o agente aperfeiçoador daquela superfície tenha sido o mar. Em alguns pontos da superfície, em especial nas depressões cársicas existentes no cimo da serra, ocorrem areias avermelhadas com seixos de quartzo e quartzito bem rolados que poderão ser o que resta do depósito marinho correlativo da superfície de erosão de 200-220 m (Almeida, *op. cit.*). Segundo o mesmo autor, na vertente ocidental da Serra da Boa Viagem e, por conseguinte, em conexão com as arribas atuais do Cabo Mondego, é bem notória uma plataforma definida por Soares *et al.* (1992) como “plataforma do farol” e que se encontra reduzida a vários retalhos, terminando numa arriba, nem sempre visível por estar colmatada por um depósito detrítico de origem marinha, denominado como Depósito de praia do Farol (Almeida 1992). Na posterior subida do nível do mar, este veio criar outra plataforma, agora mais baixa, e uma vez mais com registo no extremo ocidental da Serra. O topo

apresenta uma superfície inclinada para ocidente, irregular muitas vezes por ação humana, ao construir socacos, e que se encontra localmente talhada por profundos barrancos que permitem observar a arriba contemporânea e o seu aperfeiçoamento (Almeida, 1997).

A plataforma, considerada como o provável vestígio do nível da Praia da Murtinheira (Soares *et al.*, 1989), é composta na base por areias e conglomerados marinhos que são sobrepostos por dois corpos líticos com características distintas.

Em posição semelhante, mas na vertente Sul da serra, no espaço compreendido entre o Teimoso e Buarcos, desenvolve-se uma superfície igualmente inclinada para o mar que resultou da deposição de sedimentos imaturos (Almeida, 1997). A posição topográfica e composição dos depósitos, sugere que estes serão os equivalentes laterais dos depósitos do Cabo Mondego, pelo menos do seu corpo superior.

Uma das formas mais notáveis da Serra da Boa Viagem, são as escarpas que ocorrem nas unidades calcárias. Consistem na escarpa de falha que limita a Norte a Serra, já anteriormente referenciada, embora não seja demais salientar o facto de ser graças à "dureza" relativa da rocha do bloco levantado que ela mantém grande parte da sua imponência, mas a maior e mais marcante escarpa presente na paisagem da Serra é a da Bandeira (Almeida, 1997). O pendor da estrutura para Sul favoreceu o seu desenvolvimento e manutenção. O topo é revestido por bancadas relativamente resistentes de calcários margosos, que chegam a formar cornijas (Barbosa *et al.*, 1988). Esta escarpa é mais ou menos rectilínea e com mais de 100 m de altura na sua parte ocidental, vai tornando-se mais irregular e mais baixa em direção a leste. Esta irregularidade pode dever-se à existência de fraturas transversais as quais foram aproveitadas pelos ribeiros para recuarem as suas cabeceiras, podendo deste modo dar origem a formas fluvicársicas (Cunha, 1988). A oriente de Brenha praticamente desaparece e passa a uma vertente convexo-côncava.

As cornijas (Fig.3.5) são outro tipo de formas que estão frequentemente associadas aos calcários. Regra geral, assentam sobre vertentes escarpadas estas últimas são mantidas pelo forte encaixe da rede de drenagem, facto verificado com mais frequência na parte ocidental da Serra da Boa Viagem (Almeida, 1997).



Figura 3.5 - Cornija de calcário branco, representativa da base da sucessão local atribuída ao Jurássico Superior, Serra da Boa Viagem, Figueira da Foz.

Segundo Almeida (1997), o cimo da Serra da Boa Viagem, devido ao seu aplanamento e por apresentar um substrato essencialmente calcário, sofreu ações de carsificação que, apesar de não muito evoluídas, deram origem a algumas formas interessantes. Apesar de não serem visíveis em muitos locais, os lúpias estão dispersos em maior parte da superfície e vertentes do cimo da Serra. A sua fraca visibilidade prende-se com o facto de a cobertura arenosa fina existente, ou dos depósitos de vertente, os terem preenchido na sua totalidade. São, portanto designados por lúpias enterrados/semienterrados (Cunha, 1988). Estas formas também são visíveis noutras superfícies, nomeadamente na plataforma do farol, onde fendas com mais de um metro de profundidade encontram-se preenchidas com areias e seixos arredondados do “Depósito do Farol” (Soares *et al.*, 2007). No entanto as formas cársicas mais notórias da Serra são as dolinas (Fig. 3.6). Em número ultrapassam as 140 e apresentam dimensões muito variadas, por sua vez as formas apresentam pouca variação (Almeida, 1993). Podem ser diferenciadas em três tipos; funil, concha e dissimétricas. É frequente existência de embutimentos, ou seja, dolinas em funil embutidas em dolinas em concha, constituído a situação mais comum na área em estudo.

A carsificação profunda não parece muito desenvolvida, mas existem galerias onde nos Invernos mais húmidos verifica-se percolação de água.

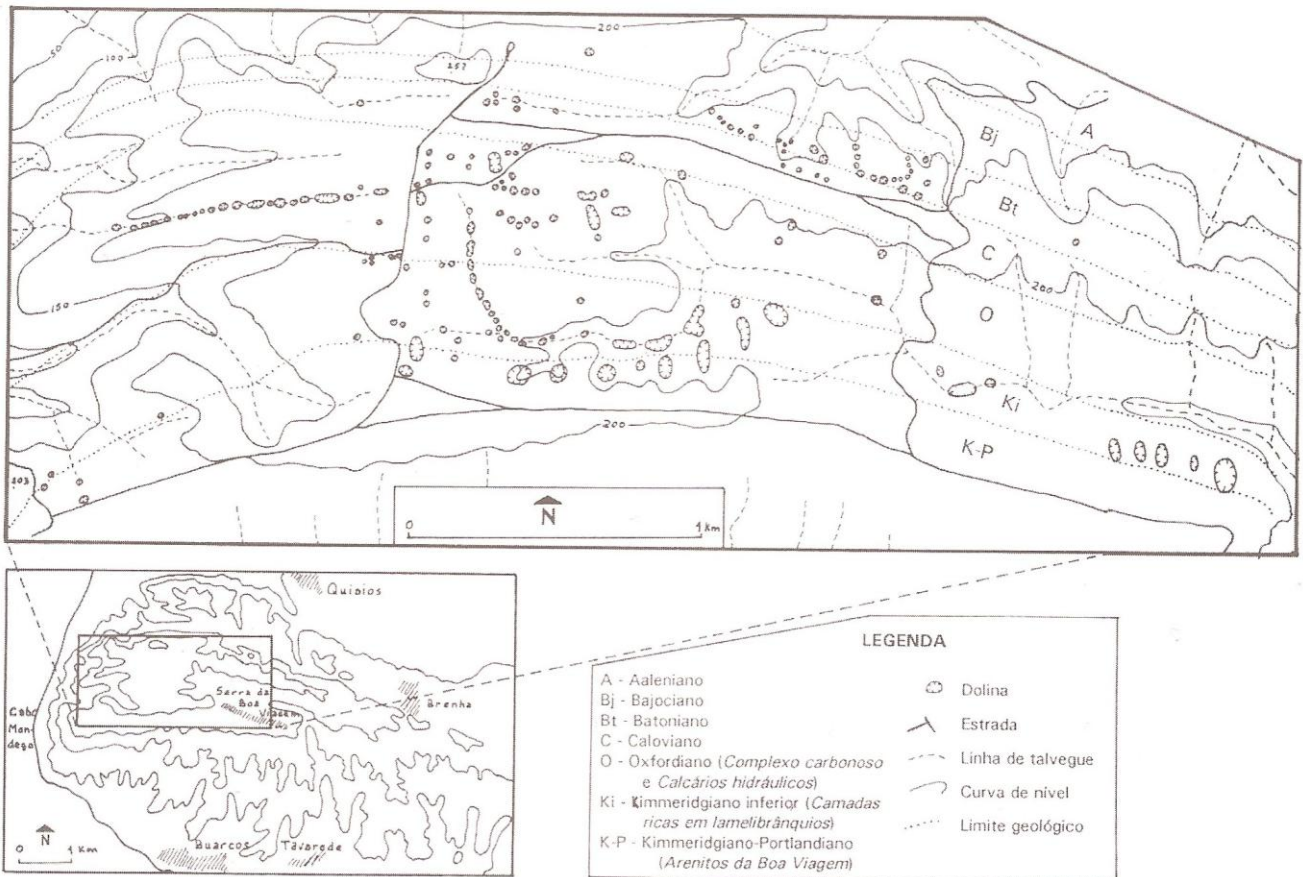


Figura 3.6 – Distribuição das dolinas na Serra da Boa Viagem. Inventariação com especial ênfase na área compreendida entre a Vela e a estrada da Serra da Boa Viagem – Quiaios (adaptado de Almeida, 1997).

Para além da Serra da Boa Viagem e em sua conexão, existe ainda uma unidade morfológica extremamente importante que é o Cabo Mondego, que se trata do flanco Ocidental, sobranceiro ao mar e que forma a arriba litoral do promontório. Toda esta frente costeira do Cabo Mondego constitui atualmente, uma arriba ativa. Esta apresenta vários níveis de plataforma de abrasão marinha sendo eles: (1) uma plataforma que constitui o topo do relevo calcário, a uma altitude de cerca de 200-220m e inclinada a oriente para ESE.

A costeira é outra forma que se desenvolve na área em estudo. Embora não estando exclusivamente associada aos calcários, são estes que lhe imprimem o essencial de toda a sua forma. Entre a Figueira da Foz e Lares estendem-se, como já se viu as costeiras de Salmanha, Fontela, Vila verde, Feiteira e Lares, as quais resultam da estrutura monoclinial e da maior resistência das bancadas dos “Calcários da Costa de Arnes” (Rocha *et al.*, 1981), assentes sobre a Formação da Figueira da Foz (Dinis, 1999). A alternância de unidades mais margosas com unidades mais calcárias, por vezes na mesma unidade estratigráfica, apresentam diferentes resistências ao desgaste mecânico, o que promove a origem de saliências e depressões alongadas e paralelas a estrutura, com saliências a formarem pequenas cornijas.

As formas dos vales e valeiros estão dependentes do tipo de rocha, deste modo nas unidades calco-margosas do Jurássico Inferior, dominam as formas transversais em berço. No entanto, ficam mais estreitas e adquirem a forma em V em duas situações distintas; quando cortam transversalmente unidades calcárias e nas proximidades da Murtinheira, devido ao forte encaixe das linhas de água, por estar o nível de base geral muito próximo (Ramos, 2008; Ramos, *et al.*, 2009).

Por fim, do ponto de vista geomorfológico são ainda de destacar as vastas praias arenosas que definem uma extensa faixa ao longo do litoral, quer para Norte do Cabo Mondego, quer entre o Cabo Mondego e a Figueira da Foz, que depois se prolonga para Sul. Na área do Cabo Mondego as praias são mais estreitas e apresentam sedimentos cascalhentos, intercalando-se com sectores onde dominam os afloramentos rochosos. No contexto das praias também se evidencia outra característica geomorfológica da área em estudo que corresponde às formas eólicas a elas associadas e que são representadas por campos dunares, respetivamente, a Norte da Serra da Boa Viagem (Carvalho, 1964; Almeida, 1995; Noivo, 1996; Danielsen, 2008) e a Sul do Mondego (André, 1994, 1996, 1997; André *et al.*, 2001). Cada campo é constituído por um cordão dunar longitudinal e uma área interior com um predomínio de dunas longitudinais de orientação geral ONE-ESSE estabilizadas por vegetação. Na Fig. 3.7 é possível observar um esboço geomorfológico da Serra da Boa Viagem e da sua área envolvente.

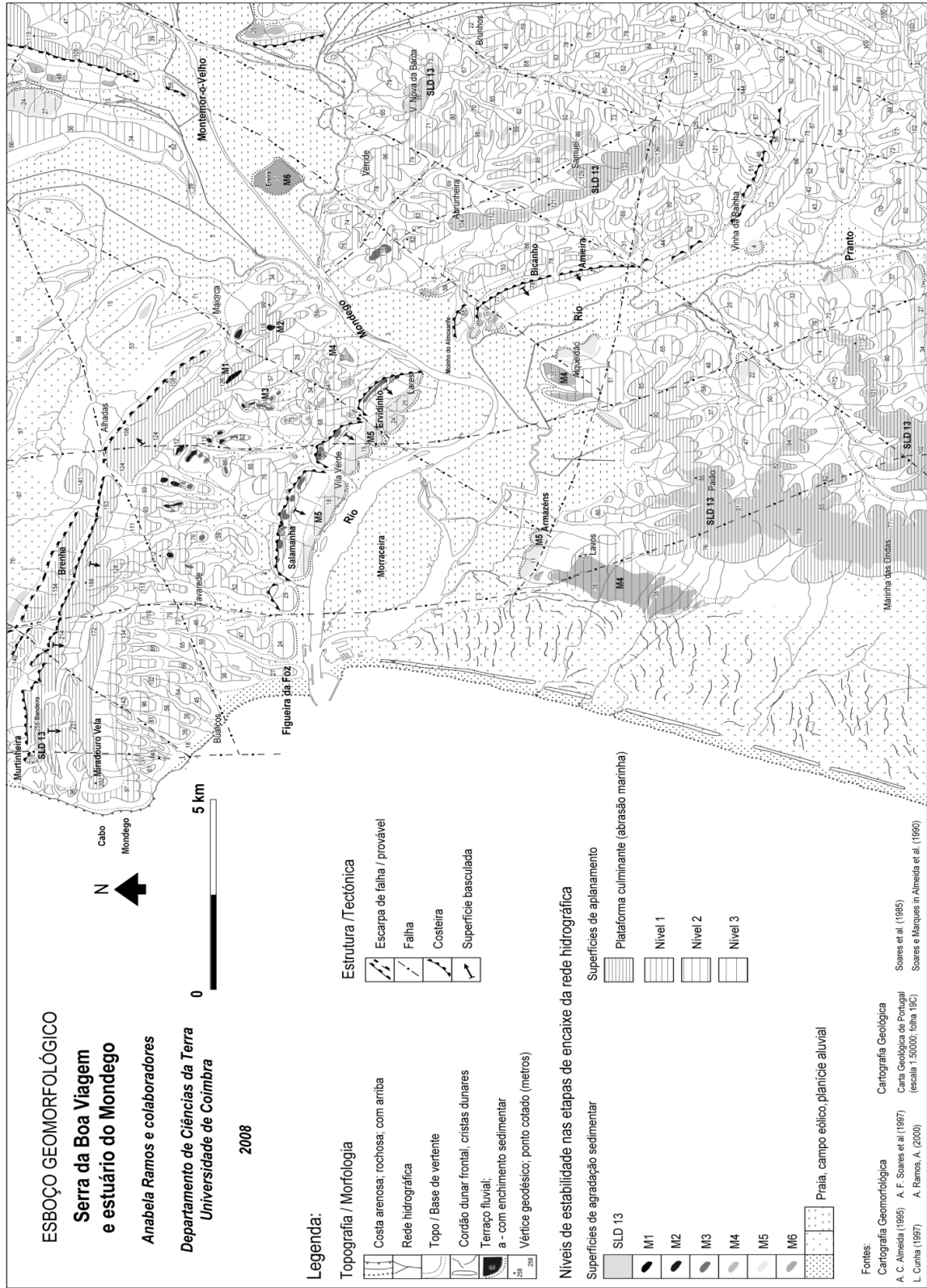


Figura 3.7 – Esboço Geomorfológico da Serra da Boa Viagem e área envolvente da Figueira da Foz (Ramos, 2008; Ramos, et al., 2009)

Na Figura 3. esta representada uma carta com o modelo digital de terreno (MDT) elaborada a partir da altimetria da área em estudo e onde estão representados os afloramentos estudados.

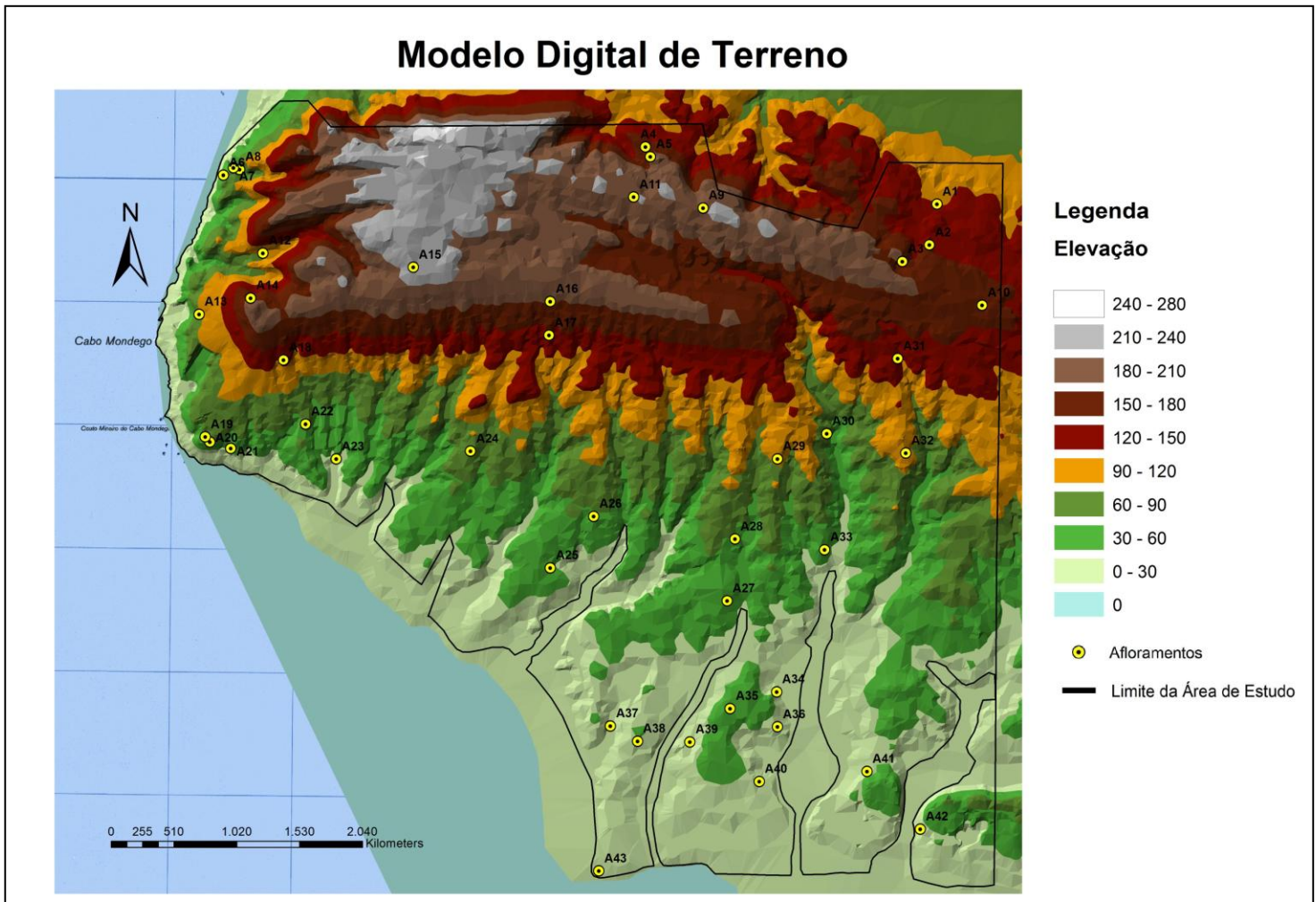


Figura 3.8 – Carta com o Modelo digital de Terreno da área em estudo e com a localização dos afloramentos estudados.

3.2.2. Estratigrafia

A área analisada está inserida na Orla Meso-Cenozóica Ocidental (Soares & Rocha, 1984) (Fig. 3.9). Nela afloram unidades cujas idades vão do Jurássico inferior ao Holocénico.

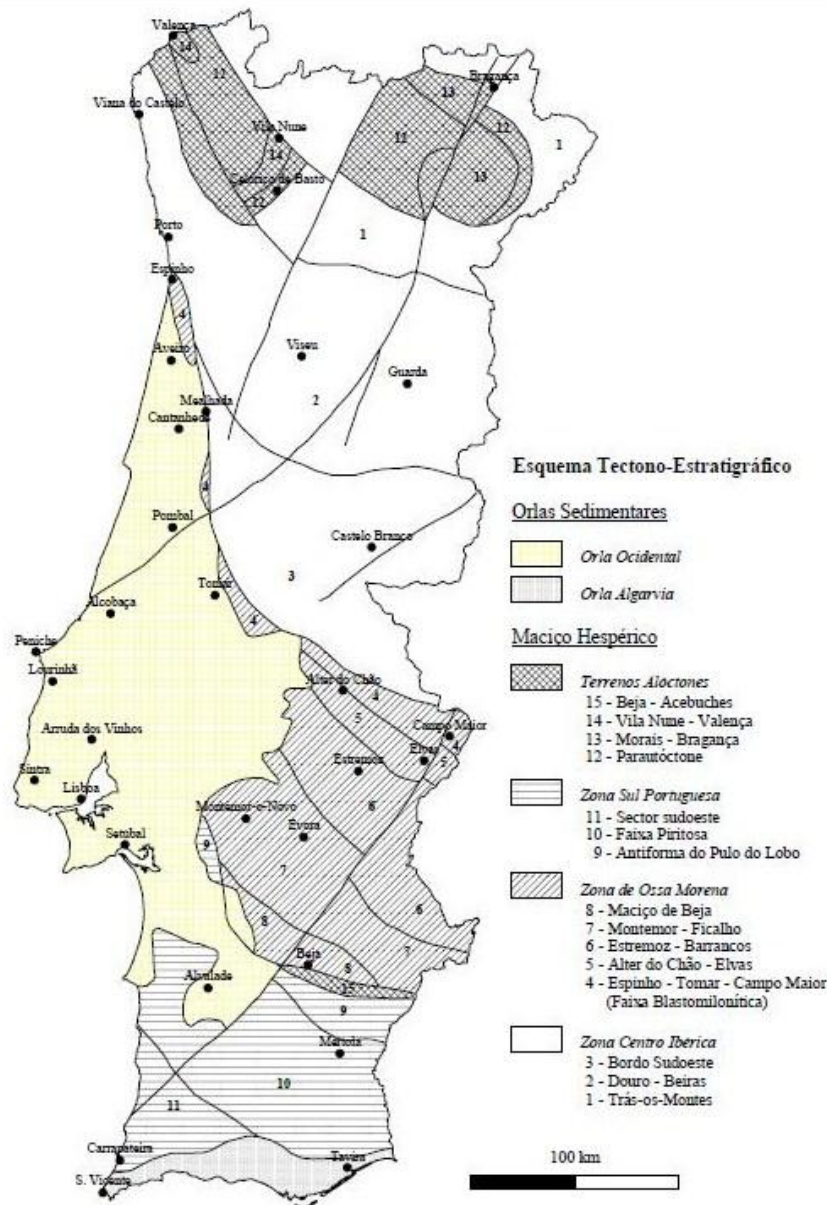


Figura 3.9 – Esquema Tectono-Estratigráfico de Portugal (Ferreira, 2000).

As unidades geológicas da Orla Meso-Cenozóica Ocidental anteriores ao ciclo do Cenomaniano são o resultado de uma sedimentação diferencial, em depressões individualizadas por sistemas de barreiras controlados pela subsidência e basculamento de blocos ao longo de falhas (Reis et al., 1992).

Durante a evolução destas depressões, foram reconhecidas fases de estruturação, marcadas por uma alternância entre períodos de reativação dos acidentes hercínicos e períodos em que a subsidência originou a instalação de dispositivos sedimentares de pequena extensão lateral (Ribeiro *et al.*, 1979). Estas fases estão intimamente ligadas ao rifting, génese e evolução do Proto-Atlântico frente à Margem Continental Oeste da Ibéria (Wilson, 1988; Pinheiro *et al.*, 1996) correspondendo, nos diferentes sectores do *onshore*, ao desenvolvimento da Bacia Lusitânica.

3.2.2.1 Jurássico

Na área em estudo o Jurássico está representado por diferentes grupos de afloramentos, cujas séries diferem quer em extensão geográfica quer em ligeiras variações de fácies e espessuras. A Norte do Rio Mondego, desde o Cabo Mondego e Quiaios até Maiorca, um grande afloramento de direção OSO-ESE, constituído por unidades com idades desde o Sinemuriano até ao Oxfordiano e Quimeridgiano arenítico, apresenta-se em estrutura monoclinal correspondendo a sua metade norte, como se viu, às serras da Boa Viagem e de Alhadas.

Durante o Jurássico Inferior e Médio a deposição ocorreu num contexto de progradação em rampa carbonatada (Mounterde *et al.*, 1979; Manuppella *et al.*, 1985; Soares *et al.*, 1988; 1990 in Reis *et al.*, 1992; Azeredo, 1993; Duarte, 1995) com formação de uma sucessão carbonatada em que o conjunto basal é dolomítico (Camadas de Coimbra) em equivalência parcial, na Serra da Boa Viagem, aos Calcários de Vale das fontes (Rocha *et al.*, 1981). Esta formação de Calcários (“Camadas de Coimbra”) é constituída por calcários maciços (7m) em bancos espessos (0,20 a 0,40 m), com pátina esbranquiçada, bem marcados na morfologia da região. Estes calcários são pouco fossilíferos. Trata-se de uma unidade que é ainda bem visível na região Sudoeste da carta geológica 19-A, de Cantanhede, entre Quiaios e a Murtinheira. Apresenta na base uma bancada espessa de calcários cinzentos compactos, que apresenta uma inclinação de cerca de 20 a 25° Sul (Rocha *et al.*, 1981). A Formação de equivalência parcial que surge na Serra da Boa Viagem é a Formação de margas e calcários margosos de Vale das Fontes que é caracterizada por um conjunto de camadas friáveis, que se encontram cobertas pela vegetação. Os seus cortes de pormenor apenas são possíveis em afloramentos ou taludes de estrada, com grande particularidade na EN 109, nas proximidades de Brenha e ainda na estrada que vai da Serra da Boa Viagem a Quiaios. Esta Formação começa por apresentar na base um conjunto de margas xistosas tenras (15 a 25 m), com

intercalações de finos bancos calcário argiloso, apresenta fósseis. Em seguida existe uma alternância de margas e calcários (24m) que é rica em pequenas concreções calcárias (grumos). A parte superior corresponde ao conjunto de margas azuladas (7,50 m), sem grumos, com fósseis piritosos, acompanhadas por níveis de xistos betuminosos e bancos de calcário margoso, friável. Deste modo sucedem-lhe, superiormente, calcários intercalados com margas, a que correspondem as Formações de calcários e calcários margosos de Lemedede e calcários margosos e margas (Margas de S.Gião).

A Formação de calcários e calcários margosos de Lemedede, do Domeriano médio-superior, é constituída por camadas bem mais calcárias do que margosas e forma um relevo bastante acentuado. Apresenta calcários margosos de cor clara, bastante compactos, em bancos espessos, separados por finas camadas de margas, bem visíveis em relevo a meio da pedreira de Brenha. A formação de calcários margosos e margas (Margas de S.Gião) que se sobrepõem à Formação de Lemedede é constituída por um conjunto de terrenos relativamente friáveis com alguns relevos bem pronunciados. Na base apresenta bancadas de calcários ricos em fósseis; seguindo-se uma série essencialmente margosa cortada por alguns bancos calcários. Na parte superior apresenta-se ligeiramente mais calcária e é comum a presença de fósseis. Esta série margosa, tenra, encontra-se sempre marcada no terreno por uma depressão.

No final deste ciclo, no Jurássico Médio, verifica-se uma litologia mais monótona, composta por calcários, margas, calcários margosos alternantes que se encontram divididos em 4 conjuntos de idades sucessivas (Rocha *et al.*, 1981) sendo eles:

- A formação de Calcários e calcários margosos do Aaleniano
- A formação de Margas e calcários do Bajociano
- A formação de Calcários, margas, e calcários margosos do Batoniano
- A formação de Calcários e margas do Caloviano

Toda esta série que engloba praticamente todo o Dogger é denominada de Formação de Calcários e Margas do Cabo Mondego (Soares *et al.*, 1987), este grande grupo apresentam uma litologia bastante semelhante como já tinha sido referido, e que correspondendo geralmente a bancadas de calcários compactos mais ou menos argilosos, alternando com camadas ou simples interleitos margosos passando para o topo, a apresentar calcários recifais.

Esta unidade corresponde uma alternância contínua de litótipos que variam entre as unidades margosas e as unidades calcárias sendo, de uma forma geral, rica em conteúdo fossilífero. E além disso os limites cronostratigráficos estabelecidos para a sua divisão baseiam-se essencialmente na sucessão da fauna de amonites. Na Fig. 3.10 pode observar-se com pormenor parte desta unidade.



Figura 3.10 – Sucessão sedimentar de litótipos composta por alternâncias de camadas de calcário com camadas de marga (Jurássico Médio), Cabo Mondego, Portugal, Janeiro de 2012 (Banco de Imagens da Casa das Ciências).

Uma importante descontinuidade, associada a uma lacuna estratigráfica, afeta o Caloviano superior e o Oxfordiano inferior, o que sugere segundo Reis *et al.*, (1992), uma significativa descida do nível médio do mar em simultâneo com uma etapa de elevação térmica que teria antecedido a 2ª fase de rifting. Durante este ciclo, na organização da bacia lusitânica as condições ambientais de sedimentação, juntamente com a diferenciação da subsidência, conduziram a uma variabilidade de fácies mais

“complexa” a Norte, na Serra da Boa Viagem, que adquiriram especial significado siliciclástico (Wilson, 1979; Bernardes, 1992; Reis *et al.*, 1996). No Oxfordiano médio a sedimentação inicia-se com a deposição de carbonatos lacustres com influência marinha (Wright, 1985) (“Complexo carbonoso” e “Calcários hidráulicos”). As condições eustáticas em toda a bacia teriam sido equilibradas durante a deposição dos carbonatos marinhos de plataforma, caracterizados por grandes variações laterais de espessura e fáceis.

Este conjunto estratigráfico com valor de Formação (Formação de Vale Verde) contempla duas unidades distintas: por um lado temos o “Complexo carbonoso” que apresenta cerca de 40 m de espessura e começa por um conglomerado de base seguido por um conjunto de margas e calcários em plaquetas com abundantes fósseis. Segue-se então a série carbonosa propriamente dita, correspondente a margas xistosas com leitos de lenhite que alternam com bancadas calcárias. No topo, verifica-se a alternância de bancos de calcário compacto com bancos de arenitos avermelhados, encontrando-se impressões de pegadas de Dinossáurios (Lapparent & Zbyszewski, 1957) e fragmentos vegetais. Este complexo foi ativamente explorado pela Fábrica de Cimentos e Carvões do Cabo Mondego entre 1773 e 1967.

Por outro lado temos ainda a unidade dos “Calcários hidráulicos”, constituída por uma série com cerca de 80 m de espessura que começa com calcários cinzentos-escuros, compactos em bancadas espessas, sobrepostas por uma alternância de argilas, calcário cinzento compacto e argilas lenhitasas e piritosas. Este conjunto com 15 a 20 m de espessura é pouco fossilífero. Segue-se então uma série de calcários margosos compactos em bancos pouco espessos, separados por interleitos de xistos betuminosos. Esta já apresenta fósseis e em frente à fábrica do Cabo Mondego verificam-se pegadas de dinossáurios bem definidas (Rocha *et al.*, 1981). Os calcários hidráulicos terminam com cerca de 30 m de calcário margoso compacto que forma uma parede vertical de difícil acesso. Este conjunto revela uma associação faunística de água doce, evidenciando-se no entanto algumas influências marinhas (presença de equinídeos).

Após a formação do complexo carbonoso e calcários hidráulicos e antes do término do Jurássico, existe ainda uma formação do Kimeridgiano inferior constituída por calcários e margas que assenta sob o complexo carbonoso e os calcários hidráulicos. Esta formação de calcários e margas é um complexo calco-argilo-arenítico.

São camadas marinhas ricas em lamelibrânquios (de espessura com cerca de 70m), são bem visíveis na praia e ao longo da estrada que sobe o Farol Novo, ao nível e a Norte do Miradouro. Este conjunto pode dividir-se em vários compartimentos litológicos, a saber:

- Calcários margosos nodulosos em bancos irregulares separados por margas xistosas cinzentas.
- Margas negras cinzentas ricas de "*Ostrea*" sp., alternando com calcários margosos compactos.
- Arenitos avermelhados e margas argilosas acastanhadas.
- Dois conjuntos de calcários margosos esbranquiçados ricos de lamelibrânquios separados por margas arenosas e arenitos grosseiros, por vezes lignitosos.
- Arenitos grosseiros, margas acinzentadas e calcários avermelhados ou esbranquiçados com fragmento de lamelibrânquios.
-

Este conjunto corresponde a depósitos litorais muito zoogénicos com tendência regressiva, na parte superior apresenta fósseis (Rocha *et al.*, 1981).

O registo sedimentar representativo do Jurássico termina, assim, pela Formação dos Arenitos de Boa Viagem, em discordância estratigráfica sobre as formações anteriores (Rocha *et al.*, 1981) sendo que na área em estudo estende-se desde o Cabo Mondego até à área de Buarcos e Tavadede. Esta é constituída por uma espessa série gresosa (com alternância de arenitos argilosos e de argilas).

Esta série estende-se desde o litoral, em direção ONO-ESE, até ao Rio Mondego, prosseguindo na região de Verride e a Sul de Cerro Ventoso. Apresenta uma espessura que varia entre os 500 e os 600 metros e assenta em discordância estratigráfica sobre os terrenos subjacentes. Esta alternância apresenta cores dominantes que variam entre o vermelho e amarelo para os arenitos e o amarelo, cinzento e esverdeado para as argilas. Os arenitos são de grão fino com intercalações de grão médio a grosseiro, com tendência conglomerática. As argilas são plásticas, areníticas e micáceas. A Formação dos Arenitos de Boa Viagem tem sido interpretada como uma sequência de fácies fluvio-deltaica, na qual se intercalam algumas fácies marinhas.

3.2.2.2 Cretácico

Na área em estudo o Cretácico está representado por depósitos que constituem a parte inferior do Sistema, possivelmente a partir do Aptiano, e que são essencialmente siliciclásticos e continentais designados por Formação da Figueira da Foz (Dinis, 1999) sendo também denominados como Arenitos de Carrascal (Rocha *et al.*, 1981) e por Grés grosseiro inferior (Soares, 1966), (Fig. 3.11). A Formação da Figueira da Foz é constituída em geral por arenitos mais ou menos argilosos, finos a grosseiros e por argilas geralmente arenosas. Em termos de granulometria, a Formação organiza-se em sequência positivas tipicamente fluviais, com a presença de grãos grosseiros na base passando gradualmente para grãos finos no topo. Segundo Dinis (1999), todos os Membros desta Formação são predominantemente siliciclásticos, no entanto ocorrem níveis carbonatados cuja litologia e fósseis indicam influência marinha, sobretudo em posições paleoambientais distais e na parte superior da Formação.

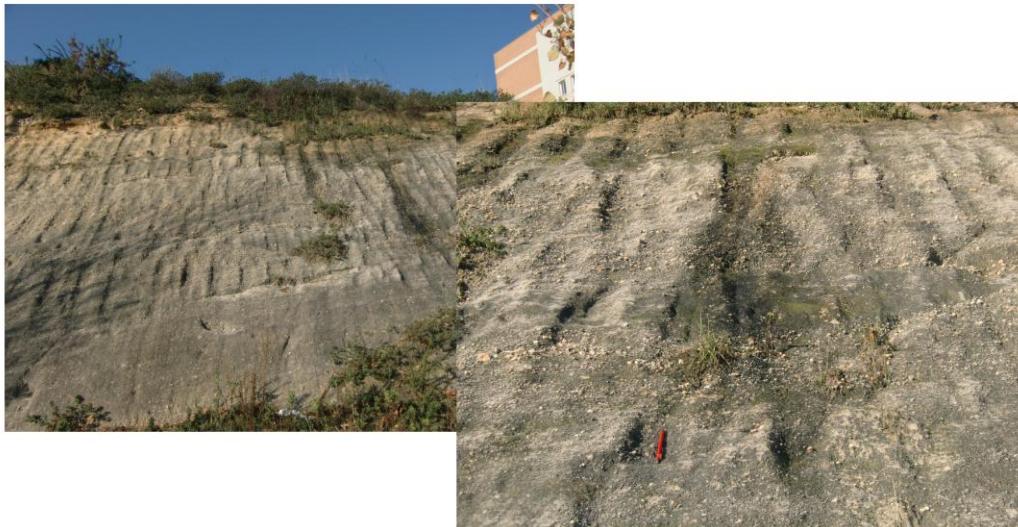


Figura 3.11 – Formação da Figueira da Foz composta por bancadas espessas de arenitos com presença de arenitos finos e lutitos no topo, sequência tipicamente fluvial onde foi aplicada a classificação de suscetibilidade.

A figura 3.12 mostra o enquadramento litostratigráfico da Formação da Figueira da Foz com os seus diferentes membros que a integram e a sua respetiva associação litológica dominante. Apresenta também a variação de espessura da Formação. Em síntese os depósitos, que integram esta formação, podem corresponder a enchimento de canais ou inclusive a episódios de transbordo sobre os interflúvios (planície de inundação fluvial, interdistributários de delta e planícies supramareais de estuários), onde os processos de deposição são dominados por decantação, no entanto quando ocorre perda de competência no transporte da carga de fundo são gerados lóbulos de derrame ou mais raramente, depósitos tabulares quando o transbordo é generalizado (Dinis, *op. cit.*).

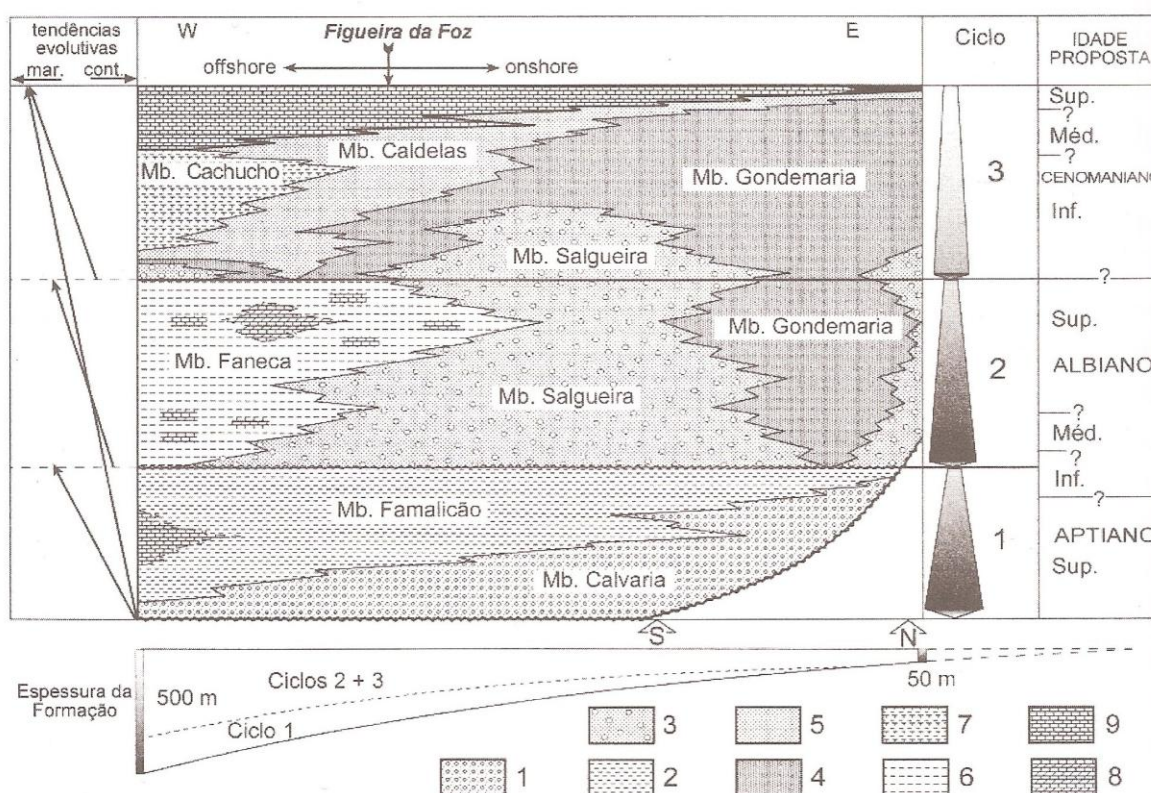


Figura 3.12 - Quadro litostratigráfico dos membros da formação de Figueira da Foz.

Apresentam-se os ciclos e a variação da granulometria bem como as idades propostas. 1- conglomerados; 2-arenitos e lutitos; 3-conglomerados e arenitos; 4-arenitos grosseiros; 5-arenitos lutíticos; 6-lutitos arenosos; 7-margas e lutitos; 8-calcários e dolomitos; 9-calcários. Os calcários presentes no topo sob o membro de Caldelas correspondem ao corpo carbonatado cenomano-turoniano (adaptado de Dinis, 1999).

A sedimentação da Formação da Figueira da Foz terminou com a implantação, em continuidade, de uma sedimentação carbonatada marinha. Durante o Cenomaniano médio-Turoniano inferior houve alongamento de uma plataforma carbonatada onde a acumulação terá ganho uma competência inundativa, de carácter eustático, com *onlap* para Oriente (Soares e Gomes, 1997). Este evento encontra-se materializado na área estudada pela Formação Carbonatada designada por Soares (1996) e Rocha *et al.* (1981) como Calcários apinhoados de Costa de Arnes e como Calcários de Mamarrosa, por Barbosa *et al.* (1981) e também por Calcários de Trouxemil por Soares *et al.* (1985). Esta Formação (Fig. 3.13) é bem identificável na vertente Sul da Serra da Boa Viagem e prolonga-se desde a Figueira da Foz até Lares onde são cortados abruptamente pelo Rio Mondego.

A estratigrafia local da unidade consiste numa sucessão de níveis carbonatados com fósseis marinhos com cerca de 65 metros de espessura (níveis “B” a “O”, segundo P. Choffat, 1897, 1900).



Figura 3.13 – Formação Carbonatada - Calcários apinhoados margosos, com carsificação preenchida por depósitos argilosos com terra rosa. No centro podemos observar uma buraca.

Na base, predominam o grés margoso, margas gresosas e calcários margo-gresosos que apresentam bastantes fósseis. Seguem-se então os calcários apinhoados propriamente ditos que por sua vez também possuem uma grande quantidade de fósseis. As fácies de calcário margoso apinhoado prolongam-se até aos níveis superiores da formação e intercalam-se com diversos estratos de calcário espessos e compactos de cor creme. O topo da unidade caracteriza-se pelo regresso das fácies mistas e apresenta uma fração crescente de micas.

3.2.2.3 Pliocénico

De acordo com Zbyszewski (1949) e Teixeira & Zbyszewski (1951, 1954), o Pliocénico em Portugal está associado a um evento transgressivo, contínuo e fácil de seguir utilizando critérios geomorfológicos, visto que é acompanhado por uma superfície aplanada que contrasta com os relevos interiores proeminentes.

Para norte do Rio Mondego, esta série sedimentar detrítica apresenta três unidades segundo Carvalho (1949,1950). A unidade correspondente à base encontra-se localizada exclusivamente na vertente ocidental da Serra do Buçaco, trata-se de um corpo muito imaturo, com tons avermelhados e que apresenta uma expressão local. Sobrepondo-se a esta unidade encontram-se areias por vezes finas amareladas, com seixos finos, muito bem rolados, por vezes de aspeto polido, esta unidade seria o registo da transgressão pliocénica. Esta série termina com os depósitos areno-conglomeráticos, de matriz argilosa e níveis argilosos, que se assumem como ligados a uma planície aluvial (Ramos, 2008). Esta unidade estende-se a Norte da Serra da Boa Viagem.

O Pliocénico de uma maneira geral é materializado na base e nos sectores ocidentais por um conjunto de fácies que possuem características marinhas. Deste modo para o topo e sectores interiores predominam influências continentais que registam assim um ciclo com tendência progradante (Azevedo, 1982; Reis e Cunha, 1989a; Cunha e Reis, 1991; Cunha et al., 1993; Barbosa, 1995; Pimentel, 1997; Dinis, 2004).

3.2.2.4 Quaternário

O Plistocénico é uma época na escala do tempo geológico que ficou marcada por toda uma série de episódios relacionados com as fases glaciares e interglaciares e com a posterior transgressão holocénica (Flandriano), sendo de realçar o Würm (último período glacial).

Parte destes acontecimentos ficaram registados através de depósitos de terraço marinhos e fluviais situados a cotas entre alguns metros acima do atual nível de base e a linha de cumeada das serras (Soares *et al.*, 2007; Callapez, 2010; Danielson *et al.*, 2011). Contam-se, entre estes, os níveis de praia do Farol (80 m) (Almeida *op. cit.*; Soares *et al.*, 2007) e da Bandeira (200 – 220 m) (Depósito areno-pelítico, *in* Almeida, 1992, 1995), assim como as areias de Várzea do Lírio (conjunto homogéneo de depósitos arenosos, que ocupam uma área significativa dos troços superior e médio do Rio de Carritos, *in* Callapez, 2010) e os níveis cascalhentos de terraço fluvial de Vila Verde, contíguos às captações de água do município.

Grande parte destes depósitos são constituídos, predominantemente, por conglomerados grosseiros ricos em quartzo e quartzito, secundados pela presença de outros minerais ou fragmentos rochosos constituintes do substrato geológico da bacia hidrográfica ou do próprio maciço calcário. A matriz é geralmente arenosa grosseira, rica em quartzo, feldspatos, silte e argila (Ramos, 2008).

A norte do degrau estrutural do maciço calcário da Boa Viagem e das Alhadas, estende-se uma vasta planície arenosa contígua a um campo dunar particularmente bem desenvolvido, parte integrante da Gândara que Soares de Carvalho (1954) tão bem comparou às Landes da Gasconha. Predominam aqui os sedimentos arenosos, formando depósitos de origem eólica come estrutura entrecruzada, assim como podzóis e intercalações lodosas correspondentes ao enchimento de antigas lagoas e lagunas litorais (Danielsen *et al.*, 2011).

Por fim, as unidades holocénicas mais recentes que afloram nesta área correspondem a depósitos modernos, tais como, o aluvião do Rio Mondego e seus tributários e ainda as faixas arenosas ou areno-cascalhentas de praia que preenchem toda a faixa do litoral português.

3.2.3. Enquadramento tectónico

Toda a evolução tectónica ocorrida nos últimos dois milhões de anos, desde o final do Pliocénico e durante todo o Quaternário, é definida como neotectónica segundo Cabral & Ribeiro (1988). Na região da Figueira da Foz, a carta Neotectónica de Portugal na escala 1:1 000 000, aponta para a ocorrência de alguns elementos a ter em conta (Fig. 3.14).

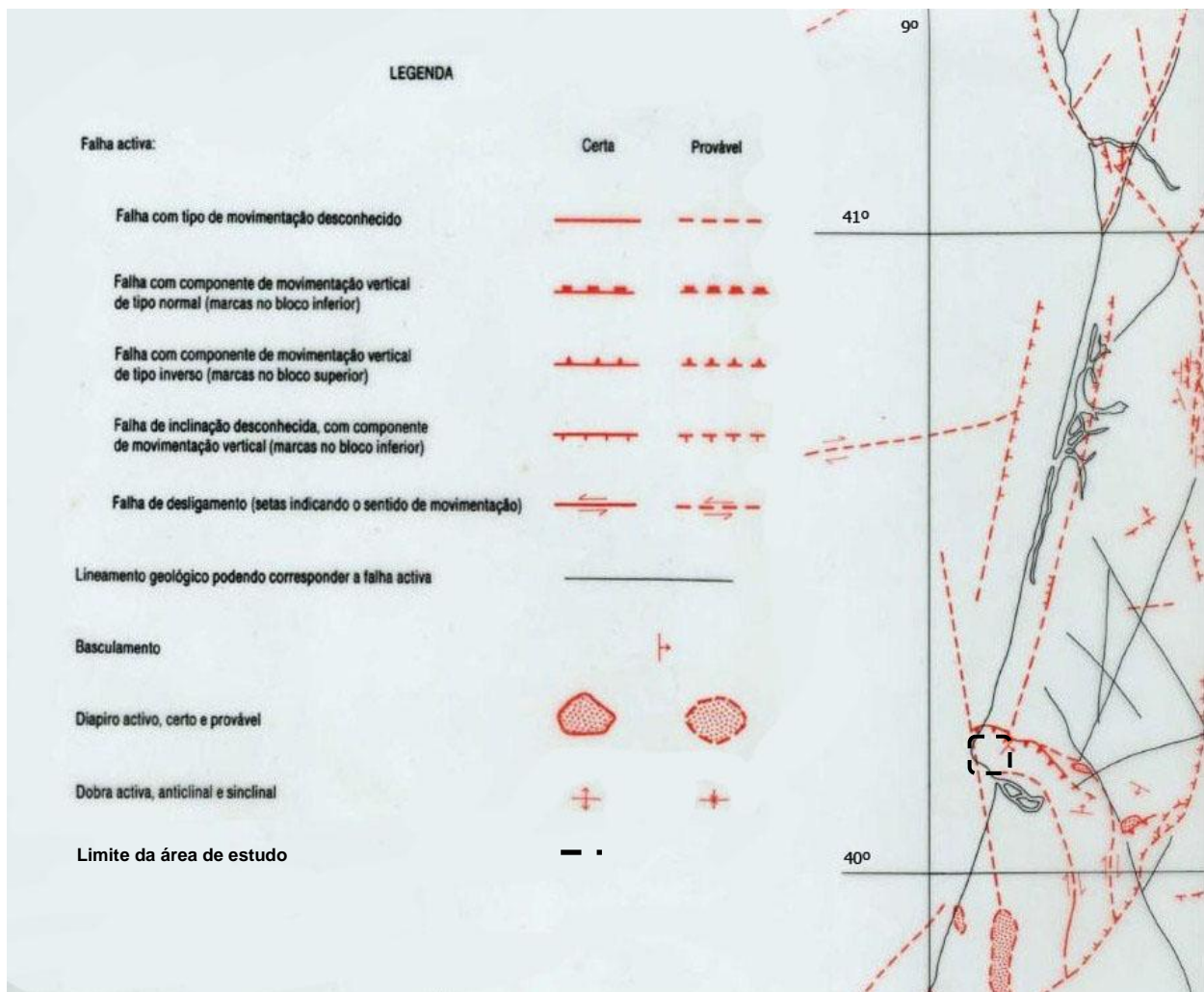


Figura 3.14 – Localização da área em estudo na Carta Neotectónica de Portugal (adaptado de Cabral & Ribeiro, 1988).

O acidente tectónico mais relevante da área em estudo prende-se em grande parte com o cavalgamento da Serra da Boa Viagem ou falha de Quiaios (Cabral, 1995) que talha bruscamente a Norte a Serra da Boa Viagem como já foi referido anteriormente (cap. 3.2.1). Esta vertente escarpada está relacionada com a falha de Quiaios, dado que corresponde a uma falha cavalgante e que expressa por uma tectónica compressiva e que tem vindo a levantar a Serra, pelo menos durante o Quaternário a uma velocidade média de 0,05 a 0,2 mm/ano (Cabral, 1993).

Para além desta falha longitudinal que se desenvolve desde Ereira, nos Campos do Mondego, até a Murtinheira e que se prolonga para a plataforma continental, também ocorrem outras fraturas transversais que possivelmente influenciaram a compartimentação aplanada do cimo da Serra. A falha de Quiaios apresenta uma orientação WNW-ESE. No entanto apesar da sua orientação geral, a falha apresenta uma forma arqueada, com concavidade virada para Sul e a curvatura mais acentuada entre Quiaios e Murtinheira. A existência desta falha foi reconhecida em 1952 (Carvalho, 1952, in Barbosa *et al.*, 1988), num pequeno areeiro situado junto ao cemitério de Quiaios, onde se observou um cavalgamento das areias marinhas quaternárias pelos calcários e margas do Liásico.

Existe ainda a Ocidente, na área imersa ao largo da Figueira da Foz, o diapiro de Pinhal (Vannev & Mougnot, 1981), alongado na direção N-S. Este ao unir-se com o arco de cavalgamento da Serra da Boa Viagem e com as possíveis falhas do Pranto e do Arunca, definiram uma estrutura cujo eixo seria coincidente com a zona de máxima deposição da Bacia Lusitânica neste sector.

4 Metodologia

4.1. Classificação utilizada

A classificação utilizada no presente estudo é aplicada a maciços rochosos, de forma a permitir a definição de suscetibilidade geológica e geotécnica das diferentes formações consideradas. Na classificação procede-se a uma análise qualitativa e quantitativa de vários parâmetros. Esta classificação foi estabelecida de acordo com as diferentes classificações definidas por Bieniawski (1984), Flenje et al. (2000) e Ko Ko et al. (2004). Para a definição da classificação, foi necessário observar as diferentes características e particularidades dos afloramentos, procedendo-se ainda à realização de ensaios complementares de modo a definir o comportamento do material presente em cada afloramento, de modo a avaliar a suscetibilidade geológica e geotécnica presente na área em estudo.

A classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica que foi utilizada na área do concelho da Figueira da Foz é constituída por seis parâmetros principais: o registo histórico e indicadores de instabilidade, a litologia (e a sua resistência), as estruturas geológicas, a morfologia, as possíveis situações de inundações e as tensões “in situ”. Os parâmetros referentes às estruturas geológicas e à morfologia encontram-se divididos em vários sub-parâmetros. As características definidas nesta classificação dizem respeito a potenciais situações problemáticas observadas nos afloramentos estudados. Cada parâmetro apresenta os seus critérios de avaliação e a sua respetiva classificação ponderada, no sentido de permitir a recolha e compilação da informação necessária à obtenção de uma quantificação relativamente à suscetibilidade geológica e geotécnica presente na área. Posteriormente à realização e definição da classificação ponderada para cada um dos parâmetros propostos e respetivos sub-parâmetros, efetuou-se a fase de seleção dos locais propícios para aplicação da classificação proposta.

Com a classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica implementada neste trabalho pretende-se criar um instrumento que permita avaliar possíveis áreas/zonas em termos de possível utilização e permitir um melhor ordenamento de território.

4.2. Classificação de suscetibilidade

A classificação para análise de maciços rochosos com os seus seis parâmetros principais e respetivos sub-parâmetros é representada no Quadro 4.1. Esta classificação após a avaliação de todos os seus seis parâmetros e respetivos sub-parâmetros permite definir um valor total ponderado e possibilitará o estabelecimento da suscetibilidade de cada um dos afloramentos estudados. O valor máximo desta classificação é de 100, verificando-se para os valores mais elevados da classificação, uma maior suscetibilidade aos problemas geológicos e geotécnicos.

Quadro 4.1 - Classificação de Maciços Rochosos

Parâmetros			Classificação
Registo Histórico + Indicadores de Instabilidade			0 – 12
Litologia (Resistência)			0 - 13
Estruturas Geológicas	Orientação	Plano de Estratificação	0 - 8
		Falhas	
		Fraturas	
	Famílias		0 - 4
	Espaçamento da fraturação		0 - 4
	Cavidades		0 - 5
	Ação Sísmica		0 - 10
Morfologia	Declives	Meio envolvente	0 - 6
		Afloramento	
	Percolação + Nível Freático		0 - 8
	Erosão	Afloramento	0 - 9
		Costeira	
Tipo de Vegetação		0 - 5	
Inundações			0 – 9
Tensões “in situ”			0 – 7

4.2.1. Registo histórico e Indicadores de instabilidade

O parâmetro do registo histórico aparece associado com as deformações, roturas e situações de instabilidades que ocorreram anteriormente no local de estudo considerado. Consideram-se igualmente os indicadores de instabilidade, estes correspondem a movimentos verificados, inclinação de árvores e/ou estruturas, diferenças de cobertura vegetal e existência de fraturas de tração.

Este parâmetro apresenta um valor ponderado entre 0 a 12, o valor mais reduzido é considerado quando não se verificam indícios de instabilidade, ocorrências de fraturas de tração, movimentações e deformações no afloramento, bem como a existência de inclinações de árvores e basculação de estruturas. Se os aspetos anteriores se verificarem e aumentarem de intensidade deve incrementar-se o valor ponderado atribuído ao parâmetro.

4.2.2. Litologia (resistência)

O parâmetro relativo à litologia tem como objetivo a definição do tipo de material rochoso existente, bem como o seu estado de alteração e resistência. Cada tipo de litologia apresenta diferentes resistências, de acordo com Ko Ko et al. (2004): as rochas sedimentares podem apresentar uma resistência muito elevada, elevada, média ou fraca; as rochas ígneas podem apresentar uma resistência muito elevada ou fraca; as rochas metamórficas podem apresentar uma resistência muito elevada, elevada ou fraca. O estado de alteração pode ser considerado através da proposta da ISRM (1981), esta definiu cinco diferentes estados de alteração que são apresentados no Quadro 4.2.

De modo a definir de uma forma mais completa este parâmetro no que diz respeito às rochas sedimentares, e de acordo com a resistência dos materiais e o seu grau de alteração é apresentada a classificação do Quadro 4.3. Os valores para o parâmetro litológico têm uma variação entre 0 e 13. A classificação mais baixa é atribuída para afloramentos de material rochoso não alterado e muito resistente, sendo definida a classificação máxima de 13 para casos extremos onde se verifique a presença de materiais rochosos totalmente decompostos e de fraca resistência.

Quadro 4.2 - Classificação do estado de alteração de um maciço rochoso (adaptado de ISRM, 1981).

Símbolos	Designação	Características
W1	São	Sem sinais de alteração.
W2	Pouco alterado	Sinais de alteração somente nas superfícies das descontinuidades.
W3	Moderadamente alterado	O maciço rochoso está visivelmente alterado mas a maior parte do material rochoso não é friável.
W4	Muito alterado	O maciço rochoso está visivelmente alterado, verificando-se que a maior parte do material rochoso é friável.
W5	Decomposto (Saibro)	O maciço apresenta-se completamente friável e com um comportamento de solo.

Na área estudada verificou-se a presença de tipos litológicos pertencentes a formações sedimentares, pelo que no Quadro 4.3 apenas se apresentam valores relativos a esse tipo litológico.

É ainda de realçar que os valores definidos para este parâmetro estão também relacionados com os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais e “*in situ*” de caracterização mecânica, realizados para os materiais rochosos.

Quadro 4.3 - Classificação atribuída ao parâmetro de Identificação litológica

Material rochoso	Resistência do material	Estado de alteração				
		W1	W2	W3	W4	W5
Sedimentar	Muito Elevada	0 - 1	1 - 3	3 - 5	5 - 7	7 - 9
	Elevada	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 11
	Média	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 11	11 - 12
	Branda	6 - 8	8 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13

4.2.3. Estruturas geológicas

O parâmetro correspondente às estruturas geológicas apresenta cinco subparâmetros, de modo que a sua avaliação seja mais rigorosa e complementar. Os subparâmetros definidos são a orientação das descontinuidades principais (planos de estratificação, falhas e fraturas), o número de famílias de fraturas, o espaçamento da fracturação, a existência de cavidades e a ação sísmica. Sendo que para os valores da orientação das descontinuidades é apresentada uma variação entre 0 e 8, para o número de famílias de fraturas os valores variam entre 0 e 4, para o espaçamento da fracturação a variação esta compreendida entre 0 e 4, para a existência de cavidades é apresentada uma variação entre 0 e 5 e ação sísmica compreende valores entre 0 e 10.

4.2.3.1 Orientação das descontinuidades

No subparâmetro da orientação das descontinuidades utilizou-se uma adaptação do modelo de Ko Ko et al. (2004), que se encontra representado na figura 4.1. O valor da classificação ponderada é igual a 2 se o afloramento apresenta uma orientação favorável, de acordo com as representações com os números de 9 e 10, se por outro lado apresenta uma orientação favorável que corresponde às representações numeradas de 11 a 13, a respetiva classificação ponderada é de 0 pontos. Se o afloramento apresenta uma orientação intermédia que se pode visualizar nas representações numeradas de 5 a 8, a classificação ponderada assume o valor de 4 pontos. Se o afloramento possui uma orientação desfavorável, o que é visível nas representações numeradas de 1 a 4, o valor da classificação ponderada é de 8 pontos, sendo que esta pontuação corresponde à situação mais problemática em termos de instabilidade. É de salientar que para o parâmetro da orientação das descontinuidades podem existir classificações intermédias e não somente os valores ponderados de 0, 2, 4 e 8 pontos.

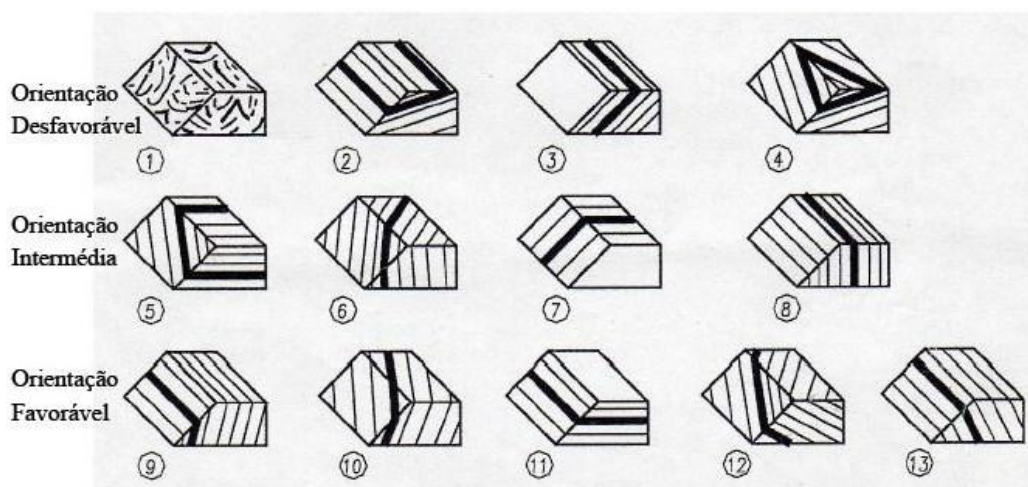


Figura 4.1 - Representação das possíveis orientações das discontinuidades principais (Modelo adaptado de Ko Ko et al., 2004).

4.2.3.2 Número de famílias de fraturas

Neste subparâmetro é definido o número de famílias de fraturas presentes no maciço rochoso, esta determinação é efetuada a partir da medição das coordenadas geológicas das fraturas, de modo a identificar quantas famílias de fraturas existem nos afloramentos. Esta identificação foi determinada através das medições registadas “*in situ*” e recorrendo à projeção estereográfica das orientações obtidas.

O subparâmetro do número de famílias é quantificado através do estabelecido no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 - Classificação atribuída ao Subparâmetro: número de famílias de fracturação.

Número de Famílias	Classificação
1	1
2	2
3	3
>3	4

4.2.3.3 Espaçamento da fracturação

No estudo da fracturação deve proceder-se à medição do espaçamento entre fraturas adjacentes da mesma família, o resultado destas medições efetuadas “*in situ*” deve ter em atenção os valores modais obtidos. Para o espaçamento da fracturação utilizou-se a classificação ponderada apresentada no Quadro 4.5, verificando-se que quanto maior o espaçamento da fracturação menor o valor ponderal atribuído.

Quadro 4.5 - Classificação do subparâmetro relativo ao espaçamento de fracturação.

Espaçamento (m)	Classificação
>3	0
1 a 3	1 – 2
0,3 a 1	2 – 3
<0,3	3 – 4

4.2.3.4 Cavidades

Este subparâmetro está relacionado com a existência de cavidades nas áreas estudadas, sendo que estas cavidades podem provocar situações de instabilidade próprias, tais como colapsos e/ou subsidências. A classificação ponderada para este subparâmetro está representada no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 - Classificação atribuída ao subparâmetro relacionado com as cavidades existentes.

Cavidades		Classificação
Ausência		0
Presença	Impacto nulo	1
	Impacto médio	2 - 3
	Impacto grande	4 - 5

4.2.3.5 Ação sísmica

O subparâmetro referente à atividade sísmica pretende identificar qual a suscetibilidade sísmica correspondente à região/local onde se encontram os afloramentos considerados. Para atribuição de classificações neste subparâmetro utilizaram-se cartas de isossistas (linhas que numa dada área delimitam zonas de igual intensidade sísmica) de Portugal continental. Para a definição do subparâmetro recorreu-se à carta proposta pelo Instituto de Meteorologia (2005) relativamente às intensidades históricas máximas registadas em Portugal continental (Figura 4.2) e à carta de zonamento sísmico que divide Portugal Continental em quatro zonas por ordem decrescente de sismicidade designadas por: A – Sismicidade alta a muito alta; B – sismicidade alta a moderada; C – sismicidade moderada a baixa; D – sismicidade baixa a muito baixa. Esta carta pertence ao Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA, 1983) (Figura 4.3).

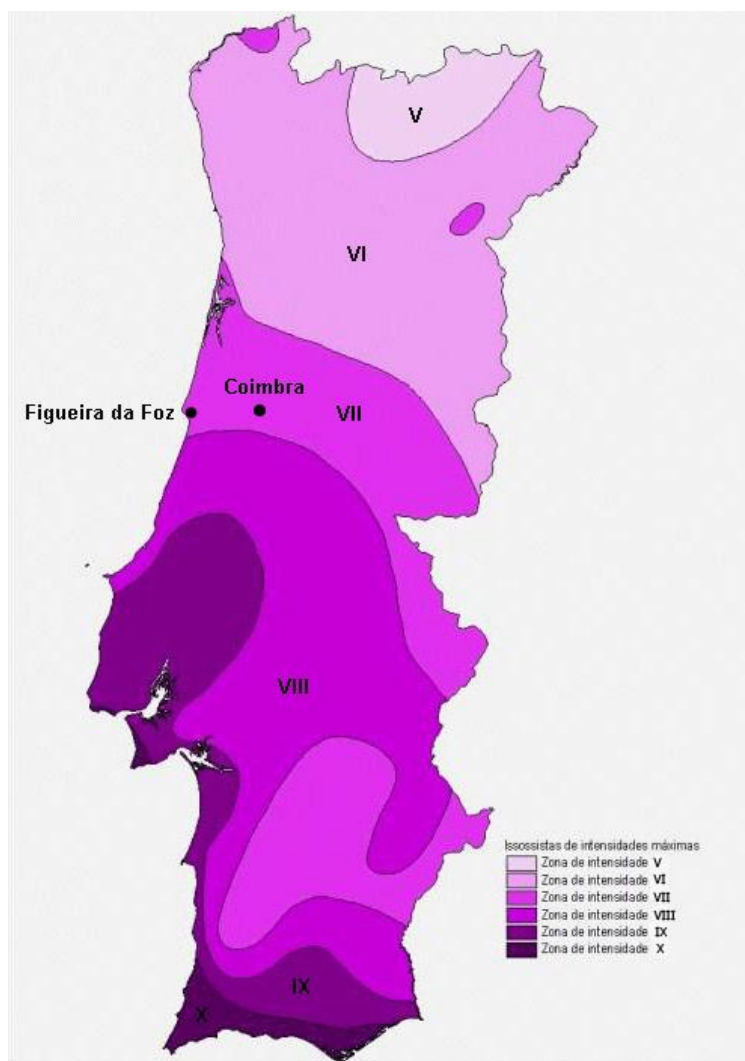


Figura 4.2 - Carta proposta pelo Instituto de Meteorologia (2005) relativa às intensidades históricas máximas registadas em Portugal continental (Instituto de Meteorologia, 2005).

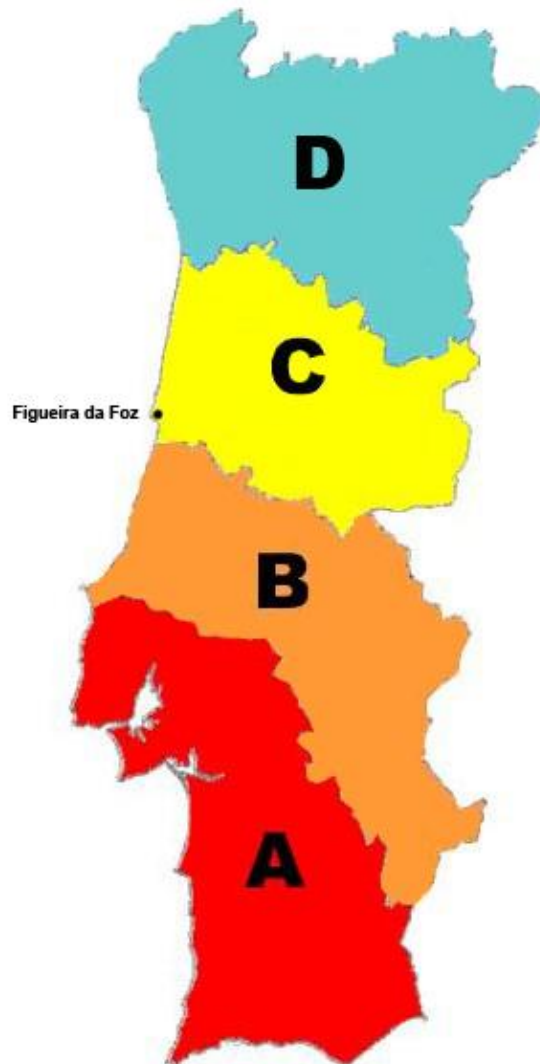


Figura 4.3 - Carta de zonamento sísmico de Portugal Continental (RSA,1983).

Sendo a análise das cartas das isossistas um fator preponderante na atribuição do valor do parâmetro da ação sísmica, não podemos esquecer que este também está relacionado com outros fatores como a litologia da área e o seu grau de alteração, a presença de falhas e outras superfícies de descontinuidade, e ainda a presença de maciços de elevada fluência, colapsíveis e expansíveis, bem como o tipo de ação sísmica e a sua intensidade, a proximidade de ocorrência do sismo relativamente à área em estudo e ainda o seu tempo de duração e a sua extensão de rotura. Em Portugal continental podem distinguir-se duas ações sísmicas diferenciadas e que são representativas de sismicidade interplaca e sismicidade intraplaca.

Deste modo podemos então diferenciar sismos de grande magnitude a uma maior distância focal (sismicidade interplacas – sismo afastado) e sismos de moderada magnitude e pequena distância focal (sismicidade intraplacas – sismo próximo). Para o zonamento sísmico e de acordo com Carvalho (2007) e CT 115 (2009) pode considerar-se o sismo afastado (ação sísmica tipo 1) ou o sismo próximo (ação sísmica tipo 2). A determinação dos efeitos das ações sísmicas é traduzida por espectros de resposta elásticos relacionados com a componente horizontal do movimento para o coeficiente de amortecimento de 5%.

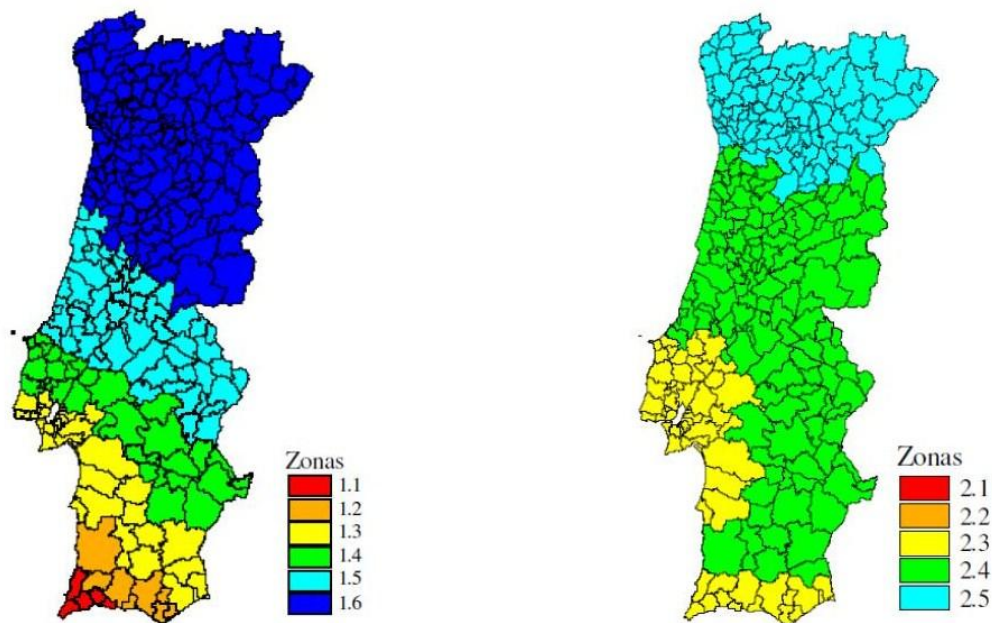


Figura 4.4 – Ação sísmica Tipo 1 (sismo afastado) e ação sísmica Tipo 2 (sismo próximo). As zonas 2.1 e 2.2 identificadas na ação sísmica do Tipo 2 não possuem correspondência no território continental, sendo unicamente definidas no arquipélago dos Açores (ACSS, 2007).

Para o parâmetro relativo à sismicidade também não pode ser esquecida a carta neotectónica de Portugal (Cabral e Ribeiro, 1988), que se encontra representada no cap.3 (Figura 3.14) referente ao enquadramento tectónico, visto que a presença de falhas ativas nas proximidades da área em estudo podem provocar sismos. O incremento dos vários fatores relacionados coma atividade sísmica e a sua sobreposição leva ao aumento do valor ponderado a atribuir ao parâmetro considerado.

Deste modo a classificação ponderada para este subparâmetro apresenta uma variação compreendida entre 0 a 10 e está representada no Quadro 4.7. Esta classificação é atribuída de acordo com a zonagem sísmica em que se encontra a área em estudo, tal como as intensidades sísmicas atribuídas a esse mesmo local. É de realçar ainda que o valor pode oscilar de acordo com as condições em que se encontra o maciço rochoso analisado.

Quadro 4.7 - Classificação atribuída ao subparâmetro relativo à ação sísmica.

Zonagem Sísmica	Intensidades	Classificação
D	V	0 - 1
	VI	2 - 3
C	VII	3 - 5
B	VIII	5 - 8
A	IX	7 - 9
	X	9 - 10

4.2.4. Morfologia

O parâmetro correspondente à morfologia apresenta-se constituído por quatro subparâmetros de modo a estabelecer uma classificação mais aprofundada. Os subparâmetros que foram considerados correspondem a: declives (valor ponderado de 0 a 6), percolação e nível freático (valor ponderado de 0 a 8), erosão (valor ponderado de 0 a 9) e ainda o tipo de vegetação (valor ponderado de 0 a 5).

4.2.4.1 Declives

Este subparâmetro consiste em definir os declives dos afloramentos estudados. Foram realizadas determinações de modo a obter o ângulo de inclinação dos afloramentos. A classificação ponderada foi atribuída segundo os critérios representados no Quadro 4.8. Sendo que quanto mais elevado o declive do afloramento maior será a classificação atribuída e consequentemente a suscetibilidade associada a este subparâmetro. No estudo efetuado consideram-se duas medições por afloramento, sendo que estas determinações possuem um carácter distinto visto que uma das medições corresponde ao declive do meio envolvente e a outra ao declive do talude ou vertente.

Quadro 4.8 - Classificação atribuída ao subparâmetro relativo aos declives.

Ângulo	Classificação
$>59^\circ$	6
$46^\circ - 59^\circ$	5
$33^\circ - 45^\circ$	3 - 4
$20^\circ - 32^\circ$	1 - 2
$<20^\circ$	0

4.2.4.2 Percolação e Nível Freático

Nos diferentes locais de estudo procurou-se determinar a presença do nível freático e ainda detetar a existência de circulação ou de vestígios de água. Nos maciços rochosos a circulação de água ou os seus vestígios podem ser visualizados de preferência em zonas de falha, diaclases ou outras superfícies de descontinuidade. Deste modo a classificação deste subparâmetro é condicionada pelo número de famílias de fraturas existentes, pelo espaçamento, abertura e preenchimento das mesmas. O Quadro 4.9 apresenta a classificação ponderada para o subparâmetro da percolação e do nível freático.

Quadro 4.9 - Classificação atribuída ao subparâmetro da percolação e do nível freático.

Subparâmetro da percolação	Sem percolação visível	Indícios de percolação e/ou presença de água	Existência de percolação
Nível freático não detetado	0 - 2	2 - 4	4 - 6
Nível freático detetado	-----	3 - 6	6 - 8

4.2.4.3 Erosão

O subparâmetro da erosão diz respeito aos maciços fragilizados pela meteorização decorrente da sua exposição aos fatores ambientais que conduzem à sua degradação. A atribuição de valores a este subparâmetro resultou da análise dos afloramentos estudados e da alteração e degradação apresentada pelos mesmos. O Quadro 4.10 apresenta a classificação ponderada para este subparâmetro sendo que os valores variam entre 0 e 9.

Quadro 4.10 - Classificação atribuída ao subparâmetro referente à erosão.

Sem indícios de erosão	Susceptibilidade/ extensão de erosão baixa	Susceptibilidade/ extensão de erosão média	Susceptibilidade/ extensão de erosão elevada
0 - 2	3 - 5	6 - 8	8 - 9

É de realçar ainda que este subparâmetro foi dividido em dois tipos de erosão a erosão relativa aos taludes e ainda a erosão costeira, dado que algumas áreas de estudo se localizam no litoral e deste modo alguns maciços rochosos podem ser afetados por erosão costeira, para além de serem afetados por mecanismos de erosão que provocam a degradação das formações geológicas através de agentes da dinâmica externa (vento, água da chuva, gelo e transporte de material associado a essa mesma degradação).

4.2.4.4 Tipo de Vegetação

Neste subparâmetro a classificação ponderada encontra-se compreendida entre 0 e 5, valores estes que são definidos de acordo com os critérios presentes no Quadro 4.11. O tipo de vegetação que ocorre num determinado afloramento depende de fatores variáveis como a litologia do próprio maciço rochoso e as características geométricas dos afloramentos. A classificação apresenta valores ponderados de acordo com a existência ou ausência de vegetação, com a variedade do porte das árvores e ainda com a presença de vegetação do tipo rasteira, moderada ou densa. Sendo que quanto menor a vegetação existente maior será o valor atribuído ao afloramento, na medida em que a existência de vegetação permite alguma estabilização das vertentes/taludes.

Quadro 4.11 - Classificação atribuída ao subparâmetro relativa ao tipo de vegetação.

Tipo de Vegetação	Classificação
Desflorestada e sem vegetação	5
Existência de vegetação rasteira	4
Existência de árvores de médio e pequeno porte e vegetação moderada	1 - 3
Existência de árvores de grande e médio porte e vegetação moderada a densa	0 - 1

4.2.5. Inundações

Neste parâmetro avalia-se a possível ocorrência de inundações junto ao afloramento estudado ou nas suas proximidades. Para tal é necessário ter em atenção a área existente em redor do afloramento e verificar se a localização desta se encontra nas proximidades de um curso de água, e se este é propício à ocorrência de inundações, designadamente através de registos existentes. A classificação ponderada foi estabelecida segundo os critérios do Quadro 4.12. A classificação do subparâmetro varia de 0 a 9 e os valores são definidos de acordo com as possibilidades de se verificar uma inundação, podendo esta probabilidade ser considerada baixa, média ou elevada.

Quadro 4.12 - Classificação atribuída ao subparâmetro referente as inundações.

Sem indícios de inundação	Suscetibilidade a inundação baixa	Suscetibilidade a inundação média	Suscetibilidade a inundação elevada
0 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 9

4.2.6. Tensões “*in situ*”

Neste parâmetro são analisados os indícios de libertação de tensões, que são descritos como ausentes, baixos, médios ou elevados. Para definir este parâmetro devemos ter em conta a história das tensões existentes no material rochoso, o tectonismo associado à área em estudo, bem como ao aparecimento de fraturas ou movimentações que se formaram ou incrementaram a partir das escavações, remoção ou erosão da parte superficial dos terrenos, estas situações estão relacionadas com as libertações de tensões que ocorrem na parte superficial da superfície terrestre. Os valores ponderados são atribuídos segundo os critérios do Quadro 4.13. Esta classificação varia de 0 a 7, sendo que o valor de 0 corresponde à ausência de indícios de libertação de tensões e o valor de 7 corresponde às situações onde se verificam elevados indícios de libertação de tensões, muitas vezes relacionados com a presença de fraturas de descompressão.

Quadro 4.13 - Classificação atribuída ao subparâmetro relativo às tensões “*in situ*” nos maciços rochosos.

Indícios de libertação de tensões			
Ausentes	Indícios Baixos	Indícios Médios	Indícios Elevados
0	1 - 3	3 - 5	5 - 7

4.3. Ensaios de campo e ensaios laboratoriais

Os ensaios realizados em laboratório e “*in situ*” foram utilizados na caracterização da resistência do material rochoso da zona estudada. Os ensaios efetuados permitiram a determinação da dureza “*in situ*”, através da utilização do martelo de Schmidt, e da resistência à carga pontual, esta última obtida pelos ensaios do “*Point Load Test*”.

A determinação da resistência possibilitou o estabelecimento de uma comparação com os dados obtidos a partir da cartografia de campo, onde se definiram as várias litologias e os respetivos graus de alteração.

4.3.1 Martelo de Schmidt

Os ensaios executados com o martelo de Schmidt permitem definir de forma aproximada a resistência à compressão simples do material rochoso (Fig.4.5). Os ensaios “*in situ*” foram realizados nos afloramentos em estudo e não são considerados destrutivos, pelo que o material rochoso permanece praticamente intacto após a execução dos ensaios.

Os valores obtidos nos ensaios realizados com o martelo de Schmidt correspondem ao ressalto da haste de aço que o equipamento possui na sua extremidade, quando esta haste é pressionada contra a superfície do material cuja dureza se pretende definir, o valor do ressalto permite determinar a dureza de Schmidt (R). A leitura dos valores é efetuada numa escala que se encontra incorporada no próprio martelo e que apresenta um intervalo de 10 a 100.



Figura 4.5 – Martelo de Schmidt, para determinação da dureza de Schmidt (R) nos ensaios “*in situ*”

O ensaio do martelo de Schmidt tem algumas restrições, designadamente quando a resistência dos materiais testados é muito reduzida ou muito elevada, para os primeiros podem verificar-se danos no local de impacto. Os valores de R podem ser influenciados pelas propriedades do material rochoso, como a resistência, módulo de elasticidade e a própria rugosidade superficial (Katz *et al.*, 2000).

Dentro das limitações dos ensaios com o martelo de Schmidt deve destacar-se que os ensaios realizados em superfícies podem não representar a totalidade do material rochoso que se pretende caracterizar. A presença de superfícies de descontinuidades ou de fissuras pode reduzir os valores obtidos nos ensaios do martelo de Schmidt, designadamente se estas se localizarem nas proximidades dos locais de realização dos ensaios.

Os ensaios foram efetuados com um martelo do tipo L e de acordo com as recomendações da ISRM (1981).

A utilização destes ensaios serviu para obter de forma expedita a dureza do material rochoso dos afloramentos. As determinações de R foram efetuadas em todos os afloramentos, sendo que para cada um deles se procedeu a 20 medições com o martelo de Schmidt. É de realçar que apenas os 10 valores mais elevados das 20 determinações é que foram considerados, sendo posteriormente efetuada a média destes 10 valores.

Em determinados afloramentos verificou-se que os ensaios com o martelo de Schmidt registaram valores iguais a zero, assumindo-se o valor de R como nulo. Em alguns locais de estudo verificou-se a existência de materiais litológicos de diferentes resistências, realizando-se deste modo 20 medições para cada material litológico presente nos afloramentos. Para cada utilização do martelo de Schmidt foi ainda definida a inclinação que o equipamento apresenta na altura de determinação do ressalto.

4.3.2 Ensaio de resistência à carga pontual (“*Point Load Test*”)

O ensaio de resistência a carga pontual (“*Point Load Test*”) permite determinar a resistência à compressão uniaxial dos materiais rochosos. Os ensaios foram executados tendo em atenção as especificações da ISRM (1985), o equipamento utilizado apresenta uma capacidade máxima de carga até 40 kN. Neste equipamento estão presentes dois manómetros (Figura 4.6) sendo que um deles possui uma capacidade de medição até 10 kN e o outro possui uma capacidade de medição que atinge os 40 kN. Este equipamento é ainda constituído por duas ponteiros cónicas e uma bomba hidráulica.

Ao contrário dos ensaios com o martelo de Schmidt, nos ensaios do “*Point Load Test*” procura-se provocar a rotura do material rochoso. Constituem ensaios relativamente expeditos e também podem ser realizados “*in situ*”, no presente trabalho os ensaios de resistência à carga pontual foram executados em laboratório.

O ensaio de carga pontual consiste em provocar a rotura de amostras de rochas, aplicando uma força pontual crescente. A amostra de rocha é comprimida entre duas ponteiros cónicas de metal, que levam à rotura do material. A carga de rotura é designada por P e é registada num manómetro incorporado no equipamento (Figura 4.6).

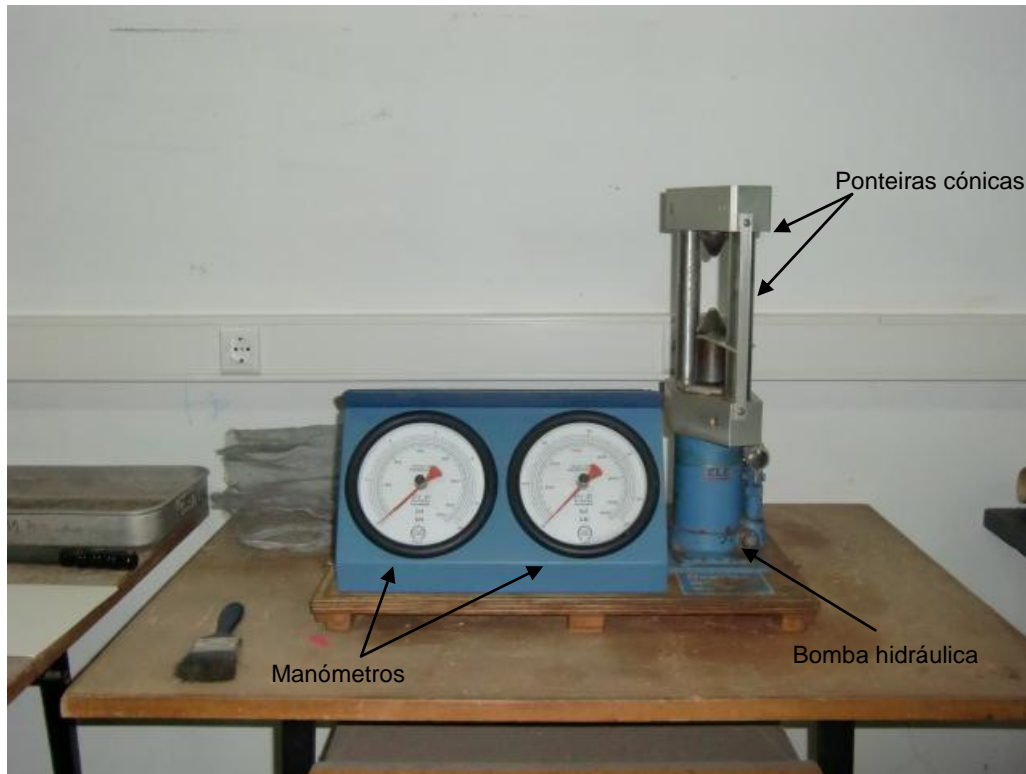


Figura 4.6 - Equipamento de *Point Load Test* que permite determinar a resistência à carga pontual dos materiais rochosos.

O índice de carga pontual padrão, utilizado nos ensaios com provetes de rocha de forma cilíndrica apresenta um diâmetro (D) igual a 50 mm. Nestes casos a carga P é efetuada na direção diametral, sendo determinada pela expressão 1.

$$I_{s(50)} = \frac{P}{D^2} \quad (1)$$

Na qual $I_{s(50)}$ é o valor de I_s (índice de resistência a carga pontual) corrigido para um teste com $D= 50\text{mm}$; P é a carga responsável pela rotura e D é a distância entre as duas ponteiras cónicas.

Noutros ensaios idênticos, mas onde os provetes rochosos cilíndricos apresentam outros valores diametrais, a relação P/D^2 é multiplicada por um fator de correção (F) (expressão 2) de modo a que o índice de resistência a carga pontual possa ser definido de forma normalizada para um diâmetro padrão de 50 mm ($I_{s(50)}$) (expressão 3).

$$F = \left(\frac{D}{50}\right)^{0,45} \quad (2)$$

$$I_{s(50)} = F \frac{P}{D^2} \quad (3)$$

Nas quais F é o fator de correção.

É de notar que esta correção também pode ser efetuada através de um ábaco (Figura 4.7).

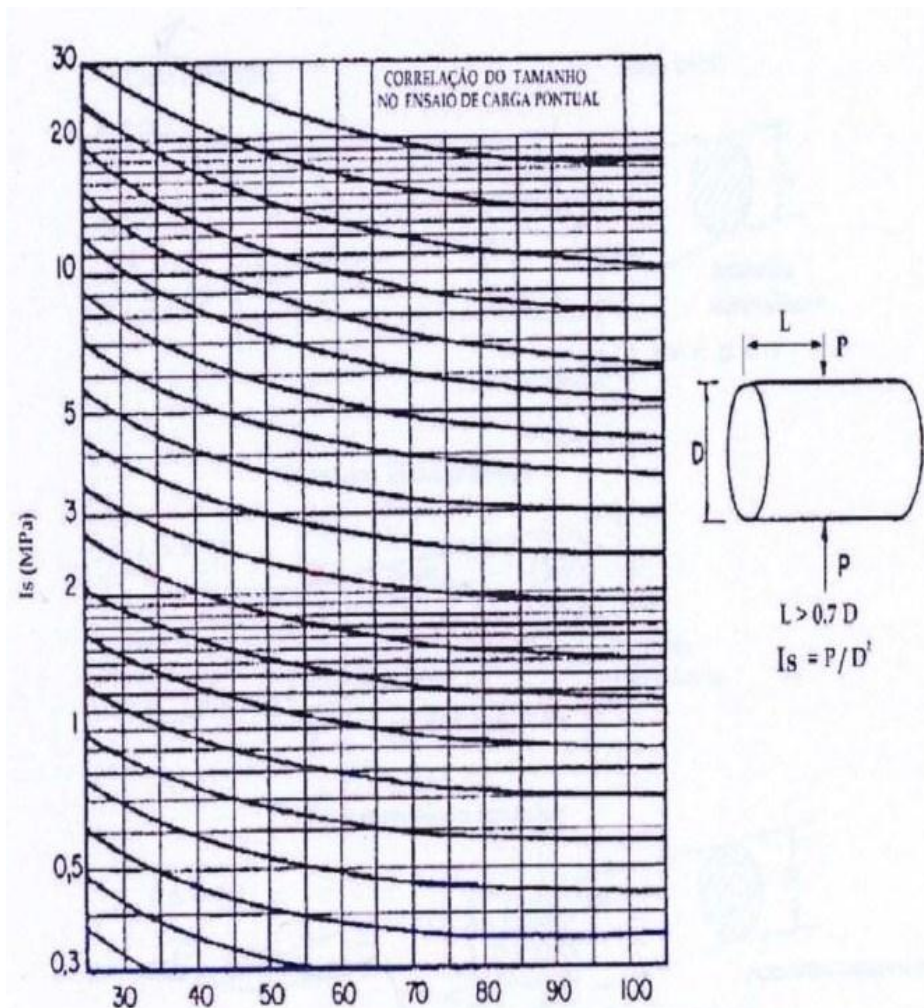


Figura 4.7 - Ábaco para correção do tamanho dos provetes de rocha, para obtenção de um índice de resistência a carga pontual normalizado, para um diâmetro padrão de 50 mm (adaptado de Broch & Franklin (1972) in Stacey & Page, (1986)).

Nos ensaios de carga pontual podem também utilizar-se provetes que não apresentem formas cilíndricas, é possível a realização de ensaios de provetes paralelepípedicos e irregulares, tendo estes provetes que obedecer aos critérios estabelecidos pela ISRM (1981) (Figura 4.8).

Para os ensaios utilizando provetes não cilíndricos, é necessário definir um diâmetro equivalente (D_e), este diâmetro passará então a corresponder a uma secção circular, sendo que a área é igual a secção transversal do provete. O diâmetro equivalente é obtido de acordo com a expressão 4 a 7.

$$D_e = \sqrt{\frac{4}{\pi} WD} \quad (4)$$

Na qual W é espessura e D_e é o diâmetro equivalente.

$$\text{Em que: } A = WD = \frac{\pi}{4} D_e^2 \quad (5)$$

Na qual A é a área da secção do provete.

$$\text{Como } I_{s(50)} = F \frac{P}{D_e^2} \quad (6)$$

$$\text{Em que: } F = \left(\frac{D}{50} \right)^{0.45} \quad (7)$$

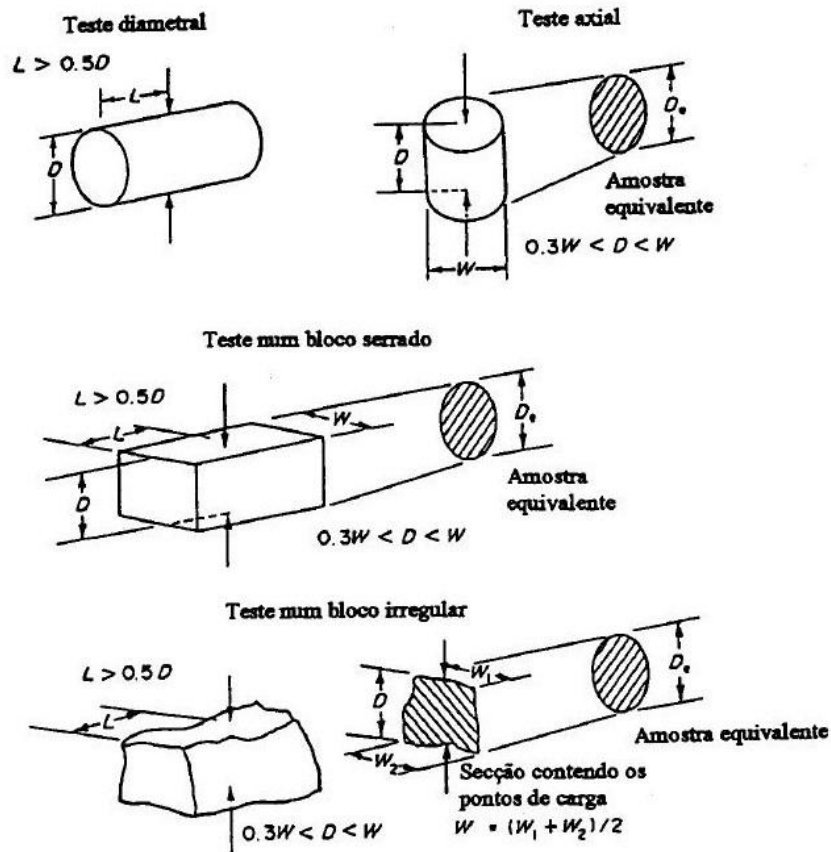


Figura 4.8 – Requisitos das dimensões dos provetes nos ensaios a resistência a carga pontual (adaptado de ISRM (1981) in Menezes (2004)).

Para validação dos resultados neste tipo de provetes de rocha é necessário que a superfície de rotura possua os pontos onde a carga foi aplicada, como exemplifica a Figura 4.9 relativa à validação dos ensaios de resistência à carga pontual.

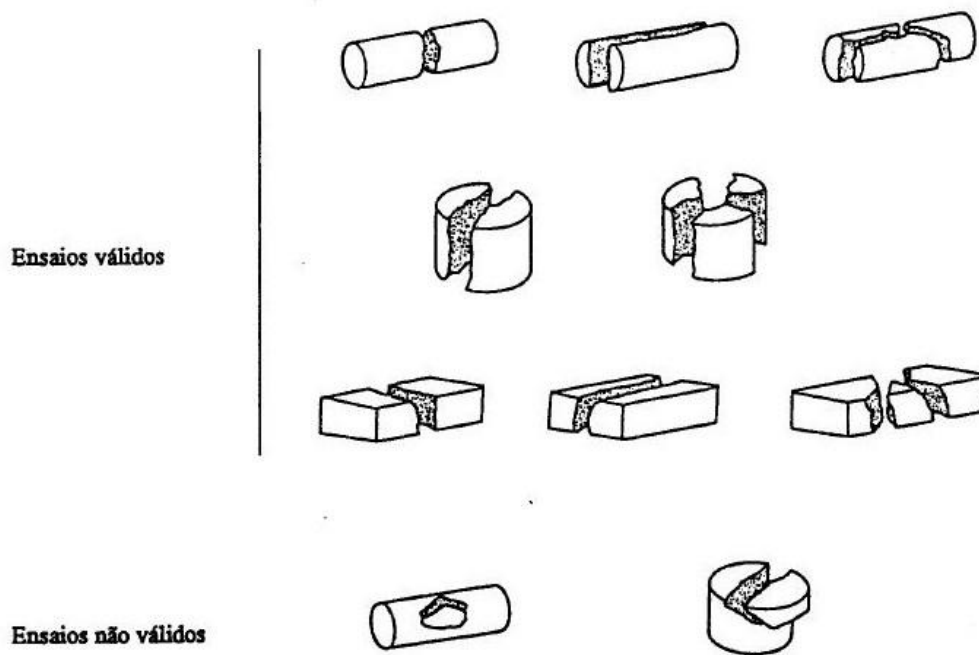


Figura 4.9 – Fraturas válidas e inválidas nos ensaios de resistência à carga pontual (adaptado de Menezes (2004)).

Neste ensaio deve ter-se em conta a distinção entre rochas isotrópicas e anisotrópicas, pelo que para estas últimas, devem ser efetuados 10 ensaios válidos para cada tipo de material rochoso, destes valores obtidos devem ser eliminados os dois valores mais elevados e os dois mais baixos, procedendo-se posteriormente à determinação da média dos restantes valores. Na realização do ensaio para as rochas anisotrópicas deve ter-se em atenção a orientação das descontinuidades estruturais que o material rochoso apresenta.

Os provetes devem ser ensaiados quer na direção normal (perpendicular), quer na direção paralela a esses planos de anisotropia. Desta forma a relação entre as duas resistências, permite obter um índice de anisotropia (I_a) (expressão 8).

$$I_{a(50)} = \frac{I_{s(50)\perp}}{I_{s(50)\parallel}} \quad (8)$$

Na qual $I_{a(50)}$ é o índice de anisotropia.

4.4. Ficha de trabalho complementar (Situações de Instabilidade)

De modo a caracterizar as situações de instabilidade nos afloramentos estudados elaborou-se uma ficha complementar constituída por 17 parâmetros que estão relacionados com os diferentes aspetos dos movimentos de instabilidade. Alguns dos parâmetros analisados na ficha complementar, de certa forma, já foram considerados na classificação proposta para maciços rochosos, no entanto a sua definição e aplicação trará uma complementaridade importante para o conjunto do trabalho.

A ficha implica inicialmente uma descrição do maciço em estudo, devendo definir-se a designação do talude/vertente (parâmetro 1) e a sua localização em coordenadas geográficas (parâmetro 2). As características geométricas do talude/vertente como o comprimento (parâmetro 3), a altura (parâmetro 4) e o pendor (parâmetro 5) devem ser determinadas.

No parâmetro 6 da ficha complementar deve indicar-se o tipo de litologia existente nos taludes/vertentes.

No parâmetro 7 referente ao tipo de vegetação utiliza-se a classificação presente no Quadro 4.14. O tipo de vegetação que ocorre num determinado afloramento depende de fatores variáveis como as condições climáticas e o tipo litológico existente.

Quadro 4.14 – Tipo de vegetação.

Tipo de Vegetação	Classificação
Desflorestada e sem vegetação	
Existência de vegetação rasteira	
Existência de árvores de médio e pequeno porte e vegetação moderada	
Existência de árvores de grande e médio porte e vegetação moderada a densa	

No parâmetro 8 é requerido um esboço da litologia, estratificação e de planos de falhas (Cortes transversais interpretativos e/ou frente interpretativa do talude/vertente), neste caso podemos recorrer a desenhos manuais ou elaborados por meios informáticos, bem como utilizar fotografias obtidas no local de estudo.

O parâmetro 9 está relacionado com a definição dos tipos de instabilidade, e para tal recorre-se ao descrito no Quadro 4.15. Neste parâmetro os diferentes tipos de instabilidade são baseados na classificação de Varnes (1978), sendo representadas várias situações de instabilidade de acordo com diferentes tipos de materiais (material rochoso, detritos e solos).

Quadro 4.15 – Tipos de instabilidade.

Tipos de Instabilidade baseado na Classificação de Varnes (1978)	Rocha	Detritos	Solos
Desmoronamentos (Queda de blocos)			
Basculamento (“ <i>Toppling</i> ”)			
Deslizamentos Rotacionais Deslizamentos Planares Deslizamentos em Cunha			
Fluxos			
<i>Creep</i>			
Movimentos Complexos			

O parâmetro 10 refere-se aos trabalhos de estabilização, designadamente se existe alguma indicação da ocorrência desses trabalhos ou de proteção dos taludes/vertentes.

No parâmetro 11 é solicitado um esboço da Instabilidade, devendo-se executar-se desenhos interpretativos ou obter fotografias da instabilidade e da sua posição no talude/vertente.

O parâmetro 12 diz respeito à velocidade dos movimentos de vertentes / taludes e a sua definição desde muito rápida a muito lenta é efetuada através da classificação representada no Quadro 4.16.

Quadro 4.16 – Velocidade dos movimentos de vertente/talude.

Movimento	Velocidade	Classificação
Muito rápido	> 3 m/min	
Rápido	1,8 m/h a 3 m/min	
Moderado	13 m/mês a 1,8 m/h	
Lento	1,6 m/ano a 13 m/mês	
Muito lento	<1,6 m /ano	

Para o parâmetro 13 foi efetuada uma adaptação do trabalho realizado pela Unesco WP/WLI (1993) sobre os estados da atividade da instabilidade. Com o auxílio do Quadro 4.17 e através da análise do afloramento “*in situ*”, pode-se obter uma estimativa da atividade das instabilidades, de modo a perceber se estas se encontram ativas, inativas ou suspensas.

Quadro 4.17 - Estados da atividade da Instabilidade.

Atividade da Instabilidade	Classificação
Instabilidade Ativa	
Instabilidade Suspensa (Ativa nos últimos 12 meses mas não ativa no momento)	
Instabilidade Inativa com indícios (Sem atividade nos últimos 12 meses mas com indícios de atividade)	
Instabilidade Inativa (Sem atividade nos últimos 12 meses e sem indícios de atividade)	

No parâmetro 14 pretende-se definir o dimensionamento das instabilidades, se existirem blocos caídos ou material instabilizado deve proceder-se à sua medição volumétrica.

O parâmetro 15 é utilizado na caracterização das consequências das instabilidades, ou seja se pode afetar habitações, vias de comunicação, escolas, fábricas entre outros. Para o parâmetro 15 é utilizado o Quadro 4.18.

Quadro 4.18 - Consequências da Instabilidade

Consequências da Instabilidade	Classificação
Habitacões (casas de pessoas)	
Vias de comunicação (estradas)	
Edifícios (comerciais, escritórios, administrativos, exército, polícia)	
Fábricas	
Escolas e Hospitais	
Agricultura e Pastorícia	
Floresta, Savana ou Desocupado	

Nos últimos 2 parâmetros (16 e 17) determinam-se as causas externas e internas da instabilidade, para tal recorreu-se, respetivamente, às classificações apresentadas nos Quadros 4.19 e 4.20.

Quadro 4.19 - Causas Externas da Instabilidade

Causa Externas de Instabilidade	Classificação
Aumento de inclinação do talude/vertente	
Aumento de altura do talude/vertente (escavação no pé ou aterro na crista)	
Aumento do peso do talude/vertente (aplicação de sobrecargas)	
Infiltração de água	
Vibrações	
Erosão superficial	

Quadro 4.20 - Causas Internas da Instabilidade

Causas Internas da Instabilidade	Classificação
Litologia	
Estrutura geológica (Estratificação, falhas, diaclases, xistosidades, filões, dobras)	
Aumento da pressão da água	
Diminuição de resistência dos terrenos	
Aumento de tensões tectónicas	

5 Aplicação da Metodologia

Estabelecidos os parâmetros relativos à classificação de suscetibilidade e após a definição da área de estudo, foi executada uma análise dos afloramentos presentes na área e aplicada a classificação. No total foram selecionados 43 afloramentos para os quais foi utilizada a classificação para maciços rochosos, de modo a que se pudesse obter uma caracterização desses afloramentos relativamente à sua suscetibilidade geológica e geotécnica. Com o propósito de confirmar alguns dos valores obtidos na classificação foram realizados ensaios laboratoriais e “*in situ*”, e desenvolveram-se cartas a partir de sistemas de informação geográfica (SIG) que para além de permitirem a validação de alguns valores obtidos em determinados subparâmetros tiveram como objetivo definir uma carta de suscetibilidade geológica e geotécnica para a área em estudo, por último procedeu-se à caracterização das situações de instabilidade.

Os afloramentos escolhidos e estudados nesta área apresentam alguma diversidade devido à riqueza geológica que se encontra presente nesta região. No entanto constata-se que numa grande porção da área afloram os Arenitos da Boa Viagem, verificando-se também a presença significativa da Formação da Fig. da Foz (Arenitos do Carrascal).

No estudo efetuado procedeu-se à elaboração de uma carta de suscetibilidade geológica e geotécnica para a área em questão, tendo em conta os diferentes parâmetros da classificação para maciços rochosos proposta. Este estudo tem como objetivo avaliar possíveis áreas/zonas suscetíveis de serem afetadas por um determinado perigo geológico e/ou geotécnico, num tempo indeterminado.

5.1. Resultados da classificação utilizada

Na classificação de maciços rochosos para a análise da suscetibilidade geológica e geotécnica utilizaram-se seis parâmetros principais e os respetivos subparâmetros como foi referido no capítulo 4. O presente estudo abrange uma vasta área pelo que a classificação foi estabelecida no maior número de afloramentos possível perfazendo um total de 43 locais distintos. Estes foram selecionados de modo a que na área em estudo não existissem grandes espaçamentos entre os afloramentos considerados. No entanto esta tarefa foi dificultada na medida em que não existiam vertentes/taludes ou afloramentos em algumas áreas devido não só à ocupação agrícola, mas também à existência de habitações e de densas zonas florestais, a estes fatores junta-se ainda o difícil acesso em algumas zonas.

Os resultados da classificação utilizada são definidos tendo em atenção os seis parâmetros principais e respetivos subparâmetros, cada um dos parâmetros é subdividido e descrito de acordo com as diferentes formações onde foi aplicada a classificação (Quadro 5.1), as que foram consideradas, da mais antiga para a mais recente, são: os calcários margosos e margas (Margas de S.Gião), o grande grupo do Jurássico Médio denominado por Calcários e Margas do Cabo Mondego, que apresenta uma litologia bastante monótona, composta por calcários, margas e calcários margosos que se encontram divididos em 4 formações distintas (Calcários e calcários margosos do Aaleniano; Margas e calcários do Bajociano; Calcários, margas, e calcários margosos do Batoniano; Calcários e margas do Caloviano), seguindo-se o complexo carbonoso e calcários hidráulicos, os calcários e margas do Kimeridgiano inferior (complexo calco-argilo-arenítico), os Arenitos da Boa Viagem, a Formação da Fig. da Foz (Arenitos do Carrascal) e por último a Formação Carbonatada (Calcários apinhoados da Costa de Arnes).

Quadro 5.1 – Formações Geológicas, respetivos afloramentos e valores totais da classificação de suscetibilidade utilizada.

Formações Geológicas		Afloramentos	CMR	
Calcários margosos e margas (Margas de S. Gião)		A1	46	
Calcários e Margas do Cabo Mondego	Calcários e calcários margosos (Aaleniano)	A2	58	
		A3	55	
	Margas e calcários (Bajociano)	A4	54	
		A5	47	
		A6	47	
		A7	47	
		A8	46	
	Calcários, margas, e calcários margosos (Batoniano)	A9	47	
		A10	43	
	Calcários e margas (Caloviano)	A11	38	
		Complexo carbonoso e calcários hidráulicos		A12
		A13	39	
Complexo calco-argilo-arenítico		A14	51	
Arenitos da Boa Viagem			A15	29
			A16	29
			A17	38
			A18	57
			A19	56
			A20	50
			A21	(59/61/59)
			A22	42
			A23	45
			A24	36
			A25	52
			A26	40
			A27	53
			A28	51
			A29	36
			A30	53
		A31	30	
		A32	34	
		A33	(49/46)	
Formação da Fig. da Foz (Arenitos do Carrascal)			A34	60
			A35	53
			A36	35
			A37	51
			A38	40
			A39	41
			A40	39
Formação Carbonatada (Calcários apinhoados da Costa de Arnes)			A41	43
			A42	33
			A43	39

5.1.1. Registo histórico e Indicadores de instabilidade

Este parâmetro tem como objetivo identificar a ocorrência de roturas, deformações e situações de instabilidade que possam ter ocorrido anteriormente e se também se podem continuar a verificar nos afloramentos estudados. De realçar que em termos de indicadores de instabilidade são consideradas situações como movimentos de taludes/vertentes.

Tendo sido analisados os afloramentos relativamente a este parâmetro e após terem sido atribuídos os valores ponderais deste parâmetro, foi possível verificar que o afloramento A1 pertencente à formação geológica mais antiga presente na área em estudo e que é constituída por calcários margosos e margas (Margas de S.Gião) apresenta queda de blocos e rotura planar, são também visíveis blocos rochosos em situações de potencial instabilidade, o afloramento apresenta-se bastante fraturado e deformado, pelo que para o afloramento A1 foi atribuído um valor ponderal de 9 pontos.

Nos afloramentos A2 a A11 pertencentes à formação dos Calcários e Margas do Cabo Mondego podemos observar que o afloramento A2 apresenta queda de blocos e de seixos, possui ainda uma abundante quantidade de blocos com indícios de instabilidade, este afloramento encontra-se muito fraturado pelo que lhe foi atribuído o valor máximo para este parâmetro que é de 12 pontos.

Os afloramentos A3, A4, A5, A6, A7 e A8 registam na sua totalidade situações de quedas de blocos e de seixos, bem como fraturas, verificando-se no caso dos afloramentos A7 e A8 que algumas destas fraturas estão preenchidas por sedimentos de termoclastia e por vegetação. No caso do afloramento A6 as suas fraturas encontram-se preenchidas com sedimentos (depósito de cobertura) e vegetação. O afloramento A3 para além de registar queda de blocos, pode apresentar ainda rotura planar, presença de blocos potencialmente instáveis e ainda do lado oposto ao afloramento é possível observar a existência de situações de “*toppling*”. No afloramento A5 a direção dos planos de estratificação pode potenciar a ocorrência de rotura planar. Deste modo e para este parâmetro foi atribuída um valor ponderal de 11 pontos ao afloramento A3, enquanto para os afloramentos A4, A5, A6, A7 e A8 foi definida uma classificação de 10 pontos.

Os afloramentos A9 e A10 registam também eles queda de blocos e presença de blocos instáveis. No entanto o afloramento A10 possui uma direção de estratificação que pode favorecer a ocorrência de rotura planar. A classificação atribuída foi de 8 pontos para o afloramento A9 e de 9 pontos para o afloramento A10.

O afloramento A11 apresenta pequenos deslizamentos associados às roturas planares pelo que lhe foi atribuída uma classificação de 4 pontos.

Os afloramentos A12 e A13 pertencentes a formação do complexo carbonoso e calcários hidráulicos registam quedas de blocos de reduzidas dimensões e fraturas de tração. No entanto o afloramento A13 apresenta ainda blocos potencialmente instáveis, pelo que para o afloramento A12 foi definido um valor ponderal de 5 pontos e para o afloramento A13 considerou-se uma classificação de 7 pontos.

No afloramento A14 pertencente ao Complexo calco-argilo-arenítico verifica-se queda de blocos e calhaus, constatando-se uma suscetibilidade média em termos de instabilidade, registam-se ainda a presença de fendas de tração e dobras. Como consequência destas observações foi atribuída uma classificação de 9 pontos.

Nos afloramentos A15 a A33 pertencentes a formação dos Arenitos da Boa Viagem foi possível observar queda de blocos, fraturas e blocos potencialmente instáveis em alguns casos, sendo que em alguns afloramentos verificou-se a ausência ou indícios reduzidos de instabilidade. Para este último tipo de situações que se constataram nos afloramentos A15, A16, A17, A22, A24, A29, A31 e A32 foi definida uma classificação entre 3 a 6 pontos. Para os restantes afloramentos: A18, A19, A20, A21, A23, A25, A26, A27, A28, A30 e A33, foi atribuído um valor ponderal entre 6 a 10 pontos. Sendo que para os afloramentos A18, A21, A25, A27 e A30 foi considerada a classificação de 10 pontos, uma vez que representam as situações de maior instabilidade. Dentro destes 5 afloramentos aos quais foram atribuídas as maiores classificações é de realçar o afloramento A25, uma vez que este apresenta um movimento complexo no topo que é constituído por uma rutura em cunha seguida de uma rutura planar, a direção da estratificação neste afloramento favorece os deslizamentos planares. A presença de fendas de tração no topo, e o seu incremento, indica que o movimento poderá prosseguir.

O afloramento A27 apresenta indícios muito evidentes de percolação de água, e como é constituído por um material muito friável, verificou-se a presença de processos erosivos do tipo “*pipping*”.

Os afloramentos A34 a A41 pertencem à formação da Figueira da Foz e apresentam, de uma maneira geral, escorrência de material. No afloramento A34 é observável queda de material arenítico ainda compacto para além da escorrência de material. Os afloramentos A36 e A40 não apresentam indícios de instabilidade. Para o afloramento A34 foi atribuída uma classificação de 11 pontos, para os afloramentos A35 e A37 foi considerado um valor ponderal de 10 pontos, enquanto para os restantes afloramentos A36, A38, A39, A40 e A41 foi definida uma classificação entre 4 a 7 pontos.

Nos afloramentos A42 e A43 da formação Carbonatada é possível observar uma importante fracturação, sendo que o afloramento A42 evidencia indícios reduzidos de instabilidade, enquanto o afloramento A43 apresenta queda de blocos. Para o afloramento A42 foi definida uma classificação de 5 pontos, e para o afloramento A43 uma classificação de 6 pontos.

5.1.2. Litologia (resistência)

Para a atribuição dos valores do parâmetro relativo à Litologia recorreu-se aos Quadros 4.2 e 4.3, no entanto de forma a complementar e precisar os valores a atribuir foram considerados os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais e “*in situ*” de caracterização mecânica, realizados para os diferentes materiais rochosos, os resultados destes ensaios podem ser analisados no subcapítulo 5.2.

Deste modo para o afloramento A1 foi assumido um valor ponderal de 9 pontos. Para os afloramentos correspondentes aos Calcários e Margas do Cabo Mondego, que correspondem aos afloramentos de A2 a A11 foi-lhes atribuída uma classificação entre 5 e 8 pontos.

No que diz respeito aos afloramentos que fazem parte da formação do Complexo Carbonoso e dos calcários hidráulicos considerou-se uma classificação de 6 pontos para o afloramento A12 e de 5 pontos para o afloramento A13. Os seus estados de alteração apresenta-se variáveis sendo que para o afloramento A12 foi definido um grau de alteração W3, enquanto para o afloramento A13 considerou-se um estado de alteração W2.

Para o afloramento A14 foi definido um valor ponderal de 10 pontos.

Para os afloramentos dos Arenitos da Boa Viagem foi atribuída uma classificação compreendida entre 5 e 11 pontos. De realçar que o valor ponderal de 11 pontos para os afloramentos A18 e A27 deve-se ao material arenítico se apresentar medianamente a pouco consolidado, possuir uma resistência baixa a média e o seu estado de alteração corresponder a W4.

No caso da Formação da Figueira da Foz, na medida em que se tratam de afloramentos constituídos por material coluvionar de consolidação variável foi atribuída uma classificação entre 9 a 11 pontos.

Os afloramentos da formação Carbonatada constituídos por bancadas espessas de material calcário de resistência elevada permitiram a definição de um valor ponderal de 5 pontos para o afloramento A42 e de 6 pontos para o afloramento A43.

5.1.3. Estruturas geológicas

O parâmetro referente as estruturas geológicas é um parâmetro bem mais minucioso do que os restantes na medida em que se apresenta dividido em 5 subparâmetros. Estes 5 subparâmetros definidos são respetivamente a orientação das descontinuidades principais (planos de estratificação, falhas e fraturas), o número de famílias de fraturas, o espaçamento da fracturação, a existência de cavidades e por último a ação sísmica.

Para o primeiro subparâmetro referente à orientação das descontinuidades foi utilizada uma adaptação do modelo de Koko et al. (2004) representado na Fig. 4.1. Para a atribuição dos valores ponderados para o presente parâmetro foi necessário proceder à medição de coordenadas geológicas referentes aos planos de estratificação, falhas e diáclases.

Para o afloramento A1 correspondente à formação mais antiga foi atribuída uma classificação de 0 pontos.

Nos afloramentos dos Calcários e Margas do Cabo Mondego a classificação que foi estabelecida está compreendida entre 4 e 8, os afloramentos A2, A4, A5, A6, A7, A8 e A10 possuem a classificação de 4 pontos, o afloramento A11 apresenta a classificação de 6 pontos e os afloramentos A3 e A9 registaram a classificação de 8 pontos.

Para os afloramentos A12 e A13 a classificação definida foi de 6 pontos e 4 pontos respetivamente.

No afloramento A14 relativo ao Kimeridgiano o valor ponderado foi de 4 pontos.

A classificação atribuída para os afloramentos A15 a A33 dos Arenitos da Boa Viagem varia entre 0 e 6, sendo que a maioria dos afloramentos apresenta uma classificação de 0 pontos (A15, A16, A17, A22, A23, A24, A27, A29, A31 e A32). O maior valor atribuído para este subparâmetro e nesta formação foi de 6 pontos, correspondente a um troço do afloramento A21, uma vez que este afloramento foi dividido em 3 troços, sendo que a um desses troços foi então definida a classificação de 6 pontos, no entanto para os restantes 2 troços que complementam este afloramento foi estabelecida uma classificação de 5 pontos.

Na formação da Figueira da Foz para o afloramento A34 definiu-se o valor ponderal de 1 ponto enquanto para os restantes afloramentos A35, A36, A37, A38, A39, A40 e A41 foi atribuída uma classificação de 0 pontos.

Por último os afloramentos A42 e A43 registaram uma classificação de 0 pontos.

É no entanto de realçar que neste sub-parâmetro todos os afloramentos apresentam pelo menos um plano de falhamento.

Para determinação do segundo subparâmetro foram registadas “*in situ*” as coordenadas geológicas das fraturas existentes, de modo a identificar o número de famílias de fraturas que cada afloramento possui. De acordo com o número de famílias de fraturas obtido foi utilizado o Quadro 4.4 para a atribuição da classificação para este subparâmetro. No quadro 5.2 são observáveis as classificações atribuídas neste subparâmetro.

Quadro 5.2 – Classificação atribuída a cada um dos afloramentos, relativamente ao número de famílias de fraturas.

Número de famílias de fraturas	Afloramentos	Classificação
1	A31, A32	1
2	A27	2
3	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A19, A20, A21, A22, A23, A24, A25, A26, A28, A29, A30, A33, A34, A35, A36, A37, A38, A39, A40, A41, A42, A43	3
> 3	-----	4

De acordo com o levantamento efetuado constatou-se que a maioria dos afloramentos apresenta em média três famílias de fraturas, sendo que não se verificou a existência de mais de três famílias em nenhum afloramento estudado.

O terceiro subparâmetro referente ao espaçamento de fracturação foi definido através da medição do espaçamento entre fraturas adjacentes da mesma família, sendo que no resultado destas medições foram considerados os valores modais obtidos. A partir destas medições foi atribuída uma classificação de acordo com o Quadro 4.5.

O afloramento A1 foi classificado com 3 pontos por apresentar um espaçamento de 10 a 43 cm.

Os afloramentos da Formação de Calcários e margas do (Cabo Mondego), com exceção dos afloramentos A2, A3 e A6, foram definidos com o valor ponderal de 3 pontos sendo que apresentam em média um espaçamento de fracturação de 5 a 47 cm. Para os afloramentos A2 e A3 foi atribuída uma classificação de 4 pontos por apresentarem um espaçamento de fracturação de 4 a 23 cm e de 5 a 40 cm respetivamente. No caso do afloramento A6 obteve-se um valor ponderal de 2 pontos devido ao seu espaçamento de 6 a 115 cm.

Na Formação do Complexo carbonoso e dos calcários hidráulicos para o afloramento A12 foi atribuída uma classificação de 3 pontos por apresentar um espaçamento de 2

a 76 cm, enquanto para o afloramento A13 definiu-se uma classificação de 2 pontos devido ao seu espaçamento estar compreendido entre 5 a 120 cm.

O afloramento A14 apresenta um espaçamento de 5 a 50 cm pelo que se obteve um valor ponderal de 3 pontos.

Na Formação dos Arenitos da Boa Viagem dos seus 19 afloramentos, 12 apresentam uma média de espaçamento de 11,6 a 49,5 cm pelo que foi definida uma classificação de 3 pontos, é de notar que no afloramento A33 existem duas classificações distintas na medida em que este foi dividido em 2 troços e a um desses troços foi atribuído a classificação de 3 pontos, enquanto para o outro assumiu-se uma classificação de 4 pontos. Para os restantes 7 afloramentos que fazem parte desta formação, nos afloramentos A15, A16, A31 e A32 não foi possível observar o espaçamento da fracturação pelo que se definiu um valor ponderal de 1 ponto ao afloramento A15, sendo que para os restantes foi atribuída uma classificação de 0 pontos. Nos afloramentos A20 e A28 registou-se uma classificação de 2 pontos devido ao espaçamento de 5 a 130 cm e de 35 a 300 cm respetivamente. Ao afloramento A30 que apresenta um espaçamento de 2 a 47 cm foi atribuída uma classificação de 4 pontos, pelo que a maioria do seu espaçamento não apresenta valores superiores a 30 cm.

No que diz respeito aos afloramentos da formação da Figueira da Foz verificou-se que aos afloramentos A35 e A40 foi definido um valor ponderado de 3 pontos sendo que apresentam um espaçamento de 11 a 35 cm e de 6 a 31 cm respetivamente. Nos afloramentos A34 e A38 foi atribuída uma classificação de 2 pontos. Nos afloramentos A36, A37, A39 e A41 não foi possível determinar o espaçamento de fracturação pelo que lhes foi assumida uma classificação de 0 pontos.

Por último para os afloramentos A42 e A43 e que apresentam um espaçamento de 6 a 100 cm e de 11 a 26 cm definiu-se, respetivamente, uma classificação de 3 pontos e de 4 pontos.

No quarto subparâmetro relativo à presença de cavidades que podem provocar situações de perigosidade considerou-se o Quadro 4.6. Este parâmetro não apresenta resultados muito variáveis na área em estudo, pelo que se dividiram os resultados deste subparâmetro em 3 categorias: afloramentos que apresentam ausência de cavidades, pelo que a sua classificação é igual a 0 pontos; afloramentos que apresentam cavidades de dimensões reduzidas mas cujo impacto é nulo, os afloramentos que fazem parte desta categoria receberam uma classificação de 1 ponto; afloramentos que apresentam cavidades e cujo impacto é considerado médio e

neste caso os afloramentos que pertencem a esta categoria são classificados com valores ponderais de 2 ou 3 pontos.

O Quadro 5.3 permite observar a classificação atribuída para cada um dos afloramentos em relação ao subparâmetro relacionado com a presença de cavidades. É de salientar que na área em estudo a ocorrência de colapsos e subsidências, tem uma presença mais acentuada no topo da serra da Boa Viagem, devido à grande quantidade de depressões cársticas aí existentes.

Quadro 5.3 – Classificação atribuída a cada um dos afloramentos, relativamente ao sub-parâmetro de ausência ou presença de cavidades.

Sub-parâmetro	Afloramentos	Classificação
Ausência de cavidades	A1, A2, A3, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A15, A16, A17, A18, A19, A20, A21, A22, A23, A24, A26, A28, A29, A30, A31, A32, A33, A36, A38, A39, A40, A41, A43	0
Presença de cavidades de impacto nulo	A4, A5, A14, A25, A27, A35, A37, A42	1
Presença de cavidades de impacto médio	A34	2

O subparâmetro relacionado com a ação sísmica está condicionado pela zonagem sísmica e intensidades sísmicas que se fazem sentir no território português, para os valores ponderais a atribuir foi utilizado o Quadro 4.7. Na classificação deste subparâmetro recorre-se igualmente à carta neotectónica de Portugal.

Como a região em estudo da Figueira da Foz se encontra numa zona de intensidade máxima sísmica de VII (carta proposta pelo Instituto de Meteorologia (2005) (Fig.4.2)) e na zona C (sismicidade moderada a baixa) (carta pertence ao Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA, 1983) (Fig.4.3)), a classificação ponderada segundo o Quadro 4.7 varia entre 3 e 5. É ainda de realçar que a área em estudo não faz parte das designadas zonas sismo genéticas do território continental Português, que são as zonas que possuem ou se encontram mais próximas de estruturas geológicas (falhas normais, falhas inversas ou falhas de desligamento) capazes de originar sismos de grande magnitude. Segundo Lopes (2005), a atividade sísmica histórica que tem afetado a Figueira da Foz, terá sido gerada por fontes não locais, ou seja os epicentros desses sismos estão sempre localizados fora do concelho, geralmente a Sul ou a Sudoeste deste. No entanto a área em estudo apresenta uma estrutura que possui atividade neotectónica, que é o cavalgamento da Serra da Boa Viagem ou falha de Quiaios (Cabral,1995). Embora esta estrutura não apresente registos históricos que sugiram atividade sísmica ao

longo dela, existem evidências no terreno de que ela terá estado ativa no Plistocénico (0.5 Ma). Deste modo a classificação a atribuir a cada um dos afloramentos estudados vai ser de 3 pontos para todos eles, com exceção dos afloramentos A1, A4 e A5 aos quais foi atribuída uma classificação de 4 pontos, uma vez que estes são os que se encontram mais próximos do cavalgamento da Serra da Boa Viagem ou falha de Quiaios e apresentam uma maior suscetibilidade de serem afetados por ações sísmicas.

5.1.4. Morfologia

O parâmetro da Morfologia foi dividido em quatro subparâmetros na medida em que constitui um parâmetro complexo e que pode englobar várias situações propícias à ocorrência de instabilidades nos afloramentos. Os subparâmetros a considerar foram os declives, a percolação e o nível freático, a erosão e ainda o tipo de vegetação.

No subparâmetro relativo aos declives foram diferenciados dois ângulos de declive, um correspondente ao pendor do meio envolvente e outro correspondente ao pendor dos taludes ou vertentes dos afloramentos. Esta divisão implica a existência de duas classificações totais no final sendo que uma diz respeito à classificação utilizando o declive do meio envolvente e outra recorrendo ao declive do talude/vertente. A classificação a atribuir neste subparâmetro é definida de acordo com o Quadro 4.8. Para se ter uma melhor perceção do declive do meio envolvente foi estabelecida uma carta de declives da área em estudo (Fig. 5.1). Para os declives dos taludes ou vertentes as medições efetuadas “*in situ*” apresentam uma variação de 26° a 90° (sub-vertical).

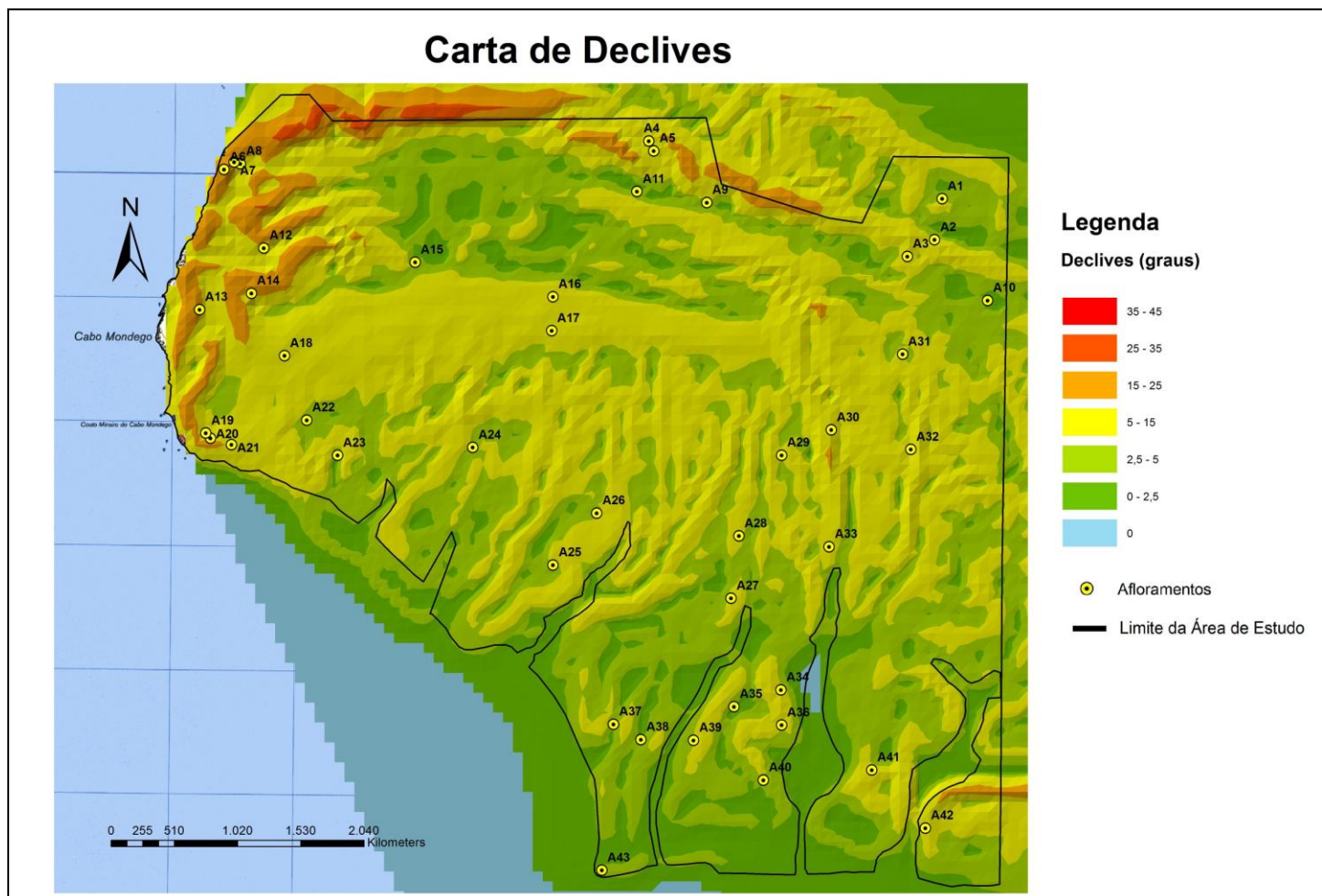


Figura 5.1 – Carta de Declives da área em estudo e localização dos afloramentos estudados.

O subparâmetro da percolação e nível freático foi determinado a partir da observação do terreno de modo a detetar a presença do nível freático e ainda a existência de circulação ou de vestígios de água (percolação). Para atribuição da classificação foi utilizado o Quadro 4.9 e elaborada uma carta de orientação de vertentes para a área em estudo (Fig.5.2).

Nos afloramentos A1 a A14 não se detetou o nível freático, nem se verificaram indícios de percolação e/ou presença de água no talude, pelo que lhes foi atribuída uma classificação de 0 pontos, com exceção do afloramento A14 para o qual foi definida uma classificação de 2 pontos.

Nos afloramentos da formação dos Arenitos da Boa Viagem em grande parte dos afloramentos o nível freático não foi detetado, nem se verificaram indícios de percolação, pelo que se estabeleceu uma classificação de 0 pontos para os afloramentos A15, A16, A17, A23, A24, A29 e uma classificação de 2 pontos para os afloramentos A18, A19, A20, A21, A22, A26, A31 e A32.

Nos afloramentos A25 e A30 apesar do nível freático não ter sido detetado estes apresentam indícios de percolação e/ou presença de água, pelo que se considerou um valor ponderal de 3 pontos.

Nos afloramentos A27 e A28 o nível freático também não foi detetado, no entanto existe percolação no afloramento A27 e indícios de percolação e/ou presença de água no afloramento A28 pelo que a ambos foi atribuída uma classificação de 4 pontos. No afloramento A33, procedeu-se à divisão em dois troços e para cada um foi definida uma classificação distinta, o troço A recebeu um valor ponderal de 3 pontos e o troço B um valor ponderal de 2 pontos.

Aos afloramentos da Formação da Figueira da Foz foi atribuída uma classificação entre 0 a 5 pontos. Sendo que nos afloramentos A36, A38 e A41 o nível freático não foi detetado, no entanto os afloramentos A36 e A38 não apresenta percolação visível enquanto o A41 apresentam indícios de percolação e/ou presença de água, considerou-se um valor ponderal de 2 pontos para os 3 afloramentos. Ao afloramento A40 foi atribuída uma classificação de 0 pontos, dado que nem o nível freático nem indícios de percolação se observaram.

Os afloramentos A34 e a 35 receberam uma classificação de 5 pontos e de 4 pontos respetivamente, uma vez que o nível freático foi detetado e existem indícios de percolação de água nos afloramentos.

Nos afloramentos A37 e A39 o nível freático não foi observado mas registaram-se indícios de percolação de água, pelo que lhes foi atribuída uma classificação de 4 pontos e de 3 pontos respetivamente.

Os afloramentos A42 e A43 da formação carbonatada não apresentavam quaisquer indícios de percolação, nem o nível freático foi detetado pelo que se considerou um valor ponderal de 0 pontos.

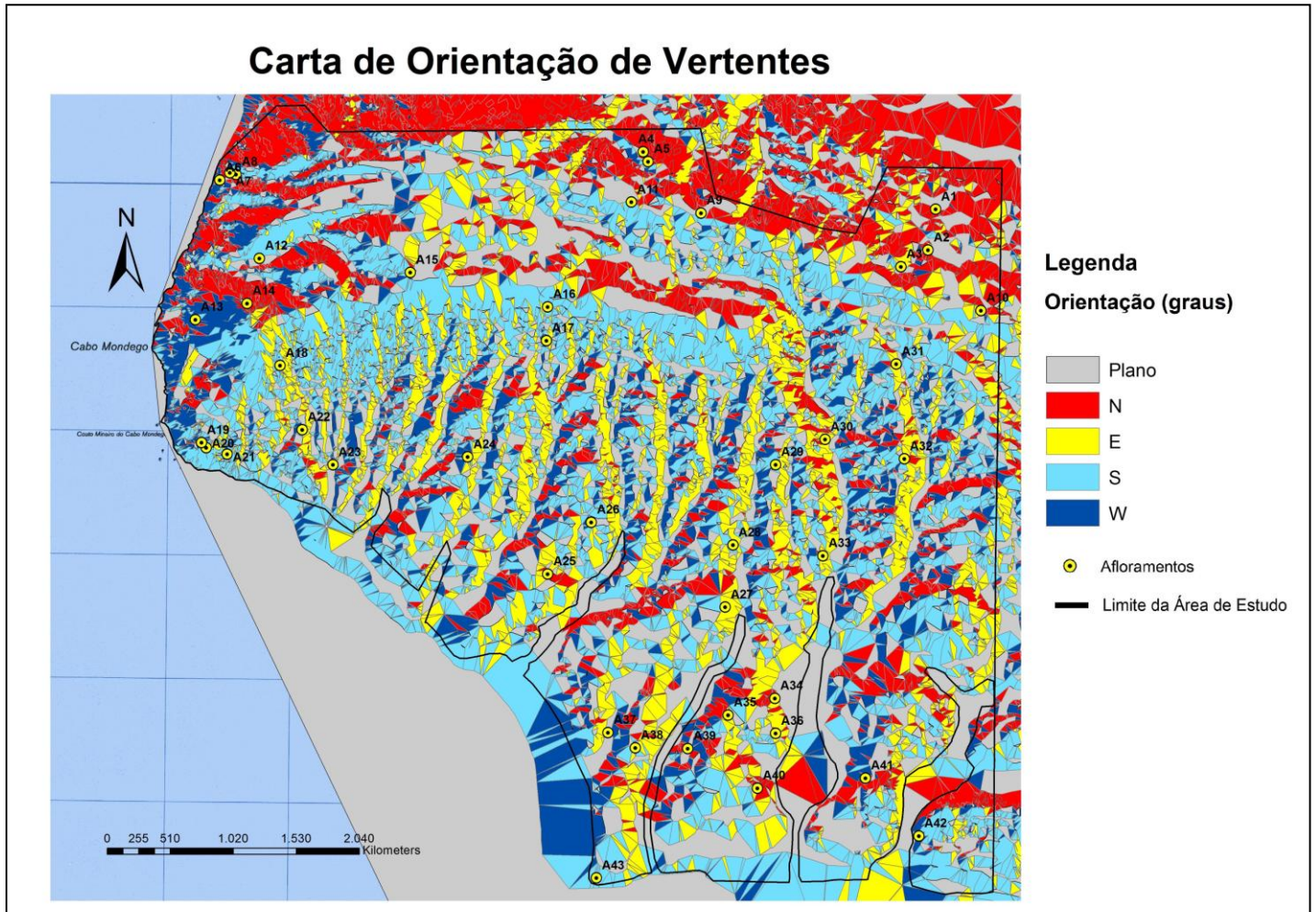


Figura 5.2 – Carta de Orientação de Vertentes da área em estudo e localização dos afloramentos estudados.

No subparâmetro da erosão é considerada uma subdivisão relativa às situações encontradas nos taludes/vertentes e ainda à erosão costeira. Para a sua determinação foi tida em conta a fragilização e degradação dos maciços que é provocada pela continuada meteorização decorrente da sua exposição aos fatores ambientais. Foi utilizado o Quadro 4.10 para atribuição dos valores ponderais deste subparâmetro.

No Quadro 5.4 podemos verificar as classificações atribuídas neste subparâmetro para cada um dos afloramentos estudados. É de referir que o afloramento A33 como possui dois troços de duas formações distintas foi analisado de forma diferenciada, pelo que para o troço A foi atribuída uma classificação de 5 pontos e para o troço B foi atribuída classificação ponderada de 6 pontos.

Quadro 5.4 – Classificação ponderada para cada um dos afloramentos relativamente ao subparâmetro da erosão.

Erosão	Afloramentos	Classificação
Sem indícios de erosão	-----	0
	-----	1
	A9, A10.	2
Suscetibilidade/extensão de erosão baixa	A7, A8, A11, A12, A13, A15, A16, A17, A25, A29, A36, A38, A42, A43.	3
	A3, A6, A14, A24, A26, A31, A40.	4
	A1, A4, A5, A33, A39.	5
Suscetibilidade/extensão de erosão média	A20, A22, A23, A28, A32, A33, A35, A41.	6
	A2, A18, A19, A30, A37.	7
	A21, A27, A34.	8
Suscetibilidade/extensão de erosão elevada	-----	9

Para o subparâmetro relacionado com o tipo de vegetação foi considerada não só a cobertura vegetal presente no próprio afloramento, mas também a vegetação presente nas suas proximidades. Para a definição dos valores da classificação recorreu-se ao Quadro 4.11. Na área em estudo o subparâmetro da vegetação apresenta uma diversidade elevada, no Quadro 5.5 podem observar-se as classificações atribuídas para este subparâmetro. À que referir que as classificações com valores de 1 ponto estão situadas no limiar entre a existência de vegetação moderada e vegetação moderada a densa. Os afloramentos A15, A30 e A31 que receberam uma classificação de 0 pontos, apresentam uma vegetação bastante variada e densa, inclusive o afloramento A31 apresenta áreas de cultivo no seu topo. No caso do afloramento A33, o troço B foi classificado com o valor ponderado de 1 ponto devido à menor vegetação existente no seu topo, enquanto para o troço A assumiu-se uma classificação de 2 pontos.

Quadro 5.5 – Classificação ponderada para o subparâmetro do Tipo de Vegetação.

Tipo de Vegetação	Afloramentos	Classificação
Desflorestado e sem vegetação	A2, A6, A7, A8, A13, A40.	5
Existência de vegetação rasteira	A3, A4, A9, A12, A14, A16, A17, A18, A19, A21, A23, A24, A25, A27, A28, A35, A37, A38, A43.	4
Existência de árvores de médio e pequeno porte e vegetação moderada	A10, A20, A34, A36, A41.	3
	A26, A29, A30, A33, A33.	2
Existência de árvores de grande e médio porte e vegetação moderada a densa	A1, A5, A11, A22, A33, A39, A42.	1
	A15, A30, A31.	0

5.1.5. Inundações

Neste parâmetro foi analisada a possível ocorrência de inundações nos afloramentos ou nas suas proximidades. Para a avaliação deste parâmetro recorreu-se ao Quadro 4.12.

Neste parâmetro assumiu-se a classificação de 0 pontos para a maioria dos afloramentos devido à inexistência de situações de inundações. Apenas 4 afloramentos apresentam valores ponderados superiores a 0 pontos, sendo eles os afloramentos A28, A34, A36 e A41. É de realçar que apesar de possuírem uma classificação superior a 0 pontos, estes afloramentos não apresentam indícios evidentes ou registos de ocorrência de inundações, no entanto são mais suscetíveis de sofrerem inundações devido às características do afloramento e do próprio terreno envolvente.

Ao afloramento A28 pertencente à formação dos Arenitos da Boa Viagem foi atribuída a classificação de 1 ponto.

Para os restantes afloramentos A34, A36 e A41 da formação da Figueira da Foz foi assumida uma classificação de 2 pontos.

5.1.6. Tensões “*in situ*”

Para este parâmetro foram considerados os indícios de tensões libertadas e a presença de fraturas. Situações tais como a remoção ou erosão da parte superficial dos terrenos também devem ser analisadas. Para a classificação deste parâmetro foi utilizado o Quadro 4.13. No Quadro 5.6 são visíveis as classificações atribuídas relativamente aos indícios de libertação de tensões, é de notar que nenhum afloramento apresentou ausência de tensões, as classificações com valores de 5 pontos estão situadas no limiar entre os indícios médios e elevados de libertação de tensões e que o afloramento A33 como foi dividido em 2 troços, apresenta duas classificações distintas sendo um valor ponderal de 2 pontos para o troço A e de 1 ponto para o troço B.

Quadro 5.6 – Classificação dos indícios de libertação de tensões nos afloramentos.

Indícios de libertação de tensões	Afloramentos	Classificação
Ausentes	-----	0
Baixos indícios	A31, A33, A40	1
	A15, A16, A27, A32, A33, A35, A36, A37, A38, A39	2
Médios indícios	A13, A14, A24, A26, A28, A30, A34, A41, A42, A43	3
	A8, A12, A17, A18, A20, A22, A25, A29	4
Elevados indícios	A6, A7, A9, A10, A11, A19, A21, A23	5
	A1, A3, A4, A5	6
	A2	7

5.2. Resultados dos ensaios realizados

Durante aplicação da classificação de suscetibilidade e após a sua conclusão procedeu-se à execução de ensaios “*in situ*” e em laboratório. Estes ensaios possibilitaram a caracterização da resistência e a da dureza do material rochoso.

5.2.1 Martelo de Schmidt

Na determinação da dureza “*in situ*” utilizou-se o martelo de Schmidt, de modo a definir os valores de R. Após a realização das determinações “*in situ*” efetuou-se o tratamento dos dados, obtendo-se os resultados expressos nos Quadros 5.7, 5.8 e 5.9. Os valores obtidos com o martelo de Schmidt, numa inclinação diferente da horizontal, foram corrigidos através da utilização do ábaco de Deere & Miller (1966) como se pode observar no Quadro 5.10.

No Quadro 5.7 estão representados os resultados de R relativos aos afloramentos pertencentes a formação dos Calcários Margosos e margas (Margas de S.Gião), Calcários e margas do Cabo Mondego, Complexo carbonoso e calcários hidráulicos e ainda o Complexo calco-argilo-arenítico.

No Quadro 5.8 são apresentados os valores de R dos afloramentos dos Arenitos da Boa Viagem compreendidos entre o A15 e o A24.

No Quadro 5.9 são definidas as determinações de R dos restantes afloramentos da formação dos Arenitos da Boa Viagem (A25 a A33) e ainda dos afloramentos da Formação da Figueira da Foz e da Formação carbonatada (Calcários apinhoados da Costa de Arnes).

É de realçar que apesar do afloramento A19 apresentar 5 determinações com uma inclinação de 40° (Quadro 5.10), estes valores não foram corrigidos uma vez que não se recorreu à sua utilização para a determinação do valor de R.

Quadro 5.7 – Resultados da dureza (R), determinada através do Martelo de Schmidt para os afloramentos A1 a A14.

Afloramentos	Inclinação do Martelo	Martelo de Schmidt Valor mínimo e máximo	Valores mais elevados	Média
A1	Horizontal	14, 49	49,44,46,43,42,49, 41,43,42,49	44,8
A2	Horizontal	21, 49	37,38,44,42,37,44, 40,34,49,46	41,1
A3	45°	20, 51	42,46,45,45,51,49, 50,43,46,41	45,8
A4	Horizontal	30, 48	42,40,38,40,42,48, 39,43,41,40	41,3
A5	45°	10, 48	38,39,38,40,36,34, 36,43,48,42	39,4
A6	70°	Material mais resistente 1 50, 62	58,61,61,60,60,56, 57,62,58,66	59,9
	54°	Material mais resistente 2 47, 63	61,62,63,59,61,63, 58,61,60,62	61
A7	60°	Material mais resistente 1 41, 60	57,55,54,54,58,58, 60,55,53,52	55,6
	50°	Material mais resistente 2 43, 67	62,59,58,61,58,59, 60,62,65,67	61,1
A8	Horizontal	Material mais resistente 1 52, 65	60,62,64,60,62, 63,65,62,60,64	62,2
	Horizontal	Material mais resistente 2 43, 60	60,54,57,56,54,57, 54,54,55,54	55,5
A9	45°	Material mais resistente 1 22, 40	32,28,34,32,40,30, 31,38,32,30	32,7
		Material mais resistente 2 24, 35	30,33,35,30,34,30, 28,32,30,34	31,6
A10	Horizontal	26, 44	39,44,44,41,43,48, 39,41,39,44	42,2
A11	Horizontal	Material menos resistente (mais fraturado) 20, 45	30,28,40,38,38,45, 35,34,40,36	36,4
		Material mais resistente 15, 48	44,44,48,44,46,44, 46,46,44,46	45,2
A12	Horizontal	30, 50	49,48,49,50,44, 44,52,42,46,48	47,2
A13	45°	30, 47	43,41,47,44,46,43, 42,42,42,47	43,7
A14	Horizontal	30, 54	48,52,43,48,43,43, 41,54,42,52	46,6

Quadro 5.8 – Resultados da dureza (R), determinada através do Martelo de Schmidt para os afloramentos A15 a A24.

Afloramentos	Inclinação do Martelo	Martelo de Schmidt Valor mínimo e máximo	Valores mais elevados	Média	
A15	Horizontal	10, 19	14,18,18,18,18,18, 14,14,16,19	16,7	
A16	45°	14, 22	18,17,22,21,20,18, 22,20,17,20	19,5	
A17	38°	Material mais resistente 11, 32	22,22,20,24,24,32, 25,24,23,21	23,7	
		Material menos resistente 10, 20	16,13,14,14,16,20, 19,15,20,14	16,1	
A18	Horizontal	Material mais resistente 11, 29	24,24,26,23,29,24, 23,23,22,26	24,4	
		Material menos resistente 10, 21	16,22,16,15,16,20, 14,21,14,18	17,2	
A19	Horizontal	19,33	32,29,30,27,33,27, 32,28,32,29	29,9	
	40°	19,23			
A20	Horizontal	Material mais resistente 0, 26	22,22,23,21,26,18, 22,18,18,22	21,2	
		Material menos resistente 1 0,18	12,12,18,15,14,14, 13,13,14,12	13,7	
		Material menos resistente 2 R=0	0	0	
A21	Horizontal	Troço A	Material mais resistente 22, 38	32,31,37,31,35,38, 36,35,31,32	33,8
			Material menos resistente 10, 15	14,12,14,14,12,12, 12,13,14,15	13,2
		Troço B	Material mais resistente 1 12, 20	15,15,18,18,16,20, 18,17,16,16	16,9
			Material mais resistente 2 10,18	15,15,15,15,18,15,1 5,16,16,18	15,8
		Troço C	Material mais resistente 1 11, 30	24,28,28,30,30,26, 20,20,20,22	24,8
			Material mais resistente 2 10, 25	25,18,18,22,22,22, 22,24,22,24	21,9
			Material menos resistente 0, 18	11,14,12,10,10,15, 12,14,18,14	13
			Material menos resistente 2 R=0	0	0
A22	39°	10, 20	16,16,16,16,20,18, 18,19,19,20	17,8	
A23	40°	Arenitos 23, 50	44,44,44,32,36,34, 50,42,40,42	40,8	
		Calcreto 30, 50	42,46,46,49,50,43, 43,47,42,44	45,2	
A24	Horizontal	10, 17	16,17,16,15,15, 16,15,15,14,17	15,6	

Quadro 5.9 – Resultados da dureza (R), determinada através do Martelo de Schmidt para os afloramentos A25 a A43.

Afloramentos	Inclinação do Martelo	Martelo de Schmidt Valor mínimo e máximo	Valores mais elevados	Média
A25	45°	Material mais resistente 1 10, 22	22,16,22,18,18,18, 19,18,16,20	18,7
		Material mais resistente 2 10, 20	18,19,14,18,15,17, 18,20,19,14	17,2
A26	Horizontal	Material mais resistente 10, 32	30,28,29,30,32,29, 32,29,30,32	30,1
		Material menos resistente 10, 22	17,22,22,20,17,18, 17,20,18,18	18,9
A27	Horizontal	R=0	0	0
A28	Horizontal	R=0	0	0
A29	Horizontal	12, 30	21,25,23,24,28,24, 21,30,20,27	24,3
A30	Horizontal	Material mais resistente 14, 38	36,34,30,34,38,32, 28,32,34,36	33,4
A31	30°	10, 18	14,16,14,14,17,14, 14,16,18,16	15,3
A32	Horizontal	16, 40	40,36,40,34,43,32, 32,36,31,36	36
A33	35°	Arenitos da Boa Viagem (lado NW) 14, 40	39,24,26,39,40,38, 34,32,25,25	32,2
	Horizontal	Formação da Fig. da Foz (lado SE) R=0	0	0
A34	Horizontal	R=0	0	0
A35	Horizontal	R=0	0	0
A36	Horizontal	R=0	0	0
A37	Horizontal	R=0	0	0
A38	62°	Lado E do afloramento 11, 22	18,17,20,21,22,22, 21, 18,18,18	19,5
	Horizontal	Lado W do afloramento 0, 22	15,22,14,14,17,19, 16,18,17,15	16,7
A39	Horizontal	0, 12	12,10,11,10,11,10,0, 0,11,12	8,7 R=0
A40	Horizontal	10, 20	13,14,15,15,20,20, 15,16,16,18	16,2
A41	60°	11, 21	16,15,18,16,16,21, 16,16,16,17	15,7
A42	Horizontal	Material mais resistente 25, 48	43,44,44,48,48,48, 48,46,46,44	45,9
		Material menos resistente 20, 40	38,40,42,32,35,31, 35,33,30,34	35
A43	Horizontal	Material muito fraturado 15, 44	34,44,40,44,30,44, 40,36,44,30	38,6

Quadro 5.10 – Correção dos valores de R, para uma inclinação horizontal a partir do ábaco de Deere e Miller (1966).

Afloramentos	Inclinação	Média	Correção dos valores de R para a horizontal
A3	45°	45,8	47,1
A5	45°	39,4	42,4
A6	70°	59,9	62,9
	54°	61	63
A7	60°	55,6	57,6
	50°	61,1	62,1
A9	45°	32,7	34,7
		31,6	33,6
A13	45°	43,7	45,7
A16	45°	19,5	22,5
A17	38°	23,7	25,7
		16,1	19,1
A22	39°	17,8	19,8
A23	40°	40,8	43,8
		45,2	47,5
A25	45°	18,7	21,7
		17,2	20,2
A31	30°	15,3	18,3
A33	35°	32,2	34,2
A38	62°	19,5	22,5
A41	60°	15,7	18,7

Para uma melhor análise e visualização dos valores de dureza obtidos em cada afloramento e de modo a permitir uma melhor comparação consoante a formação geológica, foi construído o gráfico representado na Figura 5.3. É necessário ter em conta que no referido gráfico estão presentes a totalidade dos valores de dureza de Schmidt registados nos afloramentos, verificando-se que alguns dos afloramentos possuem mais do que um valor, definindo-se de modo separado os relativos aos materiais rochosos de maior e menor resistência, como se pode observar nos Quadros 5.7, 5.8 e 5.9.

Recorrendo aos resultados obtidos, e analisando o gráfico da Fig. 5.3, podemos verificar que as formações mais antigas e de composição calcária apresentam valores de dureza elevados. Os maiores valores de R foram obtidos na Formação dos Calcários e Margas do Cabo Mondego, mais propriamente nas Margas e Calcários do Bajociano.

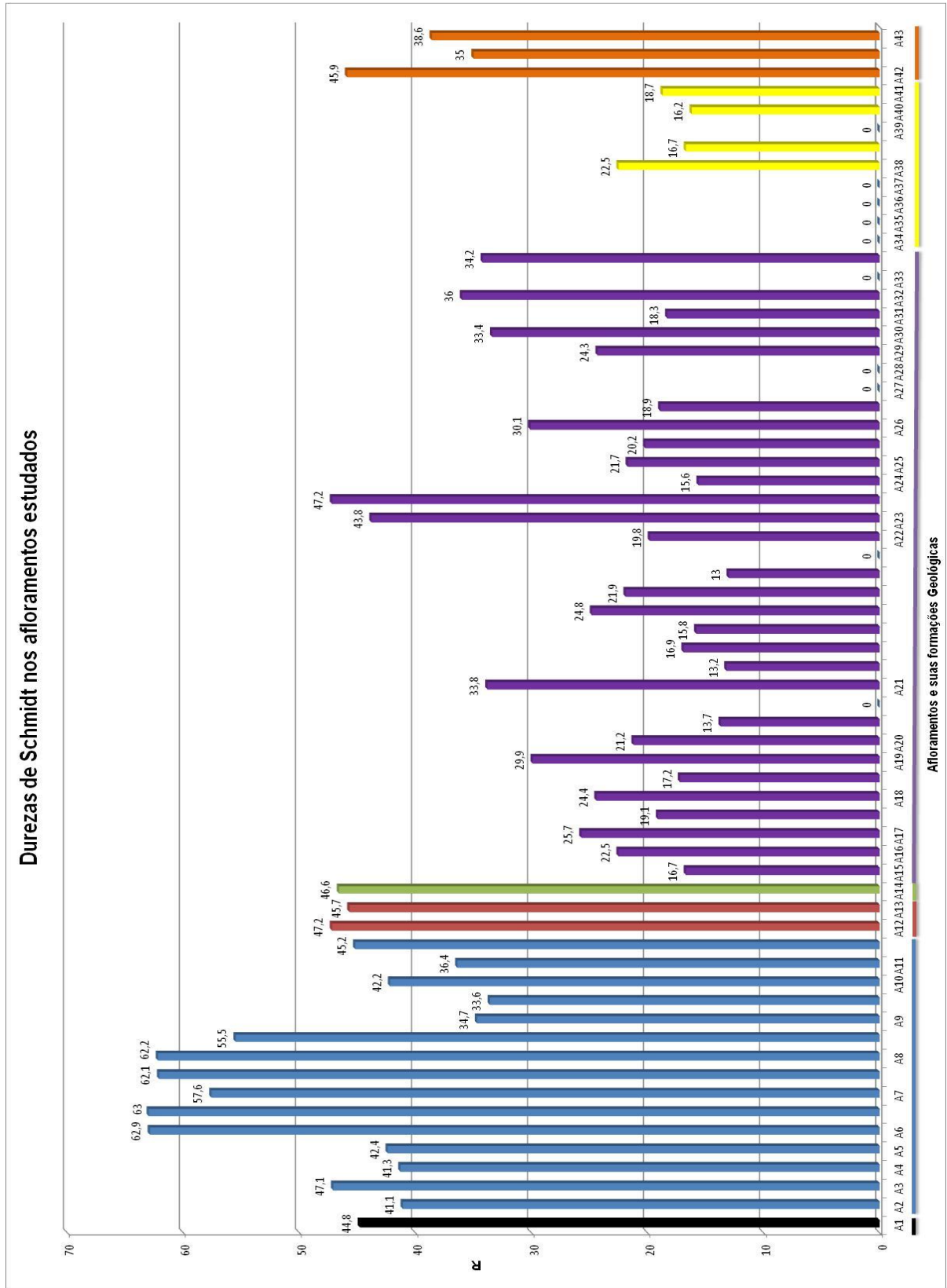
Os afloramentos onde foi registada a maior dureza de Schmidt são então o A6, A7 e A8, sendo o afloramento A8 o que registou o valor mais elevado. Das formações calcárias propriamente ditas o afloramento A9 foi o que apresentou uma dureza mais reduzida com dois valores médios de R de 34,7 e 33,6.

A formação do Complexo carbonoso e calcários hidráulicos, bem como a formação do Complexo calco-argilo-arenítico, apresentam valores elevados de 47,2 no afloramento A12 e de 46,6 no afloramento A14, ficando no entanto abaixo dos maiores valores médios registados.

Na Formação dos Arenitos da Boa Viagem podemos observar valores mais reduzidos de R, o que é expectável devido à sua constituição arenítica. No entanto no afloramento A23 registaram-se valores médios de 43,8 e 47,2. Estes valores podem ser explicados, na medida em que este afloramento constitui um caso distinto, não se tratando de um simples afloramento de arenitos, mas sim de um paleosolo com calcreto. Se excluirmos os valores de R iguais a 0 podemos observar que o menor valor médio de dureza registado é de 13, este último valor foi encontrado no Troço C do afloramento A21 que também se enquadra na Formação dos Arenitos da Boa Viagem.

Apesar dos valores baixos definidos nos Arenitos da Boa Viagem, a formação que apresenta uma menor dureza de Schmidt é claramente a Formação da Figueira da Foz, verificando-se que em dos 8 afloramentos analisados nesta formação, cinco deles apresentam valores médios de 0, sendo o seu maior valor médio de 22,5 no afloramento A38.

Na Formação Carbonatada registaram-se novamente valores médios de R mais elevados do que nas duas formações de Arenitos, sendo de destacar o valor de 45,9 registado no afloramento A42. De um modo geral podemos comparar/relacionar os valores médios de R obtidos nesta formação com os valores obtidos nos calcários menos resistentes da formação dos Calcários e margas do Cabo Mondego, pois apresentam valores médios semelhantes.



- Legenda**
- Calcários Margosos e Margas (Margas de S. Gião)
 - Calcários e Margas do Cabo Mondego
 - Complexo Carbonoso e Calcários Hidráulicos
 - Complexo Calco-argiloso-arenítico
 - Arenitos da Boa Viagem
 - Formação da Figueira da Foz
 - Formação Carbonatada (Calcários Apinhoados da Costa de Arnes)

Figura 5.3 – Valores da dureza de Schmidt registadas nos afloramentos estudados.

5.2.2 Resistência à Carga Pontual (*Point Load Test*)

Nos ensaios de determinação de resistência à carga pontual (*Point Load Test*) procedeu-se à determinação do $Is(50)$ e posteriormente a determinação de $Is(50)_M$ e $Is(50)_{DV}$ (onde o M corresponde à média e o DV ao desvio padrão). Para este ensaio recolheram-se amostras de 6 afloramentos distintos e de diferentes formações geológicas de modo a caracterizar os diferentes tipos de rocha existentes na área em estudo. É de notar que o material foi recolhido da Formação dos Calcários margosos e margas (Margas de S.Gião) (afloramento A1), da Formação dos Calcários e margas do Cabo Mondego (afloramentos A2 e A8), dos Arenitos da Boa Viagem (afloramentos A26 e A30) e da formação Carbonatada (Calcários apinhoados) (afloramento A42). Para uma melhor representação dos dados obtidos elaborou-se o Quadro 5.11 e a Fig. 5.4.

A Formação dos Calcários e margas do Cabo Mondego representada pelos afloramentos A2 e A8 registou os valores mais elevados dos ensaios de resistência à carga pontual, uma situação idêntica à encontrada com os resultados dos ensaios de determinação da dureza. Os materiais rochosos do afloramento A42 que pertencem à Formação Carbonatada apresentam, em termos de resistência à carga pontual, uma situação intermédia entre os materiais da Formação dos Calcários margosos e margas (Margas de S.Gião) e os da Formação dos Calcários e margas do Cabo Mondego.

Os valores da resistência à carga pontual dos materiais rochosos presentes nos afloramentos A26 e A30 correspondem aos mais baixos, uma vez que não se efetuaram ensaios com amostras pertencentes à Formação da Figueira da Foz.

Do Quadro 5.11 verifica-se que os valores dos coeficientes de variação são reduzidos para as determinações da resistência à carga pontual dos materiais rochosos dos afloramentos A1, A2 e A8, no entanto para o afloramento A30 obteve-se um valor considerado elevado o que está relacionado com o desvio-padrão correspondente.

Quadro 5.11 – Valores $Is_{(50)M}$, $Is_{(50)DV}$ e coeficiente de variação dos ensaios de resistência à carga pontual.

Afloramentos	$Is_{(50)M}$	$Is_{(50)DV}$	Coefficiente de variação
A1	2,48	0,30	0,12
A2	2,81	0,40	0,14
A8	3,88	0,44	0,16
A26	0,75	0,17	0,23
A30	1,06	0,45	0,42
A42	2,80	0,59	0,21

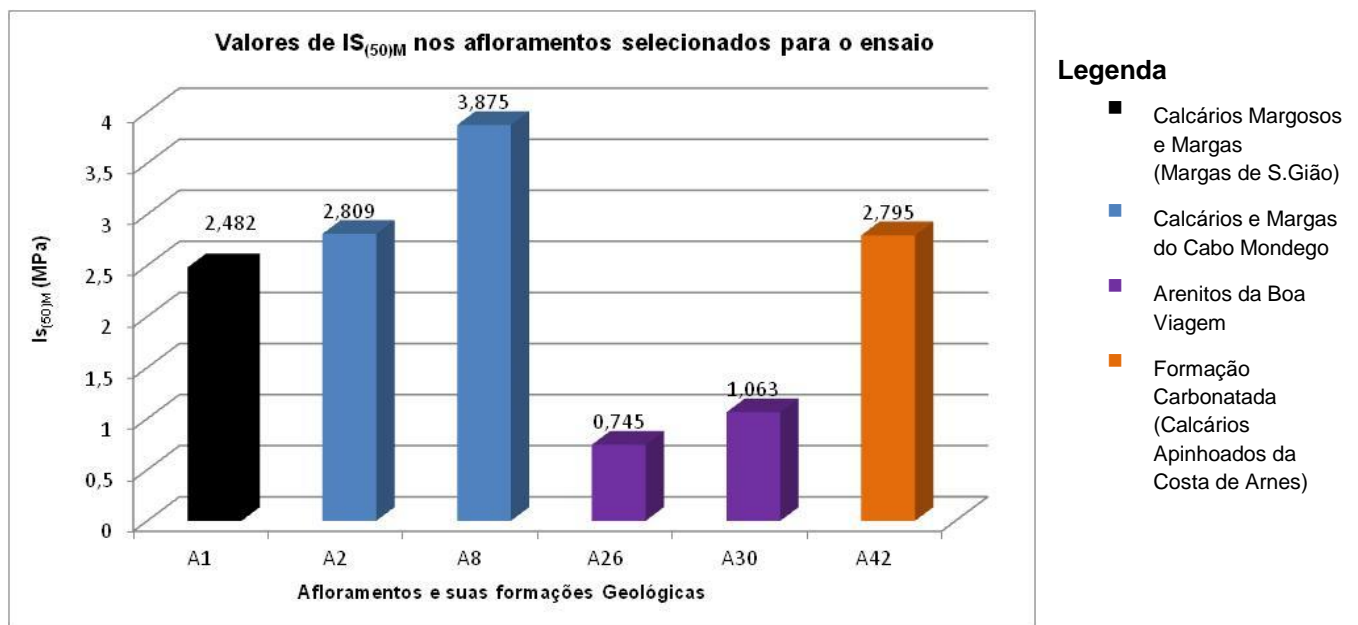
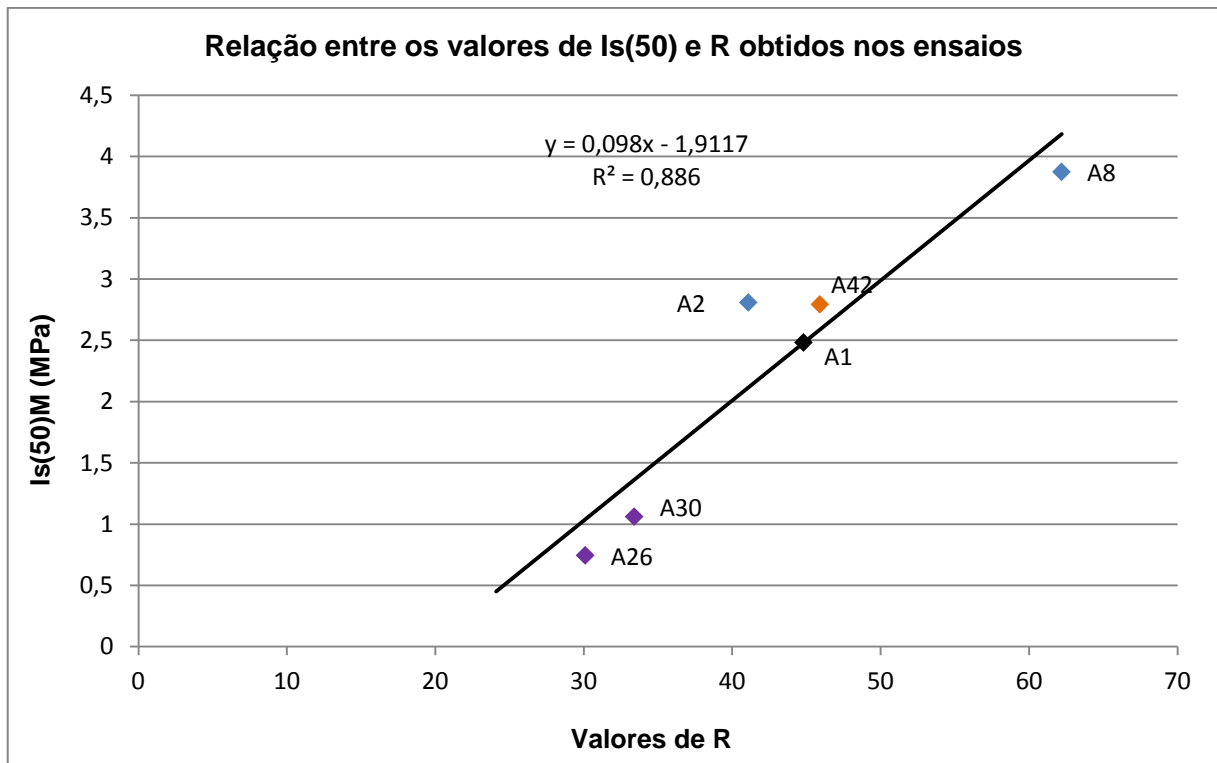


Figura 5.4 – Valores de $Is_{(50)M}$ dos ensaios de resistência à carga pontual.

Procedeu-se a uma comparação dos resultados dos ensaios realizados, de modo a avaliar uma possível relação. Para tal elaborou-se um gráfico com os valores médios da dureza de Schmidt e os valores encontrados para o $Is_{(50)M}$ (Figura 5.5). Esta avaliação só foi efetuada para os 6 afloramentos onde se procedeu à realização de ambos os ensaios, os valores de R e de $Is_{(50)M}$ utilizados para esta comparação estão representados no Quadro 5.12.

Quadro 5.12 – Valores de R e $Is_{(50)M}$ utilizados na comparação entre ambos os ensaios realizados.

Afloramentos	R	$Is_{(50)M}$ (MPa)
A1	44,8	2,482
A2	41,1	2,809
A8	62,2	3,875
A26	30,1	0,745
A30	33,4	1,063
A42	45,9	2,795



Legenda

- ◆ Calcários Margosos e Margas (Margas de S.Gião)
- ◆ Calcários e Margas do Cabo Mondego
- ◆ Arenitos da Boa Viagem
- ◆ Formação Carbonatada (Calcários Apinhoados da Costa de Arnes)

Figura 5.5 – Gráfico de relação entre os valores de R e de $Is_{(50)}$ (r corresponde ao coeficiente de correlação, enquanto o r^2 corresponde ao coeficiente de determinação).

A partir da análise do gráfico da Fig. 5.5 verificou-se que as formações calcárias apresentam uma dureza bastante superior à dos arenitos. Constatou-se a existência de uma relação diretamente proporcional entre os valores de $Is_{(50)}$ e R, definiu-se um coeficiente de correlação igual a 0,941, o que corresponde a um valor elevado. É de salientar que o par de resultados dos ensaios do afloramento A2 foi projetado no gráfico da Fig. 5.5 de uma forma relativamente afastada da reta de correlação que foi definida.

Podem existir algumas limitações na definição da correlação estabelecida, uma vez que ao realizar o ensaio de “*Point Load Test*” determinou-se a resistência do material rochoso exercendo uma força perpendicular ao plano de estratificação, enquanto nas medições com o martelo de Schmidt obteve-se a dureza do material rochoso aplicando uma força paralela ao plano de estratificação.

Determinou-se a resistência à compressão uniaxial para os afloramentos A1, A2, A8, A26, A30 e A42, dado que correspondem a afloramentos onde foram efetuados quer os ensaios de resistência à carga pontual quer os ensaios do martelo de Schmidt. Para a determinação da estimativa da resistência à compressão uniaxial (σ_c), a partir dos valores de R, foi utilizado o ábaco que se apresenta na Fig. 5.6, nesta estimativa utilizaram-se os valores de R determinados na posição horizontal, e foi considerado um peso específico de 23 KN/m³ para os Arenitos e um peso específico de 24 KN/m³ para os Calcários.

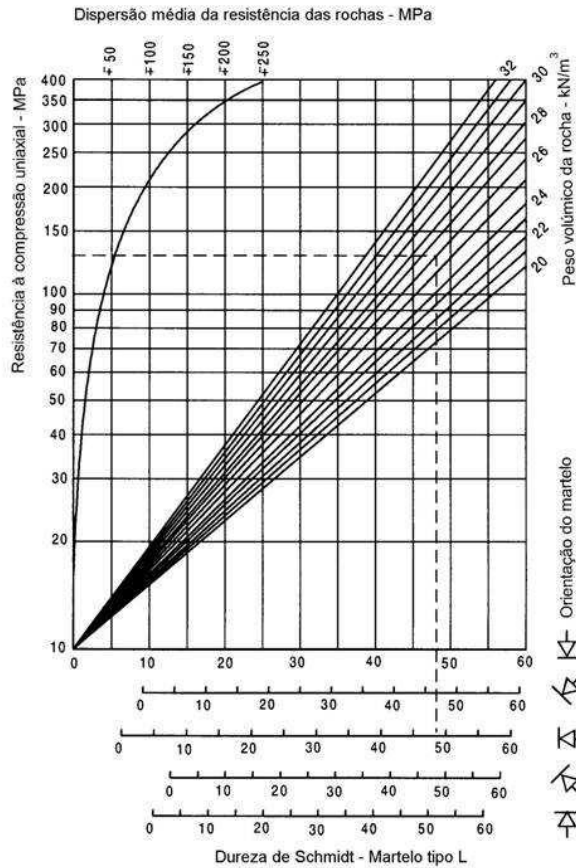


Figura 5.6 – Ábaco de Deere & Miller (1966) para estimativa da resistência a compressão uniaxial a partir da dureza de Schmidt.

Para a estimativa da resistência à compressão uniaxial (σ_c) a partir dos valores de $Is_{(50)}$, efetuou-se a multiplicação dos valores obtidos na resistência à carga pontual por 20 no caso do grés e por 22 no caso dos calcários o que está de acordo com as recomendações do ISRM (1985). Os resultados da determinação da σ_c através de R e de $Is_{(50)M}$ podem ser observados no Quadro 5.13.

Quadro 5.13 – Resultados da determinação da compressão uniaxial a partir de R e a partir de $Is_{(50)M}$.

Afloramentos	R	σ_c (MPa) através de R	$Is_{(50)M}$ (MPa)	σ_c (MPa) através de $Is_{(50)M}$
A1	44,8	87	2,482	54,6
A2	41,1	72	2,809	61,8
A8	62,2	235	3,875	85,3
A26	30,1	55	0,745	14,9
A30	33,4	58	1,063	21,3
A42	45,9	90	2,795	61,5

Na Fig. 5.7 é efetuada uma representação gráfica que permite uma comparação entre os resultados da resistência à compressão uniaxial que foi obtida a partir dos valores de R e de $Is_{(50)M}$. Na Fig. 5.7 observa-se que apesar das duas curvas representadas não serem coincidentes verifica-se, de modo geral, uma grande semelhança entre elas, pelo que os valores máximo da σ_c são representados, em ambas as curvas, pelos resultados do afloramento A8 e os valores mínimos da σ_c são definidos pelos resultados do afloramento A26.

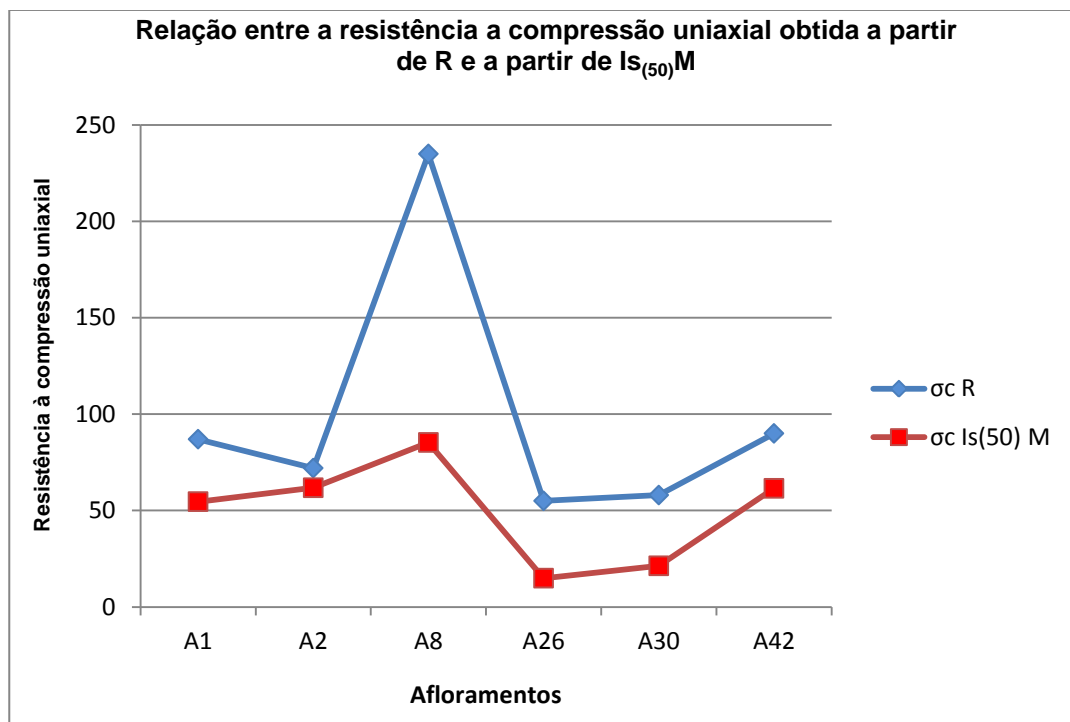


Figura 5.7 – Gráfico de relação entre a resistência a compressão uniaxial obtida a partir de R e a partir de $Is_{(50)M}$.

Seria de esperar que os valores da resistência à compressão uniaxial obtidos a partir de R fossem mais baixos do que os obtidos a partir de $Is_{(50)M}$, na medida em que os valores de R são determinados "in situ" e consequentemente podem ser influenciados pela existência de descontinuidades como fissuras, fraturas, superfícies de estratificação e falhas existentes no local. Deve igualmente assinalar-se que os ensaios realizados com o martelo de Schmidt são menos rigorosos do que os ensaios de resistência à carga pontual. Da observação da Fig. 5.7 verificou-se que os valores da σ_c obtidos a partir de R são superiores aos obtidos a partir de $Is_{(50)M}$, o que pode ser explicado pela elevada dispersão que a σ_c apresenta quando é definida através de R.

É de destacar, no entanto, que os valores da σ_c determinados a partir de $Is(50)_M$, estão dentro do intervalo de dispersão da σ_c obtida através de R, como se pode verificar na Fig. 5.6.

5.3. Caracterização das situações de instabilidade da área estudada

Para uma mais completa caracterização das instabilidades recorreu-se à ficha de trabalho relacionada com este tipo de situações (Cap.4.4), que foi utilizada nos 43 afloramentos estudados. Os resultados são descritos para uma melhor interpretação segundo os parâmetros constituintes da ficha de trabalho, com exceção dos parâmetros iniciais referentes à descrição do maciço em estudo, aos parâmetros 8 e 11 correspondentes ao esboço da litologia e da instabilidade que são representados por imagens e ao parâmetro 14 referente ao dimensionamento da instabilidade.

Os resultados que se podem analisar em termos de percentagem, da ficha de trabalho, iniciam-se no parâmetro 7 que está relacionado com o tipo de vegetação. Todos os afloramentos foram classificados consoante o seu tipo de vegetação e de acordo com o Quadro 4.14. Dos 43 afloramentos estudados 14% foram considerados como desflorestados e sem vegetação. Com uma vegetação do tipo rasteira apresentam-se 37% dos afloramentos, com essa mesma percentagem consideraram-se também os afloramentos com uma vegetação caracterizada por árvores de médio e pequeno porte e vegetação moderada. Por último 12% dos afloramentos apresentam a existência de árvores de grande e médio porte e vegetação moderada a densa.

No parâmetro 8 onde é requerido um esboço da litologia, estratificação e de planos de falhas, recorreu-se à utilização de fotos dos afloramentos presentes no Anexo I.

Para o parâmetro 9 onde se pretende identificar as situações de instabilidade presentes na área em estudo (Quadro 4.15), foram definidas diferentes situações de instabilidade sendo que a principal situação identificada foi a queda de blocos rochosos, no entanto foram encontradas em alguns afloramentos situações de rotura planar, rotura rotacional, basculamento, queda de detritos e movimentos complexos. De acordo com os dados recolhidos, podemos concluir que 42% dos afloramentos estudados não apresentaram qualquer tipo de instabilidade, 53% dos afloramentos evidenciaram situações de queda de blocos, 9,3% registaram deslizamentos planares, 4,7% exibiram deslizamentos rotacionais sendo que dos 2 movimentos deste tipo encontrados um deles está associado aos movimentos complexos, por último e com uma percentagem igual de 2,3% definiram-se situações de basculamento e de movimentos complexos.

É de realçar a percentagem total não corresponde a 100%, na medida em que existem afloramentos que possuem mais do que um tipo de movimentos.

No parâmetro 10, relacionado com a existência de trabalhos de estabilização em taludes/vertentes, obteve-se uma percentagem de 93% para a situação dos afloramentos onde não se verificou a realização de qualquer trabalho de estabilização e uma percentagem de 7% para os afloramentos onde existiram alguns trabalhos de estabilização.

Para o parâmetro 11 procedeu-se de igual forma como no parâmetro 8, sendo obtidas fotografias de maneira a permitir uma boa visualização das instabilidades registadas. Deste modo são apresentadas imagens correspondentes aos diferentes tipos de instabilidade presentes em alguns afloramentos estudados.

A queda de blocos é a situação de instabilidade de maior predominância que se faz sentir na área em estudo, tendo sido encontrado este tipo de instabilidade em 23 afloramentos distintos (Fig.5.8).



Figura 5.8 – Queda de blocos rochosos no afloramento A7.

A queda de detritos/blocos aparece associada a formação arenítica da Figueira da Foz e aos afloramentos A33 e A39 (Fig. 5.9).



Figura 5.9 – Queda de detritos/solos no afloramento A39.

O afloramento que apresenta situações de “*toppling*” é o afloramento A3 conforme se pode verificar na Fig. 5.10.



Figura 5.10 – Instabilidade do tipo “*Toppling*”, afloramento A3 (Margas e Calcários do Bajociano).

As situações de deslizamento estão relacionadas com os afloramentos A1, A3, A10, A30, A34 e A37. No caso de roturas planares foram encontrados 3 afloramentos com este tipo de instabilidade e outros 2, cuja sua direção de estratificação pode potenciar situações de rotura planar. Os afloramentos que possuem rotura planar são os afloramentos A1, A3 e A10, esta situação de instabilidade tem probabilidades de ocorrer nos afloramentos A11 e A25.

O afloramento A30 apresenta rotura circular (Fig.5.12) enquanto os outros afloramentos (A34 e A37) evidenciaram situações potenciadoras de deslizamento, inclusive já foram realizados trabalhos de estabilização, sendo instalados no afloramento A34 gabiões para prevenir situações de deslizamento para as habitações e no caso do afloramento A37 (Fig.5.13) recorreu-se à utilização de betão projetado ao longo de todo o talude localizado nas traseiras de um prédio de habitação.



Figura 5.11 – Rutura planar no afloramento A10



Figura 5.12 – Rotura circular, afloramento A30 (Arenitos da Boa Viagem).



Figura 5.13 – Afloramento A37, trabalho de estabilização recorrendo a cobertura do afloramento com betão projetado que se prolonga ao longo de todo o talude na traseira do prédio.

No afloramento A25 registou-se a ocorrência de um movimento complexo, em que se verificou uma situação de rotura circular na parte superior do talude e de rotura planar na sua parte intermédia, a direção de estratificação deste afloramento favorece os deslizamentos planares. A movimentação das fendas de tração no topo do talude é um indicador de que o movimento de instabilidade pode prosseguir.

No parâmetro 12 a velocidade dos movimentos é determinada de acordo com o Quadro 4.16. Em 42% dos afloramentos da área em estudo não foi possível determinar a velocidade das situações de instabilidade, dado que tal como acontece com o parâmetro 9, pois esses afloramentos não apresentam qualquer tipo de instabilidade. Nos restantes afloramentos estudados a velocidade dos movimentos existentes divide-se em movimentos de velocidade rápidos e muito rápidos, sendo que 35% dos afloramentos evidenciaram uma velocidade de movimento muito rápida (>3m/min) e 23% dos afloramentos apresentaram uma velocidade de movimento rápida (1,8 m/h a 3 m/min).

O parâmetro 13 dos registos dos estados de atividade de instabilidade é regido pela descrição presente no Quadro 4.17, sendo que para os afloramentos estudados 44% desses afloramentos possuem uma instabilidade ativa, 12% evidenciaram uma instabilidade suspensa, 2% apresentaram uma instabilidade inativa com indícios e os restantes 42% têm uma instabilidade inativa.

Para o parâmetro 14 foi necessário determinar as dimensões das situações da instabilidade, para tal procedeu-se à medição dos volumes de blocos que resultaram de movimentos de instabilidade nos afloramentos.

Existem na área em estudo 23 afloramentos que apresentam queda de blocos rochosos: A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A14, A18, A19, A20, A21, A26, A28, A30, A33, A34 e A43. Estes 23 afloramentos representam 53% de todos os afloramentos estudados. Deve assinalar-se que no afloramento A10 os blocos instabilizados são rapidamente retirados, dado que este último é adjacente a uma via rápida, pelo que não se efetuaram medições de uma forma sistemática.

Após a realização das medições foram elaborados gráficos com as volumetrias dos blocos rochosos instabilizados de modo a definir os volumes do material afetado pela instabilidade. Após a determinação das volumetrias para cada caso procedeu-se à divisão das volumetrias em classes de modo a determinar qual a classe volumétrica predominante em cada afloramento.

É de referir que para cada um dos afloramentos foram medidos diferentes números de blocos consoante a abundância dos mesmos.

A divisão da volumetria em classes implica que se considerem diferentes tipos de dimensões volumétricas, estes por sua vez estão dependentes do levantamento efetuado e dos valores registados. As diferentes classes e tipos estão representados no Quadro 5.14, seguidamente no Quadro 5.15 define-se o tipo de volumetria correspondente a cada afloramento.

Quadro 5.14 – Divisão das volumetrias consoante a sua classe e tipo.

Classes	Tipo I (cm ³)	Tipo II (cm ³)	Tipo III (cm ³)	Tipo IV (cm ³)	Tipo V (cm ³)	Tipo VI (cm ³)	Tipo VII (cm ³)
A	0-1000	0-1000	0-1000	0-2000	0-500	0-100	0-2000
B	1000-2000	1000-2000	1000-2000	2000-4000	500-1000	100-200	2000-4000
C	2000-4000	2000-3000	2000-3000	4000-6000	1000-1500	200-300	4000-6000
D	4000-6000	3000-4000	3000-4000	6000-8000	1500-2000	300-400	6000-8000
E	>6000	4000-5000	>4000	8000-10000	>2000	>400	>8000
F		>5000		10000-20000			
G				>20000			
Classes	Tipo VIII (cm ³)	Tipo IX (cm ³)	Tipo X (cm ³)				
A	0-1000	0-10000	0-500				
B	1000-3000	10000-20000	500-1000				
C	3000-6000	20000-30000	>1000				
D	6000-9000	30000-40000					
E	>9000	>40000					

Quadro 5.15 – Classificação do tipo de volumetria para cada afloramento.

	Afloramentos
Tipo I	A1
Tipo II	A2
Tipo III	A3,A7,A8,A9, A12, A18, A21, A30 e A33
Tipo IV	A4
Tipo V	A5,A6 e A26
Tipo VI	A11
Tipo VII	A14,A19,A20 e A21
Tipo VIII	A28
Tipo IX	A34
Tipo X	A43

Na Fig. 5.14 é representado um gráfico com as volumetrias dos blocos rochosos instabilizados do afloramento A5 de modo a definir a distribuição dos volumes do material instabilizado. Na Fig. 5.15 é possível observar a divisão das volumetrias em classes do afloramento A5, de maneira a determinar a classe volumétrica predominante.

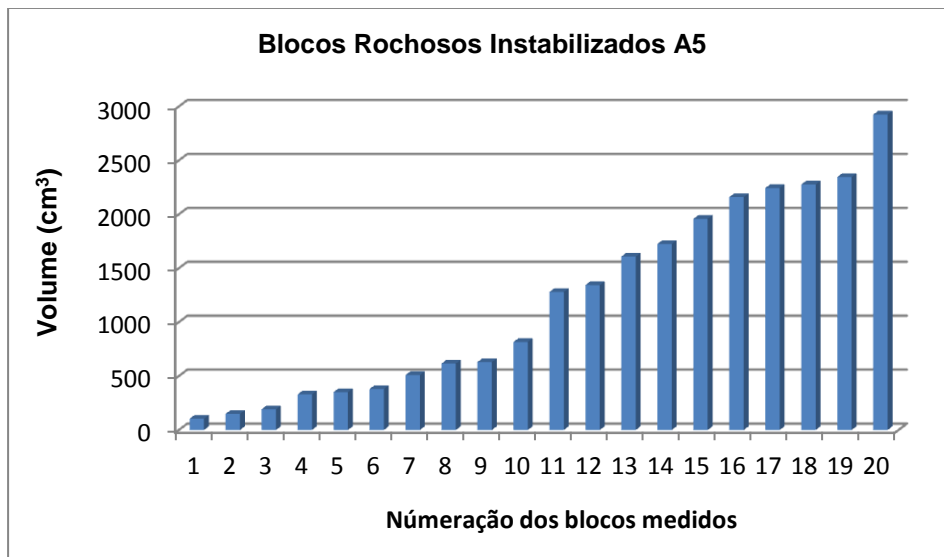


Figura 5.14 – Gráfico volumétrico dos blocos rochosos instabilizados no afloramento A5.

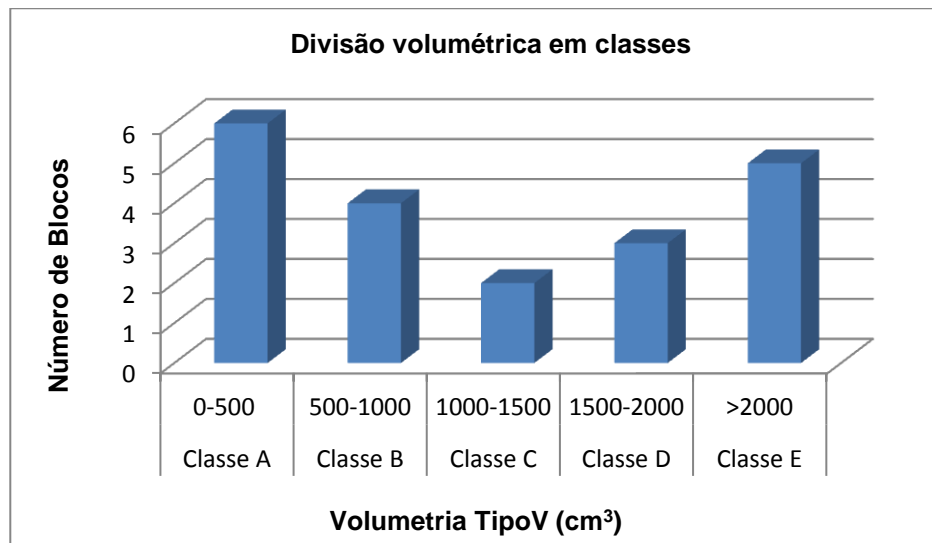


Figura 5.15 – Gráfico de divisão das volumetrias em classes do afloramento A5.

Com os resultados obtidos foi definida a informação compilada no Quadro 5.16, que reúne as características dos blocos instabilizados tais como a sua classe predominante, as volumetrias mínimas e máximas medidas e o número de blocos medidos em cada um dos afloramentos. Na caracterização dos blocos salientam-se algumas situações específicas que ocorrem em determinados afloramentos.

Tal como foi referido anteriormente não foi possível proceder a medições de modo sistemático no afloramento A10, no entanto detetou-se a presença de um bloco tombado de grandes dimensões e com uma volumetria provavelmente superior a 250000 cm³. No caso do afloramento A20, apesar da sua classe predominante ser a classe E do Tipo VII (> 8000 cm³) (Quadros 5.14, 5.15 e 5.16), são igualmente importantes as classes de volumetria compreendida entre 1000-2000 cm³ e 2000-3000 cm³ especificamente que apesar de não pertencerem a nenhum tipo, verificam um igual número de blocos nestas duas classes intermédias. No afloramento A21 procedeu-se à divisão em 3 troços distintos, no Quadro 5.16 pode constatar-se que a classe predominante nos 3 troços é a classe A, no entanto os troços apresentam diferentes tipos de volumetria sendo os troços A e C do tipo VII e o troço B do tipo III (Quadros 5.14 e 5.15). Também o afloramento A33 foi dividido, neste caso em 2 troços. No troço A só existiam 3 blocos instabilizados pelo que não foi realizada a divisão das volumetrias em classes neste troço, apenas foram registadas as volumetrias dos 3 blocos como se pode constatar no Quadro 5.16.

Quadro 5.16 – Caracterização dos blocos instabilizados.

Afloramentos	Número de blocos medidos	Volumetrias mínimas e máximas (cm ³)	Classe predominante (cm ³)
A1	30	315, 119808	A (0-1000)
A2	60	67,5, 35264	A (0-1000)
A3	50	105, 1203960	A (0-1000)
A4	20	255, 69920	A (0-2000) e C (4000-6000)
A5	20	105, 2925	A (0-500)
A6	20	137,5, 109620	A (0-500)
A7	20	540, 295152	E (>4000)
A8	20	224, 79233	A (0-1000)
A9	20	455,6, 69832	A (0-1000)
A10	X	-----	-----
A11	20	10,5, 653,1	A (0-100)
A12	20	255, 45448	A (0-1000)
A14	20	108, 61275	A (0-2000) e B (2000-4000)
A18	20	75, 12160	A (0-1000)
A19	20	425, 138924,5	A (0-2000)
A20	20	363, 64638	E (>8000)
A21	20	231, 37620	A (0-2000)
	20	99, 14040	A (0-1000)
	20	231, 66368	A (0-2000)
A26	20	105, 71208	A (0-500)
A28	20	168, 484500	A (0-1000)
A30	20	160, 7128	A (0-1000)
A33	3	(437,5, 1710, 2208)	---
	20	170, 4752	A (0-1000)
A34	16	480, 244188	A (0-10000)
A43	20	73,5, 2040	A (0-500)

Para o parâmetro 15 referente às consequências da instabilidade determinou-se recorrendo ao Quadro 4.18 que tipo de estruturas ou de áreas são ou podem ser afetadas pelos movimentos de instabilidade. Deste modo foi possível registar que 42% dos afloramentos estudados não possuem quaisquer consequências de instabilidade na medida em que precisamente 42% dos afloramentos não apresentam situações de instabilidade, no entanto 32% dos afloramentos podem afetar vias de comunicação, 2% dos afloramentos podem causar danos em habitações, enquanto 26% dos afloramentos afetam apenas zonas florestais ou desocupadas. É de realçar que as situações de instabilidade presentes no afloramento A39 podem causar danos tanto nas vias de comunicação como nas habitações, pelo que o somatório dos valores percentuais não é igual a 100%.

No parâmetro 16 pretende-se determinar de acordo com o Quadro 4.19, as causas externas de instabilidade, há que ter em conta que os movimentos de instabilidade nos afloramentos podem apresentar mais do que uma causa externa. Da análise efetuada definiu-se que 42% dos afloramentos não apresentam causas externas de instabilidade, dado que não evidenciaram qualquer tipo de instabilidade. Para a causa externa referente ao aumento de inclinação do talude/vertente verificou-se que 9% dos afloramentos registaram este tipo de causa, o aumento de altura do talude/vertente (escavação no pé ou aterro na crista) constitui uma causa externa da instabilidade em 26% dos afloramentos, o aumento do peso do talude/vertente (aplicação de sobrecargas) foi considerado em 9% dos afloramentos, 23% dos afloramentos registaram a infiltração de água como causa externa da instabilidade, e em 35% dos afloramentos definiram-se as vibrações e a erosão superficial como causas externas da instabilidade.

Finalmente no parâmetro 17 recorreu-se à descrição exposta no Quadro 4.20 para caracterizar as causas internas de instabilidade, deve ter-se em atenção que as ocorrências de instabilidade nos afloramentos podem ter mais do que uma causa interna. Tal como foi anteriormente referido em 42% dos afloramentos não se observou qualquer situação de instabilidade, pelo que consequentemente não se definiram causas internas de instabilidade. Concluiu-se que 35% dos afloramentos apresentam a litologia como uma causa interna de instabilidade, em 44% dos afloramentos considerou-se a sua estrutura geológica como causa interna da instabilidade, ainda em 16% dos afloramentos definiu-se o aumento da pressão da água como uma causa interna, 14% dos afloramentos apresentam a diminuição de resistência dos terrenos como causa interna e por último em 28% dos afloramentos

assumiu-se o aumento das tensões tectónicas como uma causa interna da instabilidade.

5.4. Distinção das zonas de igual suscetibilidade

A partir dos valores dos parâmetros relacionados com a suscetibilidade geológica e geotécnica e dos resultados obtidos nos ensaios “*in situ*” e laboratoriais realizados para validar determinados parâmetros, estabeleceu-se uma classificação final de suscetibilidade que se utilizou para elaborar uma carta de suscetibilidade geológica e geotécnica para a área considerada.

Como os resultados da classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica, aplicada a cada afloramento das diferentes formações rochosas, podem variar de 0 a 100, foi definida uma classificação final (Quadro 5.17) de modo a agrupar os resultados obtidos em diferentes graus de suscetibilidade para a área em estudo.

Quadro 5.17 – Classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica

Classes	Graus de suscetibilidade geológica e geotécnica
80-100	Muito Elevado
60-80	Elevado
40-60	Médio
20-40	Baixo
0-20	Muito Baixo

Tendo em atenção as classes do Quadro 5.17 e os resultados finais obtidos para cada afloramento foi estabelecida uma carta de Suscetibilidade Geológica e Geotécnica para a área em estudo da Figueira da Foz (Fig. 5.16).

Constatou-se que duas das classes de suscetibilidade geológica e geotécnica propostas não são definidas na área em estudo: a classe de suscetibilidade de grau mais elevado (80-100) e também a de suscetibilidade de grau mais baixo (0-20). Deste modo a carta de suscetibilidade geológica e geotécnica para a área estudada só apresenta 3 classes de suscetibilidade: grau elevado (60-80), médio (40-60) e baixo (20-40).

Os afloramentos que foram classificados com um grau de suscetibilidade baixo, correspondem das formações mais antigas para as mais recentes: ao afloramento A11 dos Calcários e Margas do Cabo Mondego (Caloviano), aos afloramentos A12 e A13

do complexo carbonoso e calcários hidráulicos, aos afloramentos A15, A16, A17, A24, A29, A31 e A32 dos Arenitos da Boa Viagem e aos afloramentos A36 e A40 da formação da Figueira da Foz.

Uma das zonas de suscetibilidade baixa localiza-se na parte Norte da área de estudo, na parte cimeira da serra da Boa Viagem, pelo fato de ser uma zona aplanada e por apresentar um substrato essencialmente calcário, deve referir-se que a carsificação apesar de ser importante nesta área não condicionou de forma prioritária a avaliação da suscetibilidade; outras das zonas de suscetibilidade baixa situa-se na parte Sul da área de estudo, nas área urbana da Figueira da Foz, o que pode ser explicado pelo substrato rochoso ser carbonatado e apresentar uma resistência elevada e os declives serem reduzidos; a restante mancha de suscetibilidade baixa está relacionada com o afloramento A24, localizado na Formação dos Arenitos da Boa Viagem e que apresenta valores de suscetibilidade reduzidos, em parte estes resultados devem-se ao fato do afloramento ser constituído por material arenítico bem consolidado de resistência média a elevada e por se situar numa zona relativamente aplanada de declive pouco acentuado.

O grau de suscetibilidade médio é o que tem uma representação maioritária na área em estudo. Do grau de suscetibilidade médio fazem-se representar do mais antigo para o mais recente: o afloramento A1 dos Calcários margosos e Margas, os afloramentos A2, A3, A4, A5, A6, A7, A9 e A10 dos Calcários e margas do Cabo Mondego, o afloramento A14 dos Calcários e margas (Kimeridgiano), os afloramentos A18, A19, A20, A22, A23, A25, A26, A27, A28, A30, A33 dos Arenitos da Boa Viagem e os afloramentos A34, A35, A37, A38, A39, e A41 da Formação carbonatada. O grau de suscetibilidade médio está relacionado com a existência de movimentos de instabilidade, por uma menor resistência do material e por uma inclinação de terreno superior à encontrada nas áreas de suscetibilidade baixa.

O grau de suscetibilidade elevado faz-se apenas representar na parte NW da área estudada (Cabo Mondego e zona do Teimoso), e é representado pelo afloramento A21 dos Arenitos da Boa Viagem, neste e nas áreas adjacentes definiram-se valores de suscetibilidade elevada, na medida em que se verificaram situações de instabilidade ativas, pendores elevados, heterogeneidade geológica e fenómenos de erosão costeira. Estes últimos estão relacionados com a capacidade que o mar possui durante a ocorrência de temporais de galgar a estrada marginal, nomeadamente no Inverno em que está presente a forte e energética ondulação SW e W.

A zona do Teimoso é a mais problemática em termos de erosão costeira da área em estudo, devido em parte à função de esporão natural exercida pelo Cabo Mondego, existindo assim um aumento no litoral imediatamente a norte (Murtinheira e Quiaios),

enquanto a Sul até Buarcos se verifica erosão no troço litoral. Em termos gerais, para além dos efeitos dos temporais e da ondulação associada que se verifica no Inverno, esta situação pode ser explicada pela deriva litoral predominante de NW para SE ou N-S, em que a carga sólida litoral que atinge o troço costeiro não permite uma saturação da capacidade de transporte da agitação marítima dando origem a um défice sedimentar, que é então compensado pela erosão da costa.

Na zona do Cabo Mondego foi considerado um grau de suscetibilidade elevado devido à presença de um litoral talhado em arriba que apresenta movimentos de instabilidade em que se destacam situações de quedas de blocos rochosos e deslizamentos planares. As situações de instabilidade também se verificam nas zonas de pedreiras do Cabo Mondego, designadamente nas frentes, dado que estas se encontram muito fraturadas e apresentam zonas de falhamento, deve igualmente considerar-se a altura e o declive acentuado que essas frentes de desmonte evidenciam.

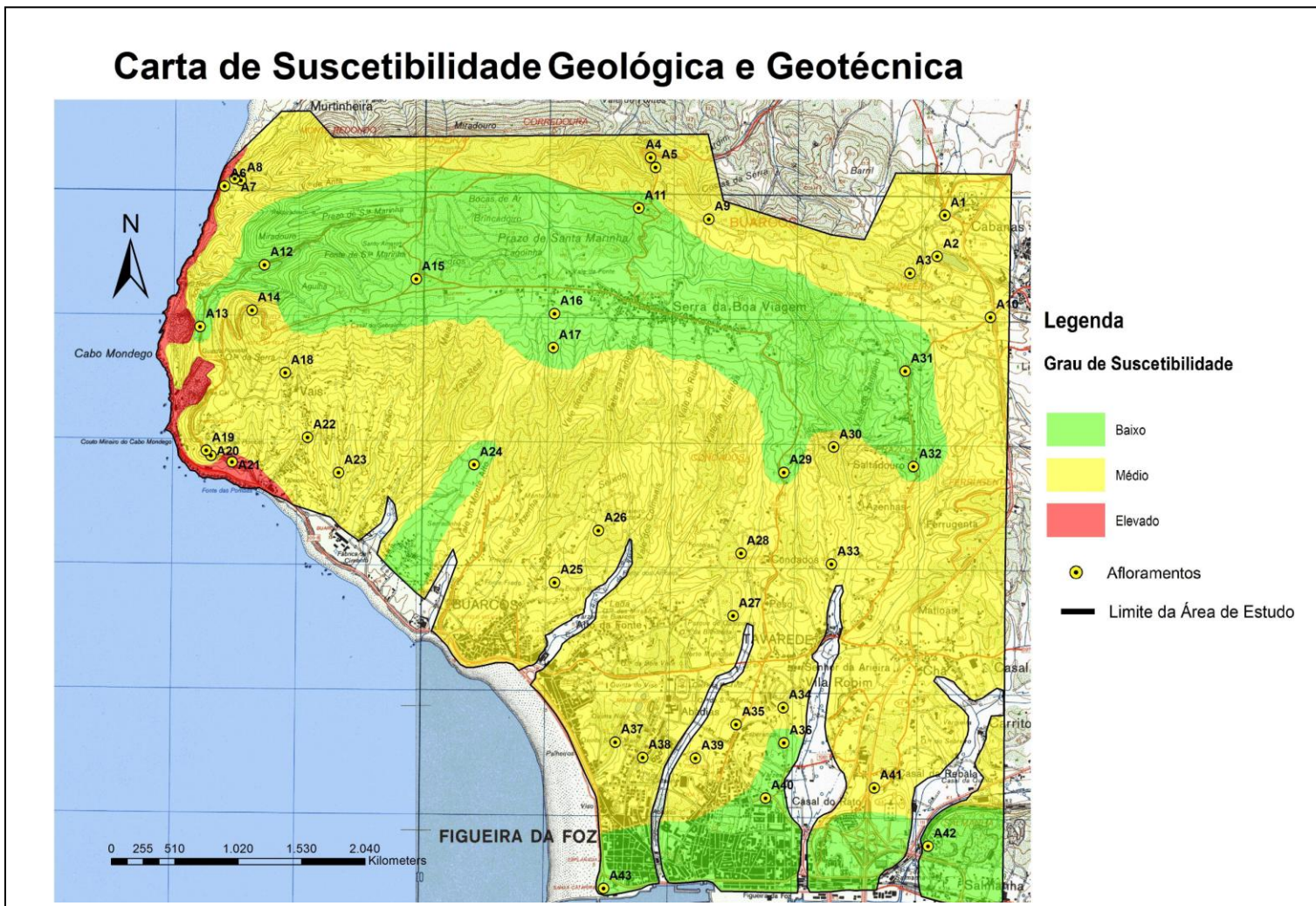


Figura 5.16 – Carta de Suscetibilidade geológica e geotécnica da área em estudo.

5.5 – Limitações Metodológicas

Na Fig. 3.2 é observável que a área de estudo não abrange zonas arenosas de praia, embocaduras de pequenos cursos de água e zonas de aluvião, que se comportam essencialmente como solos e não como maciços rochosos, uma vez que a classificação definida no presente estudo é somente aplicada a maciços rochosos.

As condições climáticas inviabilizaram, de certa forma, a análise do comportamento dos afloramentos durante os períodos de maior precipitação, uma vez que o ano letivo de 2011/2012 foi de pluviosidade reduzida.

Uma das limitações prende-se com a existência de poucos registos históricos relativos à definição da suscetibilidade geológica e geotécnica na área estudada.

Os ensaios de resistência à carga pontual só foram realizados em materiais rochosos de 6 afloramentos, o que se deveu à falta de tempo e à dificuldade de recolha do respetivo material em alguns afloramentos.

Para uma mais abundante recolha de dados e de amostras, e também para uma análise mais completa das condições de suscetibilidade seria necessário uma equipa de vários elementos de modo a aprofundar o estudo efetuado.

6 Conclusão

Este trabalho de investigação de suscetibilidade geológica e geotécnica apoiou-se em diversas pesquisas bibliográficas para a realização de sínteses metodológicas sobre os conceitos de suscetibilidade e risco. Procedeu-se à determinação de critérios para a definição de uma classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica que permitisse o respetivo zonamento da área em estudo.

Determinaram-se fatores condicionantes da avaliação da suscetibilidade geológica e geotécnica e estabeleceram-se metodologias de validação dos resultados. Os parâmetros da classificação utilizada são o registo histórico e os indicadores de instabilidade, a litologia, as estruturas geológicas, a morfologia, inundações e as tensões “*in situ*”.

A classificação proposta neste trabalho constitui uma mais-valia para o ordenamento do território, na medida em que permite identificar situações de suscetibilidade geológica e geotécnica e conseqüentemente estabelecer medidas de alerta e proteção para a população.

A área de estudo localizada no concelho da Figueira da Foz foi escolhida devido à sua diversidade geológica e modo a verificar a aplicação da classificação.

No decorrer da utilização da classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica, constatou-se a necessidade de recorrer a ensaios de caracterização de modo a validar determinados parâmetros e subparâmetros, como o relacionado com a resistência da litologia. Os ensaios realizados foram os da determinação da dureza recorrendo ao martelo de Schmidt e os ensaios de resistência à carga pontual (*Point Load Test*). Os resultados obtidos permitiram verificar valores uma relação diretamente proporcional entre os resultados dos dois ensaios. É de referir que os materiais rochosos da Formação dos calcários e margas do Cabo Mondego são os que registam os valores mais elevados tanto de dureza de R como de resistência à carga pontual, valores que no caso do afloramento A8 correspondem a uma dureza R de 62,2 e uma resistência à carga pontual de 3,9 MPa. Para os materiais constituintes do afloramento A26, pertencente à Formação dos Arenitos da Boa Viagem, alcançaram-se os valores mais baixos de resistência à carga pontual, uma vez que não se efetuaram ensaios de *Point Load Test* com amostras pertencentes à Formação da Figueira da Foz, a qual registou uma menor dureza de Schmidt. Desta forma no afloramento A26 verificou-se um valor de dureza R de 30,1 e uma resistência à carga pontual de 0,75 MPa.

Para além da aplicação da classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica, foi também definida uma ficha de trabalho relativa às situações de instabilidade, permitindo deste modo um maior conhecimento do comportamento e das

consequências das situações de instabilidade. Esta ficha de trabalho, para além de servir como um complemento importante na classificação geológica e geotécnica proposta, permite ainda validar com maior rigor o parâmetro relativo aos registos históricos e indicadores de instabilidade. É de destacar que o estudo do parâmetro relativo à identificação de situações de instabilidade permitiu concluir que 42% dos afloramentos estudados não evidenciaram qualquer tipo de instabilidade, 53% dos afloramentos registaram situações de queda de blocos, 9,3% apresentaram deslizamentos planares, em 4,7% verificaram-se deslizamentos rotacionais e com uma percentagem igual de 2,3% definiram-se situações de basculamento e de movimentos complexos.

As cartas realizadas através de modelos digitais foram utilizadas para definir parâmetros e subparâmetros da classificação de suscetibilidade, tais como os pendores do meio envolvente a partir da carta de declives e a percolação através da carta de orientação de vertentes. A utilização da carta do modelo digital do terreno permitiu ter uma noção mais completa da altimetria da área em estudo e dos seus relevos.

A análise efetuada na área de estudo juntamente com a aplicação da classificação permitiu definir a carta de suscetibilidade geológica e geotécnica, esta apresenta uma suscetibilidade de grau médio na maior parte da área considerada, o que significa a existência de uma perigosidade intermédia para as populações e infraestruturas existentes. No entanto a área cimeira da Serra da Boa Viagem e as zonas de maior concentração populacional, como grande parte da cidade da Figueira da Foz, apresentam uma suscetibilidade baixa. As zonas de Buarcos, Alto da Fonte, Tavadere e Abadias constituem áreas de suscetibilidade média. Definiu-se uma zona de suscetibilidade elevada localizada nas áreas do Cabo Mondego e do Teimoso, nesta última, em que existem algumas habitações, verifica-se que a perigosidade mais elevada está relacionada com problemas de erosão costeira. Na área do Cabo Mondego podem ocorrer situações de maior perigosidade em vias de comunicação, pedreiras e zonas de arribas costeiras.

O tipo de estudos realizados e a utilização da classificação proposta neste trabalho constituem ferramentas importantes e eficazes em diversas zonas do território português, de modo a se delimitarem zonas de maior suscetibilidade geológica e geotécnica. As cartas de suscetibilidade permitem um ordenamento do território mais correto, uma melhoria na elaboração de planos de proteção e de emergência, bem como possibilitam a mitigação e redução dos problemas geológicos e geotécnicos.

7 Referências Bibliográficas

- Almeida, A. C. (1992). Os depósitos superiores da Serra da Boa Viagem e seu significado. *Cadernos Geografia*, 9, pp. 151-162.
- Almeida, A. C. (1995). Um processo de evolução de vertentes em meio calcário. *VI Colóquio Ibérico de Geografia*, Porto.
- Almeida, A. C. (1997). *Dunas de Quiaios, Gândara e Serra da Boa Viagem. Uma abordagem ecológica da paisagem*. Lisboa, FCG/JNICT, 321p.
- Almeida, A. C. (1997). Geomorfologia das serras da Boa Viagem e Alhadas. *Seminário: O baixo Mondego: organização geossistémica e recursos naturais*, Coimbra, pp. 51-60
- Almeida, A. C. (1997). Apreciação da paisagem da Serra da Boa Viagem, *Actas do III Encontro Nacional de Geografia*, Porto. Edições Colibri e Associação Portuguesa de Geógrafos, pp. 37-46.
- Almeida, A. C.; André, J. N. & Cunha, P. P. (1998). Visita de estudo à zona costeira entre o Cabo Mondego e S. Pedro de Moel. *Seminário Dunas da Zona Costeira de Portugal - Associação Eurocoast - Portugal*.
- Almeida, A. C. (2001). A carsificação da Serra da Boa Viagem: um processo quaternário. *Estudos do Quaternário*, 4, pp. 29-33.
- Ayala-Carcedo, F. J. (1987). *Introducción a los Riesgos Geológicos*. Riesgos Geológicos; I. G. M. E. Madrid, Vol. 1, pp. 3-21.
- Ayala-Carcedo, F. J. (1991). *Manual de Ingeniería de taludes*. I.T.G.E., Madrid, 456 p.
- Ayala-Carcedo, F. J. (2002). *Introducción al análisis y gestión de riesgos*. In Ayala Carcedo, F. J. e Cantos, J. O., Riesgos naturales. Ed. Ariel Ciência, Barcelona, pp.397-407.
- Azerêdo, A. C., Wright, V. P. & Ramalho, M. M. (2002). The Middle-Late Jurassic forced regression and disconformity in Central Portugal: eustatic, tectonic and climatic effects on a carbonate ramp system. *Sedimentology*, 49 (6), pp. 1339-1370.
- Azevedo, M.T. (1982). O sinclinal de Albufeira, evolução pós Miocénica e reconstituição paleográfica. Tese de doutoramento. Universidade de Lisboa.
- Barbosa, B.P.; Soares, A.F.; Rocha, R.B.; Manuppella, G. & Henriques, M. H. (1988). Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50000. Notícia explicativa da folha nº19A – Cantanhede. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 46 pp..
- Bateira, C. & Abreu, J. (2003). Os problemas da cartografia dos riscos naturais. Contributos para a definição de susceptibilidade geomorfológica a partir da observação de vários movimentos de vertente ocorridos no Norte de Portugal. *Territorium*, 10, pp 69 – 88.
- Bell, F.G. (1993). *Engineering geology*. Ed. Blackwell Science, 359 pp.
- Bell, F.G. (2002). *Geological Hazards: their assessment, avoidance and mitigation*. Spon Press, London, 656 p.
- Bennett, M. R. & Glasser, N. F. (2009). *Glacial Geology: Ice Sheets and Landforms*, 2nd ed. Wiley-Blackwell, 385 p.
- Bernardes, C., (1992). A sedimentação durante o Jurássico superior entre o Cabo Mondego e o Baleal (Bacia Lusitana): modelos deposicionais e arquitectura sequencial. Tese, Univ. Aveiro, 261 p.
- Bieniawski, Z.T. (1974). Geomechanics classification of rock masses and its application to tunnelling. *Proc. 3rd Congr. Int. Soc. Rock Mech.*, vol. II-A, pp. 27 – 32.
- Bieniawski, Z.T. (1979). The geomechanics classification in rock mechanics application. *Proc. 4th International Cong. Rock Mech.*, ISRM, Mountreaux, vol.2, pp. 41-48.

- Bieniawski, Z.T. (1984). *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*. Balkema, A. A., Rotterdam, 272 p.
- Borges, P; Lameiras, G & Calado, H. (2004). A erosão costeira como fator condicionante da sustentabilidade. *1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo Verde / 15º Congresso APDR, Cabo Verde*, pp.68-75.
- Broch, E. & Franklin, J. A. (1972). The Point Load Strength Test. *Int. J. Rock Mechanics and Mining Science and Geomech*, 9, pp. 669-697.
- Bruseke, F.J. (2001). *A técnica e os riscos da modernidade*. Florianópolis. Ed. UFSC, 2001, 216p.
- Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. *Memórias do Instituto Geológico e Mineiro*, 31, 251 p.
- Cabral, J. (2003). A Geologia na avaliação da perigosidade sísmica. *Geonovas*, 17, pp. 21-26.
- Caldeira, L. (2005). *Análises de Risco em Geotecnia. Aplicação a barragens de aterro*. Programa de Investigação e de Pós-Graduação na Área Científica de Mecânica de Solos, LNEC, Lisboa, 248p.
- Callapez, P. M. & Pinto, J. S. (2002). *História Natural da Região da Figueira da Foz: perspectivas de intervenção no ensino*. Livro guia da Excursão pós-congresso do V Congresso Nacional da Associação Portuguesa de Professores de Biologia e Geologia, Coimbra, 57 pp.
- Callapez, P. M., Oliveira, J. & Pinto, J. (2003). *História Natural das regiões de Montemor-o-Velho e Figueira da Foz: Estratigrafia, Paleontologia e Arqueologia*. XXIII Curso de Atualização de Professores de Geociências da Associação Portuguesa de Geólogos, Abstract Book, Coimbra, pp. 15-16.
- Callapez, P. & Lopes, F. (2006). *As ciências da Terra ao serviço do ensino e do desenvolvimento; o exemplo da Figueira da Foz*. Kiwanis Clube da Figueira da Foz.
- Callapez, P. (2008). *A Terra: conflitos e ordem*. Homenagem ao Professor Ferreira Soares. Coimbra: MMGUC.
- Callapez, P. & Carvalho, M. (2010). As “Areias de Várzea do Lirio” e o Neolítico da Serra da Boa Viagem (Figueira da Foz, Portugal): Influência da envolvente geológica do meio natural na neolitização do território. *Estudos do Quaternário*, 6, APEQ, Braga, 2010, pp. 37-47.
- Cantos, J. O. & Ayala-Carcedo, F. J. (2002). *Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación*. In Ayala-Carcedo, F. J. & Cantos, J. O., *Riesgos naturales*. Ed. Ariel Ciência, Barcelona.
- Carvalho, C.E (2007). Anexo Nacional do Eurocódigo 8. Consequências para o dimensionamento sísmico em Portugal”, *7º Encontro Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica*, FEUP, Setembro.
- Carvalho, G.S. (1949). Les dépôts des terrasses et la Paléogeographie dans la Bordadure Meso-cenozoique Occidentale du Portugal (entre Vouga e Mondego). *Revista Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*. XVIII. Coimbra.
- Carvalho, G.S. (1950). Contribuição para a interpretação da origem dos depósitos Plioplistocénicos da Orla Meso-cenozóica ocidental (região entre o Vouga e o Mondego). *Memórias e Notícias*. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra, 28, pp. 26-48.
- Cerri, L.E.S. (1993). *Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes*. 1993. 197f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

- Cerri, L.E.S. (2001). Subsídios para a seleção de alternativas de medidas de prevenção de acidentes geológicos. 2001. 78f. + anexos. Tese (Livre-docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Clayton, C. R. I. (2001). *Managing Geotechnical Risk – Improving Productivity in UK Building and Construction*. Institution of Civil Engineers, 80 p.
- Costa, A.; Coelho, P. & Pedro, A. (2008). *Identificação de Riscos Sísmicos e Geotécnicos Associados a Linhas Ferroviárias de Alta Velocidade em Portugal, XI Congresso Nacional de Geotecnia*, Coimbra.
- Costa, P. (2005). *Perigosidade e Risco Sísmico. Terramotos e Tsunamis*. Livro Aberto, Lisboa, pp. 55-98.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslide types and processes*. In A. K. Turner, & R. L. Schuster (Edits.), *Landslides: investigation and mitigation* (Vols. Special Report 247, Transportation Research Board, pp. 36-75). Washington D.C.: National Research Council.
- CT 115 - Comissão Técnica Portuguesa de Normalização – Eurocódigos Estruturais; NP EN 1998-1 “Anexo Nacional NA”, documento provisório, LNEC, 2009.
- Cunha, P.P. & Reis, R. (1991). A etapa sedimentar pliocénica na região de Coimbra-Góis (Bacia Ocidental Portuguesa-Portugal Central). *Actas 1º Cong. Espanhol del Terciario*, pp.271-274.
- Cunha, P.P.; Barbosa, B.P. & Reis, R.P. (1993). *Synthesis of the Piacenzian onshore record, between the Aveiro and Setúbal parallels (Western portuguese margin)*. *Ciências da Terra*, Universidade Nova de Lisboa, v.12, pp.35-43.
- Cunha, P., Pinto J. & Dinis J. (1997). Evolução da fisiografia e ocupação antrópica na área estuarina do Rio Mondego e região envolvente (Portugal centro-oeste), desde 1947. *Territorium, Revista de Geografia Física aplicada no ordenamento do território e gestão de riscos naturais*, 4, pp. 99-124.
- Cunha, P. & Dinis, J. (1998). A erosão nas praias do Cabo Mondego à Figueira da Foz (Portugal centro-oeste), de 1995 a 1998. *Territorium, Revista de Geografia Física aplicada no ordenamento do território e gestão de riscos naturais*, 5, pp. 31-50.
- Danielson, R. (2010). *Late Holocen environmental change at the Quiaios-Tocha coastal plain*. Braga: Universidade do Minho. Tese de Doutoramento.
- Danielson, R.; Castilho, A.M.; Dinis, P.; Campar, A. & Callapez, P.M. (2011). Holocen interplay between a dune field and coastal lakes in the Quiaios – Tocha region, central litoral Portugal. *The Holocene*. vol. 22 (4) pp. 383-395
- Deere, D. U. & Miller, R. P. (1966). *Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock*. Technical Report AFWL-TR-65-116. Air force Weapons Lab., Kirtland air Force Base, New Mexico.
- Dinis, C. (2005). *Geotechnical risk map of a railway in a slide prone region*. *Geotechnical Center*, IST, Portugal.
- Dinis, J. (1999). *Estratigrafia e sedimentologia da formação de Figueira da Foz : Aptiano a Cenomaniano do sector norte da Bacia Lusitânica*. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Doutor em Geologia (especialidade de Estratigrafia e Paleontologia) na Universidade de Coimbra.
- Dinis, P. A. (2004). *Evolução Pliocénica e Quaternária do Vale do Cértima*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra.
- Dikau, R.; Brunsden, D.; Schrott, L. & Ibsen, M. L. (Eds.) (1996). *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. John Wiley & Sons, Chichester.

- Duarte, L.V., (1997). *Facies analysis and sequential evolution of the Toarcian-Lower Aalenian series in the Lusitanian Basin (Portugal)*. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, 83, pp. 65-94.
- Duarte, L.V., & Soares, A.F., (2002). *Litostratigrafia das series margocalcárias do Jurássico Inferior da Bacia Lusitânica (Portugal)*. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, 89, pp. 135-154.
- Ferreira, A. (2000). *Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Geociências. Universidade de Aveiro. Departamento de Geociências, pp.39.
- Ferris, G., Samchek, A. & Isherwood, A. (2003). *Geotechnical Risk Assessment: Estimating Slope Failure Probability*.
- Flentje, P.; Chowdhury, R. & Ko Ko, C. (2000). A Matrix Approach for Assessing Landslide Risk in the Context of a Comprehensive Strategy. *Geo-Eng 2000, An International Conference on Geotechnical and Geological Engineering*.
- Fortunato, A. B.; Clímaco, M.; Oliveira, F.; Oliveira, A.; Sancho, F.; & Freire, P. (2008). Dinâmica Fisiográfica da Orla Costeira: Estudos de Reabilitação e Proteção. *Revista de Gestão Costeira Integrada (RGCI)*.
- Foster, I. R. (1983). The Influence of Core Sample Geometry on the Axial Point Load Test. *Int. J. Rock Mechanics and Mining Science and Geomech*, 20, pp. 291-295.
- Gaspar, J. (coord.) (2004). *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território, 3º Relatório – Transformações na ocupação do território: retrospectiva e tendências. Vol. III. Recursos naturais, Ambiente, Património e Riscos*, MCOTA, DGOTDU, Lisboa.
- Gaspar, J. (coord.) (2005). *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território, Relatório. 2ª Versão, Fevereiro 2005*, MAOT, DGOTDU, Lisboa.
- Grácia, E., Dañoibeitia, J.J., Vergés J., Córdoba, D., & Parsifal Cruise PARTY (2003). *Mapping active faults at the SW Iberia Margin (38°-36°) from high-resolution swath-bathymetry data. Implications for earthquake hazard assessment*, *Geology*, 31,1, pp. 83-86.
- Head, K.H (1980). *Soil laboratory testing*. Ed. Pentech Press, vol1, pp. 339.
- Henderson, T. O. & Pickles, A. R. (2007). *Underground Construction Projects – Risk sharing in contracts and Geotechnical Baseline Reports*. Special Session on Baseline Reporting, Underground Singapore 2007, Singapore, pp. 185-190.
- Henriques, M.H. (1998). O Jurássico do Cabo Mondego e a projecção internacional do Património Geológico Português. *I Encontro Internacional sobre Paleobiologia dos Dinossauros*, Lisboa.
- Henriques, M. (1998). *O GSSP (Global Stratotype Section and Point) do Bajociano (Cabo Mondego, Portugal)*. Livro guia das excursões do V Congresso Nacional de Geologia, IGM, Lisboa, 59-63 p.
- Henriques, M.; Gardin, C. ; Gomes, C.; Soares, A.; Rocha, R.; Marques, J.; Lapa, M. & Montenegro, J. (1993). The Aalenian-Bajocian boundary at Cabo Mondego (Portugal). *Proc. 3d. Intern. Meeting on Aalenian and Bajocian stratigraphy*, 5: pp. 63-77.
- Hewitt, K. (1997). *Regions of risk. A Geographical Introduction to Disasters*. Essex. Longman. 389p.
- Hunt, R. E. (2005). *Geotechnical Engineering Investigation Handbook*. Taylor & Francis. Boca Raton.
- Hunt, R. E. (2007). *Geologic Hazards: A Field Guide for Geotechnical Engineers*. Ed. Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 323 pp.

- Hutchinson, J.N. (1988). General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In Bonnard, C. (Ed.), *Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne, 1988, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, p.3-35.
- Hyndam, D. & Hyndam, D. (2006). *Natural hazards and disasters*. Ed. Thomson Brooks/ Cole, Belmont, USA, 490 p.
- ISRM (1981). *Rock Characterization Testing & Monitoring. ISRM Suggested Methods*. Ed. E. T. Brown. Published for the Commission on Testing Methods. Pergamon Press, Oxford.
- ISRM (1985). Suggested Method for Determining Point Load Strength. *Int. J. Rock Mechanics and Mining Science and Geomech*, 22 (2), pp. 51-60.
- Jorge, C. (1994). *Zonamento do Potencial de Liquefacção: Tentativa de aplicação a Portugal*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Julião, R. P. et al. (2009). *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (sig) de base municipal*. Lisboa, ANPC, DGOTDU & IGP, 91 p.
- Katz, O.; Reches, Z. & Roegiers, J-C. (2000). Evaluation of Mechanical Rock Properties using a Schmidt Hammer. *Int. J. Rock Mechanics and Mining Science and Geomech. Technical Note*. 37, pp. 723-728.
- Keegan, T.; Abbott, B. & Ruel, M. (2000). A Risk Management Framework for Ground Hazards along Canadian National Railways. 53rd Canadian Geotechnical Conference, Montreal, Quebec.
- Ko Ko, C.; Flentje, P. & Chowdhury, R. (2004). Landslide Qualitative Hazard and Risk Assessment Method and its Reliability. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63, pp. 149-165.
- Lapparent, A.F. De & Zbyszewski, G. (1957). Les dinosauriens du Portugal. *Mémoires du Service géologique du Portugal*, 2, pp. 1-63.
- Legget, R.F. & Hatheway, A.W. (1988). *Geology and Engineering*. McGraw-Hill International Editions. Civil Engineering Series, Third Edition, pp. 524-534.
- Longo, S. & Gama, C. D. (2004). Análise de Riscos Inerentes às Vibrações Transmitidas às Estruturas. *IX Congresso Nacional de Geotecnia*. Aveiro, pp. 10.
- Lopes, F. (2005). A Figueira da Foz e a sua vulnerabilidade sísmica e de Tsunamis. *Litorais*, 3, pp. 7-14.
- Lopes, F. & Callapez, P. (2006). *As ciências da terra ao serviço do ensino e do desenvolvimento: o exemplo da Figueira da Foz*. Kiwanis Clube da Figueira da Foz, pp 3-10.
- Maquaire, O. & Malet J.-P. (2006). *Shallow landslidings*. In Boardman, J. and Poesen, J. (Eds): *Soil Erosion in Europe*, Wiley, pp. 583-598.
- Matos, M. (2008). Riscos, Ordenamento do Território e Protecção Civil. *Acção de Formação*. 17/06/08 Tagus Park.
- Mott, M. & Soil Mechanics Ltd, (1994). *Study of the Efficiency of Site Investigation Practices*. Project Report 60, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- Neves, P.F. (2004). O ensaio de durabilidade como indicador da estabilidade da superfície rochosa das arribas costeiras. *9º Congresso Nacional de Geotecnia*, Aveiro 2004.
- Oliveira, R. (1980). *Apontamentos de Engenharia Geológica*. Universidade Nova de Lisboa.
- ONU – Organização das Nações Unidas (2004) - *Living with risk. A global review of disaster reduction initiatives*. Inter-agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Genebra-Suíça, 152 p.

- Pena, R.; Pimentel, N. & Garcia, A. (2007). Curso de campo na Bacia Lusitânica (Portugal). Coimbra, 154 p.
- Pereira, A. R. (2004). O espaço litoral e a sua vulnerabilidade. *Geonovas*, 9, pp.33-43.
- Pimentel, N.L. (1997). O Terciário da Bacia do Sado. Sedimentologia e análise tectono sedimentar. Tese de doutoramento. Universidade de Lisboa, 381p.
- Pinto, J. M. S. (1997). Contributo para recuperação ambiental das pedreiras Norte e Sul do Cabo Mondego - dissertação de Mestrado na área de especialização de processos geológicos - Ensino das Ciências da Terra. Departamento de Ciências da Terra da FCT da Universidade de Coimbra.
- Pinto, C. & Vinhais, A. (2011): Gestão de riscos costeiros em litoral de arriba: Planeamento e medidas de gestão operacional. *VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*. I Curso Intensivo de Gestão Costeira - Análise de Risco.Cabo Verde (2011).
- Pinheiro, L.; Wilson, R.; Pena dos Reis, R.; Whitmarsh, R. & Ribeiro, A. (1996). The western Iberia margin: a geophysical and geological overview. *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Research*, 149, pp. 3-23.
- Pöschl, I. & Kleberger, J. (2004). Geotechnical Risk in Rock Mass Characterisation – A Concept. *Course on Geotechnical Risks in Rock Tunnelling*. Portugal, Aveiro, April 2004.
- Press, F. & Siever, R. (1997). *Understanding Earth*, fifth edition. W. H. Freeman & Company, Nova Iorque, 573 p.
- Ramos, A. (2000). Organização e significado dos depósitos mais recentes da zona vestibular do Rio Mondego. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para obtenção do grau de Mestre em geociências.
- Ramos, A. (2008). O Pliocénico e o Plistocénico da Plataforma Litoral entre os paralelos do Cabo Mondego e da Nazaré. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Doutor em Geologia.
- Ramos, A.; Cunha, P. & Gomes, A. (2009). Os traços geomorfológicos da área envolvente da Figueira da Foz e a evolução da paisagem durante o Pliocénico e o Plistocénico. *Publica. da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, VI, p. 9-16.
- Ramos, C. (2000). Cheias e impacte ambiental. *Seminário sobre geologia ambiental*, Universidade do Minho, Departamento de Ciências da Terra. Braga.
- Rebelo, F. (2003). *Riscos Naturais e Acção Antrópica: estudos e reflexões*. Imprensa da Universidade de Coimbra, 286 p.
- Reis, R. P. & Cunha, P. P. (1989a). Comparacion de los rellenos terciarios en dos regiones del borde occidental del Macizo Hespérico (Portugal Central). *Stv. Geol. Salamanca, Paleografía de la Meseta Norte durante el Terciário*. C. J. Dabrio (Ed.), Ediciones Universidad de Salamanca, vol. Esp. 5, pp. 253-272.
- Reis, R. P.; Corrochano, A.; Bernardes, C. A.; Cunha, P. P. & Dinis, J. L. (1992). O Meso-Cenozóico da Margem Atlântica Portuguesa. *III Congr. Geol. De Espanã y VIII Congr. Latino-Americano de Geologia*. Salamanca, Excursiones, pp. 115 – 138.
- Reis, R. P.; Dinis, J. L.; Cunha, P. P. & Trincão, P. (1996). Upper Jurassic Sedimentary Infill and Tectonics of Lusitanian Basin (Western Portugal), *Georesearch Forum*, vols. 1-2, pp. 377-386.
- Ribeiro, A.; Antunes, M. T. ; Ferreira, P.; Rocha, R. B. ; Ferreira Soares, A.; Zbyszewsky, G.; Almeida, F. M.; Carvalho, D. & Monteiro, J. (1979). Introduction à la géologie générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114 pp.

- Rocha, J. N. (2008). Os locais de interesse geológico do Cabo Mondego – proposta de recuperação das pedreiras, tendo em atenção os riscos geomorfológicos identificados. *Territorium*, 15, pp. 73-81.
- Rocha, J. N. (2010). O Monumento Natural do Cabo Mondego: proposta para uma estratégia de geoconservação e de um plano de ordenamento. Dissertação de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação. Universidade do Minho.
- Rocha, J. S. (1995). Prevenção de inundações e reabilitação de edifícios em zonas inundáveis. *Territorium*, 2, pp. 11-19.
- Rocha, R.; Manuppella, G.; Mouterde, R.; Ruget, C. & Zbyszewski, G. (1981). Notícia explicativa da folha 19-C - Figueira da Foz da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000. Direcção Geral de Geologia e Minas - Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Rocha, R.; Manuppella, G.; Mouterde, R.; Ruget, C. & Zbyszewski, G. (1981). Carta Geológica de Portugal, escala 1/50000, nº19-C Figueira da Foz. Direcção Geral de Geologia e Minas - Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Romana, M. (1991). A Geomechanical Classification for Slopes (SMR). In Almeida-Teixeira, M.E. ; Fantechi, R.; Oliveira, R.; Gomes Coelho, A. (Eds.), *Prevention and Control of Landslides and Other Mass Movements*, Commis. European Communities, Brussels, p.101-123.
- Saraiva, A. & Andrade, P. (2003). Evolução Temporal de Taludes Naturais e de Escavação. *A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos*. Coimbra 2003. Imprensa da Universidade, pp. 355-365.
- SCE (2000). *Carta Militar* de Portugal, nº 238-A de Vais (Figueira da Foz), escala 1/25000. Serviço Cartográfico do Exército, Lisboa.
- SCE (2001). *Carta Militar* de Portugal, nº 228 de Quiaios (Figueira da Foz), escala 1/25000. Serviço Cartográfico do Exército, Lisboa.
- SCE (2002). *Carta Militar* de Portugal, nº 239 da Figueira da Foz, escala 1/25000. Serviço Cartográfico do Exército, Lisboa.
- Simões, L. (1997). A Importância da Integração dos Riscos Geológicos, no Planeamento, no Ordenamento do Território e na Protecção do Meio Ambiente: Conceitos e Algumas Ideias. *Millenium*, 7.
- Soares, A. & Rocha, R. B. (1984). Algumas reflexões sobre a sedimentação jurássica na Orla Meso-Cenozóica Ocidental de Portugal. *Memórias e Notícias*, 97, pp. 133-142.
- Soares, A. F., Rocha, R. B., Elmi, S., Henriques, M. H., Mouterde, R., Almeras, Y., Ruget, C., Marques, J., Duarte, L. V., Carapito, M. C. & Kullberg, J. (1988). Essai d'interprétation dynamique de la paléogéographie du bassin lusitanien (secteur nord) depuis le Trias jusqu'au Dogger. *III Col. Estr. Paleog. Jurásico*, España, pp. 94-96.
- Soares, A.F.; Cunha, L. & Marques, J.F. (1989). Depósitos quaternários do Baixo Mondego. Tentativa de coordenação morfogenética. *Actas II Reunião do Quaternário Ibérico*, Madrid, pp. 803-812.
- Soares, A.F.; Cunha, L.; Almeida, A.C. & Marques, J.F. (1992). Depósitos quaternários do Baixo Mondego. Estado actual dos conhecimentos e tentativa de coordenação morfogenética. *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*, Porto.
- Soares, A.F.; Cunha, L.; Marques, J.F.; Almeida, A.C. & Lapa, M. R. (1993). Depósitos de vertente do Cabo Mondego – Integração no modelo evolutivo do Quaternário do Baixo Mondego. *Actas III Reunião do Quaternário Ibérico*, Coimbra, pp.199-208.
- Soares, A.F. & Gomes, C. (1997). A Geologia do Baixo Mondego (Organização do Mesozóico). Seminário do Baixo Mondego. Organização geossistémica e recursos naturais. Faculdade de Ciências e Tecnologia e Faculdade de Letras. Universidade de Coimbra; Coimbra, pp.5-20.

- Stacey, T. R. & Page, C. H. (1986). *Practical handbook for underground rock mechanics*. Series on Rock and Soil Mechanics. Vol.12. Trans Tech Publications.
- Teixeira, W.; Toledo, M. C. M.; Fairchild, T. R. & Taioli, F. (2001). *Decifrando a Terra*. São Paulo. Oficina de Textos, , 58 p.
- Tyrrell, A. P.; Lake, L.M. & Parsons, A. W., (1983). *An Investigation of the Extra Costs Arising on Highway Contrats*. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- UNDRO (1991). *Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options. A manual for policy makers and planners*. United Nations, New York.
- Vallejo, L.; Ferrer, M.; Ortuno, L. & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, S. A. Madrid, 715 p.
- Van Asch, T. (1980). *Water erosion on slopes and landsliding in a Mediterranean landscape*. Utrechtse Geografische Studies, 20, Utrecht, 238 p.
- Varnes, D. J. (1978). Slope Movement Types and Processes. In Schuster, R. L.; Krizek, R. J. (Eds.), *Landslides, Analysis and Control*. Transportation Research Board Special Report, 176, Washington, D. C., pp. 11-33.
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, 63 p.
- Weiner, R. & Matthews, R. (2003). *Environmental Engineering*. 4th Edition, Elsevier Science, 484 p.
- White, G.F.; Kates, R.K. & Burton, I. (2001). Knowing Better and Losing even more: the use of knowledge in hazards management. *Environmental Hazards*, 3, pp. 81-92.
- Wilson, R. (1988). Mesozoic development of the Lusitanian Basin, Portugal. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1, pp. 393-407.
- WP/WLI (1993a). A suggested method for describing the activity of a landslide. Working Party on World Landslide Inventory, UNESCO. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 47, p.53-57.
- WP/WLI (1993b). *Multilingual landslide glossary*. Working Party on World Landslide Inventory, UNESCO. International Geotechnical Societies, Canadian Geotechnical Society, Richmond, British Columbia.
- Wright, V. P & Wilson, R. C. L. (1984). A carbonate submarine-fan sequence from the Jurassic of Portugal. *J. Sed. Petrol.*, Tulsa, 54, pp. 394-412.
- Wright, V. P. (1985). Algal marsh deposits from the Upper Jurassic of Portugal. In *Paleoalgology: contemporary research and applications*. D. P. Tommey & M. H. Nitecki (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, pp.333-340.
- Zaruba, Q. & Mencl, V. (1976). *Engineering Geology*. Elsevier, Amsterdam, 504 p.
- Zêzere, J. L. (2000). *A classificação dos movimentos de vertente: tipologia, actividade e morfologia*. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 35 p.
- Zêzere, J. L. (2001). A avaliação da perigosidade geomorfológica. Aplicação do método de valor informativo na área - amostra de Calhandriz. *Livro de homenagem a Gaspar Soares de Carvalho*, Braga, pp. 347-361.
- Zêzere, J. L. (2005). *Dinâmica de Vertentes e Riscos Geomorfológicos – Programa*. Centro de Estudos Geográficos, Área de Geografia Física e Ambiente, Rel. Nº 41, Lisboa, 129 p.
- Zêzere, J.L.; Pereira, A.R. & Morgado, P. (2005). Perigos naturais e tecnológicos no território de Portugal Continental. *Actas do X Colóquio Ibérico de Geografia "A Geografia Ibérica no contexto europeu"*, Évora, CD-ROM, 17p.

Referências World Wide Web

- About.com (1995). <http://www.about.com>. Acedido em 4 de Novembro de 2011.
- AGSO - Geoscience Australia (2001). <http://www.ga.gov.au>. Acedido em 4 de Novembro de 2011.
- Azevedo, J. (2007). Situações de risco: Cheias e Inundações. <http://www.administradores.com.br>. Acedido em 30 de Julho de 2012.
- BC Online School (2006). <http://bc.onlineschool.ca>. Acedido em 5 de Novembro de 2011.
- Colorado Department of Transportation (1917). <http://www.coloradodot.info>. Acedido em 4 de Novembro de 2011.
- DGLB (Direção geral do livro e das bibliotecas) (2008). <http://www.iplb.pt>. Acedido em 13 de Maio de 2012.
- Faria, F. (2007). www.wikienergia.pt. Acedido em 21 de Março de 2011.
- Figueira Digital (2011). <http://www.figueiradigital.com>. Acedido em 6 de Outubro de 2011.
- Flickr (2004). <http://www.flickr.com>. Acedido em 3 de Novembro de 2011.
- INE (1864). <http://www.ine.pt>. Acedido em 23 de Fevereiro de 2012.
- Instituto de Meteorologia de Portugal (1946). <http://www.meteo.pt>. Acedido em 19 de Novembro de 2011.
- ISSN (2005). Anuário do Instituto de Geociências. <http://ppegeo-local.igc.usp.br>. Acedido em 7 de Dezembro de 2011.
- Middle Tennessee State University (1911). <http://www.mtsu.edu>. Acedido em 5 de Novembro de 2011.
- Natural Resources Canada (1995). Acedido em 3 de Novembro de 2011.
- Panoramio (2005). <http://www.panoramio.com>. Acedido em 3 de Março de 2011.
- Pereira, G. (2008). mbra/district-coimbra.html. Acedido em 30 de Julho de 2012.
- PROCIV (2003). <http://www.prociv.pt>. Acedido em 17 de Janeiro de 2012.
- Taylor, G. (2010). <http://www.gabetaylor.net>. Acedido em 4 de Novembro de 2011.
- USGS (1879). <http://www.usgs.gov>. Acedido em 4 de Abril de 2011.
- Washington State Department of Transportation (1964). <http://www.wsdot.wa.gov>. Acedido em 4 de Novembro de 2011.
- Wikipedia (2001). http://pt.wikipedia.org/wiki/Figueira_da_Foz. Acedido em 6 de Outubro de 2011.

ANEXO I

(Classificação de suscetibilidade geológica e geotécnica aplicada aos afloramentos – Exemplos de A3 e A21)

Afloramento 3						
Parâmetros		Descrição			Classificação	
Registo Histórico e Indicadores de Instabilidade (12)		Queda de blocos e de seixos. Apresenta muita fracturação e rutura planar. Presença de blocos potencialmente instáveis. Do lado oposto ao afloramento existem situações de “topling”.			11	
Litologia (Resistência) (13)		Material compacto composto intercalações de margas e calcários (Margas e Calcários, Jurássico Médio (Bajociano)). Material de resistência elevada. Estado de alteração – W2			6	
Estruturas Geológicas (31)	Orientação (8)	Plano de Estratificação	N59°W, 58°S N64°W, 63°S N60°W, 54°S N75°W, 56°S N71°W, 67°S N75°W, 62°S		8	
		Falhas	Sem falhas			
		Fraturas	N79°W,30°NE N79°W,28°NE N76°W,29°NE N68°W,26°NE N67°W,41°NE N77°W,42°NE N70°W,46°NE N69°W,39°NE	N19°E,79°NW N25°E,81°NW N17°E,85°NW N31°E,sub-vertical N27°E,74°NW N16°E,68°NW N20°E,74°NW N23°E,75°NW		
	Famílias (4)		3 famílias			3
	Espaçamento da fracturação (4)		5-40cm			4
	Cavidades (5)		Ausência de cavidades.			0
	Ação Sísmica (10)		Zona de baixa ação sísmica			3
Morfologia (28)	Declives (6)	Meio envolvente	5° - 15°		0	
		Afloramento	62°		6	
	Percolação + Nível Freático (8)		Nível freático não detetado. Sem percolação visível.			0
	Erosão (9)	Afloramento	Material um pouco erodido, apresentando baixa suscetibilidade/extensão.			4
		Costeira	Não apresenta erosão costeira.			0
	Tipo de Vegetação (5)		Presença de vegetação rasteira e árvores de pequeno a grande porte no topo.			4
Inundações (9)		Sem indícios de inundação.			0	
Tensões “in situ” (7)		Apresenta elevados indícios de libertação de tensões.			6	
Classificação Total					55	49

Afloramento 21											
Parâmetros			Descrição			Classificação					
						A		B		C	
Registo Histórico e Indicadores de Instabilidade (12)			Apresenta queda de blocos, com elevada suscetibilidade a queda dos mesmos. Presença de fraturas de tração.			9		10		9	
Litologia (Resistência) (13)			Material arenítico bem consolidado de resistência branda a média (Arenitos da Boa Viagem). Apresenta alteração em todo o maciço. Estado de alteração – W3			10		11		10	
Estruturas Geológicas (31)	Orientação (8)	Plano de Estratificação	N60°E,42°S E-W,38°S N70°E,34°S E-W,30°S			5	6	5	5	5	
		Falhas	Sem falhas								
		Fraturas	N80°E,46°N N70°E,41°NW N80°E,32°N	N48°E,22°NW N66°E,40°NW N60°E,24°NW	N40°W, sub-vertical N25°W,88°SW N35°W, sub-vertical N35°W,84°SW						
	Famílias (4)		3 famílias			3	3	3	3	3	
	Espaçamento da fracturação (4)		9-50cm			3	3	3	3	3	
	Cavidades (5)		Ausência de cavidades.			0	0	0	0	0	
	Ação Sísmica (10)		Zona de baixa ação sísmica			4	4	4	4	4	
Morfologia (28)	Declives (6)	Meio envolvente	5° - 15°			0	0	0	0	0	
		Afloramento	70°-82°			6	6	6	6	6	
	Percolação + Nível Freático (8)		Nível freático não detetado. Sem indícios de percolação			2	2	2	2	2	
	Erosão (9)	Afloramento	Material erodido ao longo de todo o talude, apresentando elevada suscetibilidade/extensão.			8	8	8	8	8	
		Costeira	Afastado da costa, não apresenta erosão costeira.								
Tipo de Vegetação (5)		Presença de vegetação rasteira no topo e árvores de pequeno porte.			4	4	4	4	4		
Inundações (9)			Sem indícios de inundação.			0	0	0	0	0	
Tensões "in situ" (7)			Apresenta médios indícios de libertação de tensões.			5	5	5	5	5	
Classificação Total						59	53	61	55	59	53

ANEXO II

(Imagens de afloramentos estudados –
Exemplos de A3 e A21)



Afloramento A3 – Calcários e Margas do Cabo Mondego (Margas e Calcários do Bajociano).



Afloramento A21 – Formação dos Arenitos da Boa Viagem.