



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Avaliação geológica e geotécnica do maciço da Pedreira de S. Domingos n.º 2 (Armamar)**

**Ricardo Jorge da Silva Martins**





**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Avaliação geológica e geotécnica do maciço da Pedreira de S. Domingos n.º 2 (Armamar)**

**Ricardo Jorge da Silva Martins**

**NM 1970130**

*Projecto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, realizado sob a orientação do Prof. Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP*



## **Júri**

### **Presidente**

Doutor José Augusto Peixoto Fernandes  
*Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé  
*Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Mestre Maria José Coxito Afonso  
*Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto*



## **Agradecimentos**

Quando se realiza um trabalho desta índole, apercebemo-nos da importância concreta de quem nos apoia, a todos níveis.

Começaria por agradecer à minha família, especialmente à minha mulher e filho pelas inúmeras horas em que não estive junto deles e, sobretudo, pelo incentivo que me deram para concluir o curso de Engenharia Geotécnica e Geoambiente, sem os quais não teria sido possível...

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Helder I. Chaminé (ISEP), pela sua intensa colaboração e auxílio em todos os momentos deste trabalho, pelos ensinamentos, no campo e gabinete, que partilhou para que fosse possível atingir os objectivos propostos, bem como pela partilha de inúmeros elementos bibliográficos e técnicos sobre geomecânica de meios fracturados. Pela revisão crítica das várias versões do manuscrito; desde já, o muito obrigado.

Agradeço à empresa Francisco Pereira Marinho (FPM), em particular ao Administrador Eng<sup>o</sup> Jorge Marinho, pela colaboração prestada para o bom desenvolvimento do projecto e o protocolo de cooperação com o ISEP, bem como todo o apoio logístico no trabalho de campo e de laboratório para a sua concretização. A todos os funcionários da FPM pela excelente recepção e apoio nos dias gélidos da região de Peso da Régua.

Aos meus colegas do ISEP e amigos, em especial ao Jorge Ribeiro, Alzira de Medeiros, Pedro Moreira e Luciana Resende, agradeço o companheirismo e o espírito de entre-ajuda ao longo deste trabalho.

Agradeço também, ao Mestre José Teixeira (GeoBioTec|UA) pela colaboração prestada na vectorização da cartografia e outra documentação gráfica.

Um agradecimento especial aos directores dos Laboratórios do ISEP, Prof. Doutor H. I. Chaminé do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA) e do Prof. Doutor J. A. Fernandes do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC), por todas as facilidades na utilização dos recursos dos laboratórios do ISEP.



**Palavras-chave**

*Avaliação geotécnica, Técnica de amostragem linear, geomecânica, pedreira de S. Domingos Nº 2 (Armamar)*

**Resumo**

Neste trabalho, apresentam-se e discutem-se os resultados da aplicação da técnica de amostragem linear de descontinuidades em faces expostas do maciço rochoso da pedreira granítica de S. Domingos Nº 2 (Fontelo, Armamar; N de Portugal). É, igualmente, utilizada informação sobre a rede de fracturação regional, obtida através da análise morfoestrutural de mapas topográficos e mapas geológicos. São ainda referidos os métodos utilizados no tratamento dos dados de terreno com o objectivo de definir as famílias de descontinuidades e de caracterizar estatisticamente a sua atitude, espaçamento e extensão. Os resultados obtidos são comparados, à mega escala e macro-escala, no sentido de averiguar a presença de um padrão de fracturação com dimensão multiescala. Esta abordagem foi refinada através da aplicação de Sistemas de Informação Geográfica. A aplicação desta técnica para a caracterização da compartimentação do maciço poderá contribuir para aperfeiçoar a gestão sustentável do georrecurso da pedreira de S. Domingos Nº 2 (Fontelo). O controlo geomecânico do desmonte do maciço rochoso é salientado com o intuito de uma abordagem de geo-engenharia integrada dos maciços rochosos.



## **Keywords**

*Geotechnical Assessment, Scanline sampling technique, geomechanics, S. Domingos N<sup>o</sup> 2 quarry (Armamar)*

## **Abstract**

This work presents the results of the structural geomorphology/geology and geotechnics studies of block delimitation of a granitic rock mass. For this characterisation, the scanline sampling technique of discontinuities has been applied to the study of free rock mass faces from S. Domingos N<sup>o</sup> 2 granitic quarry (Fontelo, Armamar; N Portugal). For that purpose, the surrounding area of the open quarry, as well as selected granitic outcrops, was studied using the following tools: surface geomorphological/geological mapping, structural geology and geotechnics/geomechanics techniques. So, a morphotectonic analysis of topographic map and geological survey has then been carried out. In addition, the evaluation methods of field data for discontinuities sets and the statistical characterisation of their orientation, spacing and extension are also presented. The results achieved at different scales are compared in order to detect the presence of a multiscale fracture network pattern. This strategy was further refined through the Geographic Information Systems application tools. The use of these techniques for understanding the rock mass block delimitation may contribute to improve the sustainable management of the georesources from S. Domingos N<sup>o</sup> 2 granitic quarry. The geomechanical control of rock mass blasting is also outlined in order to address an integrated geo-engineering rock masses approach.



## ÍNDICE

<b>1. Enquadramento geral</b>	<b>3</b>
1.1 Enquadramento do tema e objectivos	3
1.2 Introdução geral	5
<b>2. Descontinuidades: Noção, Tipos e Génese</b>	<b>11</b>
<b>3. Descrição de maciços rochosos</b>	<b>21</b>
3.1 Metodologia e sistemática	21
3.2 Descrição e zonamento do afloramento	23
3.3 Parâmetros do maciços rochosos	26
3.4 Parâmetros geológicos-geotécnicos das descontinuidades	31
3.4.1 Atitude geológica (direcção/inclinação)	33
3.4.2 Espaçamento	35
3.4.3 Continuidade e persistência	37
3.4.4 Rugosidade	39
3.4.5 Resistência da parede das descontinuidades	43
3.4.6 Abertura	45
3.4.7 Enchimento	46
3.4.8 Estado de alteração	48
3.4.9 Percolação	49
3.5 Técnica de amostragem linear aplicada a superfícies de descontinuidades	50
3.5.1 Traços gerais da técnica	50
3.5.2 Tratamento estatístico das descontinuidades	53
3.5.3 Espaçamento e frequência das descontinuidades	53
3.5.4 Extensão das descontinuidades	54
3.6 Caracterização geomecânica	56
3.6.1 Ensaio de “Los Angeles”	56
3.6.2 Esclerómetro Portátil	58

<b>4. Caracterização geológica, geotécnica e geomecânica da Pedreira S. Domingos N.º 2</b>	<b>65</b>
4.1 Considerações iniciais	65
4.2 Introdução	65
4.3 Enquadramento regional	66
4.4 Metodologias e técnicas	71
4.5 Constrangimentos geomorfológicos e geológicos regionais	73
4.5.1 Geomorfologia	73
4.5.2 Geologia	75
4.6 Estudo da compartimentação do maciço da Pedreira de S. Domingos N.º 2	78
4.6.1 Geologia local da área envolvente	78
4.6.2 Geotecnia e geomecânica local do maciço	81
4.6.2.1 Caracterização geotécnica do maciço	81
4.6.2.2 Grau de alteração	85
4.6.2.3 Estado de fracturação	85
4.6.2.4 Espaçamento	89
4.6.2.5 Continuidade e persistência	90
4.6.2.6 Abertura	90
4.6.2.7 Enchimento e impregnações	90
4.6.2.8 Rugosidade	91
4.6.3 Caracterização geomecânica local	91
4.6.3.1 Ensaio esclerométrico	91
4.6.3.2 Ensaio de Los Angeles	94
4.7 Constrangimentos hidrogeológicos	98
4.8 Zonamento geotécnico do maciço da pedreira	99
4.9 Reservas da Pedreira de S. Domingos N.º 2: breves considerações	103
<b>5. Conclusões e recomendações</b>	<b>107</b>
<b>6. Referências</b>	<b>115</b>

## **Anexos**

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	Um esquema para a investigação geotécnica de maciços rochosos de um dado projecto baseado na estratégia de informação (adaptado de Mazzoccola et al., 1997).	7
<b>Figura 2</b>	Famílias de diaclases associados a dobras (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	12
<b>Figura 3</b>	Disjunção colunar em basaltos com diaclases verticais (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	12
<b>Figura 4</b>	Superfícies de estratificação horizontal num maciço rochoso (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	13
<b>Figura 5</b>	Superfícies de laminação em gesso (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	13
<b>Figura 6</b>	Planos de xistosidade em relação com dobramentos. As setas marcam a direcção de máxima compressão (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	14
<b>Figura 7</b>	Tipos de falha: a) falha normal. b) falha inversa (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	14
<b>Figura 8</b>	Representação esquemática ideal de uma superfície de diaclasamento representando os principais elementos observáveis em faces expostas do maciço, como por exemplo, as estruturas plumosas típicas em maciços graníticos (adaptado de Davis & Reynolds, 1996).	16
<b>Figura 9</b>	Principais tipos de diaclases, num maciço magmático (Sodré Borges, 2002).	17
<b>Figura 10</b>	Um exemplo de uma ficha para descrição e divisão em zonas geotécnicas do maciço rochoso (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	23
<b>Figura 11</b>	Representação do número de famílias mediante bloco diagramas (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	27
<b>Figura 12</b>	Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das discontinuidades (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	33
<b>Figura 13</b>	Avaliação da atitude geológica de uma discontinuidade (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	33
<b>Figura 14</b>	Representação esquemática de dados estruturais num diagrama de rosetas (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).	34
<b>Figura 15</b>	Representação das famílias principais em bloco diagrama (adaptado da ISRM,1981; González de Vallejo et al., 2002).	34
<b>Figura 16</b>	Mecanismos de ruptura característicos em taludes, com o estereograma característico, do tipo: <b>a)</b> circular; <b>b)</b> planar; <b>c)</b> cunha; <b>d)</b> tombamento (adaptado de Hoek & Bray, 1981).	35
<b>Figura 17</b>	Medição do espaçamento entre discontinuidades a partir de uma face exposta do maciço (adaptado da ISRM,1981; González de Vallejo et al., 2002).	36

<b>Figura 18</b>	Exemplos de descontinuidades com espaçamentos diferentes (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	37
<b>Figura 19</b>	Representações simples de blocos diagramas esquemáticos indicativos da continuidade de varias famílias de fracturas ( <b>a; b</b> ) descontinuidade contínua, ( <b>c; d</b> ) descontinuidade sub-contínua e ( <b>e; f</b> ) descontinuidade descontínua (adaptado da ISRM,1981 González de Vallejo et al., 2002	38
<b>Figura 20</b>	Escalas de rugosidade, avaliadas segundo diferentes ensaios de corte. A ondulação pode ser caracterizada pelo ângulo ( $i$ ) (adaptado da ISRM,1981; González de Vallejo et al., 2002).	39
<b>Figura 21</b>	Método de determinação da rugosidade bidimensional, segundo a direcção do potencial deslizamento (adaptado de Carlos Rodrigues).	40
<b>Figura 22</b>	Representação tridimensional da rugosidade (adaptado de Carlos Rodrigues).	41
<b>Figura 23</b>	Perfis de rugosidade, o comprimento dos perfis está entre 1 e 10 metros (adaptado de ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).	42
<b>Figura 24</b>	Diagramas que ilustram as definições de abertura de descontinuidades (ISRM, 1978).	45
<b>Figura 25</b>	Diferentes tipos de abertura: a) descontinuidade com grande abertura sem enchimento; b) descontinuidade “plana a rugosa”, com abertura e enchimento argiloso; c) descontinuidade “ondulada-rugosa” com abertura muito grande e enchimento argiloso. (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	45
<b>Figura 26</b>	Estimativa do grau de deslocamento possível de uma descontinuidade até que atinja o contacto das paredes, baseada na avaliação da amplitude da rugosidade e espessura do preenchimento ((adaptado de Carlos Rodrigues).	48
<b>Figura 27</b>	Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear (adaptado de Brady & Brown, 2004). D – distância à origem da fita; L – semi-comprimento exposto.	50
<b>Figura 28</b>	Ficha tipo de levantamento geológico-geotécnico e geomecânico de campo, com aplicação da técnica de amostragem linear.	52
<b>Figura 29</b>	Medição dos semi-comprimentos (adaptado de Priest & Hudson, 1981). $C_m$ – representa o valor do limite máximo observável do semi-comprimento; C – representa o valor de um semi-comprimento arbitrário, mas $< C_m$ .	54
<b>Figura 30</b>	Esquemas representativos dos traços de descontinuidades que intersectam uma linha de amostragem numa face exposta de rocha (adaptado de Priest & Hudson, 1981).	55
<b>Figura 31</b>	Máquina de Los Angeles (FPM).	56
<b>Figura 32</b>	Esferas de aço - carga abrasiva (FPM).	56
<b>Figura 33</b>	Esclerómetro portátil.	59
<b>Figura 34</b>	Ensaio com martelo de Schmidt (Francisco Pereira Marinho & Irmão, S.A; Fontelo, Abril de 2005).	59

<b>Figura 35</b>	Ábaco de Miller para o cálculo da resistência a partir do <i>martelo Schmidt</i> (segundo de González de Vallejo et al., 2002).	60
<b>Figura 36</b>	Enquadramento do concelho de Armamar do distrito de Viseu ( <a href="http://www.portugal.veraki.pt">www.portugal.veraki.pt</a> ).	66
<b>Figura 37</b>	Localização da pedreira de S. Domingos Nº 2 (fonte: Carta Militar do Serviço Cartográfico do Exército, Folha nº 127 – Tabuaço, Ed. 3-IGE-1998, à escala 1/25.000).	67
<b>Figura 38</b>	Planta topográfica da pedreira de S. Domingos N.º 2	69
<b>Figura 39</b>	Fotografia aérea do local da pedreira de S. Domingos Nº 2, Fontelo. Panorâmica da Pedreira de Fontelo (Março'2010).	71
<b>Figura 40</b>	Foto-interpretação dos lineamentos tectónicos regionais da área do Fontelo e Modelo Digital de Terreno (MDT) construído a partir da vectorização das curvas de nível da Carta Militar de Portugal (escala 1/25.000, folha 127), pelo método <i>krigagem</i> com uma resolução de 10 m.	74
<b>Figura 41</b>	Enquadramento geotectónico regional dos granitos Variscos da Zona Centro-Ibérica, bem como a visualização das principais faixas de cisalhamento e sistemas de falhas regionais do NW de Portugal (adaptado de Dias <i>et al.</i> , 2000).	75
<b>Figura 42</b>	A) Enquadramento geológico regional do maciço granítico de Fontelo (segundo Espinha Marques <i>et al.</i> , 2003); B) Enquadramento geológico-estrutural da região de Fontelo, Armamar (segundo Bernardo de Sousa & Sequeira, 1989).	77
<b>Figura 43</b>	Esboço geológico da pedreira de S. Domingos N.º 2.	79
<b>Figura 44</b>	Aspectos vários sobre a pedreira de S. Domingos Nº 2. A) vista geral da pedreira do Fontelo; B) pormenor de uma falha geológica com orientação geral N-S; C) material rocha desmontado deslizando por gravidade para a zona de britagem; D) aspecto das bancadas evidenciando o grau de fracturação do maciço; E), F) pormenor do grau de compartimentação do maciço e a representatividade das descontinuidades sub-horizontais.	81
<b>Figura 45</b>	Localização dos perfis geotécnicos e estações geomecânicas ( <i>martelo Schmidt</i> e ensaio <i>Los Angeles</i> ) do presente estudo na pedreira de S. Domingos Nº 2.	83
<b>Figura 46</b>	Histograma representativo da frequência do grau de alteração	85
<b>Figura 47</b>	Diagramas estruturais dos painéis amostrados da pedreira de S. Domingos Nº 2: diagrama de contorno estrutural (projecção hemisfério inferior); diagrama de rosetas (n= 432 descontinuidades).	89
<b>Figura 48</b>	Projecção das descontinuidades sub-horizontais da pedreira de S. Domingos Nº 2: diagrama de contorno estrutural (projecção hemisfério inferior); diagrama de rosetas (n= 112 descontinuidades).	88
<b>Figura 49</b>	Histogramas de frequências absolutas de diaclases vs. classes de espaçamento dos painéis estudados.	90

<b>Figura 50</b>	Histogramas representativos relativamente à superfície das descontinuidades.	91
<b>Figura 51</b>	Gráfico que relaciona a resistência à compressão simples ao longo das estações geomecânicas efectuadas na frente de desmonte.	92
<b>Figura 52</b>	Diagrama de dispersão para os resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão uniaxial ( $\ln(\sigma_c)$ , MPa) e pelo ensaio <i>Los Angeles</i> (LA, %).	98
<b>Figura 53</b>	Esboço do zonamento geotécnico da pedreira de S. Domingos Nº 2: sua importância como um instrumento de apoio à gestão mineira do georrecurso.	101
<b>Figura 54</b>	Representação das áreas para a estimativa das reservas da Pedreira de S. Domingos Nº 2.	103

## Índice de Quadros

<b>Quadro 1</b>	Tipos de descontinuidades (adaptado: ISRM, 1981; González de Vallejo <i>et al.</i> , 2002).	11
<b>Quadro 2</b>	Descrição dos principais tipos de <i>diaclases</i> em rochas magmáticas (Sodré Borges, 2002).	17
<b>Quadro 3</b>	Classificação de maciços rochosos pelo número de famílias de descontinuidades (ISRM, 1981).	27
<b>Quadro 4</b>	Classificação do tamanho dos blocos de material-rocha com base no índice volumétrico (ISRM, 1981).	30
<b>Quadro 5</b>	Classificação de maciços rochosos em função do tamanho e forma de blocos (ISRM, 1981).	30
<b>Quadro 6</b>	Evolução do grau de alteração do maciço rochoso (adaptado da ISRM, 1981).	32
<b>Quadro 7</b>	Terminologia para caracterizar os maciços em função do espaçamento das descontinuidades segundo a ISRM (1978, 1981).	37
<b>Quadro 8</b>	Descrição da continuidade das descontinuidades (ISRM, 1981).	38
<b>Quadro 9</b>	Classificação da rugosidade das descontinuidades (adaptado da ISRM 1981).	42
<b>Quadro 10</b>	Terminologia para caracterização do estado de resistência (ISRM, 1978).	43
<b>Quadro 11</b>	Descrição do grau de alteração meteórica (ISRM, 1981).	44
<b>Quadro 12</b>	Abertura de descontinuidades (ISRM, 1978, 1981).	46
<b>Quadro 13</b>	Graus de alteração propostos pela ISRM (1981).	49
<b>Quadro 14</b>	Exemplo do registo das medições do Martelo de Schmidt.	61
<b>Quadro 15</b>	Classificação do maciço com base na Resistência à compressão simples (ISRM, 1978, 1981).	61
<b>Quadro 16</b>	Síntese das características dos perfis amostrados no maciço de S.Domingos Nº 2.	87
<b>Quadro 17</b>	Síntese das estações geomecânicas para a realização dos ensaios de campo Martelo Schmidt (densidade média do granito foi estimada em 26 KNm <sup>3</sup> ).	93
<b>Quadro 18</b>	Síntese dos ensaios de <i>Los Angeles</i> (%) realizados e/ou compilados dos arquivos da FPM, segundo a Norma NP EN1907-2 (2002).	95
<b>Quadro 19</b>	Resultados comparativos dos ensaios <i>Los Angeles</i> e esclerométrico.	96
<b>Quadro 20</b>	Estatística descritiva dos ensaios de resistência obtidos para o maciço granítico da pedreira de S. Domingos N.º 2.	97
<b>Quadro 21</b>	Diversas fases constituintes do trabalho de prospecção e respectivos custos associados	110
<b>Quadro 22</b>	Estimativa de custos associados a diversas operações pós-desmonte com explosivos.	111

## Índice de Fórmulas

[1] Índice do tamanho do bloco $I_b$ ("Block Size Index"),	29
[2] Representa o número total de descontinuidades $J_v$	29
[3] Frequência número total de descontinuidades $\lambda$	29
[4] Frequência número total de descontinuidades $\lambda$	29
[5] Índice <b>RQD</b>	31
[6] Índice de <i>RQD</i> - frequência das descontinuidades	31
[7] Valor médio do espaçamento	53
[8] Percentagem de perda por desgaste ( <b>LA</b> )	58





## ***I. ENQUADRAMENTO GERAL***



## **1 ENQUADRAMENTO GERAL**

### **1.1 Enquadramento do tema e objectivos**

Este trabalho enquadra-se na unidade curricular “Dissertação/Projecto/Estágio” do 2º ano (anual), do curso de mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO (ISEP). Este Projecto pretende apresentar a caracterização das condicionantes geológico-geotécnicas e geomecânicas com o intuito de estudar a compartimentação do maciço rochoso da pedra granítica de S. Domingos Nº 2 (também conhecida, localmente, por Pedreira do Fontelo). Esta pedra está situada na localidade de Fontelo (Armamar, N de Portugal) e encontra-se, actualmente, em fase de exploração pela empresa FRANCISCO PEREIRA MARINHO & IRMÃOS, S.A. – CONSTRUÇÃO (FPM). O georrecurso granítico em questão é explorado pela empresa para fins vários, i.e., brita e “tout-venant”.

O presente projecto enquadra-se ao abrigo de uma cooperação, iniciada em 2005, entre a empresa FPM e o DEG|ISEP, sob a supervisão técnico-científica do Professor Doutor Helder I. Chaminé (ISEP) e do administrador da FPM, Engenheiro Civil Jorge Marinho. Por solicitação da empresa em apreço para se proceder a um estudo geológico-geotécnico de referência sobre a pedra de S. Domingos Nº 2, na perspectiva de enquadrar em estudos, em curso, ao nível da marcação CE e de impacto ambiental, bem como ser um instrumento para contribuir para a gestão mais racional do georrecurso de S. Domingos Nº 2. Convém referir, desde já, que este trabalho pretende constituir um estudo de síntese preliminar das condicionantes geológicas e geotécnicas da pedra e, assim, constituir um ponto de partida para estudos de pormenor e mais aprofundados. O presente projecto de mestrado retoma, actualiza e refina o trabalho de Martins (2005).

O presente trabalho foi desenvolvido em duas fases complementares, ou seja, uma primeira fase, referente ao trabalho de campo enquadrada na fase de reconhecimento geológico-geotécnico, uma segunda fase, ligada ao processamento, análise e interpretação dos dados para uma caracterização geotécnica e geomecânica do maciço rochoso. Assim, neste trabalho, são referidos de uma forma sucinta os métodos e as técnicas para tratamento dos dados de terreno, visando a caracterização do estado de alteração do maciço e a definição das famílias de descontinuidades (recorrendo, na medida do possível, à terminologia e às recomendações propostas pela ISRM – *International Society for Rock Mechanics* (ISRM 1978, 1981, 2007), pela

GSE - *Geological Society Engineering Group Working Party Report* (GSE, 1995) e pelo CFCCF – *Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow* (CFCCF, 1996). Apresentam-se, ainda, os resultados do estudo da rede de fracturação regional, com base na análise morfoestrutural de mapas topográficos e dos reconhecimentos geológicos locais. Comparam-se os resultados obtidos à megaescala e macro-escala no sentido de averiguar a presença de um padrão de fracturação com dimensão multiescala. Por fim, discute-se a utilidade desta metodologia e das técnicas associadas para a conceptualização de um modelo geotécnico-geomecânico em meio fracturado. Para o efeito, apresenta-se, ainda que de uma forma sumária, a técnica de amostragem linear aplicada a superfícies expostas em diferentes taludes rochosos, bem como nos métodos de tratamento geológico-geotécnico das discontinuidades. A título exemplificativo apresentam-se os principais resultados obtidos no levantamento de terreno de discontinuidades nos diferentes taludes da pedreira de S. Domingos Nº 2. A aplicação da técnica de amostragem linear para a caracterização da compartimentação do maciço poderá, sem dúvida, contribuir para melhorar a gestão do georrecurso de S. Domingos Nº 2.

Os trabalhos de campo e laboratório decorreram, fundamentalmente, durante os meses de Março a Abril de 2010 e, ainda, durante os meses de Junho a Julho de 2005, tendo sido realizados pelo signatário deste projecto e, no período de 2005, coadjuvado pelos colegas Engs. Pedro Moreira, Alzira Medeiros Pereira e Jorge Ribeiro, sob supervisão do Prof. Doutor Helder I. Chaminé (ISEP).

Em suma, poderemos destacar que os principais objectivos deste estudo foram:

- O reconhecimento e a caracterização geológico-geotécnica (em termos da heterogeneidade litológica e estrutural, do grau de fracturação e do grau de alteração) do maciço granítico de S. Domingos Nº 2 com o intuito de se estabelecer a compartimentação, em grande, do maciço rochoso. O levantamento sistemático das discontinuidades da face exposta (bancadas da pedreira) do material rochoso pela técnica de amostragem linear (e.g., Brady & Brown, 2004; Peacock et al., 2003; Martins et al., 2006) e caracterização geológico-geotécnica pela aplicação da “Basic Geotechnical Description of Rock Masses [BGD]” proposta pela ISRM (1981). Execução do esboço da cartografia geológica e geotécnica da pedreira de S. Domingos Nº 2.
- O cruzamento e a síntese de todos os dados geológicos, geomorfológicos, tectónicos, hidrogeológicos, geotécnicos para o estabelecimento de uma síntese geológico-geotécnica e geomecânica do maciço. Execução de ensaios esclerométricos em superfícies estruturais e ensaios de desgaste do material-rocha para a caracterização dos parâmetros geomecânicos do maciço.

- Por fim, como objectivo complementar e perspectivado numa fase exploratória, são delineados alguns aspectos orientativos em termos geomecânicos e de deformação que porventura poderão ser úteis para a gestão do georrecurso.

No tratamento da cartografia e dos levantamentos geológico-geomecânicos recorreu-se às instalações do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA) do DEG-ISEP e os ensaios geomecânicos foram executados no Laboratório de Mecânica das Rochas do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC) do ISEP.

## **1.2 Introdução geral**

O Engenheiro Geotécnico durante a sua actividade profissional contacta necessariamente com os designados materiais geológicos, i.e., solos e/ou rochas. Estes materiais, devido à sua natureza intrínseca e à diversidade de processos geológicos que envolvem a sua génese, apresentam uma variedade muito vasta de características e propriedades.

Os maciços rochosos e/ou terrosos suportam ou experimentam solicitações promovidas pelas estruturas de engenharia que afectam a sua segurança e desempenho (e.g., Terzaghi, 1965; Brady & Brown, 2004). Deste modo, para projectar e construir estruturas de engenharia seguras e económicas há necessidade imperiosa de determinar e conhecer as características e as propriedades geológico-geotécnicas dos maciços onde estas são implantadas. Para tal, recorre-se à execução de ensaios de campo e de laboratório, bem como à sua interpretação e adequação ao problema a resolver, no sentido de atingir tal desiderato.

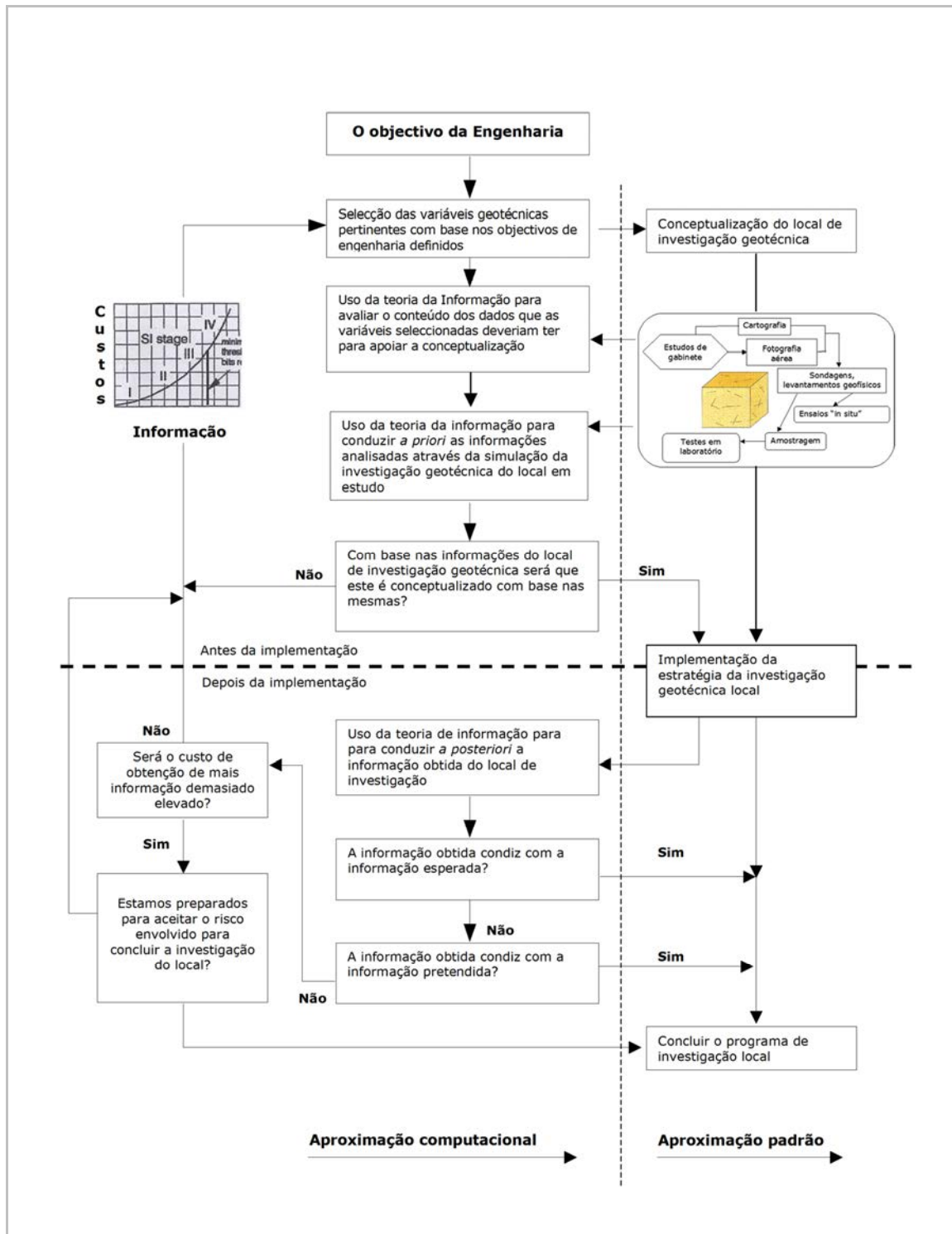
O estudo de cada um destes materiais (solos e/ou rochas) recorre, em regra, a ferramentas distintas que constituem duas disciplinas científicas que muitas vezes se dividem assumindo a designação de Mecânica dos Solos e de Mecânica das Rochas (e.g., Terzaghi & Peck, 1967; Mello Mendes, 1967-68; Rocha, 1981; JEWG, 2004; Mandl 2005; Bock, 2006; Hoek, 2007). As distinções, geralmente, imputadas a cada uma delas baseiam-se sobretudo nos diferentes métodos de investigação, de classificação, de metodologias de ensaio, de interpretação, de modelação e, por fim, de projecto.

O objectivo de uma investigação de um dado local no âmbito da engenharia de maciços rochosos é criar e estabelecer parâmetros operacionais num quadro amplo a diversas escalas dos aspectos geométricos, mecânicos e construtivos e dos aspectos da segurança operacional de uma estrutura no maciço (Hoek, 2007). Actualmente, os métodos disponíveis para estabelecer, do

ponto de vista geotécnico, a investigação de um local deverão incluir uma análise relativa à segurança, prazos de execução e custos envolvidos (Mazzoccola et al., 1997).

É fundamental o acompanhamento técnico sistemático de uma dada obra de engenharia para auxiliar a tomada de decisão, quer nos aspectos mais amplos do projecto quer na resolução de problemas pontuais. Assim, em estudos de caracterização geotécnica e geomecânica de maciços fracturados a contribuição da geologia e da geomorfologia é de extrema importância nas várias fases de qualquer projecto de engenharia de maciços rochosos (e.g., Terzaghi, 1965; Rocha, 1981; Vidal Romaní & Twidale, 1999).

De facto, as ferramentas geológicas tradicionais — cartografia geológica, fotogeologia, geologia estrutural e hidrogeologia — quando aplicadas à geomecânica dos maciços, perspectivadas num enquadramento geológico regional actualizado, em que se valorizam os trabalhos à escala local baseados em critérios técnico-científicos (e.g., ISRM, 1978, 1981, 2007; CFCFF, 1996; González de Vallejo et al., 2002), serão uma ferramenta de excelência, dentro dos seus limites de actuação e de competência, em estudos de engenharia de maciços rochosos. Além disso, em qualquer projecto geotécnico são importantes os pressupostos técnico-científicos referidos (figura 1), os quais deverão estar sempre perspectivados numa lógica de gestão económica racional para a sua concretização (Mazzoccola et al., 1997).



**Figura 1** - Um esquema para a investigação geotécnica de maciços rochosos de um dado projecto baseado na estratégia de informação (adaptado de Mazzocola et al., 1997).



## ***II. DESCONTINUIDADES***



## 2 DESCONTINUIDADES: Noção, Tipos e Génese

Designa-se, usualmente, por **descontinuidade** qualquer entidade geológica que interrompa a continuidade física de uma dada unidade geológica (Rocha, 1981; Brady & Brown, 2004). Estas entidades são de extrema relevância pois, ao seccionarem um dado maciço rochoso, vão influenciar as propriedades geomecânicas deste, uma vez que lhe conferem um comportamento, em termos de deformabilidade, de permeabilidade e de resistência ao corte, muito diferente do estágio que se pode imaginar como inicial. É, assim, comum em mecânica das rochas o uso do termo descontinuidade como uma designação geral para descrever a maior parte das superfícies estruturais (tais como falhas, diaclases, estratificação, xistosidade, etc.) de um dado maciço que mostram uma resistência relativamente baixa à tracção (ISRM, 1978, 1981; Mello Mendes, 1967-68).

O termo descontinuidade referencia, desta forma, qualquer plano de separação no maciço rochoso, podendo este ter origem sedimentar (como as superfícies de estratificação ou laminação), diagenética (como as estruturas filonianas) ou tectónica (como as diaclases e falhas). No quadro 1 apresentam-se os diferentes tipos de descontinuidades, agrupando-se os diferentes tipos de descontinuidades em sistemáticas, quando aparecem em famílias e em singulares, quando aparece um único plano que atravessa o maciço rochoso.

**Quadro 1** - Tipos de descontinuidades (adaptado: ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

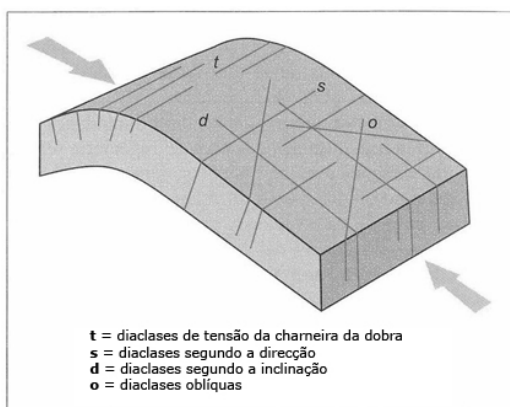
Descontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	Planos de estratificação	Falhas Filões Discordâncias
	Planos de laminação	
	Planos de xistosidade	
	Diaclases e fissuras	
Lineares	Intersecção de descontinuidades planares	Eixos de dobras
	Lineações	

Todos os maciços rochosos, para além de serem normalmente estruturas descontínuas e heterogéneas, apresentam, em regra, uma evidente anisotropia. Esta é devida, por um lado à anisotropia do material rochoso e, por outro lado, às famílias de descontinuidades que compartimentam os maciços. Esta última contribuição é, em geral, a mais relevante, não só no que diz respeito à deformabilidade mas também à resistência dos maciços rochosos.

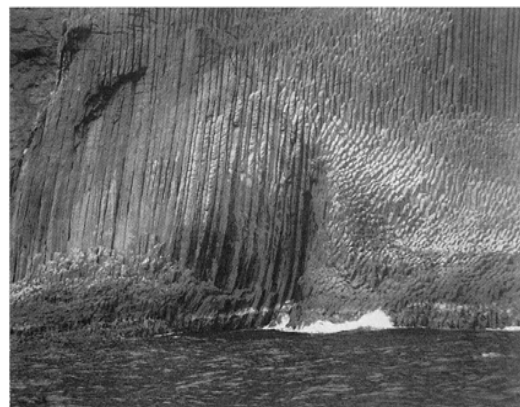
As diaclases são os planos de descontinuidade mais frequentes nos maciços rochosos e correspondem, segundo a ISRM (1978), a superfícies que ocorrem no material-rocha ao longo das quais não existe rejeito entre os blocos. No entanto, o movimento ao longo das diaclases, mesmo sendo praticamente imperceptível, não reúne o consenso na comunidade científica. Para alguns autores, as diaclases com estrias são uma evidência de algum movimento tectónico no maciço. Por outro lado, outros autores consideram que se uma descontinuidade apresenta estrias, então deverá ser classificada como falha. Tipicamente, as diaclases são planas (ou aproximadamente planas), e constituem estruturas planares não-penetrativas, características de um comportamento frágil ou semi-frágil das rochas. Estes planos de rotura ocorrem, assim, em rochas competentes e são típicos de uma resposta das rochas sujeitas a um estado de tensão, quando estas estão localizadas em níveis geológico-estruturais superiores (Sodré Borges, 2002).

Atendendo à sua origem, distinguem-se vários tipos de diaclases (e.g., Pereira, 1985; Davis & Reynolds, 1996; González de Vallejo et al., 2002):

- Diaclases de origem tectónica associadas a dobramentos e a falhas. No primeiro caso apresentam uma disposição característica (figura 2); as diaclases associadas a falhas dispõem-se, normalmente, paralelamente à superfície de falha e com uma frequência que diminui com o aumento da distância da origem da mesma.
- Diaclases em rochas ígneas formadas por contracção durante ou depois do dobramento do corpo ígneo. Apresentam uma disposição característica em três famílias ortogonais entre si (figura 3).



**Figura 2** - Famílias de diaclases associados a dobras (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).



**Figura 3** - Disjunção colunar em basaltos com diaclases verticais (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Os planos de estratificação são as superfícies que limitam os estratos em rochas sedimentares (figura 4). Caracterizam-se por serem sistemáticas e com elevada continuidade e cujo o espaçamento oscila, geralmente, entre poucos centímetros e vários metros. As superfícies de laminação são descontinuidades sistemáticas que aparecem em rochas sedimentares, correspondendo aos planos que limitam as lâminas ou níveis mais pequenos de uma sequência sedimentar (figura 5).



**Figura 4** - Superfícies de estratificação horizontal num maciço rochoso (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

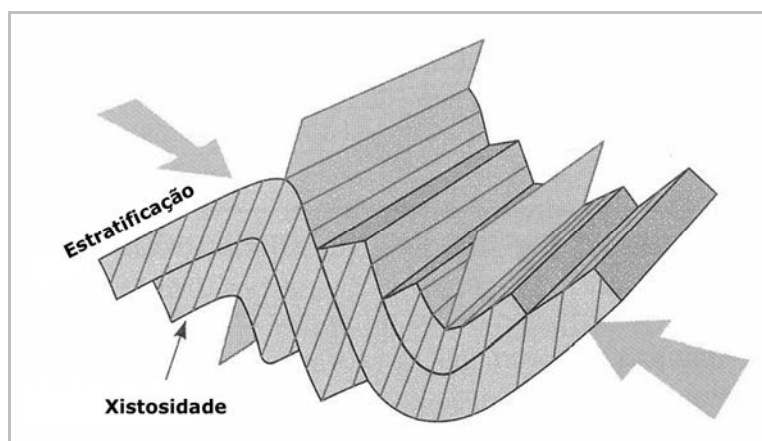


**Figura 5** - Superfícies de laminação em gesso (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Os planos de xistosidade são descontinuidades geralmente consideradas como perpendiculares à acção de elevadas tensões de compressão afectando formações geológicas. Podem apresentar uma continuidade regional apreciável. Como o seu próprio nome indica, resultam de fenómenos tectónicos ocorridos a elevadas pressões e temperaturas (figura 6).

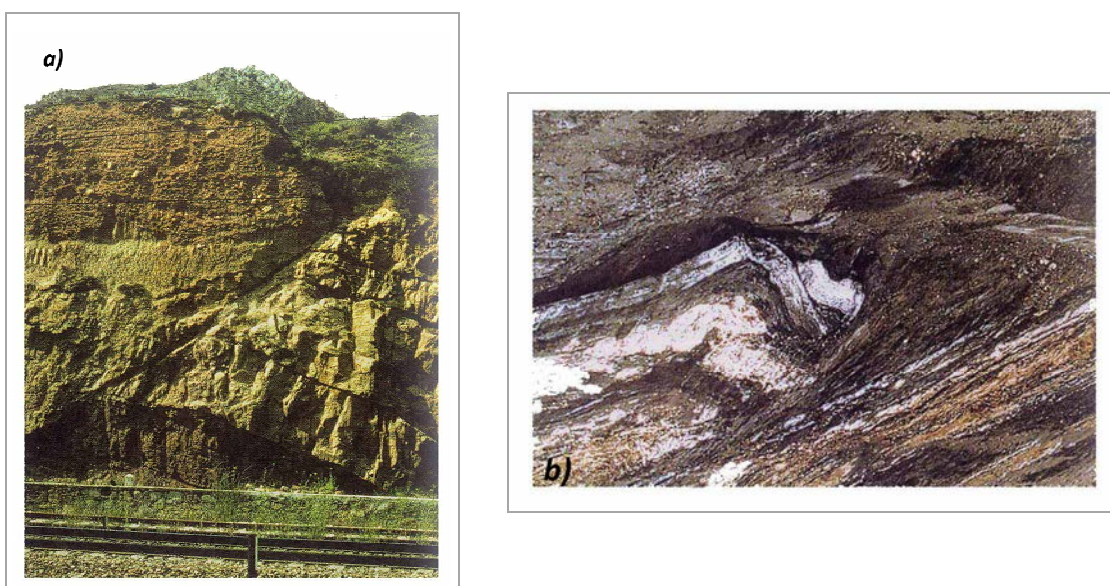
As superfícies de contacto litológico são planos de separação entre diferentes litologias de um maciço rochoso. Têm pouca expressão em rochas sedimentares, ao contrário das rochas ígneas nas quais adquirem uma elevada importância, influenciando em grande parte o seu comportamento mecânico, sendo exemplo as estruturas filonianas.

As falhas tratam-se de descontinuidades epigenéticas que se caracterizam por apresentarem frequentemente grande continuidade no maciço rochoso e por ter havido deslocamento relativo dos dois blocos. O plano de falha designa-se por espelho de falha e é frequente a ocorrência de estrias nas superfícies que deslizaram. Quando os dois blocos estão separados entre si definem uma caixa de falha que pode estar preenchida por outros materiais, muitas vezes resultantes da própria trituração da rocha que escorregou (brecha de falha).



**Figura 6** - Planos de xistosidade em relação com dobramentos. As setas marcam a direcção de máxima compressão (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Designa-se por falha activa quando esta apresenta, na actualidade, evidências de movimento mensurável, e destas assumem particular relevância as que estão na origem de fenómenos de natureza sísmica. As falhas podem ser normais, inversas e de desligamento (figura 7). A extensão das falhas pode variar entre alguns metros e centenas de quilómetros.



**Figura 7** - Tipos de falha: **a)** falha normal **b)** falha inversa (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

As diaclases são descontinuidades epigenéticas. Também elas surgem geralmente na sequência de acções tectónicas ou resultam da descompressão do maciço, de processos de alteração ou por retracção do material. Neste tipo de descontinuidades não se verifica qualquer deslocamento apreciável de um bordo em relação ao outro e, muitas vezes, não apresentam

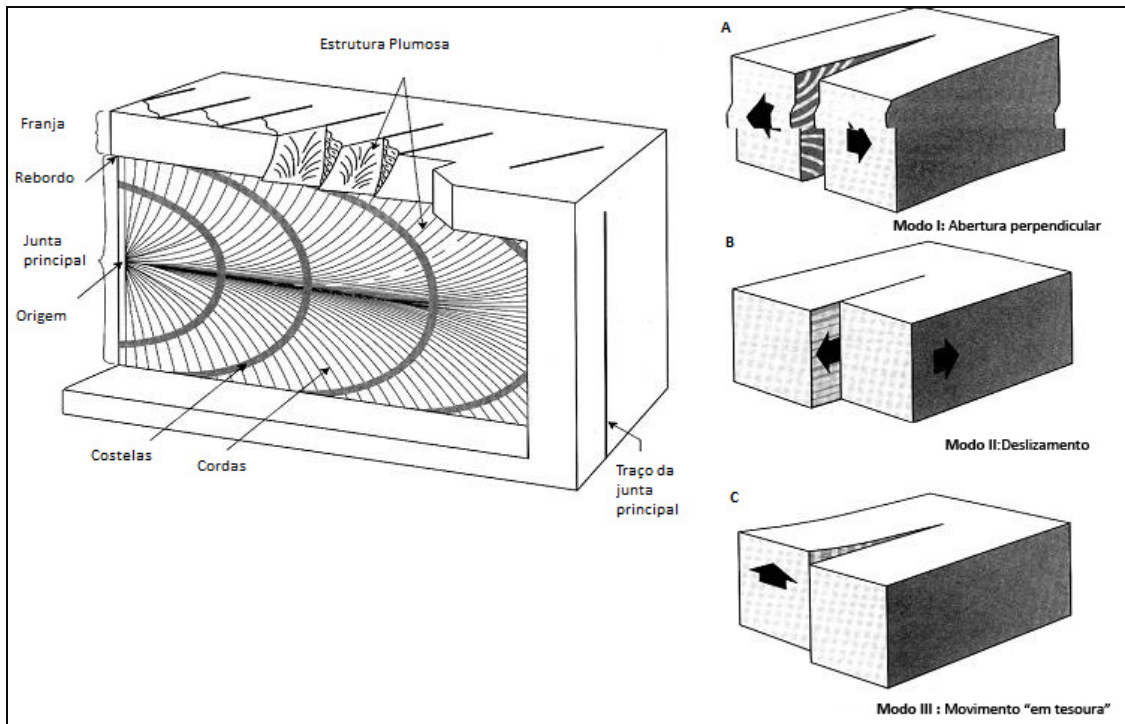
grande continuidade no maciço rochoso. A frequência do aparecimento de diaclases está relacionada com uma série de factores dos quais merecem particular destaque, a litologia (tipo de rocha, porosidade, resistência às acções mecânicas, etc.) e jogo de forças actuantes e respectiva magnitude e posicionamento; no entanto, tem influência a própria geometria do maciço.

Do ponto de vista geotécnico, importa determinar a amplitude da abertura da diaclase e a sua variação ao longo do plano de diaclasamento (em particular, verificar se ocorrem, ou não, pontos de contacto entre as duas superfícies separadas pelo diaclasamento). Quando preenchida, a natureza do preenchimento tem de ser muito bem especificada (em particular, as suas características mecânicas). Se a diaclase não estiver preenchida é importante, ainda do ponto de vista geotécnico, caracterizar a sua rugosidade (ISRM, 1981; Sodré Borg s, 2002): verificar se as suas paredes são lisas, estriadas ou polidas e se são planas, onduladas, ou denteadas. Destas características dependerá o comportamento mecânico das descontinuidades.

Na figura 8 ilustram-se dois tipos de estruturas típicas das superfícies de diaclasamento (Davis & Reynolds, 1996): as estruturas plumosas (*plumose* ou *hackle-marks*) e as *rib-marks*, cuja g nese tem sido objecto de muita discussão, mas que não está ainda perfeitamente esclarecida, podendo resultar de diferentes mecanismos.

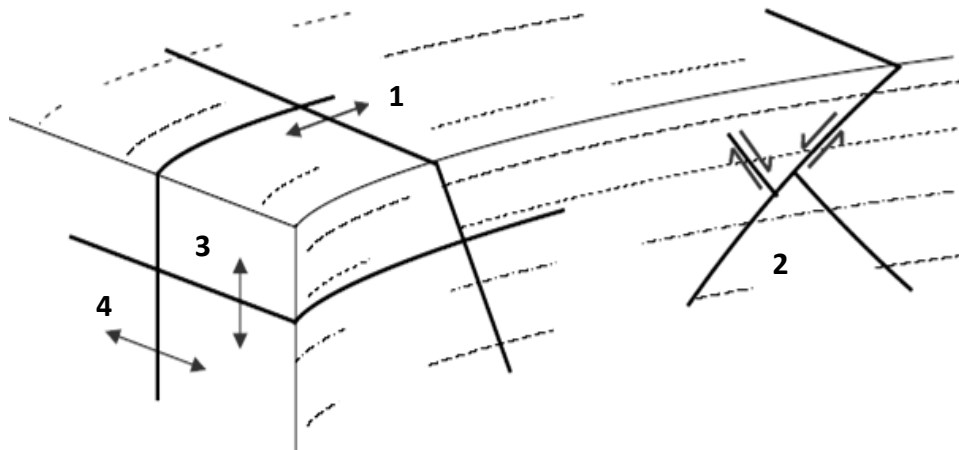
Diversos mecanismos têm sido avançados para explicar a forma o de diaclases, como por exemplo a actua o de esforços de torço. Prevalece, contudo, a convic o de que as diaclases se repartem por dois tipos principais, quanto   sua origem (*e.g.*, Davis & Reynolds, 1996; Palmstr m, 1995; Sodré Borg s, 2002): diaclases de trac o (ou de extensão) e diaclases de corte (ou de cisalhamento). Na discussão sobre a possibilidade de ocorrência dos dois tipos de diaclases, um dos argumentos fulcrais tem-se centrado   volta das estruturas plumosas observadas nos planos de diaclasamento.

Durante o levantamento tect nico do maciço, possíveis varia es da pressão intersticial presente nas rochas desempenharão um papel fundamental na g nese da fractura o. Consoante o valor daquela pressão assim a fractura o poderá ser por corte ou por trac o, podendo em situa es-limite, oscilar, num mesmo local, entre os dois modos. Então, poder-se-  observar uma t pica fractura (*veio* ou *filonete*) de trac o prolongar-se sob a forma de *tension gashes* dispostas em degrau, como   t pico das zonas de cisalhamento frágil-dúctil (Sodré Borg s, 2002).



**Figura 8** - Representação esquemática ideal de uma superfície de diaclasamento representando os principais elementos observáveis em faces expostas do maciço, como por exemplo, as estruturas plumosas típicas em maciços graníticos (adaptado de Davis & Reynolds, 1996). Em A, B e C apresenta-se os 3 modos fundamentais de geração de estrias em diaclasamento, ou seja, em **A** abertura perpendicular às paredes das superfícies de diaclases, em **B** deslizamento segundo uma direcção paralela à superfície de deslizamento e perpendicular à frente da fracturação, em **C** movimento "em tesoura" paralelo à superfície de diaclasamento e à frente da fracturação.

As fracturas observadas numa rocha magmática são, na sua maioria, primárias: resultam da fracturação da crosta, mais ou menos rígida, do corpo ígneo, em resultado do movimento da massa central ainda fluida e, ainda, da sua expansão ou da sua retracção. Tais fracturas são, frequentemente, preenchidas por aplitos ou por minerais de origem hidrotermal, relacionados com o episódio eruptivo. Sendo primárias, não são, verdadeiramente, diaclases e deveriam, antes, ser descritas como veios. No entanto, não é de excluir a ocorrência de verdadeiras diaclases num maciço magmático: elas serão fracturas tardias (relativamente ao episódio magmático), pelo que serão, muito provavelmente, estéreis (ou o seu preenchimento não derivou, directamente, do mesmo episódio magmático), mas terão uma orientação estreitamente relacionada com a fracturação primária. Na figura 9, ilustram-se as "diaclases" dos tipos mais frequentemente observados num maciço magmático, ordenadas segundo a sua idade provável, da mais antiga para a mais recente. No quadro 2, sumarizam-se as características dessas mesmas fracturas, segundo a mesma ordenação.



**Figura 9** - Principais tipos de diaclases, num maciço magmático (Sodré Borges, 2002). 1. Diaclases cruzadas (provavelmente, as primeiramente formadas); 2. Diaclases diagonais; 3. Diaclases sub-horizontais; 4. Diaclases longitudinais (provavelmente, as mais recentes, pós-magmáticas).

**Quadro 2** - Descrição dos principais tipos de *diaclases* em rochas magmáticas (Sodré Borges, 2002).

DESIGNAÇÃO	ORIENTAÇÃO	PREENCHIMENTO	MECANISMO
Diaclases cruzadas <i>cross-joints, Q-joints</i>	Perpendiculares às linhas de fluxo	Preenchidas. Com estrias de deslizamento	Tracção associada ao atrito entre a crosta e o magma fluido e, ainda, à possível expansão da intrusão
Diaclases diagonais <i>diagonal-joints</i>	A 45º, ou mais, das linhas de fluxo	Preenchidas. Com estrias de deslizamento	Por corte associado às tensões criadas pelo fluxo: tracção ao longo das linhas de fluxo; compressão, perpendicularmente
Diaclases sub-horizontais <i>flat-lying joints</i>	Sub-horizontais (nas zonas apicais de domos acha-todos ou em soleiras)	Preenchidas	Talvez, por tracção resultante da retracção da massa interna da intrusão, ao arrefecer
Diaclases longitudinais longitudinal-joints, <i>S-joints</i>	Paralelas às linhas de fluxo (seguem a sua direcção, mas não o seu mergulho)	Raramente preenchidas. Quando preenchidas, contém minerais estranhos à intrusão	Por tracção, devida a esforços gerados pelo arrefecimento, associados aos causados pela extensão lateral devida ao levantamento tectónico



### ***III. DESCRIÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS***



### **3. DESCRIÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS**

#### **3.1 Metodologia e sistemática**

Nos estudos de engenharia geotécnica é importante descrever e caracterizar os maciços rochosos aflorantes; tendo como objectivo o conhecimento das propriedades e características geotécnicas das rochas do maciço. Estes trabalhos realizam-se durante as primeiras etapas da investigação “in situ”. Os trabalhos de campo permitem fazer a avaliação do comportamento geotécnico dos maciços rochosos, a planificação das fases de investigação mais avançadas e a interpretação dos resultados das mesmas.

A caracterização dos maciços torna-se uma tarefa assaz complexa, devido à grande variedade de condicionantes e propriedades geológico-geotécnicas, especialmente se os materiais rochosos estiverem muito fracturados e/ou meteorizados. Em todas as descrições dever-se-á incluir todos os aspectos e parâmetros que possam ser observados, deduzidos e medidos nos afloramentos.

As descrições dos maciços rochosos com fins geotécnicos necessitam de atenções e medidas adicionais às geológicas; assim se justifica a necessidade de estabelecer uma sistemática que uniformize critérios e facilite a comunicação entre todos os profissionais que tenham de realizar trabalhos semelhantes. Estas descrições podem implicar um certo grau de subjectividade que se deve evitar, na medida do possível, realizando observações sistemáticas e utilizando uma terminologia padronizada (ISRM, 1978, 1981, 2007), tendo em conta os seguintes aspectos:

- Todos os factores devem ser examinados sistematicamente e numa sequência lógica;
- Não se deve omitir nenhuma informação básica sobre o afloramento;
- As descrições devem caracterizar de uma forma precisa o maciço e permitir a dedução da informação mais relevante;
- O número de dados deve ser, se possível, estatisticamente representativo.

A caracterização de cada zona geotécnica deve realizar-se de uma forma objectiva e individualizada, e incluir o estudo da matriz rochosa, das discontinuidades e do conjunto do maciço, descrevendo tanto as suas propriedades intrínsecas como os factores externos que condicionam o seu comportamento.

A sistemática para a descrição dos afloramentos de maciços rochosos pode-se resumir nas seguintes etapas (ISRM, 1978, 1981):

- Descrição das características gerais do afloramento: geologia estrutural, tipo de descontinuidades, composição mineralógica e textural do material-rocha, grau de alteração;
- Divisão em zonas geotécnicas e descrição geral de cada zona: a divisão em zonas mais ou menos homogêneas realiza-se a partir de critérios fundamentalmente litológicos e geológico-estruturais. O número de zonas que se estabelece e a extensão das mesmas dependerá do grau de heterogeneidade dos materiais e estruturas que formam o maciço rochoso. Dever-se-á descrever as características gerais de cada zona (figura 10);
- Descrição pormenorizada de cada zona geotécnica: a descrição de cada zona é levada a cabo em separado e detalhadamente, a mais objectiva e clara possível, recorrendo-se, normalmente, a uma terminologia recomendada (*e.g.*, ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; CFCFF, 1996);
- Descrição dos parâmetros geológicos e geométricos do maciço rochoso: a descrição dos parâmetros do maciço rochoso realiza-se a partir de dados recolhidos em cada estação geológico-geotécnica. Além disso, estabelecem-se parâmetros referentes ao número de famílias de descontinuidades, orientação e características representativas a cada uma delas, determinando sua importância relativa, tamanho e forma dos blocos, grau de alteração, etc.;
- Caracterização global e classificação geomecânica do maciço rochoso: com o objectivo de definir a qualidade e resistência do maciço, através da quantificação de parâmetros geológico-geotécnicos e modelação físico-matemática.

<b>Nome do projecto:</b>		
<b>Fase de estudo:</b>		<b>Referência:</b>
<b>Localização e acessos:</b>		<b>Autor:</b>
<b>Data:</b>		
<b>Observações:</b>		
<i>Foto</i>		<i>Esquema</i>
<b>Descrição geológica geral:</b>		
<b>Descrição básica de cada zona geotécnica:</b>		

**Figura 10** - Um exemplo de uma ficha para descrição e divisão em zonas geotécnicas do maciço rochoso (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

### 3.2 Descrição e zonamento do afloramento

O primeiro passo no estudo de um afloramento de um maciço rochoso deve ser a identificação do mesmo e a sua descrição geral. Posteriormente, leva-se a cabo a divisão em zonas — denominadas por zonas geotécnicas — e a descrição das mesmas. É de extrema utilidade a realização de fotografias e desenhos esquemáticos do afloramento, onde se deverá indicar as características geológico-geotécnicas básicas de cada zona.

Em geral, num maciço rochoso dever-se-á estabelecer distintas áreas com diferentes aspectos e tipos de materiais rochosos, por exemplo, heterogeneidade litológica, elementos geológico-estruturais, grau de fracturação, grau de alteração, etc., o que permitirá uma divisão inicial por *zonas geotécnicas* ou, até mesmo, em *sub-zonas*. No caso da complexidade geológico-estrutural de uma dada região poder-se-á equacionar a criação de *complexos geotécnicos*.

Esta abordagem facilitará as posteriores descrições geológico-geotécnicas e a aplicação sistemática dos procedimentos técnicos julgados adequados.

Em determinadas ocasiões podem existir raros afloramentos ou estes apresentarem pouca extensão o que dificultará a tarefa da estudo desse maciço. Nestas situações recomenda-se o seguinte (Ferrer & González de Vallejo, 1999):

- Identificação do afloramento: localização, situação geográfica, acessibilidade, extensão, características geométricas, etc.
- Fotografias e esquemas de campo.
- Descrição geológica geral;
  - *caracterização das unidades geológicas regionais e/ou locais;*
  - *descrição e caracterização das litologias;*
  - *descrição das macro- e mesoestruturas;*
  - *traços geológico-estruturais gerais do maciço;*
  - *identificação das zonas alteradas e meteorizadas, bem como das espessuras das mesmas;*
  - *presença de água, exurgências, etc.*
- Divisão em zonas e descrição geral de cada zona geotécnica: o estudo realizar-se-á com base em critérios litológicos e estruturais considerando os sectores mais ou menos homogéneos do afloramento; não é conveniente estabelecer demasiadas zonas.
- Identificação de zonas singulares: são aquelas zonas, com a existência de elementos estruturais não sistemáticos, que não se repetem no maciço e, por isso, têm influência nas suas propriedades e comportamento geomecânico; por exemplo, falhas, filões, zonas de brecha, cavidades, zonas de fluxo de água, etc. Estas zonas devem ser tratadas e descritas de forma individualizada.

Os mapas geotécnicos constituem um método em Engenharia Geotécnica e Geologia de Engenharia para representar, cartograficamente, informação geológica e geotécnica para fins de planeamento e de ordenamento do território e, bem assim, para o projecto, a construção e a manutenção de obras de engenharia. Estes mapas incluem dados sobre as características e propriedades de superfície e de sub-superfície de uma determinada região que permitem avaliar

o seu comportamento dos problemas geológico-geotécnicos (IAEG, 1981a,b, 2005, Zuquette & Gandolfi, 2004).

Os mapas geotécnicos devem considerar os seguintes aspectos gerais de interesse na Engenharia Geotécnica (González de Vallejo et al., 2002):

- Descrição e classificação geotécnica dos materiais terrosos e rochosos.
- Propriedades físicas e mecânicas dos materiais.
- Condições hidrogeológicas.
- Processos geomorfológicos e geodinâmicos.

Os mapas geotécnicos são de extrema importância para (González de Vallejo et al., 2002):

- **Planeamento do território** (regional, local e urbano)
  - escalas pequenas ou médias; incluem informação sobre os factores com incidência construtiva, necessária para conhecer os problemas relacionados com fundações, escavações, estabilidade de terrenos, recursos naturais, reservas de água e armazenamento de resíduos.
- **Obras de engenharia** (*e.g.*, estradas, caminhos de ferro, túneis e barragens)
  - estudos prévios ou de viabilidade para selecção de traçados;
  - informação e dados para o projecto e construção de uma obra.

A cartografia geotécnica é constituída, em regra, por uma série de cartas, a saber:

- Cartas de factores.
- Cartas de síntese: i) Cartas de zonamento geotécnico; ii) Cartas de aptidão.

Os mapas geotécnicos incluem, entre outras, informações várias sobre os materiais geológicos, dados geomorfológicos e hidrogeológicos, dados quantitativos dos diferentes componentes do meio geológico, das propriedades físicas e mecânicas dos materiais e informações interpretativas para sua aplicação geotécnica.

Independentemente do tipo de mapa, estes devem incluir uma série de informação básica (IAEG, 1981a,b, 2005):

- Topografia e toponímia.
- Distribuição e descrição litológica das unidades geológicas.
- Espessuras dos solos, formações superficiais e rochas alteradas.
- Descontinuidades e dados geológico-estruturais.
- Classificação geotécnica de solos e rochas.
- Propriedades de solos e rochas.
- Condições hidrogeológicas.
- Condições geomorfológicas.
- Processos dinâmicos.
- Investigações prévias existentes.
- Riscos geológicos.

### **3.3. Parâmetros do maciço rochoso**

Para a caracterização global do maciço rochoso a partir dos dados obtidos no estudo dos afloramentos, juntamente com a descrição dos seus componentes, da matriz-rochosa e das descontinuidades, devem ser considerados outros aspectos representativos do conjunto, tais como:

- Número e orientação das famílias de descontinuidades;
- Tamanho dos blocos e intensidade da fracturação;
- Grau de alteração.

O comportamento mecânico do maciço rochoso e os seus mecanismos de rotura estão condicionados, em grande parte, pelo número de famílias de descontinuidades. A intensidade do grau de fracturação e o tamanho dos blocos da matriz rochosa são dados pelo número de famílias de descontinuidades e pelo espaçamento de cada família. Cada uma das famílias fica caracterizada pela sua orientação no espaço, pelas suas propriedades e características dos planos estruturais.

A orientação média de uma família avalia-se, como se referiu anteriormente mediante técnicas de projecção estereográfica ou de diagramas de rosetas, a partir de dados das medições

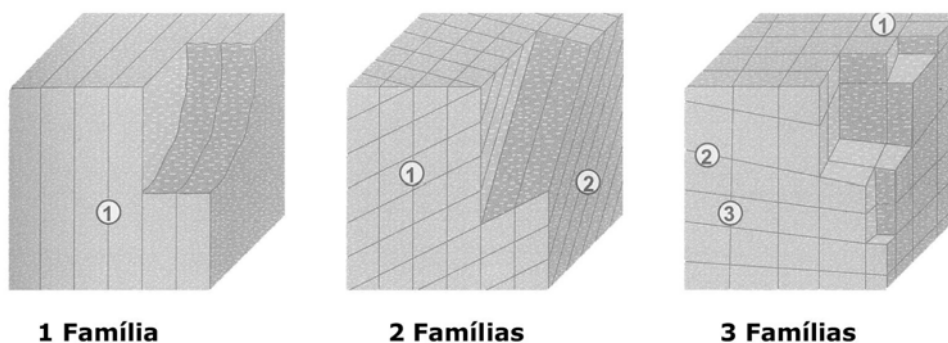
de campo para cada descontinuidade. Actualmente, existem programas informáticos para realizar este tipo de trabalho de uma forma rápida e exacta, como é o caso do programa utilizado neste trabalho, o “*StereoNet for Windows version 3.03*” da Geological Software®.

O maciço pode classificar-se pelo número de famílias, variando entre maciços rochosos maciços com apenas uma família de descontinuidades e maciços com três ou mais famílias de descontinuidades (quadro 3).

**Quadro 3** - Classificação de maciços rochosos pelo número de famílias de descontinuidades (ISRM, 1981).

Tipo de maciço rochoso	Número de famílias
I	Maciço compacto, com algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
II	Uma família de descontinuidades.
III	Uma família de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
IV	Dois famílias de descontinuidades.
V	Dois famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
VI	Três famílias de descontinuidades.
VII	Três famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
VIII	Quatro ou mais famílias de descontinuidades.
IX	Maciço de rocha esmagada, com o aspecto idêntico ao de um solo.

As famílias de descontinuidades podem ser representadas graficamente mediante a construção de bloco-diagramas, permitindo assim a visualização espacial da sua orientação relativa e do tamanho e forma dos blocos de matriz rochosa (figura 11).



**Figura 11** - Representação do número de famílias mediante bloco-diagramas (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

O tamanho do bloco unitário é, em muitos aspectos da geotecnia, um dos parâmetros mais críticos a determinar para os maciços rochosos. No entanto, em vários casos, torna-se um parâmetro difícil de quantificar, sendo por vezes impossível a sua determinação por métodos expeditos. Como consequência, a estimativa do bloco unitário é tipicamente realizada e incorporada nas classificações dos maciços rochosos. Conceptualmente, a determinação deste parâmetro pode-se considerar como produto de três parâmetros geotécnicos simples (Rocha, 1981; Pereira, 1985): a orientação dos sistemas de descontinuidades, o espaçamento real (espaçamento perpendicular entre diaclases de uma mesma família) e a persistência. Dependendo da variação destes parâmetros, são duas as soluções possíveis: i) verifica-se o aparecimento de famílias de descontinuidades que conseguem delimitar um bloco unitário; ii) em alternativa a massa rochosa não possui uma fracturação que possibilite o aparecimento dos blocos. Dos três parâmetros referidos a orientação e o espaçamento são os mais fáceis de quantificar.

A importância depositada sobre a determinação do bloco unitário, pelas classificações de maciços rochosos, é significativa. O mesmo acontece na abertura de túneis e no desmonte de rocha, onde, no primeiro caso, este parâmetro geomecânico, determina em parte onde esta abertura poderá ocorrer ou não. No que diz respeito ao desmonte de rocha torna-se necessário o conhecimento do bloco unitário, uma vez que, com este parâmetro poder-se-á contribuir para a optimização do diagrama de fogo.

O tamanho dos blocos que formam o maciço rochoso condiciona de forma definitiva o seu comportamento, suas propriedades resistentes e deformações. A dimensão e forma dos blocos estão definidas pelo número de famílias de descontinuidades, a sua orientação, o seu espaçamento e continuidade. Assim, a forma do bloco unitário é determinada a partir da orientação das descontinuidades e do número de famílias, enquanto que a dimensão do bloco é determinada pelo seu espaçamento, continuidade e número de famílias das descontinuidades.

A determinação do tamanho do bloco realiza-se, normalmente, das seguintes formas (ISRM, 1978; González de Vallejo et al., 2002):

- Mediante o índice do tamanho do bloco  $I_b$  (“Block Size Index”), que representa as dimensões médias dos blocos tipo medidos no afloramento. Por exemplo, no caso duma rocha sedimentar com planos de estratificação e com famílias de descontinuidades perpendiculares entre si, o índice  $I_b$  seria definido por:

$$l_b = (e_1 + e_2 + e_3)/3 \quad [1]$$

Sendo  $e_1$ ,  $e_2$  e  $e_3$  os valores médios do espaçamento das três famílias de descontinuidades.

- Mediante o parâmetro  $J_v$ , que representa o número total de descontinuidades que interceptam uma unidade de volume ( $1 \text{ m}^3$ ) do maciço rochoso. Existe dificuldade em observar tridimensionalmente um afloramento, o valor de  $J_v$  determina-se através de contagem de descontinuidades de cada família que interceptam um comprimento determinado, medindo perpendicularmente a direcção de cada uma das famílias (atribui-se um factor de correcção em relação à direcção aparente):

$$J_v = \sum \frac{\text{n.º descontinuidades}}{\text{comprimento medido}} \quad [2]$$

Por um exemplo, para um maciço com 3 famílias de descontinuidade ( $J_1$ ,  $J_2$  e  $J_3$ ):

$$J_v = (n.º J_1/L_1) + (n.º J_2/L_2) + (n.º J_3/L_3)$$

O comprimento a medir dependerá do espaçamento de cada família, variando normalmente entre 5 e 10 metros. A forma mais rápida, apesar de menos exacta, será através da estimativa do valor  $J_v$  contando o número total de descontinuidades que intersectam um dado comprimento  $L$ , correspondendo este valor a uma frequência,  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{\text{número de descontinuidades}}{L(m)} \quad [3]$$

ou

$$\lambda = \frac{1}{\text{espaçamento médio de descontinuidades (m)}} \quad [4]$$

O valor de  $J_v$  relaciona-se com o tamanho dos blocos segundo o quadro 4, correspondendo os valores maiores de 60 a um maciço rochoso esmagado.

**Quadro 4** - Classificação do tamanho dos blocos de material-rocha com base no índice volumétrico (ISRM, 1981).

Descrição	$J_v$ (descontinuidade/m <sup>3</sup> )
Blocos muito grandes	< 1
Blocos grandes	1 – 3
Blocos médios	3 – 10
Blocos pequenos	10 – 30
Blocos muito pequenos	> 30

O quadro 5 apresenta uma classificação do maciço rochoso em função da forma e tamanho do bloco e da intensidade de fracturação.

**Quadro 5** - Classificação de maciços rochosos em função do tamanho e forma dos blocos (ISRM, 1981).

Classe	Tipo	Descrição
I	Compacto	Poucas descontinuidades ou espaçamento muito largo
II	Cúbico	Blocos aproximadamente equidistantes
III	Tabular	Blocos com uma dimensão (normalmente segundo a horizontal) consideravelmente menor que as outras duas
IV	Colunar	Blocos com uma dimensão (normalmente segundo a vertical) consideravelmente maior que as outras duas
V	Irregular	Grandes variações no tamanho e forma dos blocos
VI	Esmagado	Blocos com dimensões bastante pequenas

O **grau de fracturação** expressa-se habitualmente pelo índice *RQD* (Rock Quality Designation). Apesar da sua utilidade prática, este índice não considera aspectos como a orientação, o espaçamento, os preenchimentos e outras condições das descontinuidades, logo não será suficiente para descrever as características da fracturação dos maciços rochosos.

O índice *RQD* pode estimar-se em afloramentos a partir de correlações empíricas como a de Palmstrom (1975 in ISRM, 1981):

$$\begin{aligned} RQD &= 115 - 3,3 \cdot J_v && \text{para } J_v > 4,5 && [5] \\ RQD &= 100 && \text{para } J_v \leq 4,5 \end{aligned}$$

Por exemplo, para um maciço rochoso de qualidade aceitável com um *RQD* de 65%, o valor correspondente de  $J_v$  é de 15; no entanto para um maciço rochoso de qualidade má, com *RQD* de 30,  $J_v$  terá um valor 26.

O valor do índice de *RQD* também se determina a partir da frequência das descontinuidades,  $\lambda$ , mediante a seguinte expressão que proporciona o valor teórico mínimo do *RQD*:

$$RQD \approx 100 \exp^{(-0,1 \cdot \lambda)} (0,1 \cdot \lambda + 1) \quad [6]$$

donde  $\lambda$  é a inversa do espaçamento médio das descontinuidades.

A evolução do grau de alteração do maciço rochoso realiza-se por observação directa do afloramento e comparação com os índices padrão recorrendo ao quadro 6. No geral, dever-se-á fragmentar um pedaço de rocha para se analisar o estado da matriz rochosa.

### **3.4. Parâmetros geológicos-geotécnicos das descontinuidades**

As descontinuidades condicionam de uma forma definitiva as propriedades e a compartimentação dos maciços rochosos em termos de resistência, de deformabilidade e de coeficiente hidráulico. A resistência ao corte nas descontinuidades é o aspecto mais importante na determinação da resistência dos maciços rochosos fracturados e para a sua correcta avaliação é necessário definir as características e as propriedades dos planos de descontinuidades. O estudo geral de um maciço rochoso deverá incluir a identificação, a descrição das condições gerais do afloramento e a caracterização dos vários aspectos geológico-geotécnicos, i.e., o tipo de litologias e de material-rocha, o estado de alteração, o estudo das descontinuidades e as condições hidrogeológicas. A divisão em zonas geotécnicas mais ou menos homogéneas realiza-se a partir de critérios essencialmente litológicos, geológico-estruturais e geotécnicos.

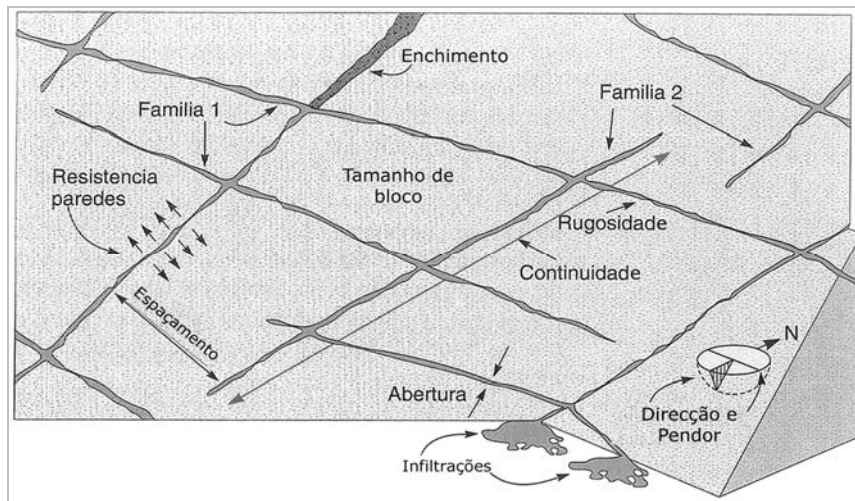
**Quadro 6** - Evolução do grau de alteração do maciço rochoso (adaptado da ISRM, 1981).

Grau de alteração	Nomenclatura		Significado	
Sã ou não alterada	$W_1$	$W_{1-2}$	Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa	- Sã e compacta - Descontinuidades fechadas - Permeabilidade é praticamente nula
Ligeiramente alterada	$W_2$		Mudanças na cor original da matriz rochosa (descoloração)	
Moderadamente alterada	$W_3$	$W_3$	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, mantendo-se a petrofábrica original	- Maciço mais ou menos são - Intersectado por descontinuidades abertas
Muito alterada	$W_4$	$W_{4-5}$	Mais de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo; a rocha é muito friável	- Zona alterada a muito alterada ou mesmo decomposta - Permeabilidade do tipo intersticial - Pode coexistir uma circulação fissural
Completamente alterada	$W_5$		Todo o material rochoso está muito decomposto e/ou desagregado num solo residual	
<p>* por vezes, na bibliografia é referenciada o termo <math>W_6</math> (ISRM, 1978; G.S.E., 1995), i.e., desagregação total do maciço podendo ser considerado como um autêntico solo residual.</p>				

A descrição de cada zona deve ser o mais objectiva e clara possível, recorrendo-se, normalmente, a uma terminologia recomendada para efeitos de geologia aplicada à engenharia (e.g., ISRM, 1978, 1981, 2007; GSE, 1995; CFCFF, 1996). Na descrição das diferentes famílias de descontinuidades num maciço rochoso inclui-se as seguintes parâmetros geológico-geotécnicos (figura 12):

- Atitude geológica (direcção/inclinação);
- Espaçamento;
- Continuidade ou persistência;
- Rugosidade;
- Resistência da parede das descontinuidades;
- Abertura;
- Enchimento;
- Grau de alteração;
- Percolação.

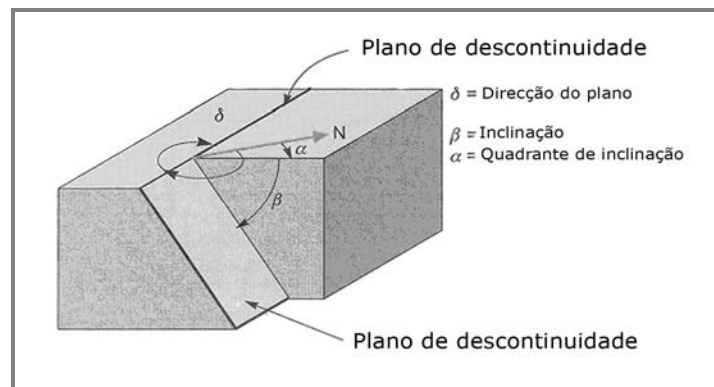
Alguns destes parâmetros, como a rugosidade, a abertura e o enchimento, determinam o comportamento mecânico e a resistência dos planos de descontinuidade, a descrição e medições destes parâmetros são realizados, em regra, no campo.



**Figura 12** - Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das descontinuidades (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

### 3.4.1. Atitude geológica (direcção/inclinação)

As descontinuidades sistemáticas apresentam-se em famílias com atitude e características geológico-estruturais mais ou menos homogêneas. A orientação relativa e o espaçamento das diferentes famílias de um maciço rochoso definem a forma de blocos existentes no maciço. Assim, a atitude de uma descontinuidade (figura 13) é definida pela **direcção**, i.e., o ângulo que a descontinuidade faz em relação ao Norte e pela **inclinação** que corresponde ao ângulo formado com a horizontal pela linha de maior declive do plano no quadrante em questão (variando entre 0° e 90°). A medição da atitude das descontinuidades realiza-se através de uma bússola com clinómetro.

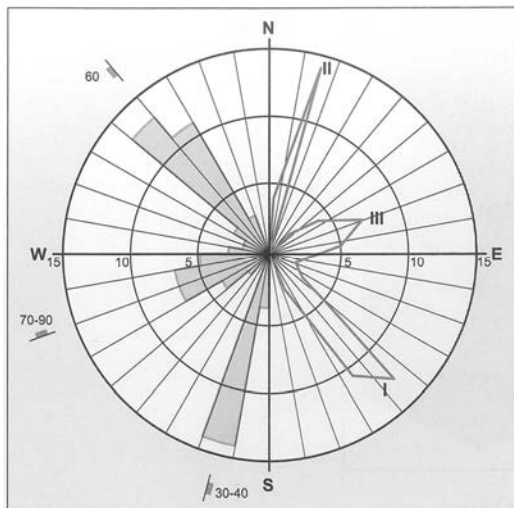


**Figura 13** - Avaliação da atitude geológica de uma descontinuidade (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

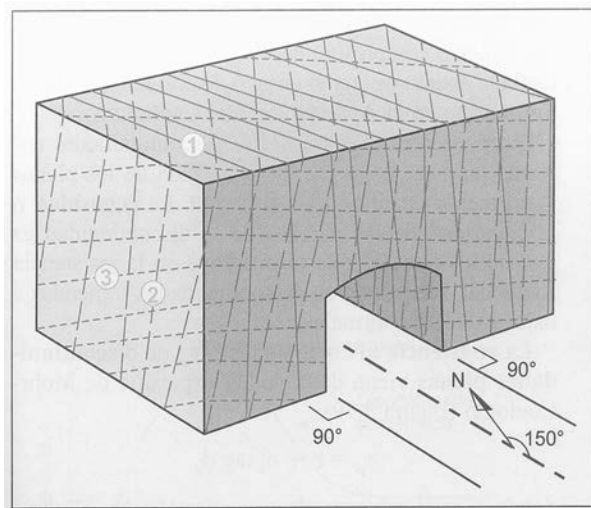
No estudo de um maciço rochoso é aconselhável medir um número suficiente de descontinuidades para definir cada família. O número de medidas dependerá da dimensão da zona estudada, da aleatoriedade das orientações dos planos e dos detalhes em análise adequados ao caso em estudo. Se as orientações são relativamente constantes poder-se-á reduzir o número de medidas. Assim, considera-se família de descontinuidades como o conjunto de todas as descontinuidades que apresentam idêntica orientação (Rocha, 1981).

A representação gráfica da orientação das diferentes famílias de descontinuidades pode ser realizada mediante:

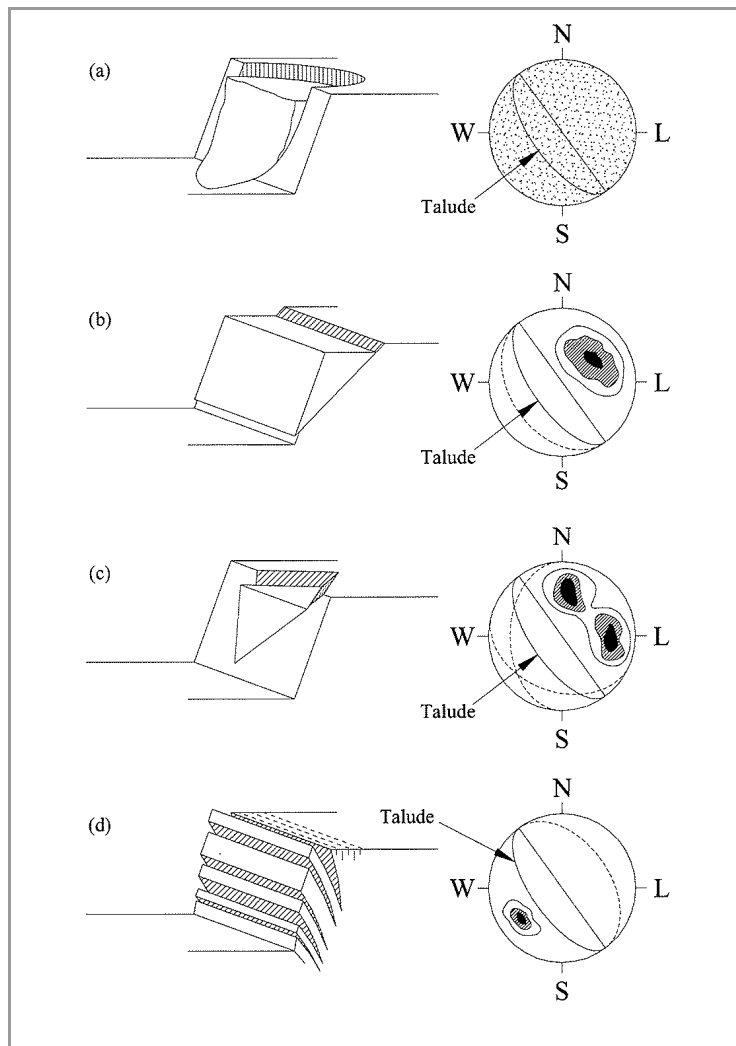
- Diagramas geológico-estruturais (nomeadamente os diagramas de contorno estrutural e os diagramas de rosetas), que permitem uma visão geral das famílias e sua orientação. Os diagramas de rosetas permitem representar e visualizar as orientações das famílias principais (figura 14). As famílias de descontinuidades podem ser representadas graficamente mediante a construção de bloco-diagramas (figura 15) ou recorrendo à projecção estereográfica (em regra, hemisfério inferior e rede estereográfica de *Schmidt-Lambert*), pode-se representar os pólos e os planos estruturais das diferentes famílias (figuras 16).
- Símbolos em mapas geológicos, que indicam o valor médio da direcção e o valor de inclinação para os diferentes tipos de descontinuidades (juntas ou diaclases, falhas, xistosidades, etc.).



**Figura 14** - Representação esquemática de dados estruturais num diagrama de rosetas (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).



**Figura 15** - Representação das famílias principais em bloco diagrama (adaptado da ISRM,1981; González de Vallejo et al., 2002)



**Figura 16** - Mecanismos de ruptura característicos em taludes, com o estereograma característico, do tipo: **a)** circular; **b)** planar; **c)** cunha; **d)** tombamento (adaptado de Hoek & Bray, 1981).

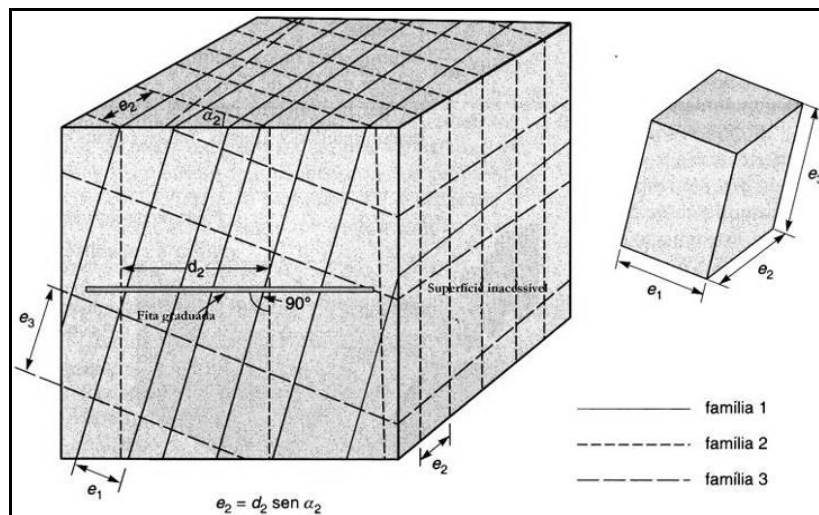
### 3.4.2. Espaçamento

O espaçamento é a distância média medida na perpendicular entre os planos de descontinuidade da mesma família. O espaçamento das descontinuidades, especialmente no caso das diaclases, condiciona:

- O tamanho individual dos blocos de rocha intacta. Se o maciço tiver uma fracturação muito apertada reúnem-se condições para que o seu comportamento se aproxime do evidenciado por materiais de natureza granular;
- Em casos excepcionais, um espaçamento apertado pode modificar o tipo de rotura da massa rochosa, ou seja, de uma rotura planar para uma rotura circular;

- Tal como no caso da atitude, a importância do espaçamento aumenta quando outras condições para a deformação estiverem presentes. Por exemplo, a reduzida resistência ao corte e um número suficiente de descontinuidades combinam-se para que um escorregamento possa ocorrer;
- O espaçamento individual de descontinuidades e a associação de várias famílias, influenciam fortemente a permeabilidade do maciço e as suas características de percolação.

A figura 17 apresenta a proposta da ISRM (1981) para a medição do espaçamento entre descontinuidades, devendo seguir-se as recomendações que conduzem à sua avaliação.



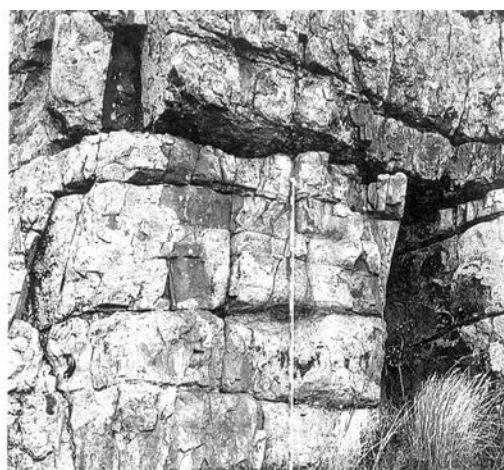
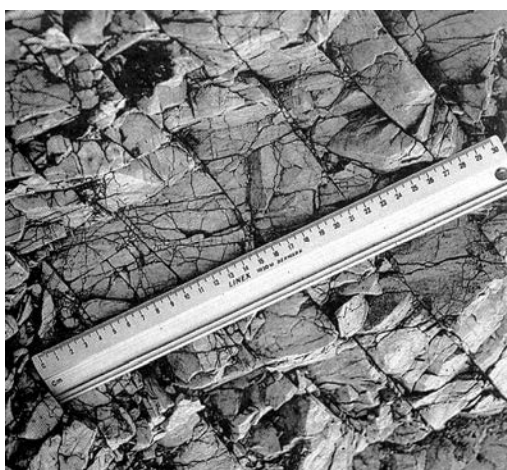
**Figura 17** - Medição do espaçamento entre descontinuidades a partir de uma face exposta do maciço (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

A medição deste parâmetro é geralmente realizada com o auxílio de uma fita graduada (Lamas, 1993; Chaminé & Gaspar, 1995; Brady & Brown, 2004) e deve ser feita ao longo de um comprimento que seja suficientemente representativo da frequência de descontinuidades.

A ISRM (1978, 1981) propõe que seja utilizada uma terminologia para caracterizar os maciços em função do espaçamento das descontinuidades (quadro 7). A figura 18 apresenta exemplos de descontinuidades com diferentes espaçamentos.

**Quadro 7** - Terminologia para caracterizar os maciços em função do espaçamento das descontinuidades segundo a ISRM (1978, 1981).

Intervalos (cm)	Simbologia		Designações	
> 200	F <sub>1</sub>	F <sub>1-2</sub>	Muito afastadas	Afastadas
60 – 200	F <sub>2</sub>		Afastadas	
20 – 60	F <sub>3</sub>	F <sub>3</sub>	Medianamente afastadas	Medianamente afastadas
6 – 20	F <sub>4</sub>	F <sub>4-5</sub>	Próximas	Próximas
< 6	F <sub>5</sub>		Muito próximas	



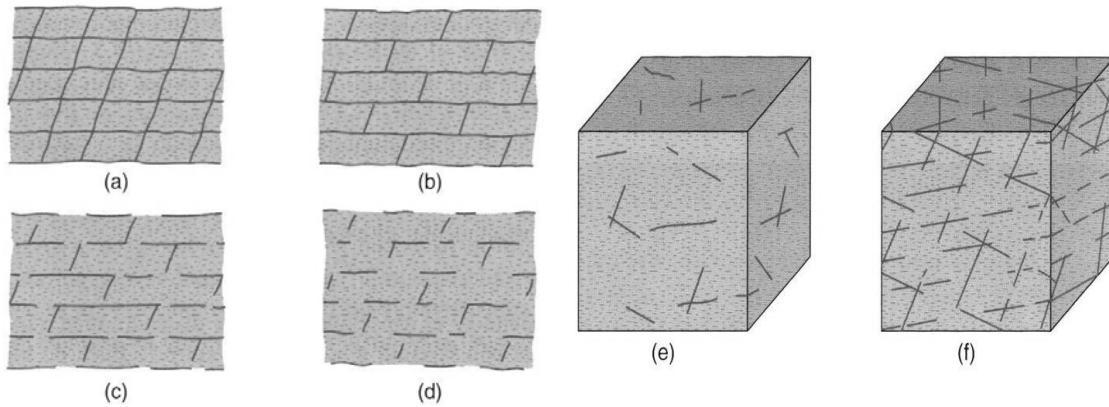
**Figura 18** - Exemplos de descontinuidades com espaçamentos diferentes (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

### 3.4.3. Continuidade ou Persistência

A continuidade ou persistência de um plano de descontinuidades é medida segundo o seu traço no plano de observação. É um parâmetro de grande importância mas de difícil quantificação a partir da observação de afloramentos, onde se conseguem visualizar os traços dos planos de descontinuidade segundo uma inclinação aparente.

A continuidade das descontinuidades é muitas vezes determinante para definir as características mecânicas de potenciais superfícies de ruptura. No caso de taludes rochosos e fundações de barragens é de enorme importância tentar avaliar o grau de continuidade das descontinuidades que apresentam orientação desfavorável à estabilidade.

As diferentes famílias de descontinuidades devem ser classificadas relativamente à sua continuidade, podendo utilizar-se os termos *contínua*, *sub-contínua* e *descontínua* para as distinguir. A figura 19 ilustra de forma simplificada a aplicação dos diferentes termos.



**Figura 19** - Representações simples de blocos diagramas esquemáticos indicativos da continuidade de varias famílias de fracturas **(a; b)** descontinuidade contínua, **(c; d)** descontinuidade sub-contínua e **(e; f)** descontinuidade descontínua (adaptado da ISRM,1981 González de Vallejo et al., 2002).

A medição da continuidade realiza-se mediante a utilização de uma fita graduada. É importante destacar as famílias mais contínuas, uma vez que geralmente, serão estas que condicionam os planos de rotura do maciço rochoso. A ISRM (1978, 1981) definiu o conceito de persistência, traduzido pelo comprimento das interações (L) da família de descontinuidades em estudo, numa superfície exposta e estabeleceu cinco termos (quadro 8).

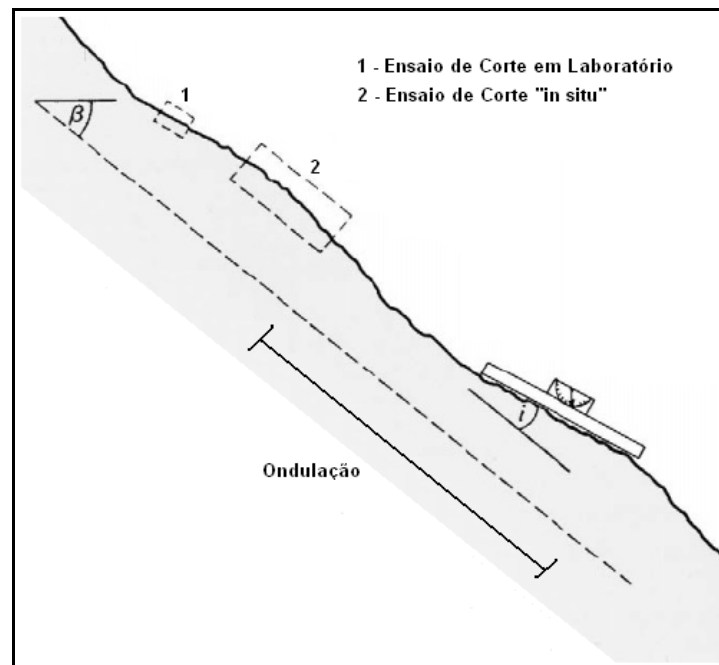
**Quadro 8** - Descrição da continuidade das descontinuidades (ISRM, 1981).

Continuidade	Distância (m)
Muito pouco contínuas	< 1
Baixa continuidade	1 – 3
Continuidade média	3 – 10
Continuidade alta	10 – 20
Continuidade muito alta	> 20

### 3.4.4 Rugosidade

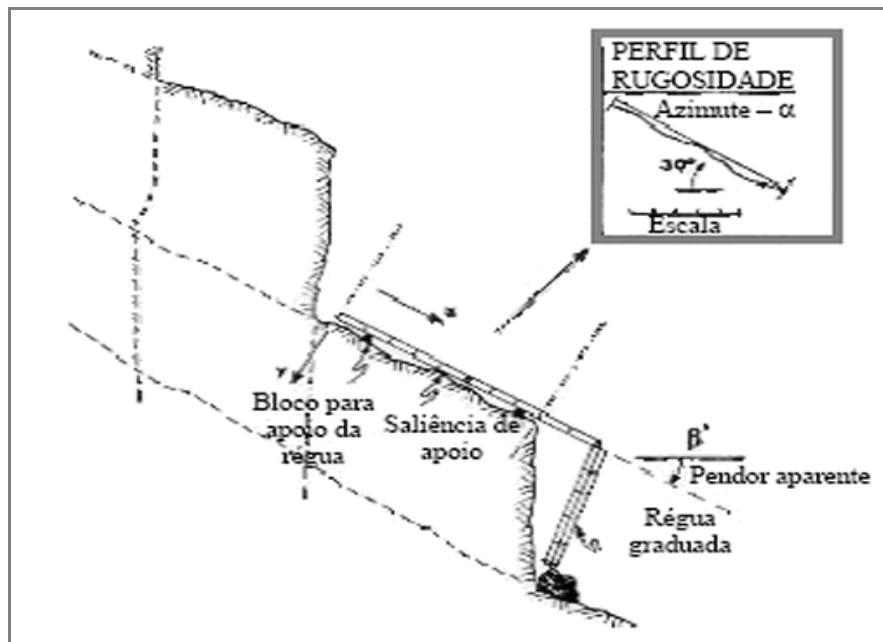
A rugosidade de um plano de descontinuidade determina a resistência ao corte, assim quanto maior for a rugosidade maior será a resistência. A ondulação e a rugosidade dos planos podem controlar as possíveis direções de deslocamento relativo dos blocos. Estas características definem a resistência ao corte para as distintas direções, i.e., a resistência pode ser muito variável segundo a direção do movimento.

Consoante a direção e intensidade dos sucessivos campos de tensões a que as descontinuidades estiveram submetidas, estas poderão apresentar várias ordens de ondulações. Quando as paredes das descontinuidades se encontram em contacto, estas ondulações causam dilatação durante o corte, dado que são demasiadamente grandes para serem cisalhadas; deste modo este tipo de ondulações são normalmente responsáveis pela orientação inicial do deslocamento. Ocorrem ainda ondulações de pequena escala (designadas de 2ª ordem), que tendem a sofrer cisalhamentos durante o deslocamento relativo dos blocos, contribuindo assim para o aumento da resistência ao corte avaliada, por exemplo, em ensaios de laboratório. No entanto no caso dos níveis de tensão de confinamento serem reduzidos, estas podem contribuir para o aumento da dilatação (figura 20).



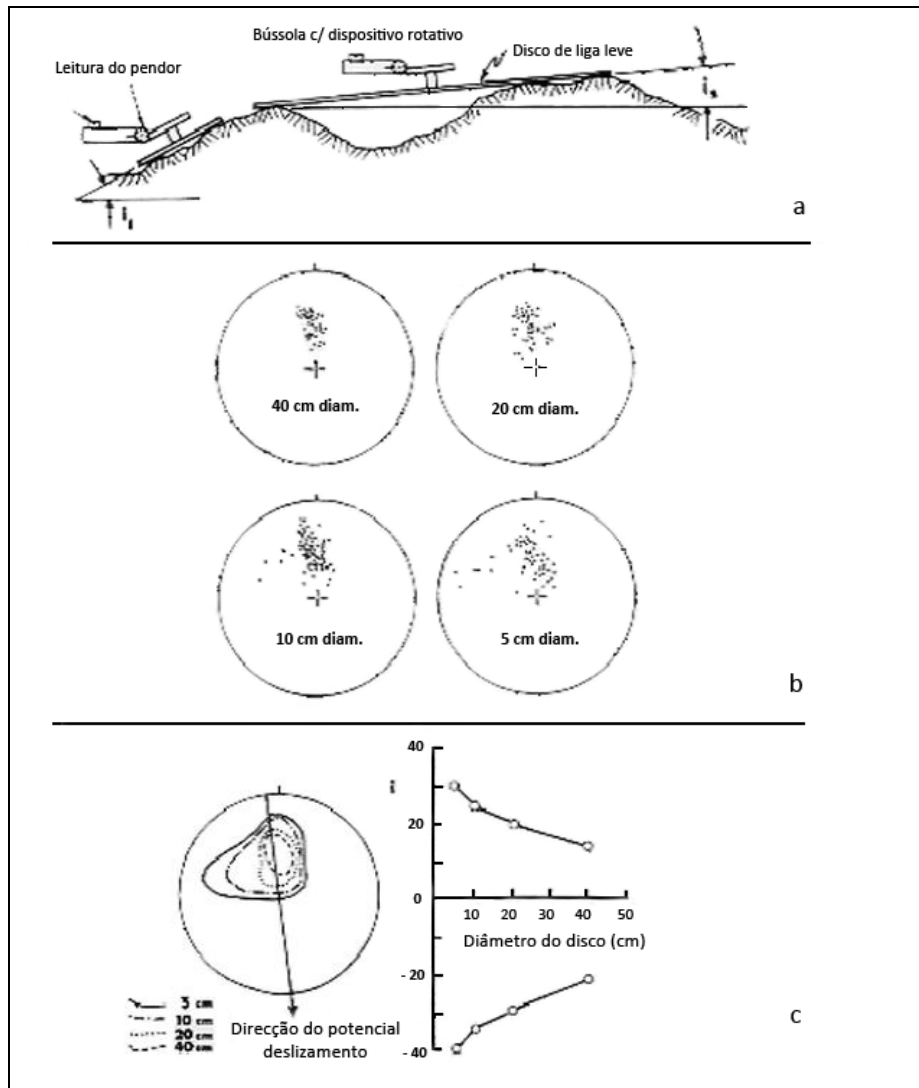
**Figura 20** - Escalas de rugosidade, avaliadas segundo diferentes ensaios de corte. A ondulação pode ser caracterizada pelo ângulo (i) (adaptado da ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

Se a direcção do potencial escorregamento for conhecida, a rugosidade poderá ser avaliada por intermédio de perfis lineares, definidos paralelamente a esta direcção (figura 21). Quando se observa a existência de dois planos de escorregamento que se intersectam, a direcção do potencial escorregamento deverá ser paralela à linha de intersecção dos dois planos. Se a direcção do potencial escorregamento não for conhecida, a rugosidade deverá ser avaliada tridimensionalmente (figura 22).



**Figura 21** - Método de determinação bidimensional da rugosidade bidimensional, segundo a direcção do potencial deslizamento (adaptado de Rodrigues, s/d).

No caso do levantamento tridimensional da rugosidade, devem utilizar-se placas de grande diâmetro (40cm) colocadas em 25 posições diferentes (figura 22- a), registando-se em cada um desses pontos a respectiva inclinação. Este procedimento deve ser repetido utilizando placas de menor diâmetro de 5cm, 10cm e 20 cm (figura 22- b). Os dados recolhidos deverão ser projectados numa rede de igual-área (estereograma de “Schmidt-Lambert”), procedendo-se posteriormente ao traçado das respectivas linhas de contorno estrutural (figura 22- c).



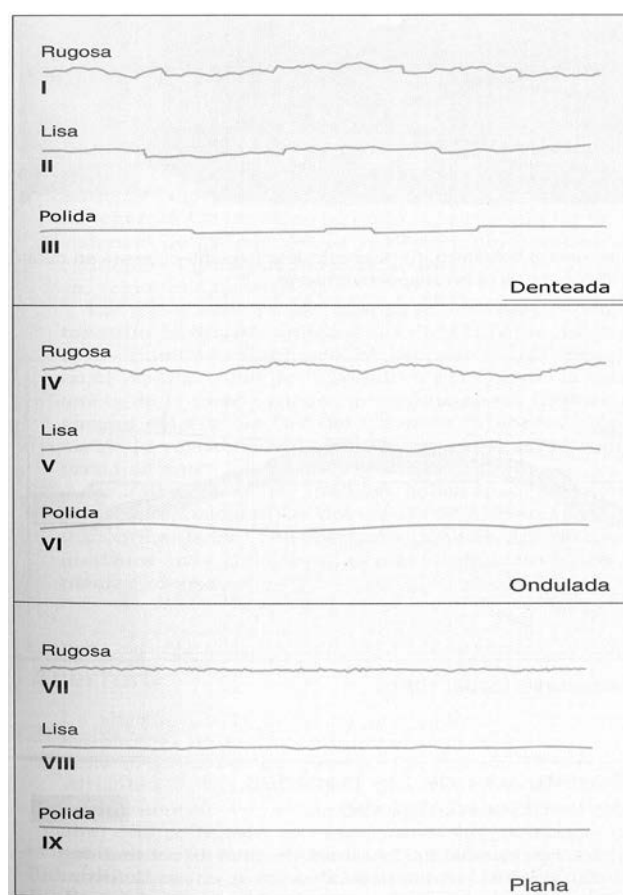
**Figura 22** - Representação tridimensional da rugosidade (adaptado de Rodrigues, s/d).

Durante a fase preliminar do levantamento de campo da rugosidade, poderão existir limitações do tempo disponível para o registo que impedirão a utilização das técnicas referidas anteriormente. A rugosidade pode ser medida no campo a partir de diversos métodos, dependendo, quer da exactidão requerida e da escala de medida, quer da acessibilidade ao(s) afloramento(s).

O método mais expedito é o da comparação visual das discontinuidades com os perfis padrão de rugosidade. A ISRM (1978, 1981) considera que cada um dos três tipos de superfície de discontinuidade (denteada, ondulada ou plana) podem ser ainda subdivididos em três sub-classes: rugosa, lisa e estriada (quadro 9 e figura 23).

**Quadro 9** - Classificação da rugosidade das descontinuidades (adaptado da ISRM, 1981).

Classe	Descrição	Designação	Forma de perfil
I	Rugosa	R <sub>1-2</sub> Pouco rugosa	Denteada
III	Lisa		
III	Estriada		
IV	Rugosa	R <sub>3</sub> Medianamente rugosa	Ondulada
V	Lisa		
VI	Estriada		
VII	Rugosa	R <sub>4-5</sub> Muito rugosa	Plana
VIII	Lisa		
IX	Estriada		



**Figura 23** - Perfis de rugosidade, o comprimento dos perfis está entre 1 e 10 metros (adaptado de ISRM, 1981; González de Vallejo et al., 2002).

### 3.4.5. Resistência da parede das descontinuidades

As características das paredes dos blocos de material-rocha adjacentes à descontinuidade são outro aspecto a ter em conta, por serem condicionantes da sua resistência e das características de condutividade hidráulica. Assim, a resistência à compressão do material-rocha que constitui as paredes das descontinuidades é uma componente muito importante da resistência ao corte e deformabilidade. Especialmente no caso em que as paredes estão em contacto directo, o que acontece, em regra, no diaclasamento fechado. Por isso, recorre-se a uma definição da resistência obtida por meio de correlações com outras propriedades. Assim é habitual analisar o estado de alteração, a dureza determinada com esclerómetro portátil (martelo de Schmidt), ou simplesmente por resposta ao toque com o martelo de Geólogo (quadro 10).

**Quadro 10** - Terminologia para caracterização do estado de resistência (ISRM, 1978).

Grau (R – Rock)	Descrição	Características	Resistência à compressão uniaxial aproximada (MPa)
R <sub>0</sub>	Rocha muito fraca	Marcada pela unha do polegar.	0,25 - 10
R <sub>1</sub>	Rocha fraca (I)	Fragmentada com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo. Pode ser cortada em fatias com um canivete.	1 – 5
R <sub>2</sub>	Rocha fraca (II)	Pode ser cortada em fatias com um canivete com dificuldade. Marcas superficiais obtidas com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo.	5 – 25
R <sub>3</sub>	Rocha razoavelmente resistente	Não pode ser esmigalhada ou cortada em fatias com canivete. Podem-se obter fragmentos de rocha com uma pancada seca do martelo de geólogo.	25 – 50
R <sub>4</sub>	Rocha resistente	Podem-se obter fragmentos dando mais de uma pancada seca com o martelo de geólogo.	50 – 100
R <sub>5</sub>	Rocha muito resistente	Para se obterem fragmentos são necessárias muitas pancadas com o martelo de geólogo.	100 – 250
R <sub>6</sub>	Rocha extremamente resistente	Apenas se obtêm lascas percutindo com o martelo de geólogo.	> 250

As rochas apresentam-se à superfície, normalmente, meteorizadas, e por vezes alteradas por processos hidrotermais. A meteorização (ou alteração meteórica; Aires-Barros, 1991) geralmente afecta as paredes das descontinuidades de um modo mais vincado que o interior da massa rochosa. Resulta daqui a necessidade de avaliar tanto o grau de alteração do maciço rochoso como do material-rocha que constitui a parede. O quadro 11 apresenta uma metodologia qualitativa que permite descrever o grau de alteração meteórica do material rochoso e das descontinuidades.

**Quadro 11** - Descrição do grau de alteração meteórica (ISRM, 1981).

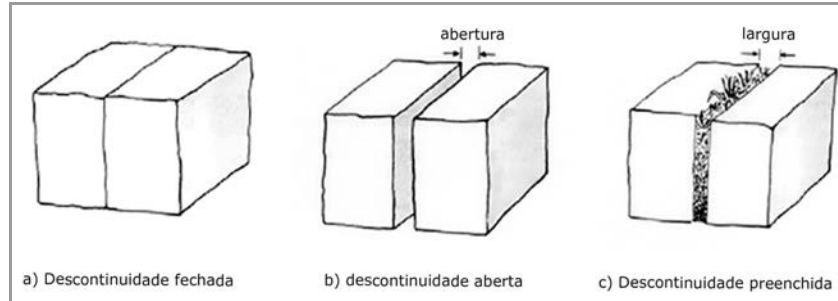
<b>Termo</b>	<b>Descrição</b>
Fresca ou sã	Não se observa sinais de meteorização na matriz rochosa.
Descolorada	Observam-se mudanças na coloração da matriz rochosa.
Desintegrada	A rocha é friável, apesar dos grãos minerais não estarem decompostos, mantendo-se a petrofábrica original.
Decomposta	A maioria dos minerais estão decompostos e não se reconhece a petrofábrica original.

A reduzida espessura da parede rochosa da descontinuidade que afecta a resistência ao corte e deformabilidade pode ser ensaiada por intermédio de ensaios índice de referência. A resistência à compressão uniaxial pode ser estimada de modo expedito por intermédio do esclerómetro portátil (capítulo 3.6.2), do ensaio de carga pontual (*point load test*), ou de outras metodologias qualitativas normalmente utilizadas nos levantamentos geológicos.

Os minerais de cobertura da parede afectam a resistência ao corte das descontinuidades, especialmente quando as paredes são planares e lisas. Neste caso, deve-se sempre que possível descrever o tipo de minerais que constitui a parede. Em caso de dúvidas devem-se colher amostras destas partículas minerais para ensaios laboratoriais. No caso de se utilizar o esclerómetro portátil deve referir-se que a heterogeneidade mineralógica de algumas rochas poderá afectar de forma substancial a previsão da sua resistência à compressão simples.

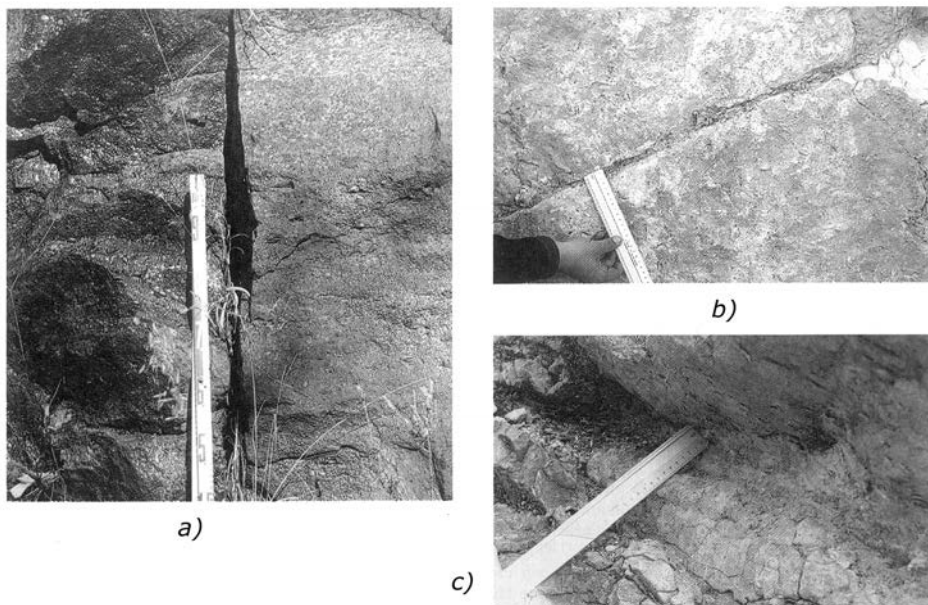
### 3.4.6. Abertura

A abertura é a distância perpendicular que separa as paredes da descontinuidade quando não existe qualquer tipo de enchimento (figura 24).



**Figura 24** - Diagramas que ilustram as definições de abertura de descontinuidades (ISRM, 1978).

Este parâmetro pode ser muito variável em diferentes zonas de um mesmo maciço rochoso. Assim, a abertura pode ser elevada à superfície, enquanto que em profundidade tenderá para se encontrar fechada. A influência da abertura na resistência ao corte das descontinuidades é importante, pois modifica as tensões efectivas que actuam nas suas paredes. A sua medida realiza-se directamente com uma régua graduada (em milímetros). Quando a separação é muito pequena pode-se empregar um calibre que se introduz na abertura (figura 25).



**Figura 25** - Diferentes tipos de abertura: **a)** descontinuidade com grande abertura sem enchimento; **b)** descontinuidade “plana a rugosa”, com abertura e enchimento argiloso; **c)** descontinuidade “ondulada-rugosa” com abertura muito grande e enchimento argiloso (Adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

A ISRM (1978, 1981) propôs que em termos de abertura de descontinuidades, os maciços sejam descritos como se apresenta no quadro 12, sendo cada família estudada individualmente e caracterizada pela média de aberturas após tratamento estatístico.

**Quadro 12** - Abertura de descontinuidades (ISRM, 1978, 1981).

Abertura (mm)	Descrição	
< 0,1	Muito fechadas	
0,1 – 0,25	Fechadas	Fechadas
0,25 – 0,5	Parcialmente abertas	
0,5 – 2,5	Abertas	
2,5 – 10	Medianamente abertas	Entre-abertas
> 10	Abertas	
10 – 100	Muito abertas	
100 – 1000	Extremamente abertas	Abertas
> 1000	Cavernosas	

### 3.4.7. Enchimento

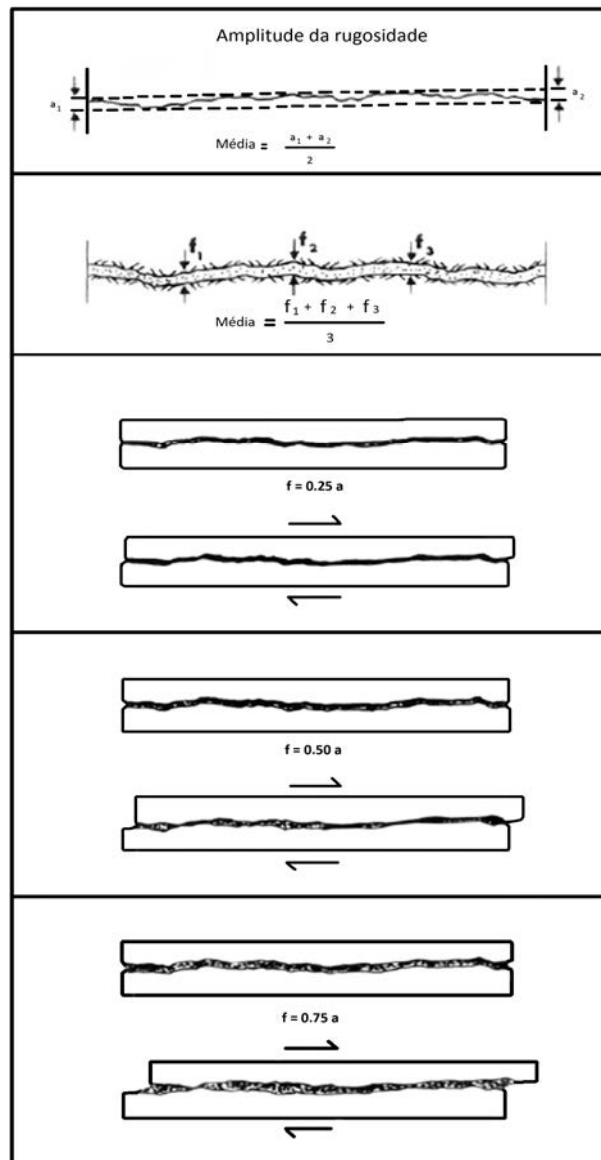
O preenchimento (ou enchimento) de uma descontinuidade pode definir-se como sendo uma camada de baixa resistência de material existente entre as paredes de uma descontinuidade. Em determinadas ocasiões as descontinuidades aparecem com enchimento de materiais brandos argilosos ou com material rochoso de natureza distinta das paredes da descontinuidade. As propriedades físicas e mecânicas do enchimento (como a resistência ao corte, a deformabilidade e a permeabilidade) podem ser muito variáveis, e controlam o comportamento da descontinuidade. A presença de enchimento governa o comportamento físico das descontinuidades, por esta razão devem ser registados todos os aspectos que possam ser relevantes para a compreensão do desempenho destes materiais na mecânica estrutural dos sistemas de descontinuidades.

A ISRM (1978, 1981) propôs que em termos de enchimento a caracterização deve seguir a seguinte metodologia:

- A espessura do enchimento medida directamente com uma régua graduada.
- A descrição do enchimento inclui a identificação do material, descrição mineralógica e tamanho do grão.

- A resistência pode-se estimar mediante os índices de campo (estimativa aproximada e classificação da resistência à compressão simples dos solos e rochas a partir de índices de campo (ISRM, 1981) – quadro 10).
- Deve indicar-se o grau de humidade, e estimar-se qualitativamente a permeabilidade do material de enchimento.

A espessura do preenchimento mínima e máxima de descontinuidades preenchidas deve ser medida com um erro máximo de 10 %. A diferença entre a espessura mínima e máxima pode dar indicações sobre se no deslocamento por corte ocorrido, as paredes são essencialmente alteradas ou intactas. No caso em que os preenchimentos são pouco espessos pode ser útil tentar medir a amplitude média da rugosidade das paredes e comparar com a espessura média do material de preenchimento, tal como ilustra a figura 26.



**Figura 26** - Estimativa do grau de deslocamento possível de uma descontinuidade até que atinja o contacto das paredes, baseada na avaliação da amplitude da rugosidade e espessura do preenchimento (adaptado de Rodrigues, s/d).

### 3.4.8. Estado de alteração

A alteração de uma rocha consiste na sua desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, que transformam essa rocha noutro produto natural, agora em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente (Aires-Barros, 1991). A determinação do estado de alteração de um maciço rochoso ou do material-rocha, é também um factor importante a considerar. Este aspecto pode ser determinado de uma maneira quantitativa, recorrendo à medição de parâmetros como a resistência da rocha, a velocidade de propagação de ultra-sons (*e.g.*, ensaios geofísicos de refração sísmica) ou outros. A ISRM (1978, 1981) propôs que os graus

de alteração a considerar fossem constituídos por 5 termos, enquanto que a GSE (1995) considera 6 termos. No entanto, considera-se em geotecnia (ISRM, 1981), frequentemente, a utilização de uma versão simplificada com 3 termos (quadro 13).

Na versão simplificada, as três classes poderão ter as seguintes designações (ISRM, 1981):

$W_{1-2}$  – rocha são a pouco alterada

$W_3$  – rocha medianamente alterada

$W_{4-5}$  – rocha muito alterada a decomposta

**Quadro 13** - Graus de alteração propostos pela ISRM (1981).

Símbolos	Designações	Características
$W_1$	São ou não alterada	Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa.
$W_2$	Ligeiramente alterada	Mudanças na cor original da matriz rochosa (descoloração). Registrar qual o mineral com mudança de coloração e se possível indicar o grau de descoloração.
$W_3$	Moderadamente alterada	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, mantendo-se a petrofábrica original.
$W_4$	Muito alterada	Mais de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo. A rocha é muito friável.
$W_5$	Completamente alterada	Todo o material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo residual.

### 3.4.9. Percolação

A percolação de água através das massas rochosas resulta sobretudo do fluxo de água pela rede de descontinuidades (permeabilidade secundária). No caso de certos maciços rochosos de natureza sedimentar a permeabilidade primária do material rocha pode ser significativa, dado que uma parte da percolação ocorre pelos vazios da rocha.

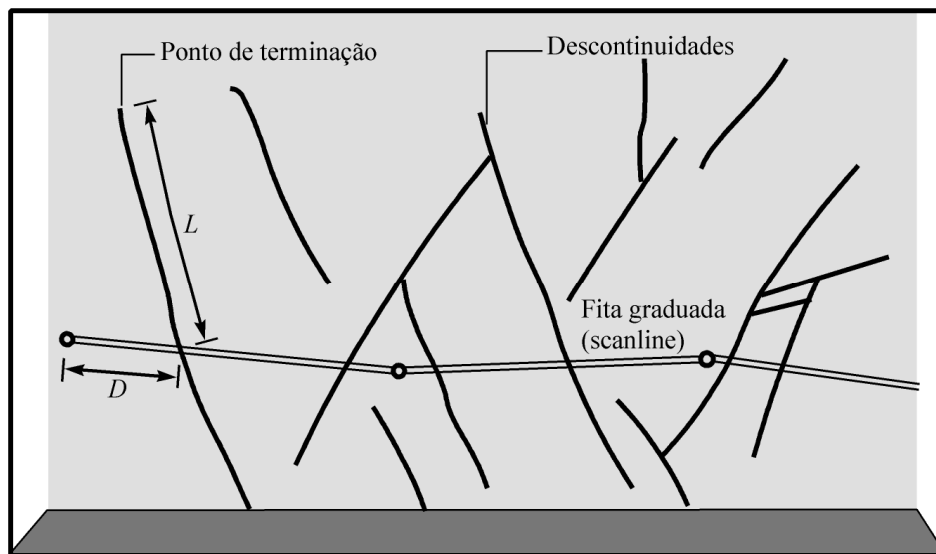
A previsão da posição dos níveis freáticos, assim como dos caminhos de percolação e a pressão da água nos poros, dão-nos muitas vezes indicações da existência de potenciais problemas de estabilidade e de dificuldades construtivas. O levantamento geológico do maciço rochoso deve ser sempre precedido de recomendações relativas ao tipo de ensaios de

permeabilidade que devem ser executados, de tal forma que os factores enunciados anteriormente sejam atendidos.

### 3.5. Técnica de amostragem linear aplicada a superfícies de descontinuidades

#### 3.5.1. Traços gerais da técnica

Seguidamente, e de uma forma breve, descreve-se a técnica de amostragem linear de superfícies de descontinuidades ocorrentes numa face exposta do maciço rochoso (figura 27). Esta técnica está descrita, entre outros, por Priest & Hudson (1981), Hudson & Priest (1983), Chaminé & Fernandes (1995), Peacock et al. (2003) e Brady & Brown (2004). Com esta técnica não se pretende efectuar o levantamento exhaustivo de todas as descontinuidades ocorrentes numa dada face exposta de rocha, mas sim obter dados a partir dos quais se poderão extrapolar as características de compartimentação da zona em estudo. Em Portugal esta técnica foi aplicada, (por exemplo), num contexto geológico e geotécnico e num tipo de obra diferente deste trabalho (por exemplo, Lamas, 1989; Dinis da Gama et al., 1992; Chaminé & Fernandes, 1995; Chaminé et al., 2001; Espinha Marques et al., 2004).



**Figura 27** - Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear (adaptado de Brady & Brown, 2004). **D** – distância à origem da fita; **L** – semi-comprimento exposto.

A técnica de amostragem linear consiste, basicamente, na colocação de uma fita graduada em faces expostas do maciço e no registo de algumas características (geométricas e mecânicas) de todas as descontinuidades por ela intersectadas. Para cada descontinuidade que intersecta a linha de amostragem registam-se as seguintes grandezas (ISRM, 1978, 1981; Brady & Brown, 2004):

- **D:** distância à origem da fita graduada;
- **L:** semi-comprimento exposto, ou seja, o comprimento visível da intersecção da descontinuidade com a face de rocha, apenas para um dos lados da fita graduada;
- **T:** tipo de terminação que apresenta a extremidade da descontinuidade (R: na rocha; D: noutra descontinuidade; O: obscura);
- Atitude da descontinuidade (direcção/inclinação) medida junto ao ponto de intersecção da linha de amostragem com a descontinuidade;
- **C:** curvatura, numa escala de  $C_1$  a  $C_5$ , em que  $C_1$  representa superfícies planas e  $C_5$  superfícies muito curvas;
- **R:** rugosidade, numa escala de  $R_1$  a  $R_5$ , representando  $R_1$  uma superfície lisa e  $R_5$  uma superfície muito rugosa.

Além destas grandezas podem ser ainda eventualmente registadas outras características das descontinuidades, tais como abertura, tipo de preenchimento, presença de água e qualquer outra característica que se entenda relevante.

Todos os dados respeitantes a cada linha de amostragem são devidamente registados numa ficha de levantamento de descontinuidades da qual constam, além das grandezas já mencionadas, as seguintes:

- *Número da linha de amostragem;*
- *Localização da linha de amostragem;*
- *Atitude da linha de amostragem;*
- *Direcção do hasteal (ou talude) estudado;*
- *Litologia;*
- *Grau de alteração;*
- *Data do levantamento;*
- *Rubrica do responsável pelo levantamento.*

A figura 28 representa a ficha tipo de levantamento geológico-geotécnico e geomecânico de campo, com aplicação da técnica de amostragem linear.

**GEOMECÂNICA**

**FICHA DE LEVANTAMENTO N° \_\_\_\_\_**

Orientação: \_\_\_\_\_ do Perfil \_\_\_\_\_  
 da "Scanline" \_\_\_\_\_  
 Localização: \_\_\_\_\_  
 Coordenadas do Ponto de Origem da Fita: \_\_\_\_\_ Nome: \_\_\_\_\_  
 Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Rubrica: \_\_\_\_\_

Descontinuidade n°	Distância à origem (m) D	Litologia	Alteração		Atitude Dir./Inc.	Tipo de descontinuidade	Abertura	Espaçamento (cm) F	Comprimento L	Terminação T	Curvatura C	Rugosidade R	Enchimento	Presença de água	Tipo de Cunha Fav./Desf.	Observações
			Tipo	Class.												

**Figura 28** - Ficha tipo de levantamento geológico-geotécnico e geomecânico de campo, com aplicação da técnica de amostragem linear.

### 3.5.2. Tratamento estatístico das descontinuidades

Um dos principais problemas no estudo e caracterização de descontinuidades está relacionado com a sua amostragem. Muitos autores, entre os quais Priest & Hudson (1981), Hudson & Priest (1983), Priest (1993) e Peacock et al. (2003), debruçaram-se sobre a temática da sua descrição de uma forma estatística. Para o efeito foram desenvolvidos modelos estatísticos principalmente para as características geométricas das descontinuidades e foram mesmo avançados modelos para a descrição das características mecânicas. Nesta técnica é muito importante o conhecimento do espaçamento e extensão de um conjunto de descontinuidades de um dado maciço rochoso. Priest & Hudson (1981) estabeleceram uma análise estatística aprofundada das referidas características, que passaremos a analisar.

### 3.5.3. Espaçamento e frequência das descontinuidades

Para cada família, o espaçamento entre as descontinuidades será calculado por subtração das distâncias à origem da fita graduada.

A expressão que traduz o valor médio do espaçamento é dada (Priest & Hudson, 1981):

$$X = (\sum x_i) / n \quad [7]$$

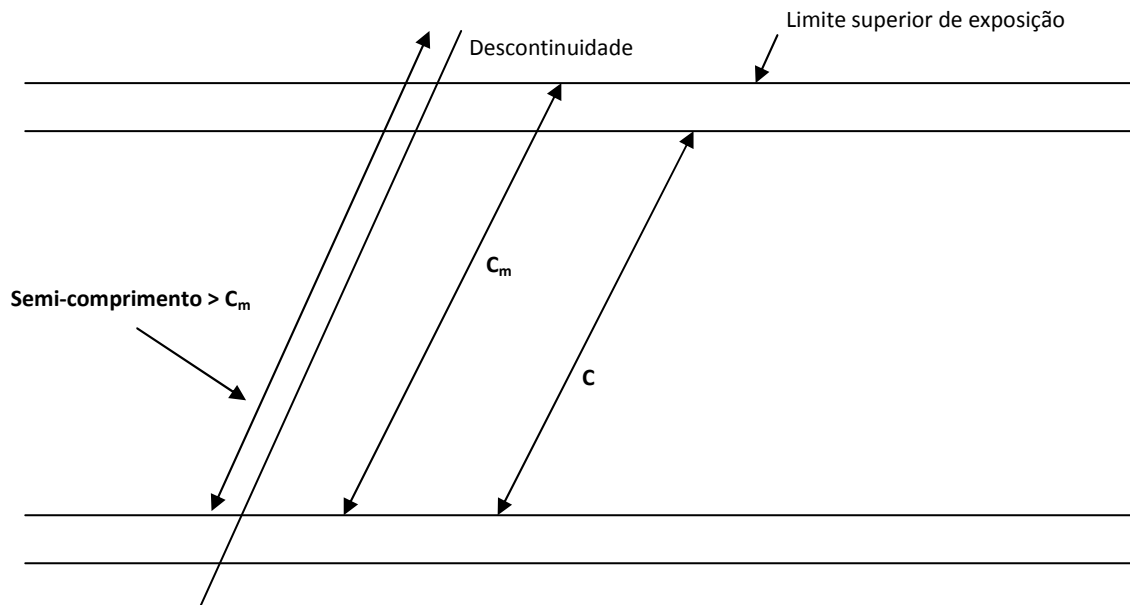
em que,  $x_i$  é a medida de espaçamento obtida ao longo de uma linha de amostragem de comprimento L com n valores de espaçamentos.

A frequência média das descontinuidades designa-se como a média do número de descontinuidades levantadas por unidade de comprimento ao longo de uma linha de amostragem, sendo por esta razão recíproca da média do espaçamento. A frequência média é, então, uma medida do “grau de fracturação” (Chaminé et al., 2001) da rocha ao longo de referida linha numa dada direcção.

Para uma amostra de grande dimensão vem:  $1/X = n/X \cong \lambda$ , em que  $\lambda$  representa a frequência média das descontinuidades para uma dada população.

### 3.5.4. Extensão das descontinuidades

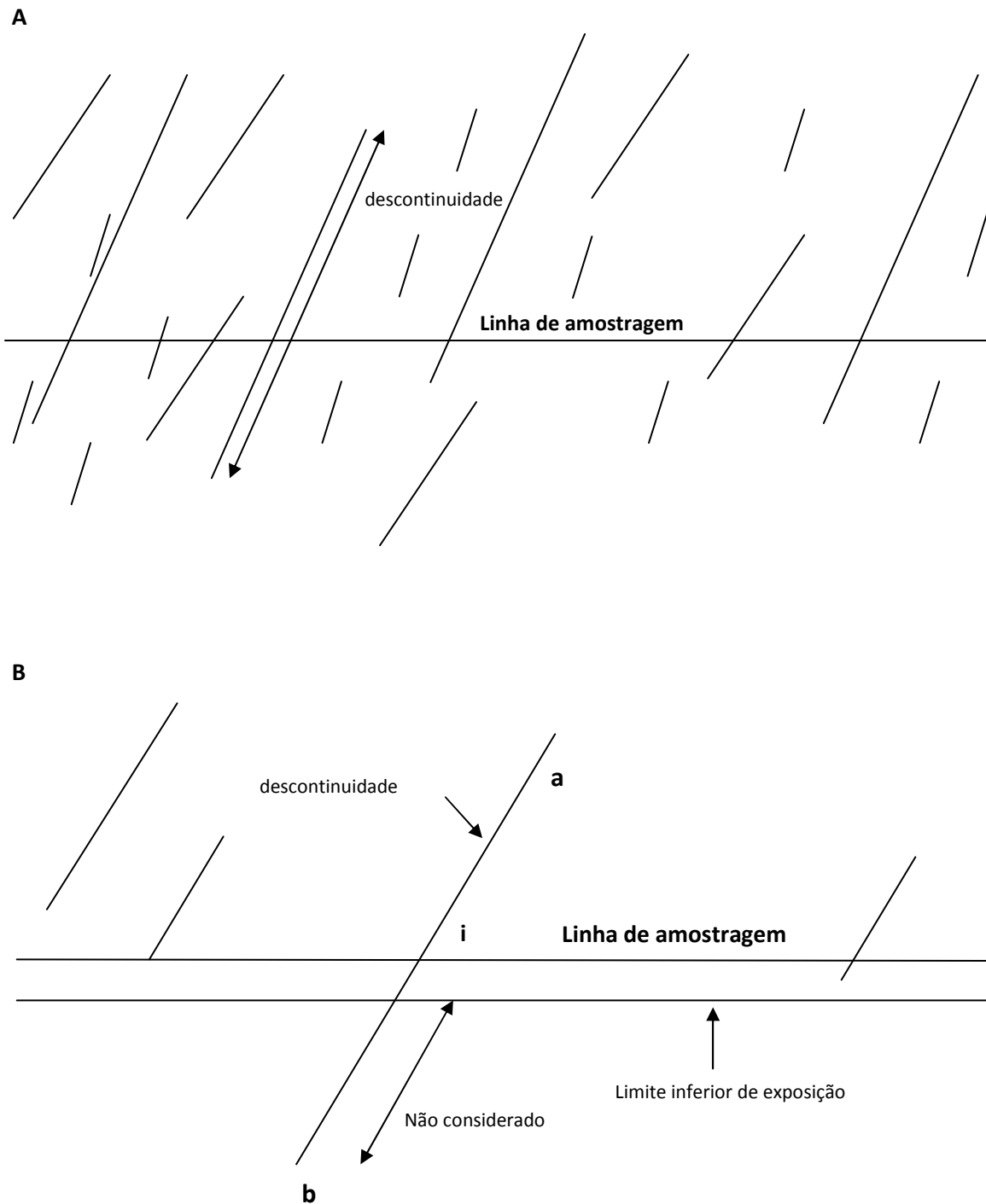
Como foi referido para cada descontinuidade será medido o seu semi-comprimento (Brady & Brown, 2004). Tal procedimento justifica-se visto as linhas de amostragem se situarem muito próximo do solo onde se está a fazer as leituras. Dado que as dimensões das faces expostas de rocha por vezes são limitadas, apenas se poderá medir os semi-comprimentos até um valor máximo  $C_m$  (figura 29).



**Figura 29** - Medição dos semi-comprimentos (adaptado de Priest & Hudson, 1981).  $C_m$  – representa o valor do limite máximo observável do semi-comprimento;  $C$  – representa o valor de um semi-comprimento arbitrário, mas  $< C_m$ .

A partir das medições dos semi-comprimentos, pelo processo descrito, nas superfícies expostas da rocha obtêm-se os valores dos comprimentos médios para cada família. A utilização do referido método, elimina as restrições impostas por (figura 30):

- As descontinuidades mais extensas terem uma maior probabilidade de serem amostradas do que as menos extensas;
- Se medirem apenas semi-comprimentos;
- Haver um limite  $C$  para a medição dos semi-comprimentos;



**Figura 30** - Esquemas representativos dos traços de descontinuidades que intersectam uma linha de amostragem numa face exposta de rocha (adaptado de Priest & Hudson, 1981) **A.** Caso duma linha de amostragem intersectada por uma família de descontinuidades que tendo vários limites de extensão produzem semi-comprimentos de vários tamanhos; **B.** Caso de uma descontinuidade aleatoriamente intersectada [ba] em que por a linha de amostragem se encontrar próxima do limite inferior de exposição apenas será, normalmente, possível medir o semi-comprimento [ia] cuja extremidade [a] é visível.

### 3.6. Caracterização geomecânica

#### 3.6.1. Ensaio de “Los Angeles”

O Índice de desgaste é um valor que está relacionado com a resistência à abrasão por meios mecânicos e também com a capacidade resistente dos agregados. A sua principal importância reside na determinação das características dos agregados que irão ser utilizados em misturas betuminosas.

A norma NP EN1907-2 (2002), estabelece o procedimento para determinar a resistência ao desgaste dos agregados de densidades normais. O método consiste em analisar granulometricamente um agregado grosseiro, isto é, preparar uma amostra de agregado britado, 5000g, passadas na fracção 10/14mm de modo a obter uma porção que será submetida ao ensaio de abrasão na máquina *Los Angeles* (figuras 31 e 32) expressar a perda de material ou desgaste, como a percentagem de massa perdida durante o ensaio em relação à de massa da amostra inicial.



**Figura 31** - Máquina de Los Angeles (Francisco Pereira Marinho & Irmão, S.A; Fontelo).



**Figura 32** - Esferas de aço - carga abrasiva (Francisco Pereira Marinho & Irmão, S.A; Fontelo).

#### Equipamento necessário para o ensaio:

- a. **Máquina Los Angeles:** Tambor com cerca de  $710 \pm 6$  mm de diâmetro interior e  $510 \pm 6$  mm de comprimento montado horizontalmente sobre umas hastes verticais, onde uma das quais deve possuir um dispositivo que permita a acoplamento de um motor que promoverá a rotação da máquina. No corpo cilíndrico existe uma abertura para introduzir a amostra, que posteriormente será selado com uma tampa provida de dispositivos que permitam fixá-la firmemente com vista a garantir o isolamento do conjunto. A rotação do corpo cilíndrico deve compreender uma velocidade tal que lhe permita uma frequência compreendida entre 31 e 33 rotações por minuto.

- b. **Balança**: Com uma capacidade superior a  $10 \pm 1$  kg e uma precisão igual ou maior a 0.1% da massa pesada.
- c. **Peneiros**: De chapa perfurada e de malha quadrada, com as aberturas de 14 mm, 12,5 mm e 10 mm.
- d. **Estufa**: Que permita a secagem da amostra a uma temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C.
- e. **Esferas de aço** : Carga abrasiva constituída por 11 esferas de aço, cada uma com um diâmetro compreendido entre 45mm e 49mm e uma massa compreendida entre 440 g e 445 g; a massa total da carga abrasiva deve estar compreendida entre 4690 g e 4860 g.

### **Procedimento**

O ensaio deve ser efectuado sobre o agregado passado no peneiro de 14 mm e retido no de 10 mm. Peneirar a amostra laboratorial nos peneiros de 10 mm, 12.5 ou 11.2 mm e 14 mm para obter fracções separadas nos intervalos 10 mm a 12.5 ou 11.2 mm (cerca de 1750 g) e 12.5 ou 11.2 mm a 14 mm (cerca de 3250 g).

Lavar separadamente cada fracção e secá-las na estufa a uma temperatura de  $110 \pm 5$ °C até massa constante. Uma vez que o teor de humidade se mantenha constante, deixar arrefecer a amostra até à temperatura ambiente. Misturar as duas fracções para obter um a amostra laboratorial modificada de 10 a 14 mm, conforme as proporções dadas em cima. Se necessário reduzir a amostra laboratorial modificada proveniente da mistura, de modo a que a massa da amostra para ensaio seja igual a  $5000 \pm 5$  g.

### **Execução do ensaio**

1. Colocar, com precaução, a carga abrasiva na máquina, depois de introduzir a amostra. Colocar a tampa na abertura e fazer a máquina rodar 500 voltas, a uma velocidade constante de 31 r.p.m. a 33 r.p.m..
2. Posteriormente, descarregar os materiais para um tabuleiro colocado debaixo do aparelho, e retirar as esferas.
3. Peneirar a amostra no peneiro de 1.6 mm, desprezando todo o material que passa através deste.

## Análise de resultados

Seja  $m_i$  a massa da amostra, expressa em gramas, e  $m_f$  a massa do material retido no peneiro de 1.6 mm, também expressa em gramas, então a percentagem de perda por fragmentação (LA) na máquina *Los Angeles* será:

$$LA = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100\% \quad [8]$$

A percentagem de perda por fragmentação (LA) apresentam-se arredondado ao número inteiro mais próximo.

### 3.6.2. Esclerómetro Portátil

O esclerómetro portátil (ou *Martelo de Schmidt*) foi desenvolvido em 1948 como ensaio de natureza não destrutiva de dureza do betão (Schmidt, 1951), e foi usado, mais tarde, para calcular a resistência das rochas (Cargill & Shakoor, 1990). No que diz respeito à resistência, embora as características de deformabilidade do maciço rochoso sejam essencialmente dependentes das discontinuidades, é de grande utilidade o seu conhecimento da material-rocha, especialmente quando se trata de maciços de fraca qualidade geomecânica.

Este ensaio permite estimar de forma aproximada a resistência à compressão simples, sendo aplicado fundamentalmente à matriz rochosa e também às discontinuidades. A aplicabilidade deste ensaio é bastante elevada devido à sua simplicidade, rapidez e fácil portabilidade (figura 33).

A determinação da resistência à compressão uniaxial é determinada, em geral, a partir de ensaios de laboratório ou de campo (*e.g.*, ISRM, 1981; Katza et al., 2000; Kahraman, 2001; Kahraman et al., 2002). A determinação do índice de resistência à carga pontual, recorrendo à determinação da dureza com o *martelo de Schmidt*, pode conduzir à estimativa do valor da resistência uniaxial. Porém, outros autores descobriram uma série de aplicações específicas para este equipamento. Entre estas aplicações estão incluídas a avaliação das discontinuidades das rochas (Hucka, 1965), a avaliação e o controlo dos tectos de minas (Brady & Brown, 2004) e a resistência das paredes das discontinuidades (Hart & Wang, 1995).



**Figura 33** - Esclerómetro portátil ([www.proceq.com](http://www.proceq.com)).

O *martelo de Schmidt* é projectado para níveis diferentes de energia de impacto, mas os modelos, geralmente, adoptados para a determinação das propriedades dos geomateriais são os modelos L e N. O tipo L, tem uma energia de impacto de  $0.735 \text{ N/mm}^2$ , sendo o martelo mais utilizado em estudos de maciços rochosos, em relação ao martelo do tipo N, tem uma energia de 10 a  $70 \text{ N/mm}^2$  sendo mais utilizado em estudo de betões.

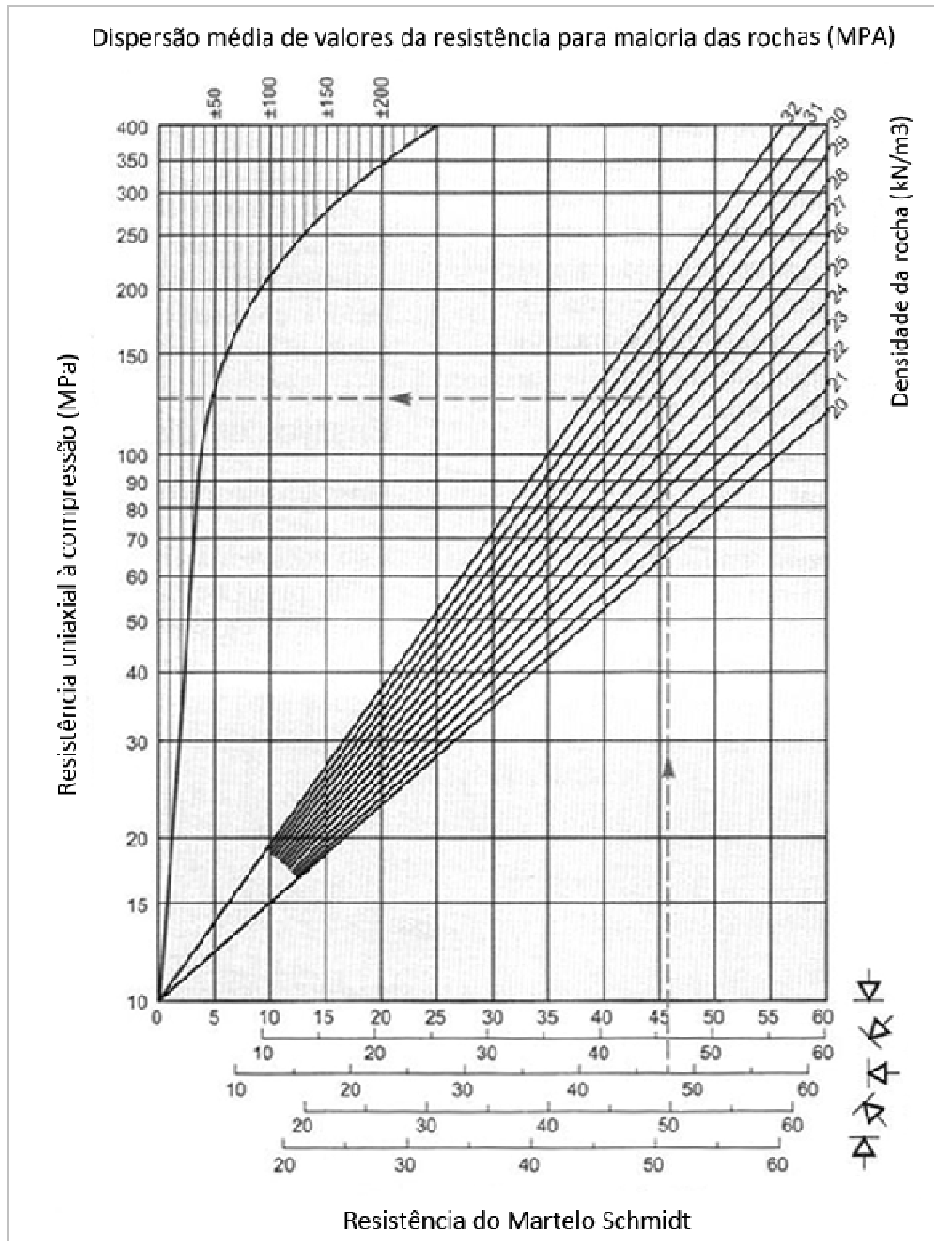
A determinação da resistência à compressão uniaxial do maciço rochoso avalia a dureza do material-rocha através da medição do ressalto de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície da rocha (figura 34). Para a realização do ensaio deve-se limpar a zona a ensaiar, estando livre de fissuras e fendas, e eliminar a pátine de rocha meteorizada.

Na execução do ensaio, o aparelho deverá ser colocado o mais perpendicularmente possível à superfície estrutural a ser ensaiada. Em função da dureza (ou resistência) da rocha, a massa de aço sofre maior ou menor ressalto, registando-se de seguida o valor do ressalto numa escala do aparelho (0 – 100).



**Figura 34** - Exemplo de ensaio com *martelo de Schmidt*.

A medição do ressalto correlaciona-se com a resistência do maciço, mediante o ábaco de Miller (figura 35), que tem em conta a densidade da rocha e a orientação do martelo em relação à superfície de rocha e/ou à descontinuidade ensaiada.



**Figura 35** - Ábaco de Miller para o cálculo da resistência a partir do *martelo Schmidt* (segundo de González de Vallejo et al., 2002).

O valor estimado a partir do *martelo de Schmidt* deve ser obtido estatisticamente, de tal forma, que seja um valor representativo da resistência em causa. Assim, a ISRM (1981) recomenda a realização de 10 medições em cada superfície ensaiada, tomando como valor representativo a média dos 5 valores mais elevados. O quadro 14 representa a ficha de registo das medições efectuadas em cada estação.

**Quadro 14** - Exemplo do registo das medições do Martelo de Schmidt.

Martelo de Schmidt							
Estações	Tipo de unidade geológica	Densidade da rocha (kn/m <sup>3</sup> )	Leituras efectuadas dureza de Schmidt (r)	Leituras máximas	Média das leituras máximas	Resistência à compressão simple (MPa)	Símbolo designação

Com o valor médio obtido e conhecida a densidade média do material-rocha, e recorrendo ao ábaco de Miller consegue-se obter o valor da resistência à compressão uniaxial,  $\sigma_c$ , para o material ensaiado, para esse valor é atribuída uma classificação (quadro 15).

**Quadro 15** - Classificação do maciço com base na Resistência à compressão simples (ISRM, 1978, 1981).

Classificação	Resistência à Compressão Simples (MPa)	Designação	
S <sub>1</sub>	> 200	Muito elevada	S <sub>1-2</sub>
S <sub>2</sub>	60 a 200	Elevada	Elevada
S <sub>3</sub>	20 a 60	Média	S <sub>3</sub>
S <sub>4</sub>	6 a 20	Baixa	S <sub>4-5</sub>
S <sub>5</sub>	< 6	Muito baixa	Baixa



***IV. AVALIAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DA  
PEDREIRA S.DOMINGOS N.º 2***



## **4 AVALIAÇÃO GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DA PEDREIRA S. DOMINGOS N.º 2**

### **4.1. Considerações iniciais**

O presente estudo constitui uma síntese das condições geológicas, geotécnicas e geomecânicas da pedreira de S. Domingos N.º 2 (localidade de Fontelo, concelho de Armamar) e cadastrada com o N.º 3864. A pedreira referida pertence à empresa FRANCISCO PEREIRA MARINHO & IRMÃOS, S.A. – CONSTRUÇÃO (FPMI), com sede no lugar do Relógio do Sol, concelho de Lamego. O grupo FPM é uma empresa de referência na área da Construção Civil e Obras Públicas na região Norte, empregando cerca de 150 trabalhadores activos e tendo sido considerada, em 2004, a melhor PME pela revista EXAME-EMPRESA.

O referido estudo integra-se numa colaboração, iniciada em 2005, entre a FPMI e o Departamento de Engenharia Geotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (DEG|ISEP). Este trabalho pretende constituir uma caracterização geológico-geotécnica de referência sobre a pedreira de S. Domingos N.º 2, na perspectiva de servir para os estudos, em curso, ao nível da marcação CE e de impacto ambiental, bem como ser um instrumento para contribuir para uma gestão mais racional do georrecurso. Em Abril de 2005 foi emitido, a pedido da FPMI, um relatório geológico-geotécnico preliminar sobre a pedreira de S. Domingos N.º 2, elaborado pelo signatário e coadjuvado pelo colega Pedro N. Moreira (FPMI, 2004).

### **4.2. Introdução**

O presente estudo destina-se à identificação dos principais constrangimentos geológicos, geotécnicos e geomecânicos da Pedreira de S. Domingos N.º 2 (também conhecida, localmente, por pedreira de Fontelo), situada a NE do vértice geodésico (v.g.) Cabeço de S. Domingos, situado na freguesia de Fontelo, do concelho de Armamar do distrito de Viseu.

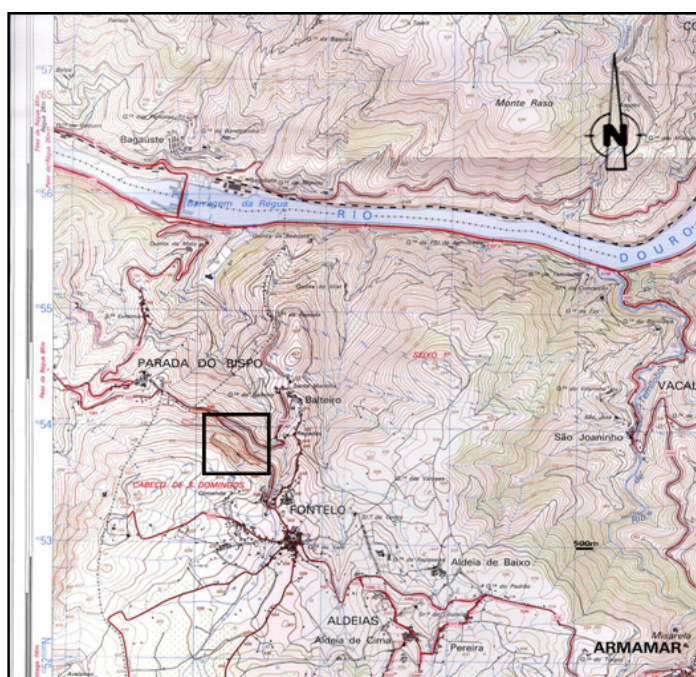
A Pedreira de S. Domingos N.º 2 possui uma área aproximada de 6 hectares, encontrando-se presentemente em actividade, estando toda a sua produção de agregados destinada à construção civil e obras públicas. Todo este empreendimento dispõe de um vasto conjunto de infraestruturas que apoiam toda a actividade extractiva, entre os quais:

- Posto de transformação de electricidade.
- Depósito de combustível fixo.
- Oficina.
- Instalação de britagem e tratamento de agregados.



A área total do concelho é de 117 km<sup>2</sup>, tendo cerca de 7.356 habitantes distribuídos por 19 freguesias (dados referentes ao ano 2001; [www.ine.pt](http://www.ine.pt)). A freguesia de Fontelo apresenta uma área de 7,5 km<sup>2</sup> e com cerca de 816 habitantes residentes (dados referentes ao ano 2001; [www.ine.pt](http://www.ine.pt)). A localização do concelho permitiu um certo desenvolvimento da rede viária. Esta potencialidade contribuiu para a localização de algumas das principais vias nacionais, como o Itinerário Principal (I.P.) nº 3. O concelho de Armamar ocupa, do ponto de vista geomorfológico, uma superfície essencialmente aplanada referida por Brum Ferreira (1978) como superfície fundamental.

A actividade extractiva desenvolve-se sobre uma encosta de declive acentuado, com orientação predominante de NE, entre as cotas 600 e 480m, junto à estrada secundária N°313 que liga a localidade de Parada do Bispo e a Vila de Armamar (figura 38). A zona extractiva situa-se junto ao rio Douro pertencente à bacia hidrográfica do Douro (figura 37).



**Figura 37** - Localização da pedreira de S. Domingos Nº 2 (IGeoE, 1998)

A área em exploração encontra-se praticamente desprovida de vegetação, notando-se a presença de pequenos núcleos arbóreos, ainda jovens, em zonas de exploração entretanto abandonadas (figura 39). A temperatura média na zona da pedreira de S. Domingos Nº 2 é de 7.5°C - 10°C. A precipitação total anual nesta região varia entre 500mm e 1000 mm. A humidade relativa do ar situa-se, aproximadamente, entre os 70% a 75%.



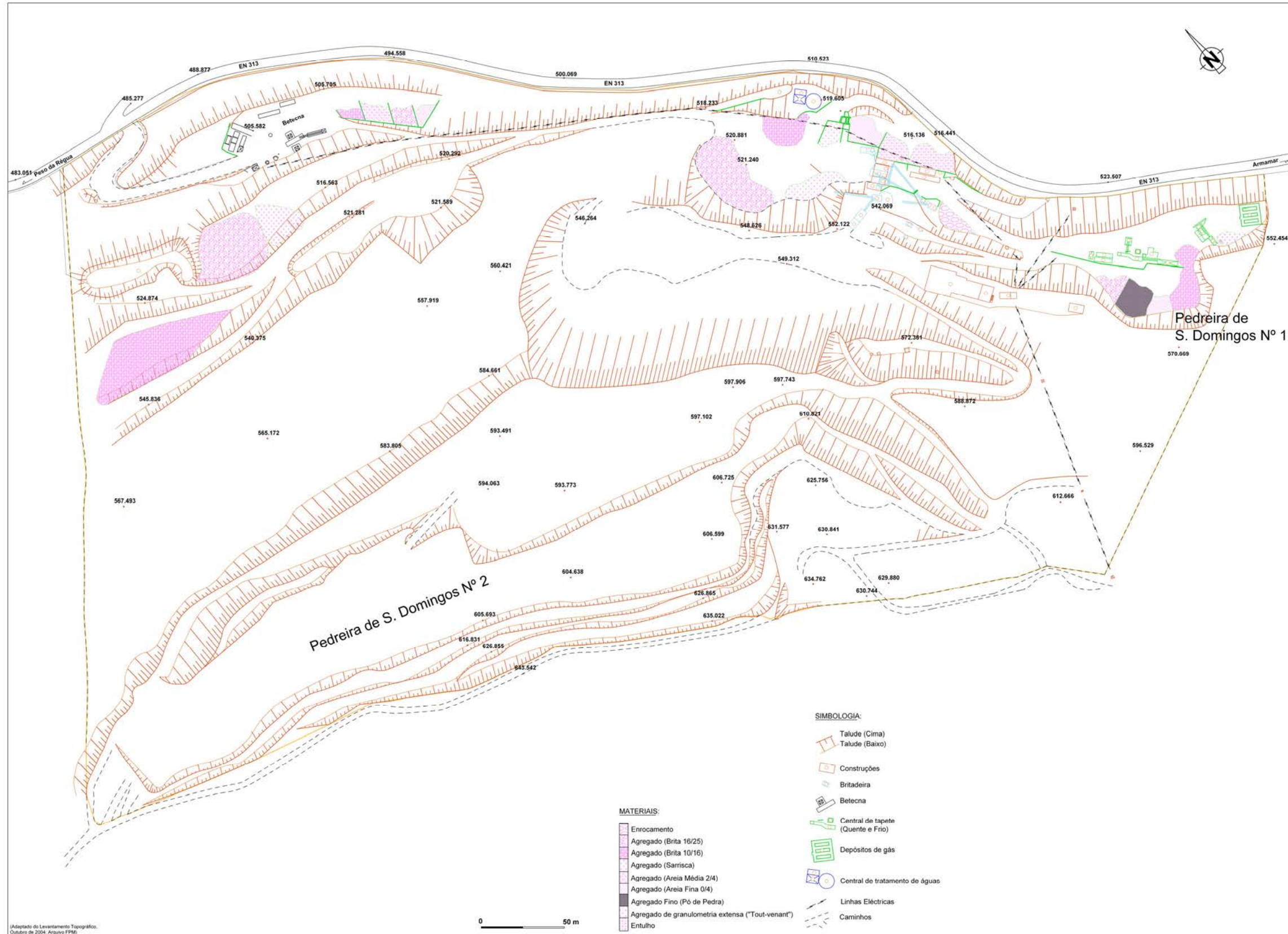


Figura 38 – Planta topográfica da pedreira de S. Domingos Nº 2 (adaptado do arquivo FPM).





**Figura 39** - Fotografia aérea do local da pedreira de S. Domingos Nº 2, Fontelo ([www.lusiglob.pt](http://www.lusiglob.pt) e arquivo FPM). Panorâmica da Pedreira de Fontelo (Março'2010).

#### **4.4. Metodologias e técnicas**

Neste relatório tentou-se, na medida do possível, seguir em termos de procedimentos, normas e terminologia a ter em linha de conta em qualquer obra de Engenharia Civil e em estudos de prospecção geológica-geotécnica, a saber:

- “Eurocódigo 7: Projecto geotécnico” (Matos Fernandes, 2000);
- “Basic Geotechnical Description of Rock Masses”, referenciada simplesmente por BGD, proposta pela “International Society for Rock Mechanics” (ISRM, 1981), para a caracterização geológico-geotécnica de maciços rochosos (ISRM, 1978, 1981), bem como os procedimentos ligados à hidrogeotecnia propostos pelo “Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow” (CFCFF, 1996) e os estudos sobre o grau de alteração dos maciços rochosos (GSE, 1995);
- Técnicas e métodos de campo propostos por Ferrer & González de Vallejo (1999) e pela técnica de amostragem linear aplicada a estudos geológico-geotécnicos (Chaminé & Gaspar, 1995; Chaminé et al., 2001).

Na impossibilidade, do ponto de vista prático, de estudar exaustivamente a compartimentação do maciço rochoso na totalidade da área envolvente da pedreira de S. Domingos Nº 2, optou-se por realizar esse estudo a partir de uma amostragem expressiva que fosse representativa de todo o maciço. Dado que a amostragem, do ponto de vista cartográfico, deve ser realizada, de preferência, sobre as superfícies expostas de taludes com características lineares (i.e., dispostos segundo direcções definidas por vias de comunicação, ferroviária ou rodoviária), adoptou-se a técnica da amostragem linear.

A técnica de amostragem linear consiste, basicamente, na colocação de uma fita graduada em faces expostas do maciço e no registo de algumas características (geométricas e mecânicas) de todas as discontinuidades por ela intersectadas. Uma descrição metodológica da técnica encontra-se, por exemplo, em Brady & Brown (2004) e em Chaminé & Gaspar (1995). Na sua aplicação à área do maciço granítico da pedreira de S. Domingos N.º2 optou-se pela colocação de uma fita graduada (em metros) nos painéis (taludes) a serem cartografados a, aproximadamente, 1.50m do solo. Para cada painel analisado, depois de colocada a fita graduada a partir da origem de cada linha de amostragem, foram cartografadas de uma forma sistemática todas as discontinuidades (diaclases, falhas e, mais raramente, estruturas filonianas) que intersectavam essa linha de amostragem. Cada uma das discontinuidades foi descrita e registada nas fichas de levantamento segundo a classificação geotécnica da BGD (“Basic Geotechnical Description of Rock Masses”) proposta pela ISRM (1981). Os parâmetros geológico-geotécnicos determinados para a caracterização das discontinuidades do maciço foram, essencialmente, os seguintes: a atitude, o espaçamento, a continuidade ou persistência, o preenchimento e a rugosidade. Procedeu-se, também, a uma caracterização preliminar das condições hidrogeológicas do maciço.

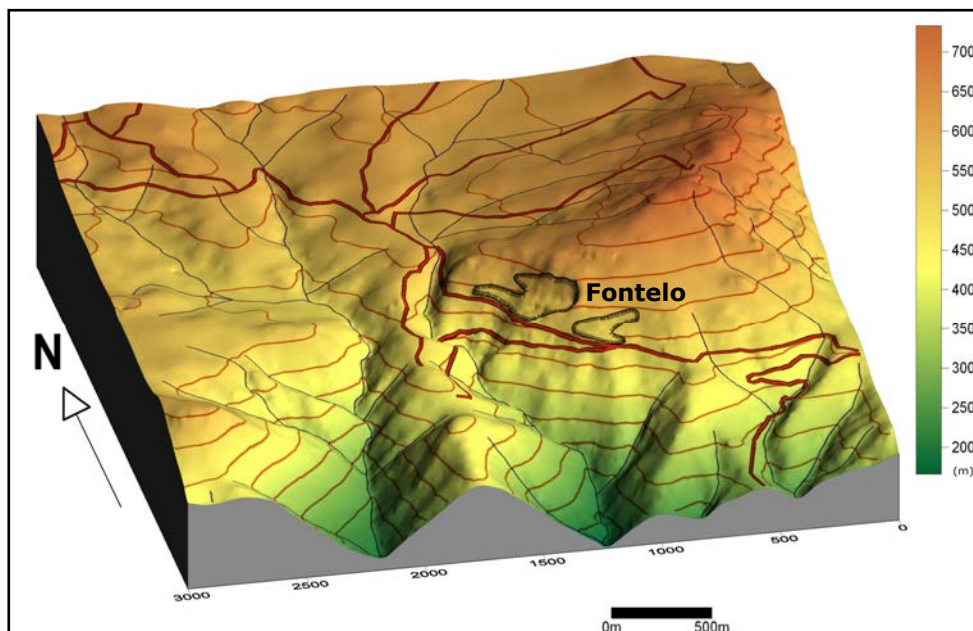
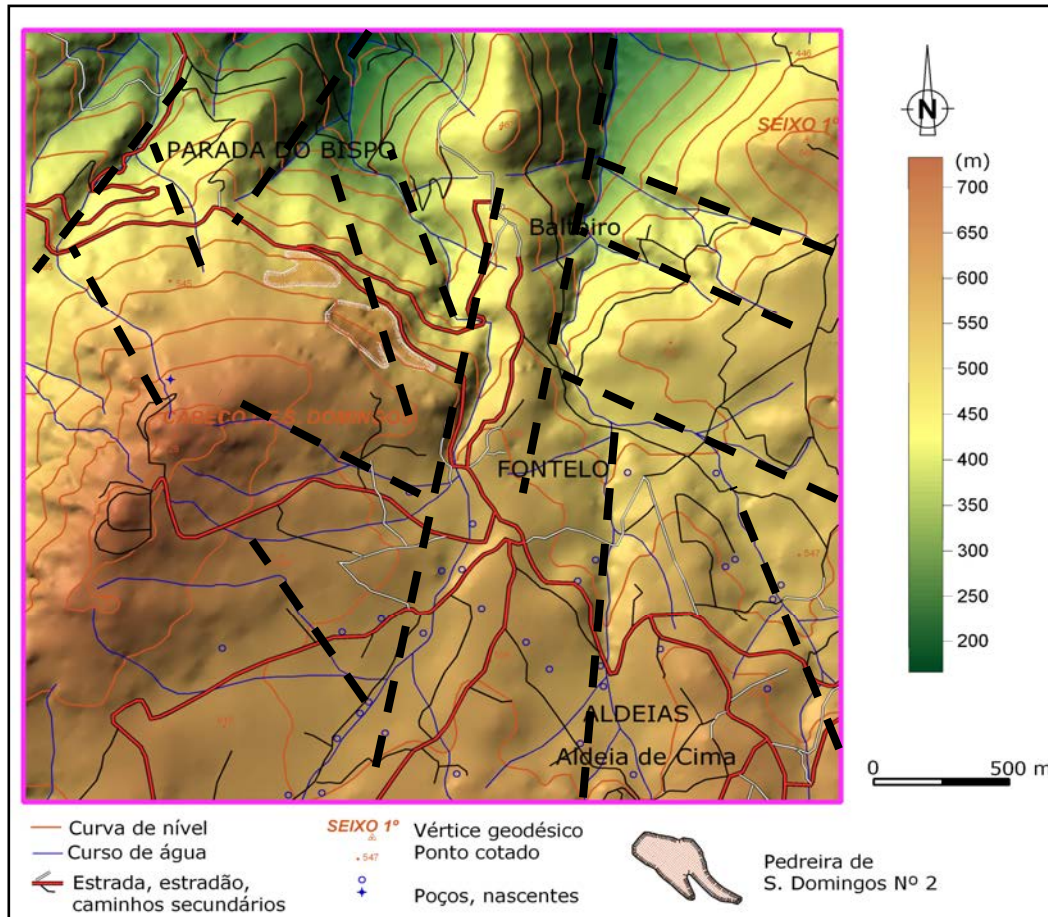
Os dados recolhidos no terreno, referentes à técnica de amostragem linear aplicada à BGD, foram submetidos a um tratamento adequado para posterior interpretação e análise, permitindo a definição de diversas famílias de descontinuidades. O estabelecimento das diferentes famílias para os taludes cartografados foi conseguido através da elaboração de diagramas estruturais — diagramas de contorno estrutural e diagramas de rosetas, tendo-se utilizado para o efeito o programa geoinformático “StereoNet for Windows version 3.03” (Geological Software®, 1992-1995). Na digitalização da informação geológico-geotécnica recorreu-se ao programa informático *OCAD for Cartography* (version 8.0).

#### **4.5. Constrangimentos geomorfológicos e geológicos regionais**

##### **4.5.1. Geomorfologia**

O local da pedreira de S. Domingos Nº 2 situa-se, do ponto de vista geomorfológico, no maciço granítico do Cabeço de S. Domingos (728m), segundo uma direcção geral NE-SW. Este maciço apresenta, *grosso modo*, um relevo de resistência rigidamente alongado. O bordo leste constituirá uma importante escarpa de falha regional, aliás bem patente na geometria alongada do corpo granítico, na deformação do material granítico junto a esse bordo e, sobretudo, no lineamento tectónico regional materializado pelo Rio Douro.

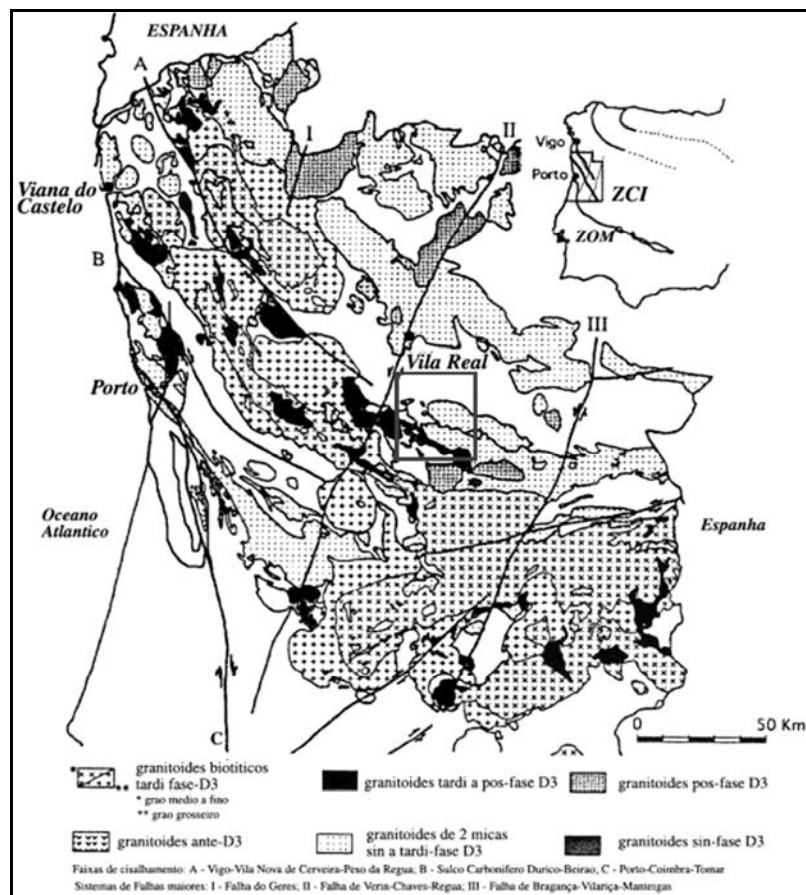
Os traços morfoestruturais da região podem ser descritos como uma área essencialmente montanhosa e acidentada, com relevos vigorosos e vales encaixados (figura 40). Neste relatório apenas se irá dar importância aos aspectos que se relacionam directamente com a região onde se insere a pedreira de S. Domingos Nº 2. Assim, a geomorfologia local é marcada pela geometria dos acidentes tectónicos que serão os principais responsáveis pelo arranjo regional do relevo. Destaca-se um conjunto de falhas com direcções N-S a NNE-SSW e WNW-ESE a NW-SE que individualizam vários blocos montanhosos. Tal como noutras regiões graníticas do Norte de Portugal a morfologia desta área é marcada pela conservação de superfícies de aplanamento, separadas por vertentes abruptas, quer se trate de flancos das elevações quer das vertentes dos vales. Por isso, os cursos de água apresentam um traçado geométrico que resulta da sua adaptação às faixas de esmagamento de falhas (Brum Ferreira, 1978).



**Figura 40** - Foto-interpretação dos lineamentos tectónicos regionais da área do Fontelo e Modelo Digital de Terreno (MDT) construído a partir da vectorização das curvas de nível da Carta Militar de Portugal (escala 1/25.000, folha 127), pelo método *krigagem* com uma resolução de 10 m.

#### 4.5.2. Geologia

A situação geológica da região onde se encontra a pedra de S. Domingos Nº 2 é descrita na Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000 (Bernardo de Sousa & Sequeira, 1989). O maciço granítico de S. Domingos Nº 2 faz parte de uma faixa de granitóides relacionados com a orogenia Varisca, com orientação geral NW-SE, que se estende desde o Alto Minho até às Beiras (figura 41). Do ponto de vista geotectónico estes inserem-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI) do Maciço Ibérico (Ribeiro et al., 1990).



**Figura 41** - Enquadramento geotectónico regional dos granitos Variscos da Zona Centro-Ibérica, bem como a visualização das principais faixas de cisalhamento e sistemas de falhas regionais do NW de Portugal (adaptado de Dias et al., 2000).

Do ponto de vista geológico, no lugar de Fontelo, local onde se insere a exploração de que é objecto este estudo geológico-geotécnico, caracteriza-se por possuir duas unidades geológicas, nomeadamente (figura 41):

- **Unidade geológica de cobertura: solo granítico**

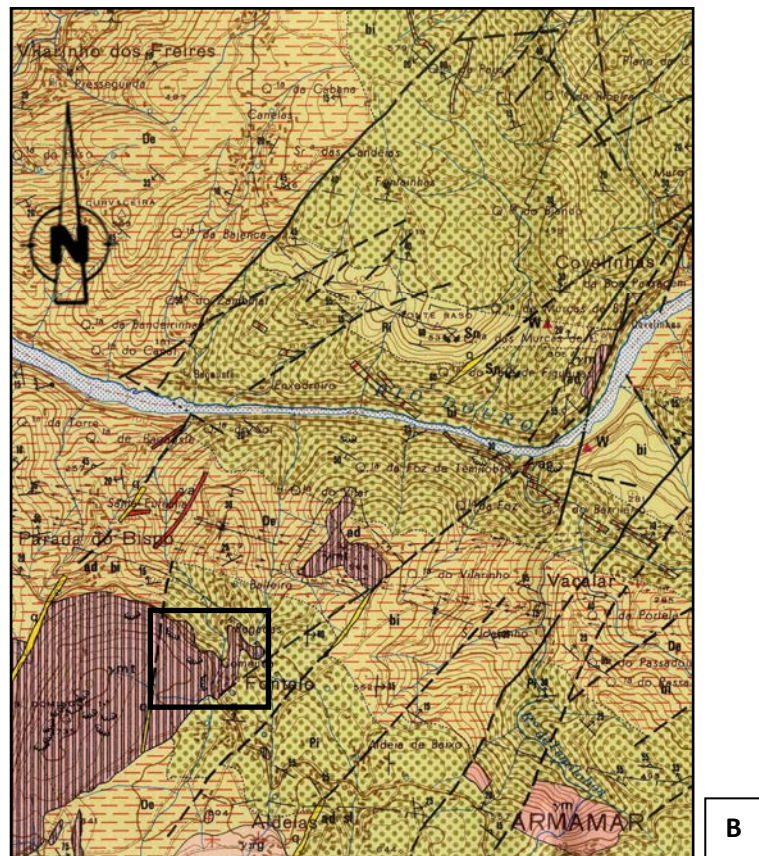
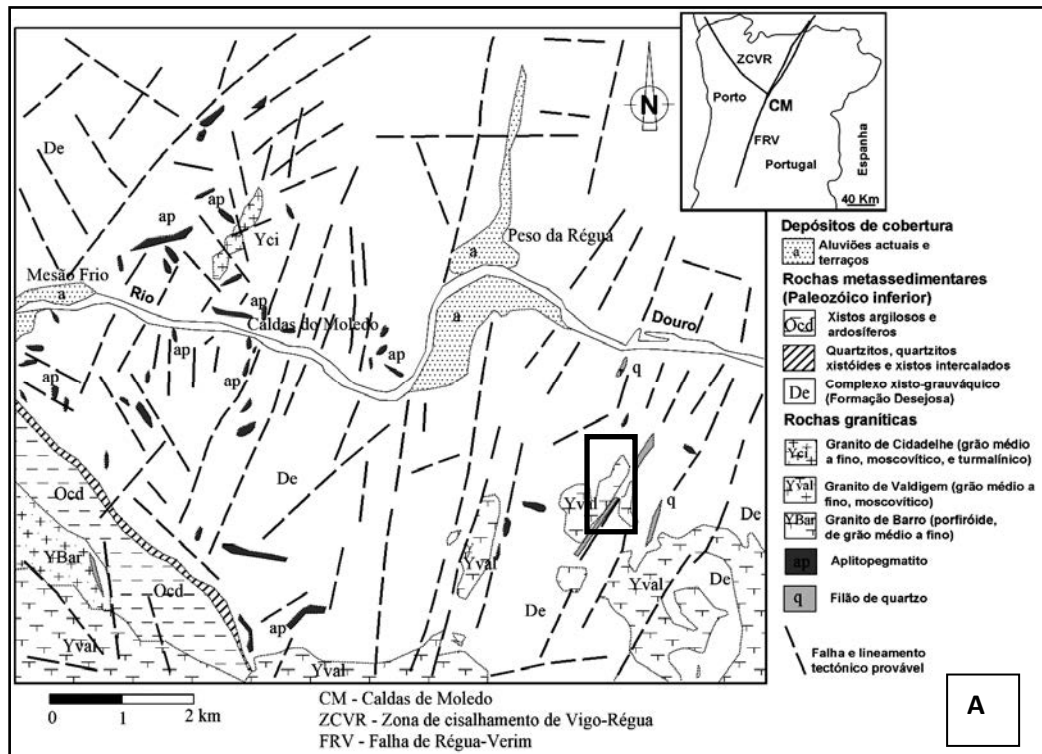
Na observação directa do terreno no local de exploração, encontrou-se uma cobertura pelicular composta por saibro granítico de reduzida espessura (< 0,50 m). Esta unidade recobre praticamente todo o maciço rochoso e onde se desenvolve toda a fauna e a flora da região.

- **Unidade geológica do substrato: granitóides e filões**

Esta unidade é formada por um substrato rochoso constituído por um complexo granítico e uma rede filoniana quartzosa (Bernardo de Sousa & Sequeira, 1989), o qual é alvo da presente exploração de agregados.

O material-rocha presente, mancha granítica do Cabeço de S. Domingos, é um granito de grão médio a fino, moscovítico, com turmalina, sulfuretos dispersos e fosfatos (fácies de granito de Tabuaço; Bernardo de Sousa & Sequeira, 1989) associados a estruturas de idade Varisca (Bernardo de Sousa & Sequeira, 1989; Dias et al., 2000). Esta mancha granítica constitui a fácies de bordadura dos corpos de Fontelo-S. Domingos-Parada do Bispo, encontra-se delimitada, quer a Norte quer a Sul, por rochas metassedimentares do Complexo Xisto-Grauváquico (Grupo do Douro).

Da análise da Carta Neotectónica de Portugal Continental (Cabral & Ribeiro, 1988) verifica-se que o sector em estudo se enquadra próximo a sistemas de mega-descontinuidades tectónicas, com orientação geral NE-SW a N-S, com actividade neotectónica importante.



**Figura 42 - A)** Enquadramento geológico regional do maciço granítico de Fontelo (segundo Espinha Marques et al., 2004); **B)** Enquadramento geológico-estrutural da região de Fontelo, Armamar (segundo Bernardo de Sousa & Sequeira, 1989).

## **4.6. Estudo da compartimentação do maciço da Pedreira de S. Domingos N.º 2**

### **4.6.1. Geologia local e área envolvente**

O local em estudo integra um relevo granítico, com orientação geral NNW-SSE, constituindo um compartimento inter-falhas de alguns km<sup>2</sup>. Este relevo encontra-se delimitado por acidentes tectónicos, com orientação NNE-SSW e N-S. Atingem-se os 728 metros de altitude no *v.g.* Cabeço de S. Domingos (a cerca de 1 km a Oeste de Fontelo), embora o local da pedreira de S. Domingos N.º 2 não ultrapasse os 600 m.

A legislação vigente (Dec.-Lei 235/83 de 1983; *in*: RSAEEP, 2000) delimita o território português em quatro zonas sísmicas distintas (que por ordem decrescente de sismicidade, *i.e.*, de risco sísmico, são designadas por A, B, C, D) e define o tipo de construção a que se é obrigado em cada zona (RSAEEP, 2000; Sousa Oliveira *et al.*, 1999). O concelho de Armamar encontra-se incluído na zona D (RSAEEP, 2000), onde se admite não serem de recear os efeitos dos sismos nas construções, muito embora, se tenham já verificado alguns epicentros nas proximidades da região (Cabral, 1995).

Foi efectuado um reconhecimento geológico de superfície, na parte Oeste da área da pedreira, com o objectivo de estimar a representatividade cartográfica da fácies granítica em afloramento. Além disso, na área foram reconhecidas em afloramento algumas estruturas filonianas de quartzo, com atitude geral N170°E/65°SW e uma possança média 0.5m.

Do ponto de vista geológico diferenciou-se um granito de grão médio a fino, moscovítico, com turmalina. Em alguns locais o granitóide encontra-se vulgarmente caulizado ou arenizado. O granito apresenta, ainda, uma tonalidade esbranquiçada-acinzentada. Este granitóide apresenta, em regra, frequentes impregnações de sulfuretos (pirite) e óxidos ferromagnesianos conferindo às superfícies de descontinuidades um aspecto amarelado ferruginoso.

Tendo em vista a melhor compreensão da rede de fracturação dominante na compartimentação do maciço rochoso da pedreira de S. Domingos N.º2, elaborou-se um esboço da cartografia geológico-estrutural e da cartografia do zonamento geotécnico, em que se representa uma síntese das condições geológicas da fácies granítica e das principais estruturas visíveis na referida pedreira. A escala de trabalho de campo para as cartografias referidas foi de 1/1.000 (figuras 43 e 45).

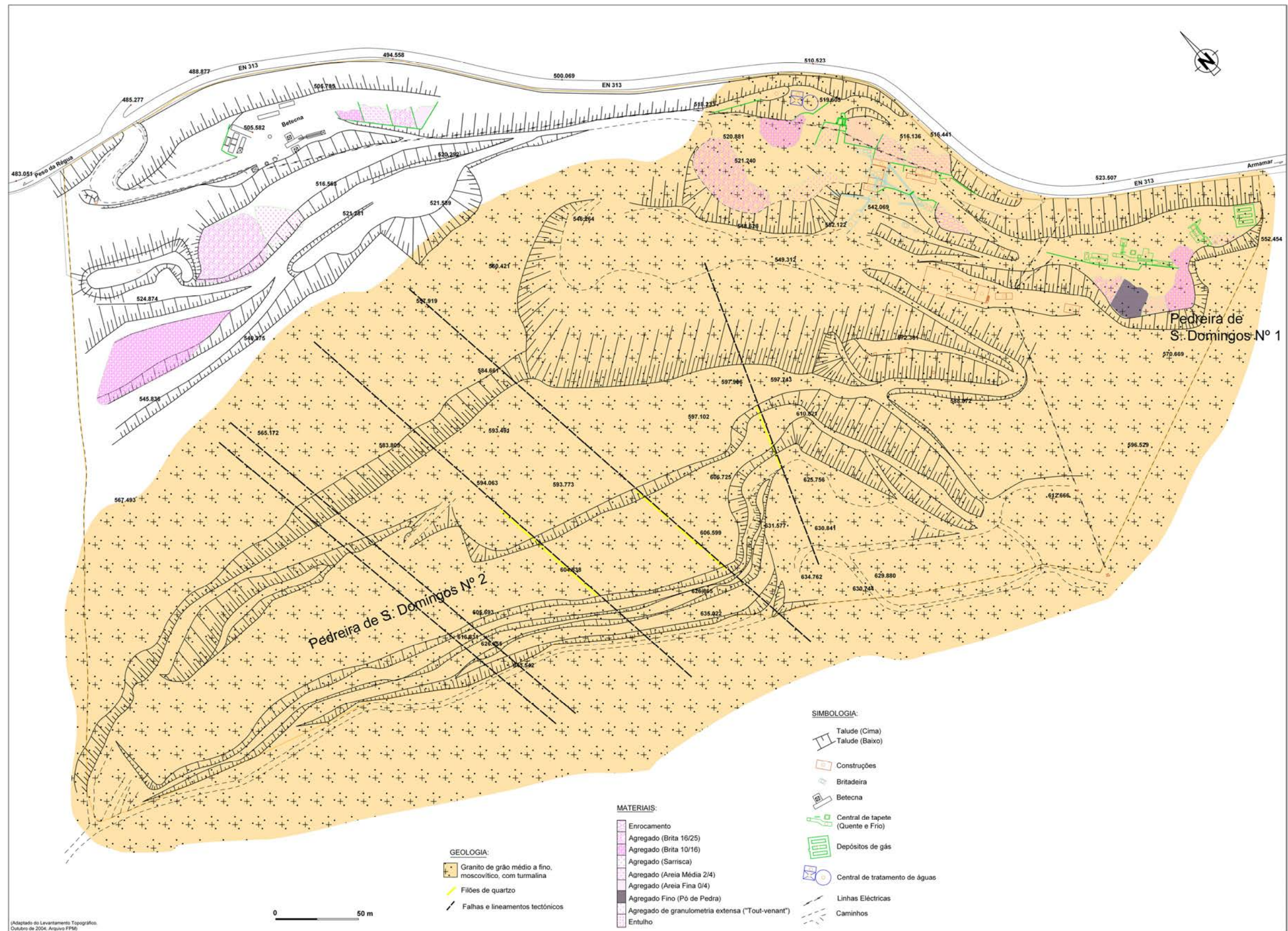


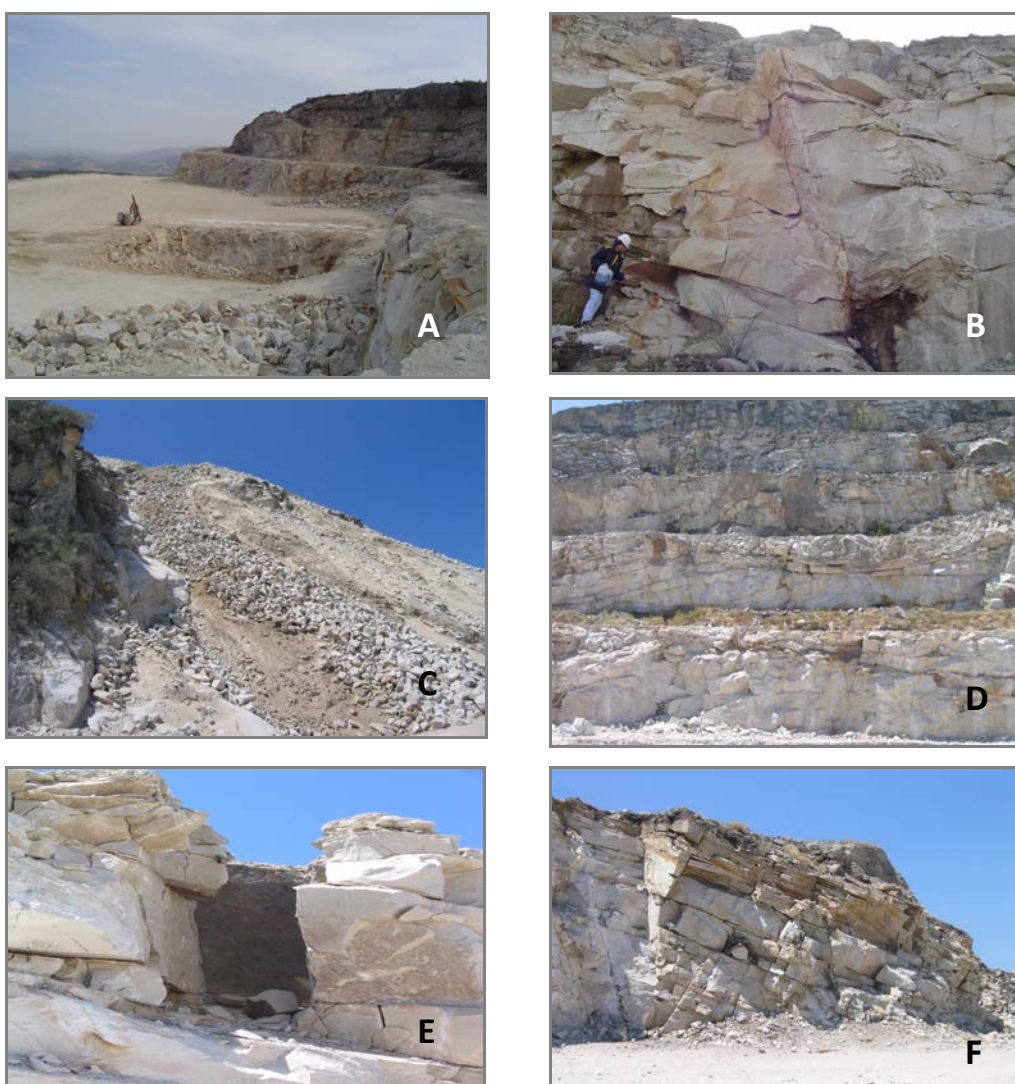
Figura 43 - Esboço geológico da pedreira de S. Domingos N.º 2.



## 4.6.2. Geotecnia e geomecânica local do maciço

### 4.6.2.1. Caracterização geotécnica da compartimentação do maciço

O levantamento do grau de fracturação das superfícies expostas, através da técnica da amostragem linear aplicada à geotecnia dos maciços rochosos, foi efectuada em seis perfis gerais, num total de 19 painéis, distribuídos com diversas orientações, de modo a caracterizar, na medida do possível, a área do maciço (longitudinal e transversalmente) de exploração de S. Domingos Nº 2 (figura 44). No anexo I inclui-se as fichas de levantamento dos parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos do maciço do Fontelo.



**Figura 44** - Aspectos vários sobre a pedreira de S. Domingos Nº 2. **A)** vista geral da pedreira do Fontelo; **B)** pormenor de uma falha geológica com orientação geral N-S; **C)** material rocha desmontado deslizando por gravidade para a zona de britagem; **D)** aspecto das bancadas evidenciando o grau de fracturação do maciço; **E), F)** pormenor do grau de compartimentação do maciço e a representatividade das descontinuidades sub-horizontais.



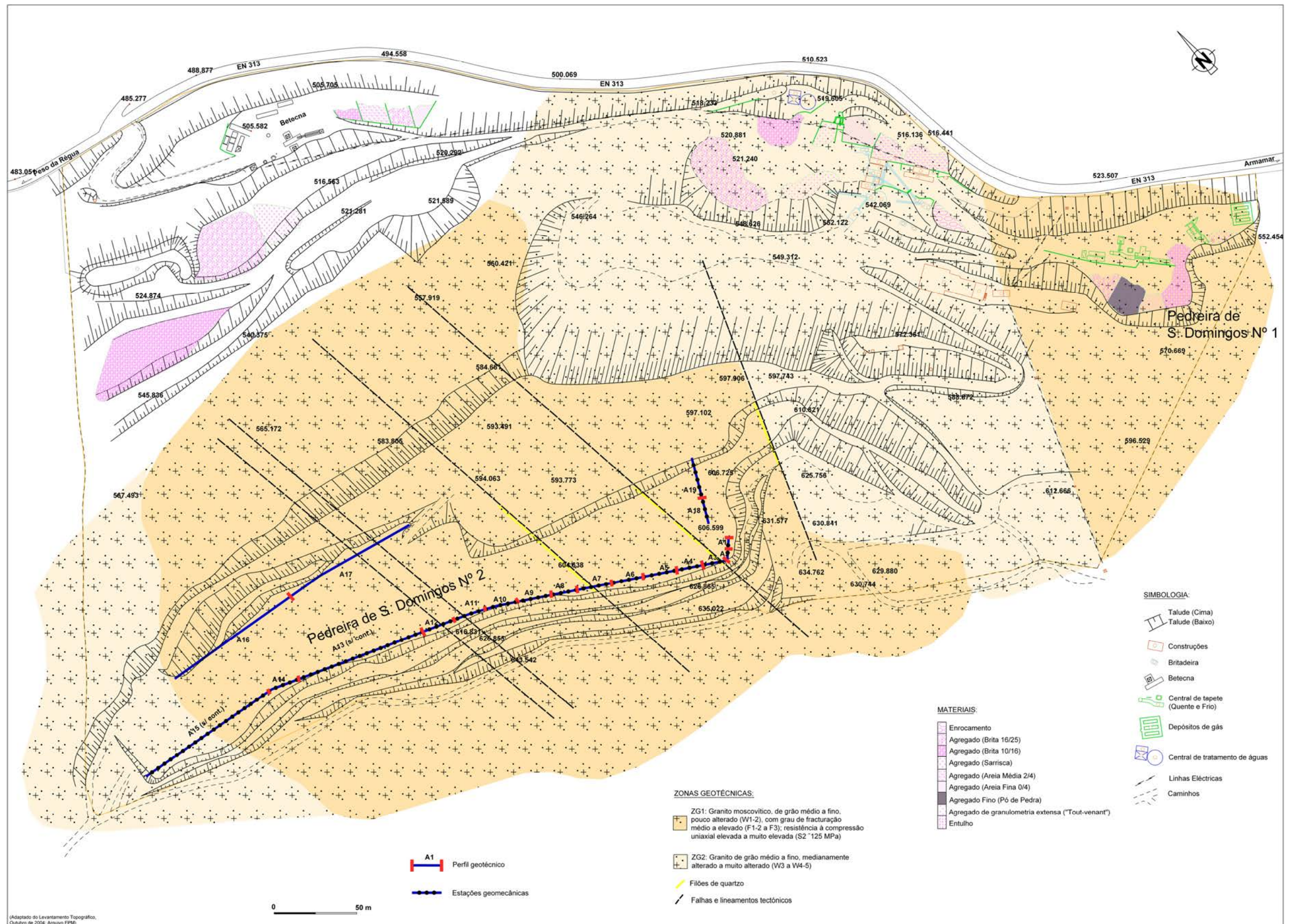


Figura 45 - Localização dos perfis geotécnicos e estações geomecânicas (martelo Schmidt e ensaio Los Angeles) do presente estudo na pedreira de S. Domingos Nº 2.



#### 4.6.2.2. Grau de alteração

A determinação do estado de alteração de um maciço rochoso ou do material-rocha, é também um factor importante a considerar (segundo a classificação da ISRM, 1978, 1981). O maciço globalmente pode ser classificado como granito pouco alterado [W<sub>1-2</sub>] e, em alguns sectores, como medianamente alterado [W<sub>3</sub>]. No caso em estudo, o estado de maior alteração de rocha granítica [W<sub>4-5</sub>] confina-se a estreitas faixas na área da pedreira (figuras 45 e 46).

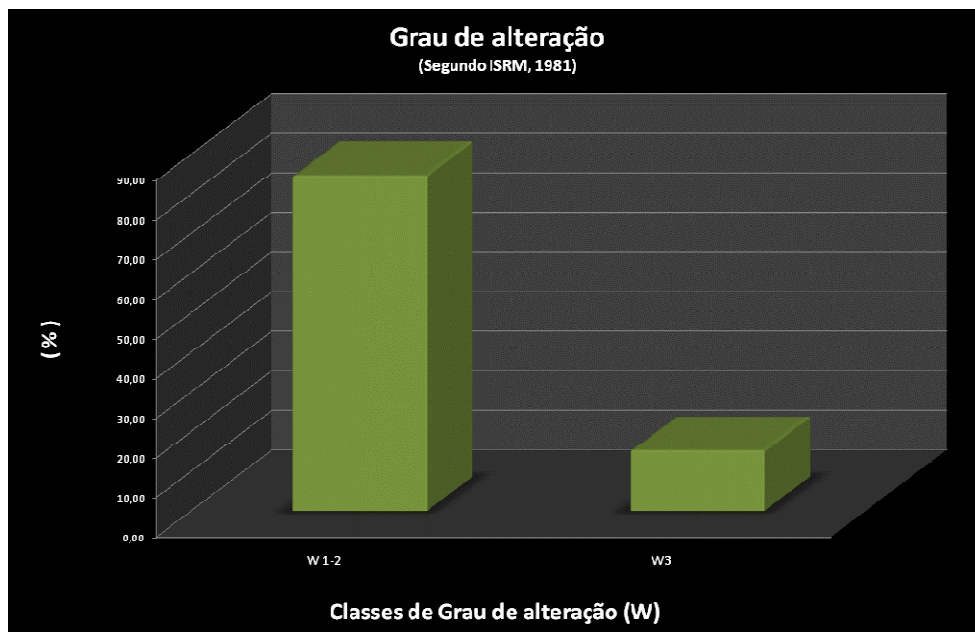


Figura 46 - Histograma representativo da frequência do grau de alteração.

#### 4.6.2.3 Estado de fracturação

O granito de S. Domingos Nº2 apresenta uma fracturação intensa, em que as discontinuidades apresentam uma direcção variando entre os quadrantes NW-SE a WNW-ESE e N-S a NE-SW e com inclinação subvertical, em virtude do apertado e intenso diaclasamento presente, bem como dos espaçamentos e preenchimentos observados entre diaclases contíguas. Observou-se, ainda, uma importante fracturação sub-horizontal materializada por uma foliação cataclásica, correspondendo a uma zona de intensa deformação.

Da análise dos diagramas estruturais das atitudes das descontinuidades (diaclases e falhas), medidas de forma sistemática, pela técnica de amostragem linear, nos seis perfis (englobando 19 painéis) estudados, resultam as seguintes considerações (quadro 16):

- **Perfil 1**, engloba 2 painéis (n= 19; orientação do perfil variando entre N60° e N120°E): existência de três famílias de descontinuidades com orientação média N290°-310°E/subvertical (subv.), N320°-330°E; subv. e N°60-100°E; subv.;
- **Perfil 2**, engloba 5 painéis (n= 184; orientação do perfil variando entre N100° a N140°E): existência de uma família de descontinuidades predominante com orientação N10°-30°E/subvertical (subv.); neste perfil assume alguma importância as famílias N60°-80°E; subv. e N290°-310°E; subv.;
- **Perfil 3**, engloba 4 painéis (n= 84; orientação do perfil variando entre N108° e N130°E): existência de uma família de descontinuidades predominante com orientação N60°-90°E/subvertical (subv.); neste perfil assume alguma importância as famílias N10°-20°E; subv. e N280°-300°E; subv.;
- **Perfil 4**, engloba 2 painéis (n= 50; orientação do perfil variando entre N108° e N114°E): existência de uma família de descontinuidades predominante com orientação N70°-80°E/subvertical (subv.); neste perfil assume alguma importância as famílias N10°-30°E; subv. e N300°-310°E; sub-horizontal;
- **Perfil 5**, engloba 1 painel (n= 37; orientação do perfil variando entre N108° e N112°): existência de uma família de descontinuidades predominante com orientação N60°-100°E/subvertical (subv.); neste perfil assume alguma importância as famílias N10°-30°E; subv..
- **Perfil 6**, engloba 2 painéis (n= 58; orientação do perfil variando entre N40° e N85°E): existência de três famílias de descontinuidades com orientação média N80°-90°E/subvertical (subv.), N20°-50°E; subv. e N310°-330°E; subv.;

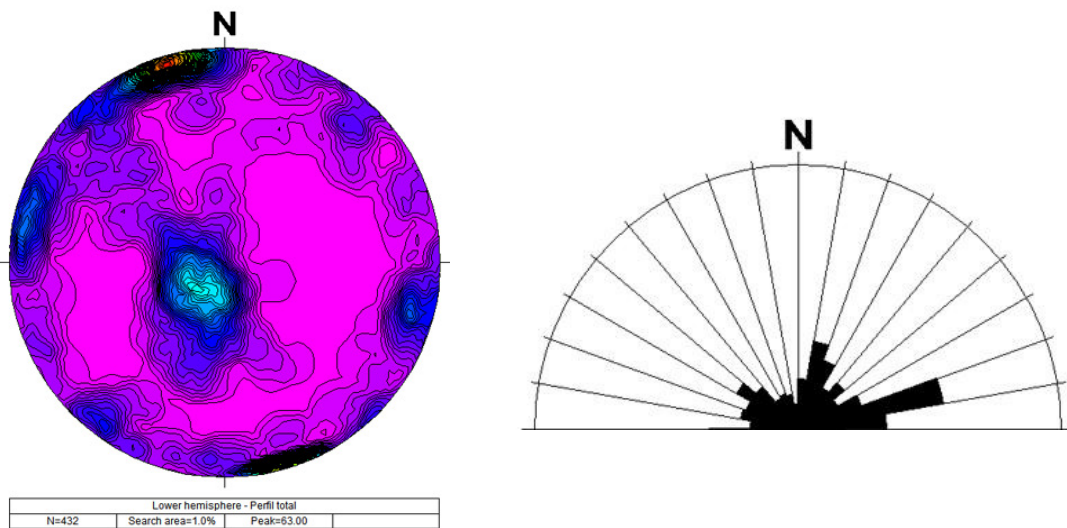
**Quadro 16** - Síntese das características dos perfis amostrados no maciço de S. Domingos Nº 2.

Perfil	Painéis	Grau de alteração (W)	Fácies granítica	Orientação média do perfil	Comprimento do perfil (m) (A)	Nº de descontinuidades (B)	Factor de fracturação (B/A)
1	A1	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N110º a 120º E	7.20	10	1.39
	A2	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N58º a 60º E	6.35	9	1.42
2	A3	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N100º a 120º E	13.00	12	0.92
	A4	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N116º a 120º E	18.00	29	1.61
	A5	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N125º a 130º E	20.00	40	2.00
	A6	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N130º a 140º E	20.00	47	2.35
	A7	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N136º a 140º E	20.00	56	2.80
3	A8	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N116º a 120º E	20.00	13	0.65
	A9	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N116º a 120º E	17.60	19	1.08
	A10	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N128º a 130º E	20.00	22	1.10
	A11	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N108º a 112º E	20.00	30	1.50
4	A12	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N108º a 112º E	20.00	31	1.55
	A13		Granito moscovítico				
	A14	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N110º a 114º E	20.00	19	0.95
	A15		Granito moscovítico				
5	A16	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N108º a 112º E	20.00	37	1.85
	A17		Granito moscovítico				
6	A18	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N38º a 40º E	20.00	32	1.60
	A19	W <sub>1-2</sub>	Granito moscovítico	N84º a 86º E	20.00	26	1.30

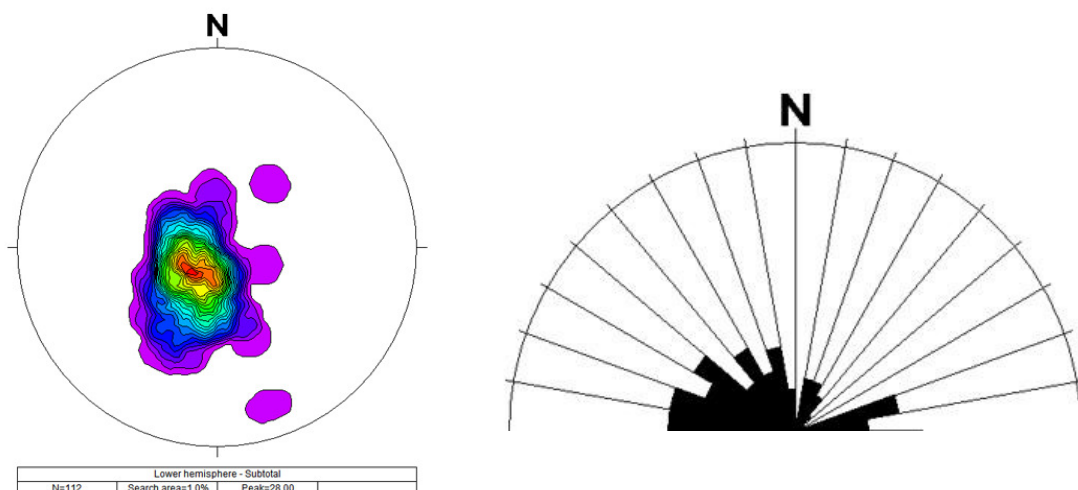
Da análise do estereograma geral e do diagrama de rosetas (figuras 47 e 48), em que são projectadas todas as descontinuidades (maioria diaclases) medidas nos painéis, resultam as seguintes conclusões:

- Uma família de descontinuidades principal com orientação média N70°-80°E; subvertical;
- Uma família de descontinuidades com orientação N10°-20°E; subvertical;
- Uma família de descontinuidades N290°-310°E; subvertical;
- Assume particular importância na compartimentação do maciço uma família de descontinuidades sub-horizontais, ou seja, com atitude média N0° - 20°E; 25° NW.

Foi também estimado um parâmetro geomecânico que se denominou *factor de fracturação* (Chaminé et al., 2001). Este parâmetro resulta da razão entre o número de diaclases medidas e o comprimento do perfil amostrado. A aplicação deste parâmetro corrobora a intensidade de fracturação referida anteriormente (quadro 16). Além disso, pela observação e cartografia das linhas de amostragem da pedreira de S. Domingos N.º 2 o padrão geral da rede de fracturação assemelha-se, segundo a classificação de Palmström (1995), uma geometria prismática.



**Figura 47** - Diagramas geológico-estruturais dos painéis amostrados da pedreira de S. Domingos N.º 2: diagrama de contorno estrutural (projecção hemisfério inferior); diagrama de rosetas (n= 432 descontinuidades).



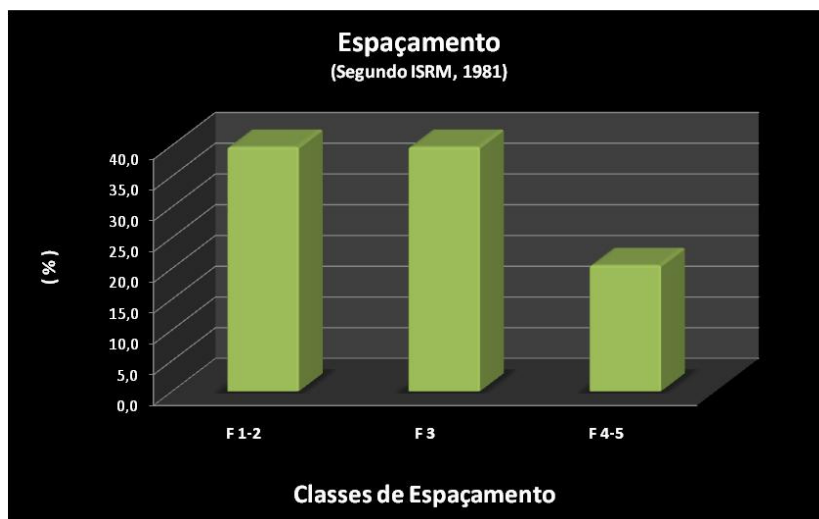
**Figura 48** - Projecção das descontinuidades sub-horizontais da pedreira de S. Domingos Nº 2: diagrama de contorno estrutural (projecção hemisfério inferior); diagrama de rosetas (n= 112 descontinuidades).

#### 4.6.2.4. Espaçamento

Os sistemas de descontinuidades com orientação N70º-80ºE e N10º-20ºE são os mais frequentes, logo serão os menos espaçados. A sua persistência em todos os painéis amostrados é também superior à dos restantes sistemas de diaclasamento.

Com o objectivo de caracterizar estatisticamente os espaçamentos apresentados pelo sistema de descontinuidades, elaborou-se o histograma de frequências total vs. classes de espaçamentos para o conjunto dos perfis estudados (figura 49). Nesse diagrama também se indicam as frequências absolutas das classes de espaçamentos expressas em percentagem do total de medições.

De um modo geral, podemos considerar, numa abordagem qualitativa e quantitativa, o maciço em causa trata-se de um material-rocha granítico que em termos de qualidade geotécnica apresenta predominantemente um grau de fracturação que se poderia classificar, segundo a ISRM (1978, 1981), como afastadas [F<sub>1-2</sub>] a medianamente afastadas [F<sub>3</sub>]. É ainda de assinalar um grau de fracturação elevado, ou seja, a distância entre as descontinuidades registadas são < 6 cm (muito próximas) [F<sub>4-5</sub>].



**Figura 49** - Histogramas de frequências absolutas de diaclases vs. classes de espaçamento dos painéis estudados.

#### 4.6.2.5. Continuidade e persistência

As descontinuidades mais frequentes no maciço têm uma atitude média N70º-80ºE e N10º-20ºE e são, por isso, as mais persistentes no terreno. A observação de persistência das descontinuidades foi efectuada em duas dimensões, correspondente à intersecção da descontinuidade com a superfície de exposição sub-horizontal e subvertical (nas frentes de desmonte). Constata-se, em todos os painéis estudados, que as diaclases mais abundantes são aquelas que apresentam uma continuidade planar mais acentuada. As faixas de esmagamento sub-horizontais (constituindo cataclastos, i.e., são rochas com grau de deformação extremo) apresentam também uma grande continuidade, interrompendo sistematicamente as descontinuidades pertencentes às outras famílias.

#### 4.6.2.6. Abertura

Regra geral, no caso em estudo, os sistemas de descontinuidades mais importantes possuem aberturas entre 2-10mm (medianamente abertas), não sendo porém raro a existência de várias descontinuidades esparsas, com aberturas superiores a 10mm (abertas a muito abertas).

#### 4.6.2.7. Enchimento e impregnações

Na pedreira de S. Domingos N.º 2 grande parte das descontinuidades cartografadas não possuem enchimento, existindo porém, numa minoria, algum enchimento que consiste em material rochoso resultante da desagregação do maciço e em alguns casos preenchimentos argilosos de caixas de falhas.

O sistema de diaclasamento dominante apresenta também frequentes impregnações de sulfuretos (pirite, arsenopirite) e óxidos de ferro conferindo às superfícies de descontinuidades um aspecto amarelo-acastanhado.

#### 4.6.2.8. Rugosidade

No maciço em estudo, a rugosidade apresenta-se medianamente rugosa [ $R_3$ ] a muito rugosa [ $R_{4-5}$ ], (figura 50) que corresponde a uma rugosidade em que as paredes das descontinuidades são geralmente denteadas, mas também se observou um estriamento das superfícies de diaclasamento correspondendo a diaclases de tipo activo, em termos tectónicos. Por vezes, ocorrem descontinuidades algo onduladas e, mais raramente, se encontram descontinuidades lisas.

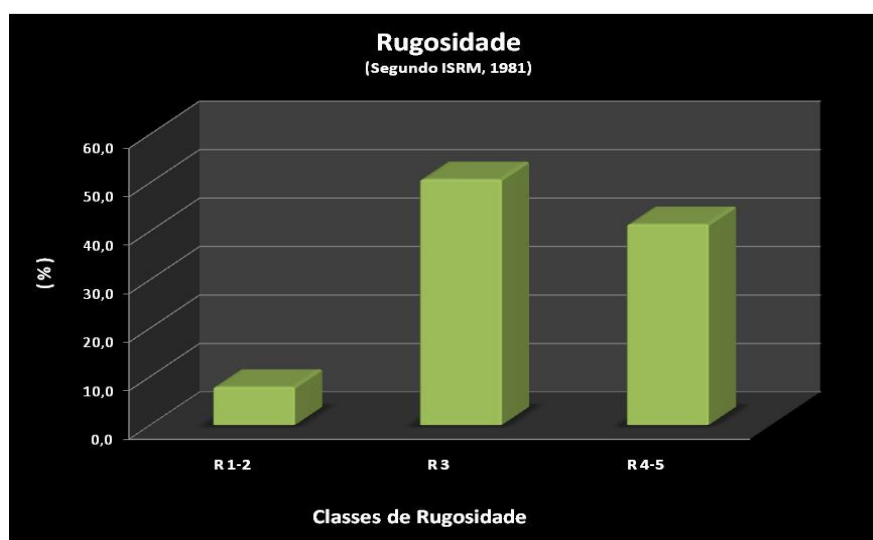


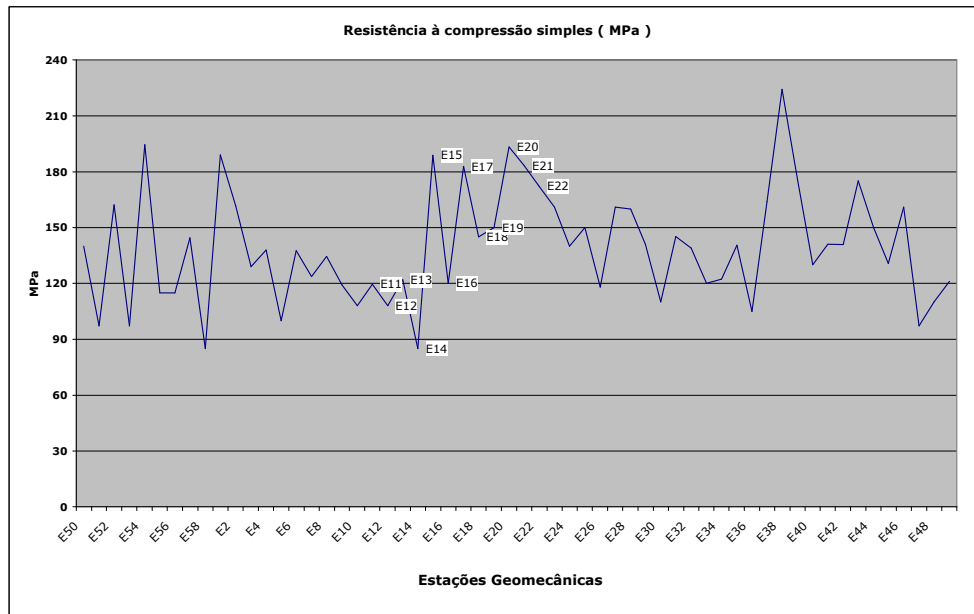
Figura 50 - Histogramas representativos relativamente à superfície das descontinuidades.

#### 4.6.3. Caracterização geomecânica local

##### 4.6.3.1. Ensaio esclerométrico

No que diz respeito à resistência, embora as características do maciço rochoso sejam essencialmente dependentes das descontinuidades, é de grande utilidade o conhecimento da resistência do material-rocha. A determinação da resistência à compressão uniaxial, do maciço rochoso em estudo, foi realizada com o auxílio de um esclerómetro portátil ou *martelo de Schmidt*. No trabalho de campo realizado foi utilizado um *martelo de Schmidt* do tipo L, da marca PROCEQ S.A. (Zurich, Switserzland), do laboratório de Mecânica das Rochas do Departamento de Engenharia Geotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (I.S.E.P.). Assim, efectuaram-

se 58 estações geomecânicas para a realização dos ensaios de campo (quadro 17; figura 51) e constatou-se que nas zonas do maciço menos alteradas (Unidade geotécnica 1: granito moscovítico,  $W_{1-2}$ ) os valores de resistência uniaxial à compressão variam em média entre 120-130 MPa, ou seja, classificam-se, segundo a ISRM (1978, 1981), como do tipo  $S_2$  (resistência à compressão uniaxial elevada).



**Figura 51** - Gráfico que relaciona a resistência à compressão simples ao longo das estações geomecânicas efectuadas na frente de desmorte.

**Quadro 17** - Síntese das estações geomecânicas para a realização dos ensaios de campo Martelo Schmidt (densidade média do granito foi estimada em 26 KNm<sup>3</sup>).

Perfil	Painéis	Grau de alteração (W) (%)	Resistência à compressão simples (MPa) entre estações (A)	Média da resistência à compressão simples (MPa) entre painéis (A/19)	Classificação (ISRM, 1978, 1981)
1	A1	W <sub>1-2</sub> = 100 W <sub>3</sub> = 0.0	189.0	175.3	S <sub>2</sub>
	A2	W <sub>1-2</sub> = 88.8 W <sub>3</sub> = 11.2	161.6		
2	A3	W <sub>1-2</sub> = 91.6 W <sub>3</sub> = 8.4	122.3	130.0	S <sub>2</sub>
	A4	W <sub>1-2</sub> = 96.6 W <sub>3</sub> = 3.4	128.8		
	A5	W <sub>1-2</sub> = 85.0 W <sub>3</sub> = 5.0	114.4		
	A6	W <sub>1-2</sub> = 74.4 W <sub>3</sub> = 25.6	144.2		
	A7	W <sub>1-2</sub> = 69.7 W <sub>3</sub> = 30.3	162.7		
3	A8	W <sub>1-2</sub> = 76.9 W <sub>3</sub> = 23.1	164.2	141.8	S <sub>2</sub>
	A9	W <sub>1-2</sub> = 94.7 W <sub>3</sub> = 5.3	147.3		
	A10	W <sub>1-2</sub> = 90.9 W <sub>3</sub> = 9.1	133.8		
	A11	W <sub>1-2</sub> = 86.7 W <sub>3</sub> = 13.3	121.9		
4	A12	W <sub>1-2</sub> = 87.1 W <sub>3</sub> = 12.9	173.6	162.6	S <sub>2</sub>
	A13	( - )	( - )		
	A14	W <sub>1-2</sub> = 94.7 W <sub>3</sub> = 5.3	151.7		
	A15	( - )	( - )		
5	A16	W <sub>1-2</sub> = 86.5 W <sub>3</sub> = 13.5	124.0	124.0	S <sub>2</sub>
	A17	( - )	( - )		
6	A18	W <sub>1-2</sub> = 84.4 W <sub>3</sub> = 15.6	138.2	126.6	S <sub>2</sub>
	A19	W <sub>1-2</sub> = 88.5 W <sub>3</sub> = 11.5	114.9		

#### 4.6.3.2. Ensaio de *Los Angeles*

A adequabilidade dos agregados para utilização num certo tipo de construção civil é determinada pela avaliação das suas propriedades físicas e mecânicas. A maior parte das construções exige que o material seja resistente, sendo esta propriedade habitualmente determinada através da realização de ensaios quer de resistência à compressão uniaxial, pelo método do Esclerómetro Portátil, quer de resistência ao desgaste pelo ensaio *Los Angeles*. Em especial, o ensaio de *Los Angeles* é bastante útil para a determinação da qualidade da rocha, mas exige um tempo elevado de execução e grandes quantidades de amostra. Alguns autores (e.g., Kazi & Al-Molki, 1982; Ballivy & Dairy, 1984; Al Harthi & Abo-Saada, 1997; Al-Harthi, 2001) têm por isso desenvolvido tentativas de estabelecimento de relações empíricas entre este ensaio e outros mais simples e menos dispendiosos, como por exemplo o do Esclerómetro Portátil. A obtenção de modelos de relação entre variáveis deste tipo revela-se de grande interesse (e.g., Al-Harthi, 2001; Conde et al., 2004) por permitir fazer inferência sobre amostras futuras, podendo reflectir-se numa orçamentação e gestão da exploração de maior rigor.

Com o estudo ora apresentado pretendeu-se estimar uma possível relação entre os resultados obtidos no campo usando o Esclerómetro Portátil e os valores obtidos através dos ensaios de resistência à fragmentação *Los Angeles*, realizados no laboratório da empresa FRANCISCO PEREIRA MARINHO & IRMÃOS, S.A., no âmbito da certificação dos produtos, “Marcação CE”.

Os dados em que este estudo se baseia reportam-se à actividade da pedreira de S. Domingos N.º 2 entre os meses de 2005. Durante este período a exploração desenvolveu-se na área onde se localiza a fácies granítica correspondente à zona geotécnica ZG1, ou seja constituída por um granito moscovítico de grão médio médio a fino.

Assim todos os dados obtidos através dos ensaios de resistência à fragmentação *Los Angeles* (quadro 18), dizem respeito ao granito que é referenciado, como sendo, “granito moscovítico de grão médio médio a fino”.

**Quadro 18** - Síntese dos ensaios de *Los Angeles* (%) realizados e/ou compilados dos arquivos da FPMI (2004), segundo a Norma NP EN1907-2 (2002).

<b>Ensaio de Resistência ao desgaste <i>Los Angeles</i> (%)</b>			
<b>Ensaio n.º</b>	<b>Data</b>	<b>Valor de desgaste (%)</b>	<b>Técnico</b>
1	14-02	33	Técnico laboratório FPMI
2	15-02	31	Técnico laboratório FPMI
3	16-02	32	Técnico laboratório FPMI
4	21-02	33	Técnico laboratório FPMI
5	06-04	32	Técnico laboratório FPMI
6	08-04	30	Técnico laboratório FPMI
7	12-04	32	Técnico laboratório FPMI
8	18-04	33	Técnico laboratório FPMI
9	04-05	32	Técnico laboratório FPMI
10	05-05	31	Ricardo Martins (ISEP/FPMI)
11	05-05	31	Ricardo Martins (ISEP/FPMI)
12	05-05	30	Ricardo Martins (ISEP/FPMI)
13	06-05	31	Ricardo Martins (ISEP/FPMI)
14	06-05	31	Ricardo Martins (ISEP/FPMI)
15	06-05	32	Ricardo Martins (ISEP/FPMI)
16	06-05	31	Ricardo Martins (ISEP/FPMI)
17	06-05	31	Ricardo Martins (ISEP/FPMI)
18	06-05	32	Ricardo Martins (ISEP/FPMI)
19	06-05	32	Ricardo Martins (ISEP/FPMI)

Os valores considerados para a determinação da resistência à compressão simples (ensaio esclerométrico) foram os valores médios das estações geomecânicas daquela zona geotécnica. O ensaio com *martelo de Schmidt* é um ensaio não destrutivo de fácil realização que também permite avaliar a resistência do material rochoso. Neste ensaio, realizado de acordo com as recomendações de ISRM (1978, 1981), foram aplicados estes procedimentos em várias estações (58 estações) ao longo dos perfis cartografados.

Todos os ensaios de resistência à fragmentação *Los Angeles* foram realizados segundo a norma NP EN1907-2 (2002), conforme descrito anteriormente. Foram considerados 12 ensaios de resistência à fragmentação *Los Angeles*, correspondentes a 12 estações de amostragem diferentes (estações E<sub>11</sub> a E<sub>22</sub>). Obtiveram-se, assim, 12 pares ordenados de valores de ensaio de resistência à compressão simples e de resistência à fragmentação (quadro 19). A caracterização estatística sumária dos ensaios realizados no maciço granítico da pedreira de S. Domingos N.º 2 é apresentada no quadro 20. É interessante verificar que a projecção destes resultados, de desgaste de *Los Angeles* e resistência à compressão uniaxial, no diagrama de Al-Harhi (2001) para rochas ígneas, metamórficas e sedimentares mostra que os valores obtidos no presente estudo não se afastam dos encontrados por este autor.

Segundo o estudo de Al-Harhi (2001) — que inclui um grande número de ensaios simultaneamente realizados em rochas de origem magmática, bem como rochas metamórficas e sedimentares — o modelo logarítmico será aquele que melhor descreve a relação entre estes dois métodos. Para a análise dos dados deste trabalho, optou-se por isso, por aplicar uma transformação logarítmica aos valores obtidos pelo método do esclerómetro.

**Quadro 19** - Resultados comparativos dos ensaios *Los Angeles* e esclerométrico.

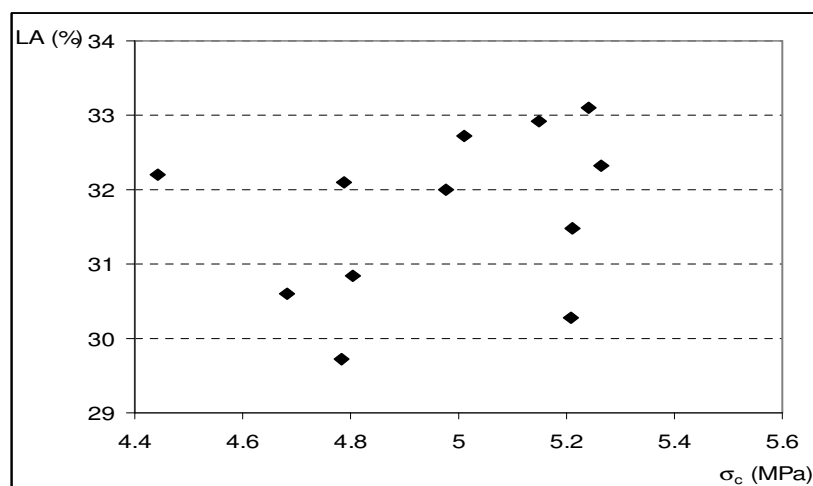
<b>Ensaio Esclerométrico <i>Martelo de Schmidt</i> (MPa)</b>	<b>Ensaio de Resistência à Fragmentação <i>Los Angeles</i> (%)</b>
172.20	33
183.30	31
193.30	32
150.00	33
145.00	32
182.80	30
120.00	32
188.90	33
85.00	32
122.00	31
108.00	31
119.50	30

**Quadro 20** - Estatística descritiva dos ensaios de resistência obtidos para o maciço granítico da pedreira de S. Domingos N.º 2.

<b>Parâmetros</b>	<b>Ensaio Esclerométrico Martelo de Schmidt (MPa)</b>	<b>Ensaio de Resistência à Fragmentação Los Angeles (%)</b>
Mínimo	85.00	29.72
Máximo	193.30	33.10
Média	147.5	31.69
Desvio padrão	36.46	1.10
Variância	1328.99	1.21
Intervalo de confiança a 95%	124.34-170.66	30.99-32.38
Coeficiente de variação	24.72	3.47
Assimetria	-0.210	-0.503
Curtose	-1.338	-0.956

A figura 52 mostra a representação gráfica dos valores apresentados no quadro 19 num diagrama de dispersão, tomando o ensaio de *Los Angeles* como Y e o logaritmo neperiano dos valores obtidos para o ensaio esclerométrico como X. A inspecção do diagrama, indica uma dispersão bastante elevada dos valores, sem nenhum padrão específico, sugerindo que para este conjunto de dados não existirá uma relação entre estes dois métodos. Este resultado é corroborado pelo baixo valor obtido para o coeficiente de correlação de Pearson ( $r = 0.42$ ;  $P > 0.05$ ; teste  $t$  de Student). Esta situação inviabiliza a estimação de parâmetros para elaboração de um eventual modelo de previsão dos valores de LA a partir dos valores obtidos pela aplicação do método do martelo de Schmidt. Estes resultados parecem estar em contradição com os modelos apresentados na literatura sobre este tema (Kazi & Al-Molki, 1982; Ballivy & Dairy, 1984; Al Harthi & Abo-Saada, 1997; Al-Harthy, 2001). Devemos, contudo, salientar que o número de medições efectuadas no presente trabalho não é muito elevado, dado que esta pretendia ser uma abordagem meramente exploratória, pelo que qualquer interpretação ou conclusão efectuada a partir destes valores deve ser encarada com bastante precaução. Efectivamente, a confirmação destes resultados, ou alternativamente a estimação de um modelo fiável e com aplicação prática, tem obrigatoriamente de passar pela realização de outras amostragens com um número superior de ensaios. Tais amostragens deverão ser realizadas em condições standardizadas tanto nesta

mesma pedra, como noutras pedras com maciços rochosos de características idênticas. Este tipo de planeamento experimental ajudará a responder aos requisitos de repetibilidade e reprodutibilidade que trabalhos desta natureza devem preencher.



**Figura 52** - Diagrama de dispersão para os resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão uniaxial ( $\ln(\sigma_c)$ , MPa) e pelo ensaio *Los Angeles* (LA, %).

#### 4.7. Constrangimentos hidrogeológicos

O território do município de Armamar ocupa uma posição importante na Bacia Hidrográfica do rio Douro. Todos os cursos de água são tributários do rio Douro, que atravessa a região em vale profundo e apertado. Os terrenos graníticos em meio fissurado apresentam, em grande, uma permeabilidade reduzida a muito reduzida.

As características geomorfológicas, climatológicas e geológicas da região de Fontelo, inserida no denominado 'Maciço Cristalino Antigo' (e.g., Carvalho 1996; Carvalho et al. 2000), condicionam do ponto de vista hidrogeológico a existência dos recursos de águas subterrâneas. A existência, por um lado de um relevo com declives acentuados e, por outro lado de uma reduzida camada de solo superficial (em regra inferior a 0,5m), tornam praticamente inexistente a presença de um aquífero superficial.

No local da pedra, a drenagem das águas resultantes da precipitação é condicionada pelos vários sistemas de fracturas e, influenciada pela ausência de uma zona de alteração mais espessa pelo que, no processo de drenagem o escoamento superficial poderá sobrepor-se à infiltração.

#### 4.8. Zonamento geotécnico do maciço da pedraira

Foi efectuado, tal como se referiu anteriormente, um reconhecimento geológico e geomorfológico de superfície, na área envolvente à pedraira do Fontelo (ou S. Domingos Nº 2), com o objectivo de estimar a representatividade cartográfica da fácies granítica em afloramento e a qualidade geotécnica do material rochoso à (sub)superfície. Contudo, verificou-se que os terrenos adjacentes ao limite de exploração encontram-se com uma vegetação rasteira muito densa, o que impossibilitou em alguns sectores a inspecção visual e reconhecimento cartográfico pormenorizado do tipo de substrato rochoso. Tendo em vista a melhor compreensão da rede de fracturação dominante na compartimentação do maciço rochoso da pedraira do Fontelo, elaborou-se um esboço de zonamento geotécnico de (sub)superfície, em que se representou uma síntese da fácies granítica e as megaestruturas visíveis na referida pedraira. A escala de trabalho para a cartografia referida foi a de 1/1.000.

Com efeito, na cartografia apresentada esboçam-se as principais unidades geotécnicas locais, resultado do cruzamento e síntese de toda a informação geológica, geotécnica e geomecânica que traduz uma tentativa de esboçar a qualidade geotécnica do maciço (figura 53). Neste levantamento, foram cartografadas 432 descontinuidades através da técnica da amostragem linear de superfícies expostas do maciço, 58 estações para a realização *in situ* do ensaio esclerométrico (martelo de Schmidt, tipo L) e recolheu-se amostras representativas do material-rocha para o ensaio “Los Angeles”.

Do zonamento geotécnico (sub)superficial resultaram as seguintes unidades:

- **ZG1:** granito moscovítico, de grão médio a fino, pouco alterado ( $W_{1-2}$ ), com um grau de fracturação médio a elevado ( $F_{1-2}$  a  $F_3$ ), com uma resistência à compressão uniaxial média 125 MPa ( $S_2$ );
- **ZG2:** granito de grão médio a fino, alterado a muito alterado ( $W_3$  a  $W_{4-5}$ ). A resistência à compressão uniaxial do material-rocha muito baixa (<20 MPa)

Por isso, a caracterização das características geológicas e geotécnicas do maciço, quer em termos geológico-estruturais quer em termos do zonamento geotécnico do maciço, recomendando-se vivamente o recurso a um mapeamento geológico-geotécnico do local da pedraira e à aplicação da técnica de amostragem linear em superfícies expostas do maciço com o fim de se definir o grau de compartimentação do maciço, bem como as restantes características geológico-geotécnicas e geomecânicas do maciço. Logo, um bom conhecimento da estrutura e dos parâmetros

geotécnicos e geomecânicos do maciço rochoso é vital para apoiar as fases subsequentes do desmonte de rocha.

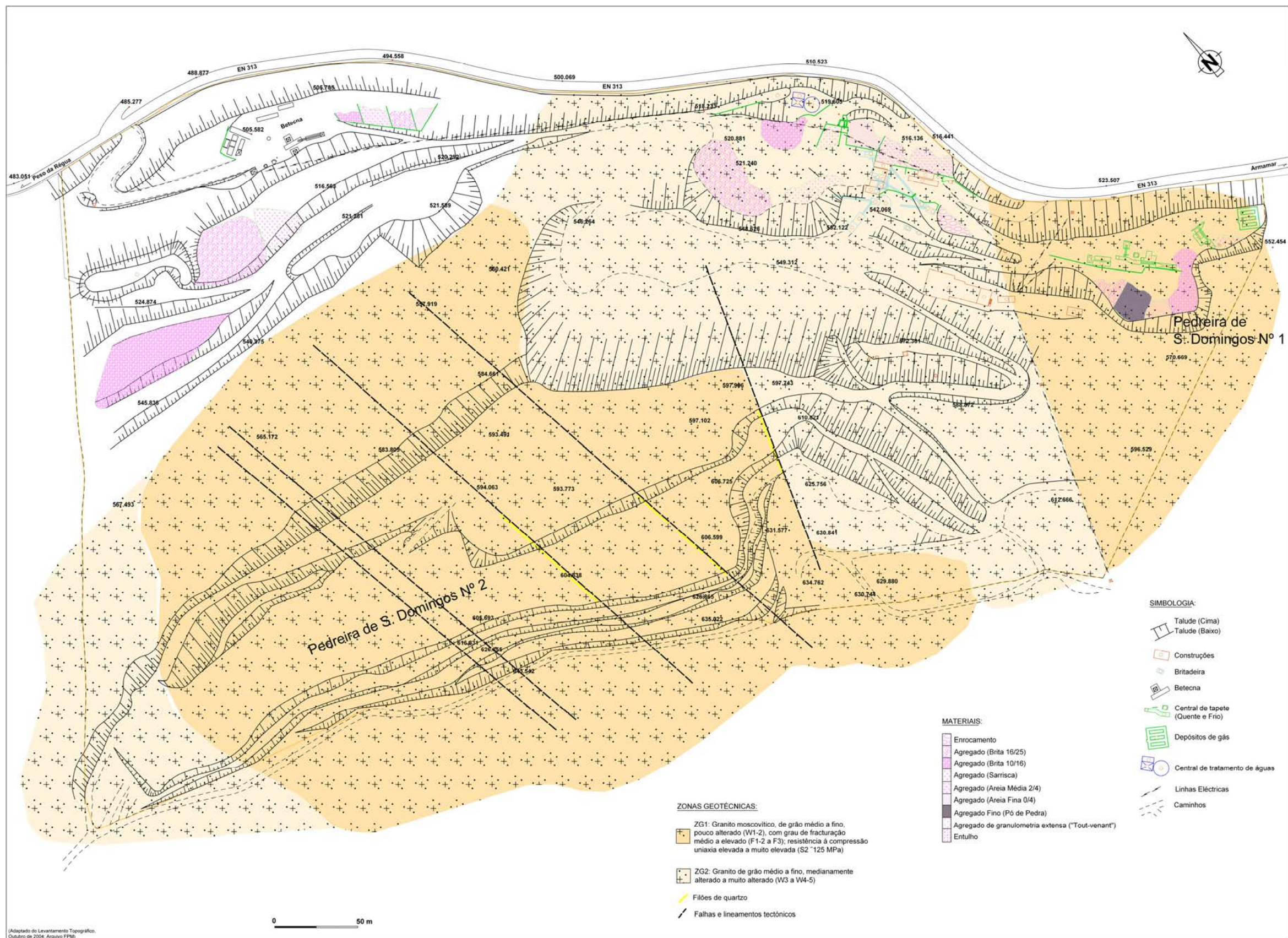


Figura 53 - Esboço do zonamento geotécnico da pedreira de S. Domingos Nº 2: sua importância como um instrumento de apoio à gestão mineira do georrecurso.



#### 4.9. Reservas da Pedreira de S. Domingos N.º 2: breves considerações

De acordo com a caracterização geológico-geotécnica do maciço da pedreira de S. Domingos N.º 2, a área assinalada com A na figura 54 corresponde a um granito moscovítico de grão médio a fino pouco alterado (ZG1). A área A encontra-se já em laboração, sendo uma área propícia para a ampliação da exploração da pedreira. Esta área, em termos volumétricos, corresponde a cerca de 1,5 milhão de m<sup>3</sup>, pelo que a reserva estimada se cifra na ordem dos 4 milhões de toneladas. Desta forma, considerando uma extracção média anual de 144.000 ton./Ano, poder-se-á estimar, numa perspectiva conservadora, um período de cerca de 12 anos para exploração desta pedreira.

De acordo com esta avaliação, sugere-se que as instalações de transformação, actualmente instaladas na área B, sejam mobilizadas para área C (antiga pedreira de S. Domingos N.º1).

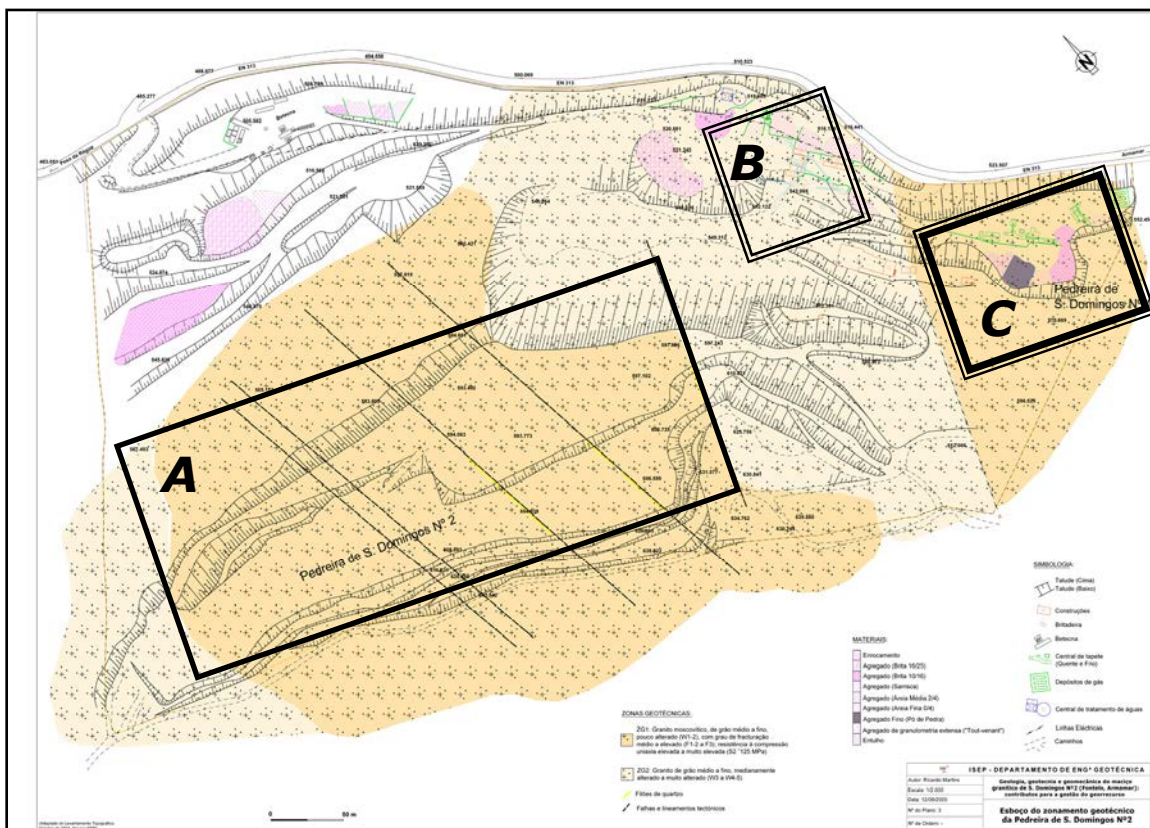


Figura 54 - Representação das áreas para a estimativa das reservas da Pedreira de S. Domingos N.º 2.



## ***V. CONCLUSÕES***



## 5. CONCLUSÕES

### *Conclusões gerais*

Na indústria extractiva e transformadora de pedra natural o custo de produção é determinante para se ser competitivo num mercado global. O desmonte de um dado maciço rochoso não é mais do que a operação de destaque de uma porção, mais ou menos representativa, do material rochoso que o constitui (Galiza et al., 2008). A optimização desta actividade é fundamental, pois para além de ter uma consequência directa no seu resultado técnico-económico, está interligada com as actividades subsequentes (desmonte, carregamento, transporte, fragmentação secundária caso se aplique e britagem) sendo que, o resultado destas está intimamente ligado com o sucesso da perfuração (Galiza et al., 2008).

É um desafio aliciante compreender a forma como os parâmetros geológicos-estruturais, geotécnicos e geomecânicos interagem entre si, de forma a poder-se otimizar o desempenho geral deste processo, bem como os equipamentos, tecnologias, modelos e marcas de ferramentas de corte existentes no mercado, as diferentes metodologias aplicadas e todos os custos envolvidos no processo, de modo, em cada situação, optar-se sustentadamente pela situação técnico-económica mais vantajosa. Assim, a contribuição da geologia e da geomorfologia aplicadas é de extrema importância nas várias fases de qualquer projecto de engenharia de maciços rochosos (e.g., Terzaghi, 1965; Rocha 1981; Vidal Romaní & Twidale 1999; Mandl 2005; Miranda et al. 2006; Galiza et al., 2008; Fonseca et al., 2010).

Com o presente trabalho pretendeu-se, sobretudo, dar ênfase à aplicação da técnica de amostragem linear em superfícies expostas de descontinuidades num maciço rochoso granítico. Assim, foi efectuado um levantamento sistemático de descontinuidades na pedreira de S. Domingos Nº 2 para o estudo da compartimentação do maciço. A técnica de amostragem linear descrita, bem como o tratamento dos dados de terreno são de aplicação simples, sendo um método de execução expedita e que permite obter importantes informações sobre a estrutura do maciço.

Do estudo geológico, geotécnico e geomecânico efectuado resultam as seguintes considerações:

- Ocorrência de uma fácies granítica de grão médio a fino, com moscovite e turmalina, sulfuretos e fosfatos (consultar o esboço geológico da pedreira);
- Reconhecimento de uma rede de fracturação intensa e de falhas geológicas, com orientação média NNW-SSE, NE-SW e N-S;
- Material-rocha granítico que em termos de qualidade geotécnica apresenta um grau de fracturação médio a elevado [ $F_{1-2}$  a  $F_3$ ];
- O maciço globalmente pode ser classificado como granito pouco alterado [ $W_{1-2}$ ] e, em alguns sectores, como medianamente alterado [ $W_3$ ] a muito alterado [ $W_{4-5}$ ];
- Caracterização da cartografia geotécnica, em termos de zonamento geotécnico, com a consideração de duas unidades:
  - i) **ZG1:** granito moscovítico, de grão médio a fino, pouco alterado ( $W_{1-2}$ ), com um grau de fracturação médio a elevado ( $F_{1-2}$  a  $F_3$ ), com uma resistência à compressão uniaxial média 125 MPa ( $S_2$ );
  - ii) **ZG2:** granito de grão médio a fino, alterado a muito alterado ( $W_3$  a  $W_{4-5}$ ). A resistência do material rocha é  $<$  a 20 MPa.

### ***Perspectivas futuras***

Em face do exposto, tendo em consideração os objectivos deste trabalho, recomenda-se que estudos futuros incidam sobre:

- Prospecção geológica de superfície, recorrendo nomeadamente a estudos de cartografia geológico-estrutural e estudos de avaliação da fracturação local, a escalas convenientes, na área dos maciços circunvizinhos;
- Prospecção geotécnica exploratória das áreas adjacentes à pedreira, nomeadamente das partes Oeste e Sul, com vista à caracterização da cartografia geotécnica de superfície para uma correcta avaliação do georrecurso.
- Elaborar um estudo da fracturação e da fragmentação relativas a diferentes orientações da frente de desmonte em relação ao diaclasamento principal;
- modificar e/ou ajustar os parâmetros do diagrama de fogo e avaliar a sua influência na fragmentação e nos custos associados à produção de agregados.

### ***Análise de Custos: estimativa preliminar***

O tipo de trabalho geotécnico desenvolvido no presente estudo pode ser enquadrado na fase de prospecção geológica e/ou de prospecção geotécnica em qualquer tipo de projecto aplicado, ou de engenharia (geotécnica, geológica, minas,...) ou de geologia aplicada (hidrogeologia, geologia de engenharia). A técnica de amostragem linear é extremamente expedita e versátil para o estudo da compartimentação de maciços rochosos e fornece preciosas informações sobre o estado da fracturação do material-rocha. Como se referiu, é frequentemente citada em trabalhos de especialidade no estudo de obras superficiais e/ou subterrâneas em maciços fracturados. Assim, esta abordagem não exige grande nível de equipamento, sendo que em termos de custos, este trabalho exige, em regra, o seguinte material: fita métrica, bússola com clinómetro incorporado (“Bússola de Geólogo”), martelo, máquina fotográfica e esclerómetro portátil. Posteriormente ao levantamento dos dados de campo é feito o tratamento e análise estatística dos resultados obtidos, em gabinete, recorrendo-se, na maioria das situações, a programas geoinformáticos de projecção estereográfica e de análise estatística elementar. Além disso, complementou-se este trabalho com ensaios geomecânicos (quadro 21).

**Quadro 21** - Diversas fases constituintes do trabalho de prospecção e respectivos custos associados.

Meses		1-2	3	4	5	6	7-8	Custos (€) (s/ IVA)
Recolha Bibliográfica	Regional / especialidade	*						250
Geologia Aplicada	Reconhecimento de campo	*						750
	Cartografia	*						
Geotecnia	Levantamento da fracturação		*	*				1500
	Representação e tratamento de dados			*	*			
Geomecânica	Ensaio de campo (Esclerómetro portátil)			*				400
	Ensaio de laboratório (Los Angeles)				*			750
Estudos complementares	Aquisição de análises geoquímicas / petrográficas		*					750
	Aquisição e análise de fotografia aérea / mapas topográficos	*	*					250
	Vectorização de mapas topográficos, modelos digitais de terreno				*	*		750
Relatório final	Redacção e apresentação do relatório Técnico-Científico						*	1600
<b>Total</b>								<b>7000</b>

Tecem-se, seguidamente, algumas considerações sobre uma estimativa, em termos de custos, para executar este tipo de trabalho com o estatuto de consultor (júnior), enquadrado numa campanha de prospecção geotécnica, ou seja, desde a fase de reconhecimento, levantamento, cartografia, inventariação e recolha bibliográfica, até ao processamento e tratamento de dados em gabinete e, conseqüentemente, a redacção e apresentação do relatório técnico-científico ao cliente. Assim, no estudo da compartimentação do maciço rochoso de uma pedreira com as características deste estudo aplicado poderíamos apontar, segundo as recomendações em termos de honorários quer da *Ordem dos Engenheiros* quer da *Associação Portuguesa de Geólogos*, como um orçamento base de 7000 € (+ IVA) e com um prazo de execução de 8 meses (quadro 21).

### **AVALIAÇÃO DE CUSTOS: UMA ABORDAGEM PRELIMINAR**

Tendo em conta a orientação das famílias principais de descontinuidades que caracterizam o maciço rochoso em estudo e os valores das operações referidas no quadro 22, será possível futuramente esboçar a optimização da operação de desmonte com explosivos, segundo os seguintes parâmetros:

- Percentagem de blocos acima da dimensão desejada;
- Tempo utilizado pela pá carregadora na operação de carga do camiões;
- Avaliar o consumo de energia na britagem (avaliando o número de horas contabilizadas pelo posto de transformação);
- Avaliar o número de horas de encravamento do primário;
- Posto isto, depois de determinados os valores de desmonte e tendo em consideração os parâmetros anteriores é possível determinar os restantes custos.

**Quadro 22-** Estimativa de custos associados a diversas operações pós-desmonte com explosivos.

<b>Operações</b>	<b>Custos</b>
Perfuração (inclui operador, gasóleo, manutenção, etc.)	2,5 €/m <sub>furo</sub>
Explosivos (preço médio)	2,01 €/Kg
Detonadores	5,06 €/furo
Carga de explosivo	0,8 €/Kg
Fragmentação secundária	2,5 €/m <sup>3</sup>
Carga e transporte	0,6 €/ton.
Britagem e selecção	1,2 €/ton.
+ 20% para diversos (despesas com administrativos, água, luz, telefone, etc.)	



## ***VI. REFERÊNCIAS***



## 6. REFERÊNCIAS

- Aires-Barros, L. (1991). Alteração e alterabilidade de rochas. Instituto Nacional de Investigação Científica, INIC, Lisboa. 384 pp.
- Al-Harathi A.A. & Abo-Saada Y.E. (1997). Wadi natural aggregates in western Saudi Arabia for use in concrete. Bull. Eng. Geol. Environ., 55: 125-135.
- Al-Harathi A. A., (2001). A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate. Bull. Eng. Geol. Environ., 60: 193-200.
- Ballivy G. & Dairy M. (1984). The mechanical behaviour of aggregates related to the physicommechanical properties of rocks. Bull Int. Assoc. Eng. Geol., 29: 339-342.
- Bernardo de Sousa, M. & Sequeira, A. (1989). Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50000, folha 10-D (Alijó). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 59 pp.
- Bock, H. (2006). Common ground in engineering geology, soil mechanics and rock mechanics: past, present and future. Bull. Eng. Geol. Env., 65: 209-216.
- Brady, B. H. G. & Brown, E. T. (2004). Rock mechanics for underground mining. 3<sup>rd</sup> Edition, George Allen & Unwin, London. 527 pp.
- Brum Ferreira, A. (1978). Planaltos e montanhas do Norte da Beira: estudo de geomorfologia. Memórias Centro Estudos Geográficos, Lisboa, 4: 1-374.
- Cabral, J. & Ribeiro, A. (1988). Carta Neotectónica de Portugal Continental, escala 1/1000000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. Mem. Inst. Geol. Min., Lisboa, 31: 1-256.
- Cargill JS & Shakoor A. (1990). Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 53: 97-103.
- Carvalho, J. M. (1996). Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian massif. Environmental Geology, 27: 252-258.
- Carvalho, J. M.; Plasencia, N.; Chaminé, H. I.; Rodrigues, B. C.; Dias, A. G. & Silva, M. A. (2000). Recursos hídricos subterrâneos em formações cristalinas do Norte de Portugal. In: Samper, J.; Leitão, T.; Fernández, L. & Ribeiro, L. (eds.). Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'. AIH-GE & APRH. ITGE, Madrid. pp. 163-171.
- CFCFF - Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (1996). Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and application. National Research Council, National Academy Press, 568 pp.
- Chaminé, H. I. & Fernandes, A. F. (1995). Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear. Aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde. Estudos, Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min., Porto, 37: 97-111.
- Chaminé, H. I.; Dias, A. G. & Dinis da Gama, C. (2001). Estudo geológico e geomecânico do maciço granítico de Lamoso (Paços de Ferreira, NW de Portugal). Geociências, Rev. Univ. Aveiro, 15: 79-92.

- Conde, M. C., Dinis da Gama, C., Lopes, M. G., (2004) Correlação entre o comportamento mecânico de agregados e das rochas originais. In: Actas do 9º Congresso Nacional de Geotecnia, 1: 141-150.
- Davis, G. & Reynolds, S. T. (1996). Structural geology of rocks and regions. 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons. 776 pp.
- Dias, G.; Noronha, F. & Ferreira, N. [eds.] (2000). Variscan plutonism in the Central-Iberian Zone, Northern Portugal. Eurogranites'2000 Field Meeting Guide Book, UM/FCUP/IGM.
- Dinis da Gama, C.; Arrais, C. & Santos, C. (1992). Dimensionamento racional de suportes em minas de carvão. Geotecnia, Revista da Associação Portuguesa de Geotecnia, Lisboa, 66: 45-62.
- Espinha Marques, J., Chaminé, H.I., Fonseca, P. E., Gomes, A, Teixeira, J., Carvalho, J. M., Marques, J. M., Aires-Barros, L. & Sodré Borges, F. (2004). Aplica o da técnica de amostragem linear para estudo da compartimenta o do maciço rochoso do sistema termomineral de Caldas do Moledo (Peso da Régua): implica es para a rede de fractura o regional. Geociências, Rev. Univ. de Aveiro, 16.
- FPM – Francisco Pereira Marinho & Irmãos, S.A (2004) Caracteriza o geológica e geotécnica preliminar do Maciço Granítico da Pedreira de Fontelo (NW de Armamar). Francisco Pereira Marinho & Irmãos, S.A 15 pp. (Relatório inédito).
- Ferrer, M. & González de Vallejo, L. [eds.], (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. ITGE, Madrid. 81 pp., 41 fotografías.
- Fonseca, L.; Ramos, L.; Galiza A.C. & Chaminé, H.I. (2010). Avalia o geomecânica de maciços rochosos fracturados e as tecnologias de perfura o: consequências técnico-econ micas. In: Gomes Correia A. et al. (eds), Proceedings do 12 Congresso Nacional de Geotecnia (Geotecnia e Desenvolvimento Sustentável), SPG/UM, Guimarães. pp. 279-288. (Cd-Rom).
- Galiza, A.C.; Ramos L. & Chaminé, H.I. (2008). Controlo da qualidade geotécnica do desmonte do maciço rochoso através de uma perfura o alinhada. In: Actas do 11º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Coimbra. 1: 243-250.
- González de Vallejo, L. I.; Ferrer, M.; Ortu o, L. & Oteo, C. [coords.] (2002). Ingeniería geológica. Prentice Hall, Madrid, 715 pp.
- Goodman, R. (1993). Engineering geology: rock in engineering construction. John Wiley & Sons, New York, 412 pp.
- GSE – Geological Society Engineering Group Working Party Report (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purpose. Quarterly Journal of Engineering Geology, Geological Society, 28 (3): 207-242.
- Hart, D.J. & Wang, H.F. (1995). Laboratory measurements of a complete set of poroelastic moduli for Berea Sandstone and Indiana Limestone. J. Geophys. Res., 100 (9): 17741-1751.
- Hoek, E. (2007). Practical rock engineering. RocScience, Hoek's Corner, 342 pp.
- Hucka, V. (1965). A rapid method of determining the strength of rocks in situ. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 2: 127-134.
- Hudson, J. A & Priest, S. D. (1983). Discontinuity frequency in rock masses. Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 20: 73-89.

- IAEG–International Association Engineering Geology (1981a). Recommend symbols for engineering geological mapping. Bulletin IAEG, 24: 227-234.
- IAEG–International Association Engineering Geology (1981b). Rock and soils for engineering geological mapping. Bulletin IAEG, 24: 235-274.
- IAEG –International Association Engineering Geology (2005). Special purpose mapping for waste disposal sites. Bulletin IAEG, 64: 1-54.
- I.S.R.M. - INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geomechanics. 15 (6): 319-368.
- I.S.R.M. - INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (1981). Basic geotechnical description of rock masses. Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18: pp. 85-110.
- I.S.R.M. - INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (2007). The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 628 pp.
- JEWG - JOINT EUROPEAN WORKING GROUP OF THE IAEG, ISRM AND ISSMGE (2004). Professional Tasks, Responsibilities and Co-operation in Ground Engineering. draft version 04, 14<sup>th</sup> May, 2004, 20 pp.
- Kahraman, S. (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. Int J Rock Mech Min. Sci., 38: 981-94.
- Kahraman, S., Fener, M. & Gunaydin, O. (2002). Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 39: 395-399.
- Katza, O.; Rechesa, Z. & Roegiersc, J.-C. (2000)Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 37: 723-728.
- Kazi, A. & Al-Molki, M.E. (1982). Empirical relationship between Los Angeles abrasion and aggregate impact value tests. In: Proceedings 4<sup>th</sup> Congr Int Assoc Eng Geol 6: 293-299.
- Lamas, L. N. (1989). Estudo da compartimentação de maciços rochosos por uma técnica de amostragem linear e dos blocos formados pelas descontinuidades. Aplicação a uma galeria do Alto Lindoso. 3<sup>o</sup> Congresso Nacional Geotecnia. Soc. Portg. Geotecnia. 3: C33-C44.
- Mandl, G. (2005). Rock Joints: the mechanical genesis. Springer, 217 pp.
- Martins, R. (2005). Geologia, geotecnia e geomecânica do maciço granítico da Pedreira de S. Domingos n.º 2 (Fontelo, Armamar): contributos para a gestão do georrecurso. Relatório Final de Projecto/Estágio da Licenciatura. Departamento de Engenharia Geotécnica. Instituto Superior de Engenharia do Porto. (Relatório inédito).
- Martins, R., Moreira, P., Santos Pereira, Neto, E., Pereira, A. M., Teixeira, J., Vieira, A. & Chaminé, H. I. (2006). A técnica de amostragem linear aplicada a estudos de compartimentação de maciços rochosos no norte de Portugal. In: Actas do 10<sup>o</sup> Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Nova de Lisboa, Maio de 2006. Volume 1, pp. 255-264.
- Mazzoccola, D.F., Millar, D.L. & Hudson, J.A. (1997). Information, uncertainty and decision making in site investigation for rock engineering. Geotechnical and Geological Engineering, 15: 145-180.

- Matos Fernandes, M. (2000). Eurocódigo 7: questões essenciais e ponto da situação. VII Congresso Nacional de Geotecnia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Mello Mendes, F. (1967-68). Mecânica das rochas. Instituto Superior Técnico. Lisboa. 541 pp.
- Miranda, T., Gomes Correia, A. & Ribeiro e Sousa, L. (2006). Determinação de parâmetros geomecânicos em formações rochosas e maciços heterogéneos. *Revista Engenharia Civil, UM*, 25: 17-40.
- NP EN 1907-2 (2002). Resistência à fragmentação - Coeficiente de Los Angeles - Marcação CE Directiva 89/106/CE.
- Palmström, A. (1995) RMI - a rock mass characterization system for rock engineering purposes. PhD Thesis, University of Oslo, 400 p. (Tese de Doutoramento).
- Peacock, D. C. P., Harris, S. D. & Mauldon, M. (2003). Use of curved scanlines and boreholes to predict fracture frequencies. *J. Struct. Geol.*, 25: 109-119.
- Pereira, J. J. C. P., (1985) Caracterização geotécnica de maciços rochosos. Universidade Nova de Lisboa. 404 pp. (Tese de mestrado).
- Priest, S. D. & Hudson, J. A. (1981). Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18: 183-197.
- Priest, S. D. (1993). Discontinuity analysis for rock engineering. Chapman and Hall, London. 473 pp.
- Ribeiro, A., Quesada, C. & Dallmeyer, R. D. (1990). Geodynamic evolution of the Iberian Massif. In: Dallmeyer, R. D. & Martínez-García, E., Eds, *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. pp. 397-410.
- Rocha, M. (1981) Mecânica das Rochas. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 445 pp.
- Rodrigues, Carlos (s/d) Projecto Assistido por Ensaios. Mestrado em Mecânica dos solos e Engenharia Geotécnica. UC-FCTUC, Modulo I , 1-23 pp. (Relatório Inédito).
- RSAEEP (2000). Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (aprovado pelo decreto-lei nº235/83, de 31 de Maio In: *Colecção Regulamentos*, Porto Editora. Anexo III- Elementos para quantificação da acção dos sismos, 4: 87-96.
- Schmidt E. (1951). A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59 (8): 34-5.
- Sodré Borges (2002). Geologia Estrutural. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Sousa Oliveira, C, Sousa, M. L. & Costa, A.C., (1999). Contribuição para a revisão da acção sísmica em Portugal Continental no contexto do Eurocódigo 8. In: 4<sup>o</sup> encontro Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica/2<sup>ème</sup> Rencontre en Génie Parasismique des Pays Méditerranées, Simica'99, Faro, Algarve, pp. 153-164.
- Terzaghi, R. D. (1965). Sources of errors in joint surveys. *Geotechnique*, 15: 287-304.
- Terzaghi, K. & Peck R. B. (1967). *Soil Mechanics in engineering practice*. Second edition, John Wiley and Sons, New York.
- Vidal Romani, J. R. & Twidale, C. R. (1999). Sheet fractures, other stress forms and some engineering implications. *Geomorphology*, 31 (1-4): 13-27.
- Zuquette, L. V. & Gandolfi, N. (2004). *Cartografia geotécnica*. Oficina de textos, Brasil, 189 pp.

IGeoE, 1998. Mapa topográfico (1: 25.000)

[www.ine.pt](http://www.ine.pt)

[www.lusiglob.pt](http://www.lusiglob.pt)



**ANEXOS**



## **Anexo I**

***Fichas de levantamento dos parâmetros geológico-geotécnicos/BGD***  
(perfis/painéis longitudinais e transversais, técnica de amostragem linear)

***Fichas de levantamento das estações geomecânicas***

(Martelo de Schmidt)

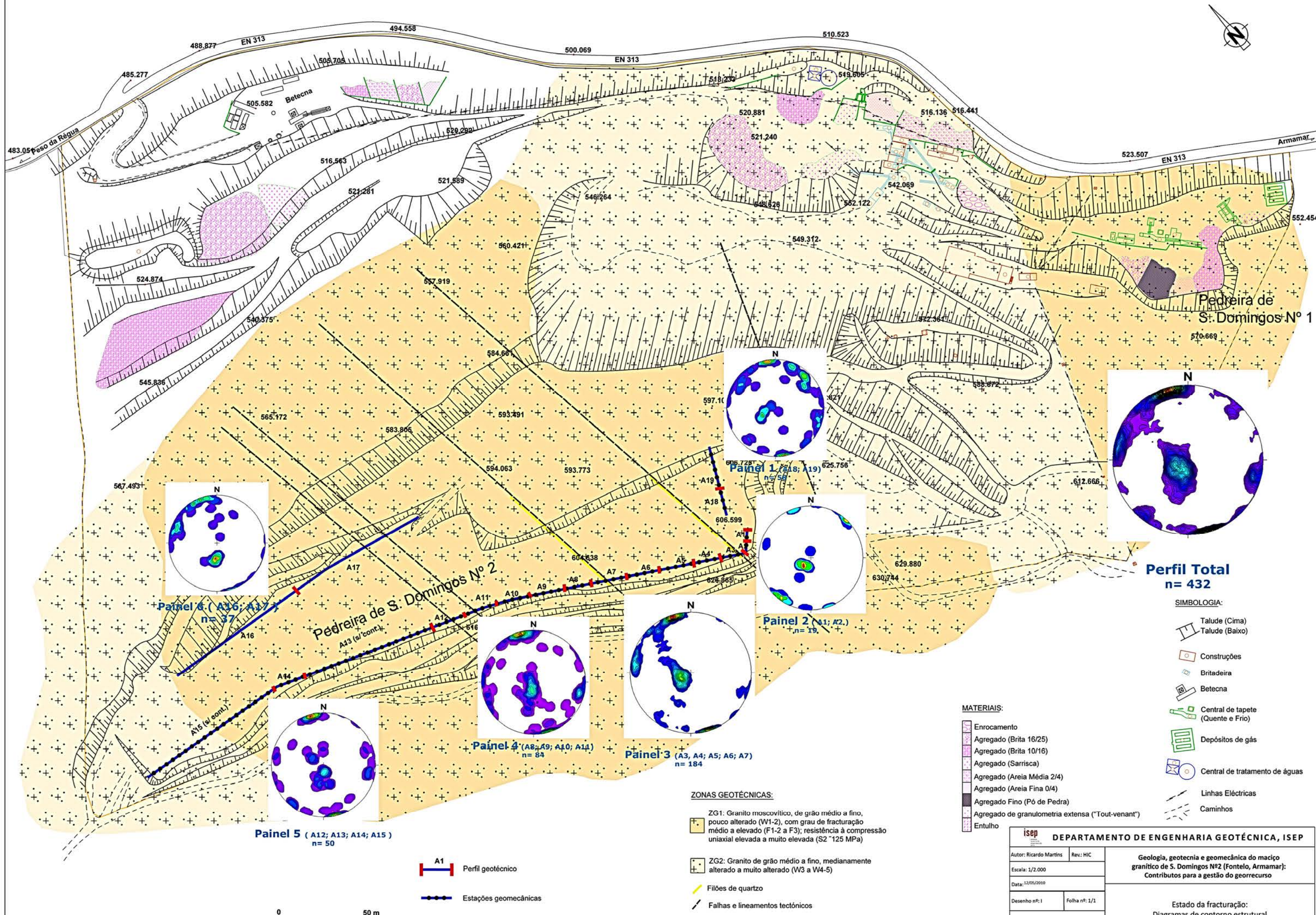
***(anexo I em CD-Rom)***



## **Anexo II**

*Mapas de síntese do zonamento geotécnico da pedra do Fontelo,  
com os diagramas geológico-estruturais de síntese*





**Perfil Total**  
n= 432

**SIMBOLOGIA:**

- Talude (Cima)
- Talude (Baixo)
- Construções
- Britadeira
- Betecna
- Central de tapete (Quente e Frio)
- Depósitos de gás
- Central de tratamento de águas
- Linhas Eléctricas
- Caminhos

**MATERIAIS:**

- Enrocamento
- Agregado (Brita 16/25)
- Agregado (Brita 10/16)
- Agregado (Sarrisca)
- Agregado (Areia Média 2/4)
- Agregado (Areia Fina 0/4)
- Agregado Fino (Pó de Pedra)
- Agregado de granulometria extensa ("Tout-venant")
- Entulho

**ZONAS GEOTÉCNICAS:**

ZG1: Granito moscovítico, de grão médio a fino, pouco alterado (W1-2), com grau de fracturação médio a elevado (F1-2 a F3); resistência à compressão uniaxial elevada a muito elevada (S2 ~125 MPa)

ZG2: Granito de grão médio a fino, medianamente alterado a muito alterado (W3 a W4-5)

- Filões de quartzo
- Falhas e lineamentos tectónicos

**Painel 5** ( A12; A13; A14; A15 )  
n= 50

**Painel 4** (A8; A9; A10; A11)  
n= 84

**Painel 3** (A3; A4; A5; A6; A7)  
n= 184

**Painel 2** (A1; A2)  
n= 19

**Painel 1** (A18; A19)  
n= 58

**Painel 6** (A16; A17)  
n= 3

Perfil geotécnico

Estações geomecânicas

0 50 m

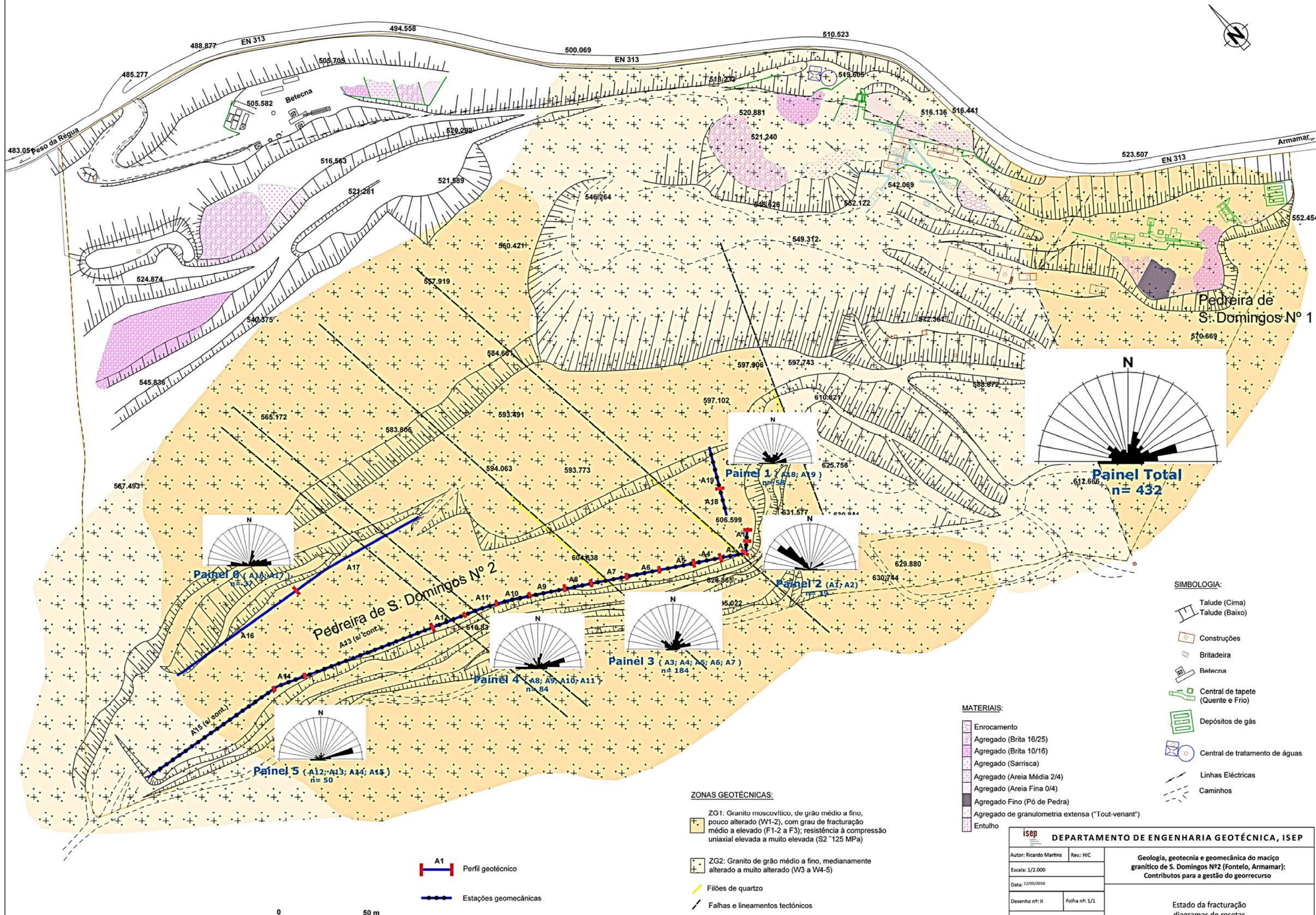
(Adaptado do Levantamento Topográfico, Outubro de 2004; Arquivo FPM)

<b>ISEP DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA, ISEP</b>	
Autor: Ricardo Martins	Rev: HIC
Escala: 1/2.000	
Data: 12/05/2010	
Desenho nº: 1	Folha nº: 1/1
Versão: Final	

**Geologia, geotecnia e geomecânica do maciço granítico de S. Domingos Nº2 (Fontelo, Armamar): Contributos para a gestão do georrecurso**

Estado da fracturação:  
Diagramas de contorno estrutural





- SIMBOLOGIA:**
- Talude (Cima)
  - Talude (Baixo)
  - Construções
  - Britadeira
  - Betecna
  - Central de tapete (Quente e Frio)
  - Depósitos de gás
  - Central de tratamento de águas
  - Linhas Eléctricas
  - Caminhos

- MATERIAIS:**
- Enrocamento
  - Agregado (Brita 16/25)
  - Agregado (Brita 10/16)
  - Agregado (Sarrisca)
  - Agregado (Areia Média 2/4)
  - Agregado (Areia Fina 0/4)
  - Agregado Fino (Pó de Pedra)
  - Agregado de granulometria extensa ("Tout-venant")
  - Entulho

- ZONAS GEOTÉCNICAS:**
- ZG1: Granito moscovítico, de grão médio a fino, pouco alterado (W1-2), com grau de fracturação médio a elevado (F1-2 a F3); resistência à compressão uniaxial elevada a muito elevada (S2 ~125 MPa)
  - ZG2: Granito de grão médio a fino, medianamente alterado a muito alterado (W3 a W4-5)
  - Filões de quartzo
  - Falhas e lineamentos tectónicos

- Perfil geotécnico
- Estações geomecânicas

0 50 m

<b>ISEP DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA, ISEP</b>	
Autor: Ricardo Martins	Rev: HIC
Escala: 1/2.000	
Data: 12/05/2010	
Desenho nº: II	Folha nº: 1/1
Versão: Final	

Geologia, geotecnia e geomecânica do maciço granítico de S. Domingos N.º2 (Fontelo, Armamar): Contributos para a gestão do georrecurso

Estado da fracturação diagramas de rosetas

(Adaptado do Levantamento Topográfico, Outubro de 2004; Arquivo FPM)

