

# Geologia estrutural e geotecnia do maciço granítico do Alto da Cabeça Santa (NW de Portugal): implicações para a gestão do georrecurso da pedreira da Mimosa

## Structural geology and geotechnics of the Alto da Cabeça Santa granitic rock-mass (NW Portugal): implications for the georesources management of Mimosa quarry

SANTOS PEREIRA, C. M. <sup>1,3</sup>; CHAMINÉ, H. I. <sup>1,3</sup>; VIEIRA, A. R. <sup>2,1</sup>; TEIXEIRA, J. <sup>3</sup>;  
GOMES, A. <sup>4</sup> & FONSECA, P. E. <sup>5</sup>

### Abstract

This work presents the results of the structural geology, geomorphology 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 Mimosa granitic quarry (Alto da Cabeça Santa, Penafiel; NW Portugal). For that purpose, the surrounding area of the open quarry as well as selected granitic outcrops were studied using the following tools: surface geological/geomorphological 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 multi-scale fracture network pattern. The use of these techniques for understanding the rock mass block delimitation may contribute to improve the sustainable management of the georesources from Mimosa granitic quarry.

**Key words:** discontinuities, scanline sampling technique, structural geomorphology/geology, geotechnics, NW Portugal.

(1) Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Rua do Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Portugal. (e-mail: hic@isep.ipp.pt)

(2) Mota-Engil: Engenharia e Construção, S.A., Porto, Portugal.

(3) Centro de Minerais Industriais e Argilas (MLA) da Universidade de Aveiro, Portugal.

(4) Departamento de Geografia (GEDES), FLUP, Universidade do Porto, Portugal.

(5) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e Laboratório de Tectonofísica e Tectónica Experimental (L.ATTEX), Portugal.

## INTRODUÇÃO GERAL

Em estudos de caracterização geotécnica e geomecânica de maciços fracturados a contribuição da geologia e da geomorfologia são de extrema importância nas várias fases de qualquer projecto de engenharia de maciços rochosos (*e.g.*, TERZAGHI, 1965; ROCHA, 1981; VIDAL ROMANÍ & TWIDALE, 1999). Com efeito, a habitual complexidade das unidades geológicas, no que se refere à diversidade dos tipos de litologias, à sua heterogeneidade e grau de alteração e ainda às superfícies de descontinuidades que as intersectam, reflecte-se em termos de estabilidade e de condições hidrogeológicas de um dado maciço rochoso. De facto, as ferramentas geológicas e geomorfológicas fl cartografia geológica e geomorfológica, geologia e geomorfologia estrutural, hidrogeologia e fotogeologia fl quando aplicadas à prospeção geológico-geotécnica e geomecânica, perspectivadas num enquadramento geológico/geomorfológico regional actualizado, em que se valorizam os trabalhos à escala local baseados em critérios técnico-científicos (*e.g.*, ISRM, 1978, 1981; CFCFF, 1996; HOEK, 2000; GONZÁLEZ de VALLEJO *et al.*, 2002), serão concerteza uma ferramenta de excelência, dentro dos seus limites de actuação e de competência, em estudos de natureza aplicada. Esta dicotomia fl geociências *versus* prospeção geológico-geotécnica fl tem sido amplamente abordada em trabalhos aplicados conforme está patente nas preocupações de muitos autores (*e.g.*, CARVALHO, 1984; CRUZ & OLIVEIRA SILVA, 1991; DINIS da GAMA *et al.*, 1992; CHAMINÉ & GASPARELLO, 1995; AFONSO *et al.*, 1999; CHAMINÉ *et al.*, 2001; LISBOA & OLIVEIRA, 2003).

O trabalho em questão pretende caracterizar as condicionantes geológico-geotécnicas do maciço rochoso da pedreira granítica da Mimosa. Esta pedreira está situada no lugar do Alto da Cabeça Santa na Freguesia de Peroselo (Concelho de Penafiel, Distrito do Porto; NW de Portugal) e encontra-se, actualmente, em fase de exploração pela empresa MOTA-ENGIL, S.A. O georrecurso granítico em questão é explorado pela empresa para fins vários ligados à construção civil e obras públicas, tais como brita, "tout-venant", enrocamento e balastro.

## ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO E GEOLÓGICO REGIONAL

A pedreira da Mimosa insere-se na bacia hidrográfica do Rio Douro, estando compreendida entre os paralelos 40°20' e 40°10' de Latitude Norte e os meridianos 08°43' e 08°40' de Longitude Oeste. A pedreira da Mimosa situa-se na vertente ocidental do maciço granítico de Cabeça Santa (fig. 2), o qual assume uma orientação geral NNE-SSW. Este maciço apresenta, *grosso modo*, uma forma elipsoidal, alongada e constitui destacado relevo na região (441m). O bordo Oeste desta elevação constituirá uma importante escarpa de falha regional, a qual é bem patente na geometria alongada do corpo granítico, na deformação do material granítico junto a esse bordo e, sobretudo, no lineamento morfotectónico rectilíneo aproveitado pela Ribeira das Lajes.

A morfologia 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 que individualizam vários blocos montanhosos e que explicam o traçado rectilíneo da ribeira de Camba, assim como, o seu vale encaixado junto da foz. Este condicionamento tectónico também se manifesta na ocorrência de nascentes termiais, com águas mineralizadas, o que em parte revela uma circulação lenta e profunda (CALADO, 2001). Obliquamente a esta direcção temos lineamentos NW-SE que determinam a disposição em blocos escalonados de topo aplanado e que são quase exclusivamente entalhados pela rede hidrográfica secundária, a qual corresponde nalguns casos a vales de fractura alinhados, típicos do modelo granítico (DAVEAU, 1988).

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, 1979). Merece também alguma ênfase, as áreas deprimidas de fundo aplanado, de dimensão quilométrica e de fraca incisão pela rede hidrográfica, sendo o alvéolo de Peroselo e o corredor Oldrões-Paredes exemplos

desse contexto geomorfológico. Estas formas comuns em substrato granítico correspondem a variações na natureza da rocha ou ao entrecruzamento de fracturas que facilitam a penetração de água e a alteração subsequente (BRUM FERREIRA, 1978). Os alvéolos estão quase sempre ligados à presença de rochas cristalinas e/ou cristalofílicas, o que sugere que a alteração diferencial terá sido determinante na geração destas formas.

O maciço granítico de Penafiel faz parte de uma faixa de granitóides variscos, com orientação geral NW-SE, que se estendem desde o Alto Minho até às Beiras. Do ponto de vista geotectónico insere-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI) do Maciço Ibérico (PEREIRA *et al.*, 1989; DIAS *et al.*, 2000). O material-rocha presente na pedreira da Mimosa (fig. 1) é composto por granitos monzoníticos porfiróides, de duas micas essencialmente biotíticos associados a estruturas de idade Varisca (MEDEIROS *et al.*, 1980; PEREIRA *et al.*, 1989). A área da pedreira é limitada a Norte por granitos porfiróides, de grão grosseiro de duas micas, essencialmente biotíticos que ocupam uma faixa de orientação NW-SE, a Sudeste por granitos monzoníticos de duas micas, essencialmente biotíticos e, finalmente, a Oeste por granodioritos e raros quartzodioritos biotíticos (MEDEIROS *et al.*, 1980).

Em termos hidrogeológicos regionais a área é constituída por um meio fracturado com uma condutividade hidráulica variando entre 1 e 3l/s.km<sup>2</sup> (PEDROSA, 1999). No local da pedreira, a drenagem da escorrência superficial 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 poder-se-á sobrepor à infiltração.

Da análise da Carta Neotectónica de Portugal Continental (CABRAL & RIBEIRO, 1988) constata-se que o sector em estudo se enquadra próximo a sistemas de mega-descontinuidades tectónicas com actividade neotectónica importante, com orientação geral NNE-SSW a N-S. A divisão regulamentar delimita o território português em quatro zonas potencialmente sísmicas que por ordem decrescente de risco sísmico, são designadas por A, B, C e D (segundo o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, aprovado pelo Decreto-Lei n.º235/83, de 31 de Maio, *in* RSAEEP, 2000), definindo o tipo de construção

aconselhável em cada zona (RSAEEP, 2000 e, mais recentemente, no âmbito do Euro-código 8; SOUSA OLIVEIRA *et al.*, 1999). O Concelho de Penafiel encontra-se incluído na zona D, onde se admite não serem de reocar os efeitos dos sismos nas construções, muito embora se tenham já verificado alguns epicentros de sismos históricos e instrumentais (RIBEIRO & CABRAL, 1992; CABRAL, 1995) nas proximidades da região. Contudo, a sismicidade da região Minhota é moderada, com sismos de magnitude inferior ao grau 5, mas com frequência acima da média para o território português (SOARES de CARVALHO, 1992; CABRAL, 1995). Este facto denuncia que a neotectónica se mantém activa, existindo mesmo indícios geomorfológicos que confirmam uma actividade tectónica recente para a região.

## ESTUDO DA COMPARTIMENTAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO DA MIMOSA

### Considerações iniciais

O presente trabalho foi desenvolvido em duas fases complementares, a saber: uma primeira fase, referente ao trabalho de campo, enquadrada na fase de reconhecimento geológico e geomorfológico estrutural e de prospecção geológico-geotécnica e, uma segunda fase, ligada ao processamento, análise e interpretação dos dados para uma caracterização da compartimentação do maciço rochoso, as quais foram perspectivadas na geotecnia 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 definição das famílias de descontinuidades, bem como a caracterização estatística das suas atitudes (recorrendo, na medida do possível, à terminologia e às recomendações propostas pela ISRM (1978, 1981), e pelo CFCFF, 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 mega e macroescala no sentido de averiguar a presença de um padrão de fracturação com dimensão multi-escala. Por fim, discute-se a utilidade desta metodologia e das técnicas associadas para a conceptualização de um modelo geotécnico-geomecâ-

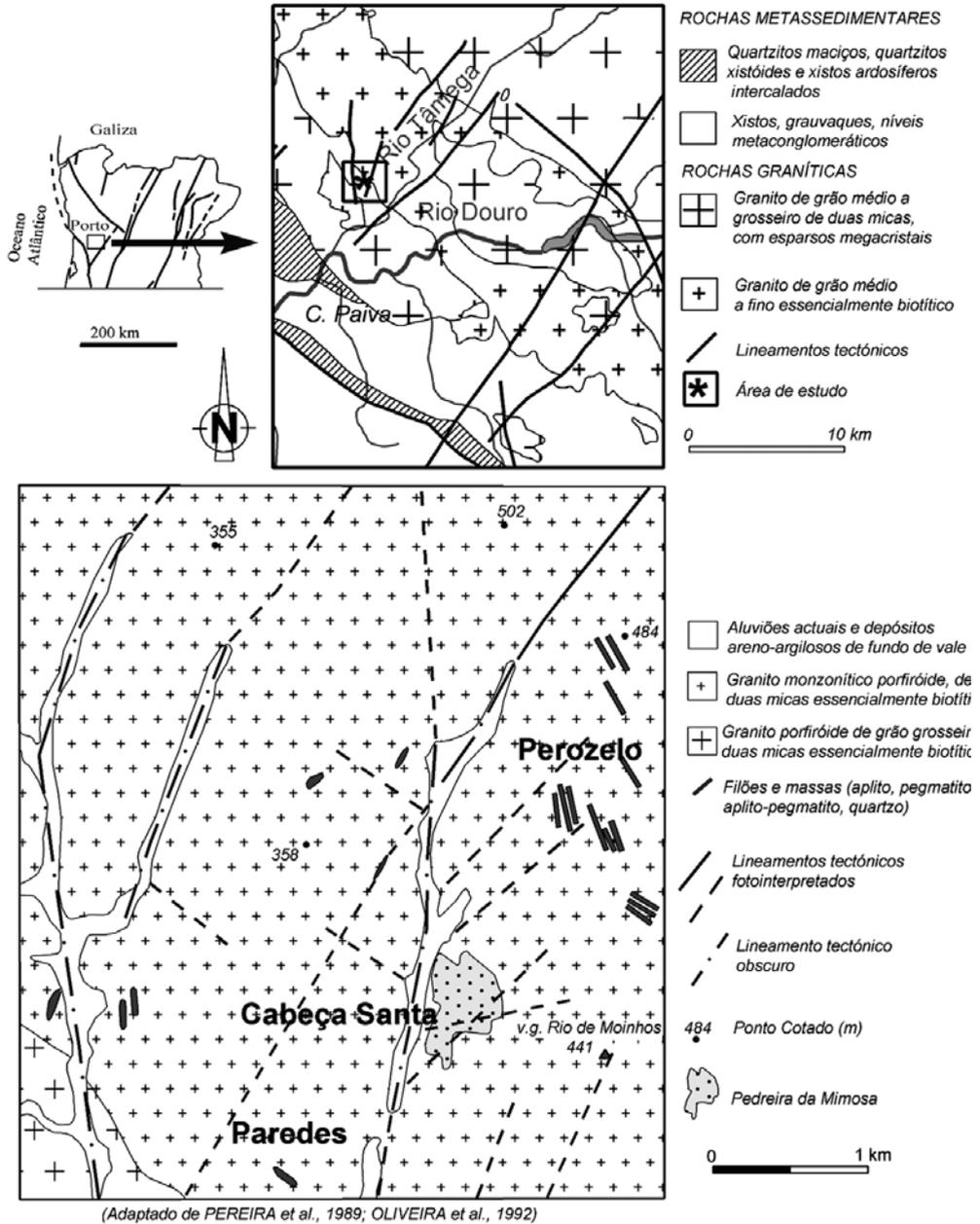


Fig. 1 – Enquadramento geológico regional da área da Cabeça Santa (Pedreira da Mimosa).

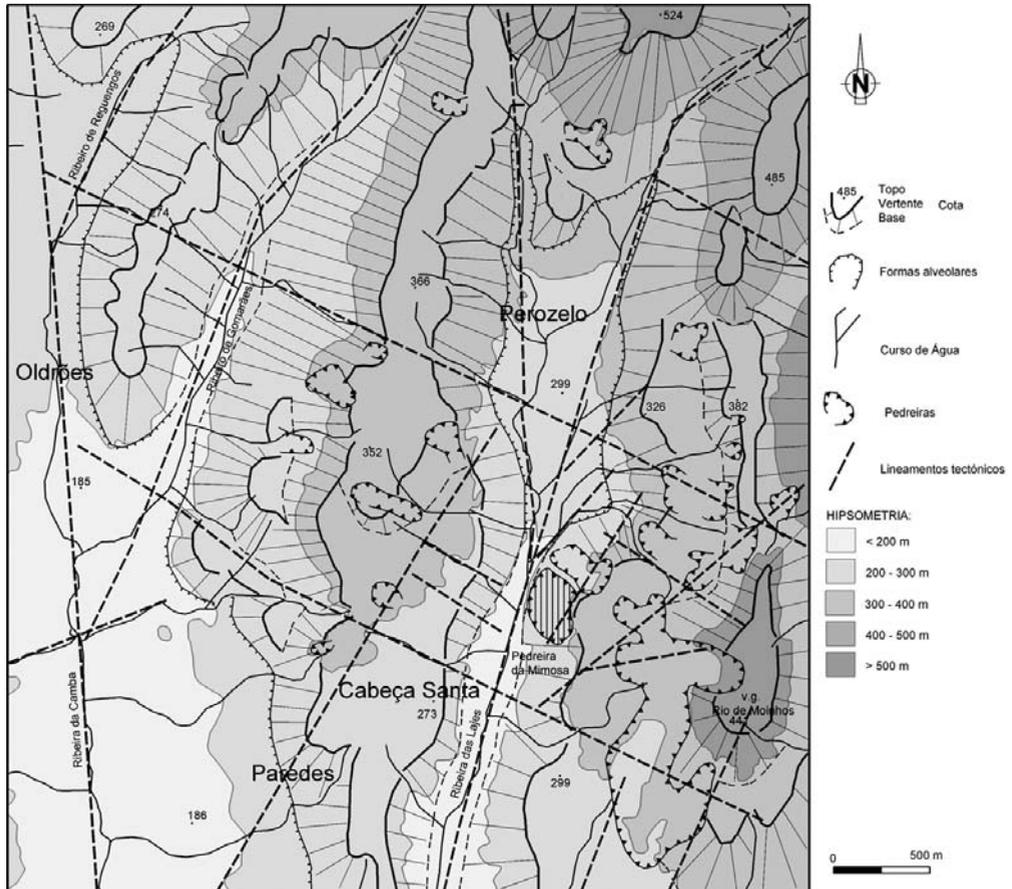


Fig. 2 – Esboço geomorfológico da região da Cabeça Santa (o perímetro da área ocupada pelas diversas pedreiras está de acordo com a Carta Militar de Portugal, folha 124, à escala 1/25.000, edição de 1998).

nico em meio fracturado. Para o efeito, apresenta-se, ainda que de uma forma sumária, a técnica de amostragem linear aplicada a faces expostas em diferentes taludes rochosos, bem como os métodos de tratamento geológico-geotécnico das discontinuidades.

A aplicação da técnica de amostragem linear em faces expostas do material-rocha para a caracterização da compartimentação do maciço poderá, certamente, contribuir para uma melhor gestão do georrecurso do Alto da Cabeça Santa (fig. 1). O trabalho exploratório de SANTOS PEREIRA (2004) aponta os principais constrangimentos geológico-geotécnicos e o estudo que, ora se apresenta, permite avan-

çar com uma caracterização geológico/geomorfológica estrutural e geotécnica do maciço da Pedreira da Mimososa.

### Material e métodos

A região na qual se situa a pedreira da empresa MOTA-ENGL,S.A., em Penafiel, é por excelência uma área onde predominam rochas graníticas. De referir que os granitos extraídos desta pedreira, e de outras na região, se destinam essencialmente a obras de construção civil e obras públicas. De um modo geral, pode-se considerar, numa abordagem meramente qualitativa, que o material-rocha da pedreira

da Mimosa apresenta um grau de fracturação elevado a muito elevado, de tal modo que está vocacionada para a extracção de agregados para a construção civil e obras públicas. As características geológico-estruturais do maciço, resultantes da intensidade da deformação (frágil) e do grau de alteração (especialmente do bordo Oeste do maciço), acarretam fortes restrições à extracção deste litótipo granítico tendo em vista, por exemplo, o mercado de rocha ornamental. De referir que esta pedra antes de pertencer à empresa MOTA-ENGIL, S.A. era propriedade de uma empresa com características artesanais, a qual se dedicava, fundamentalmente, à produção de cubos de granito para obras rodoviárias (MOTA & COMPANHIA, 2003). Na área envolvente regista-se uma grande proliferação de pedreiras, muitas delas actualmente em laboração, as quais são responsáveis por importantes repercussões sócio-económicas e ambientais na região (MENDES, 2000).

Na impossibilidade, do ponto de vista prático, de estudar exaustivamente a compartimentação do maciço rochoso na totalidade da área envolvente da pedra da Mimosa, optou-se por realizar esse estudo a partir de uma amostragem 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 descontinuidades por ela intersectadas. Uma descrição metodológica da técnica encontra-se, por exemplo, em BRADY & BROWN (1985) e em CHAMINÉ & GASPAS (1995). Na sua aplicação à área do maciço granítico da pedra da Mimosa optou-se pela colocação de uma fita graduada (em metros) nos taludes a serem cartografados a, aproximadamente, 1.50m do solo. Para cada talude (ou 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 descontinuidades (diaclases e, mais raramente, falhas e/ou estruturas filonianas) que intersectavam essa linha de amostragem. Cada uma das descontinuidades foi descrita e registada nas fichas de levanta-

tamento segundo a classificação geotécnica da BGD (“Basic Geotechnical Description of Rock Masses”) proposta pela ISRM (1981).

Para cada descontinuidade que intersectava a linha de amostragem foram registadas as seguintes grandezas (*e.g.*, PRIEST & HUDSON 1981; PRIEST, 1983; BRADY & BROWN, 1985; ISRM, 1981; LAMAS, 1989; CHAMINÉ & GASPAS, 1995): i) D - distância à origem da fita graduada; ii) L - semi-comprimento exposto, ou seja, o comprimento visível da intersecção da descontinuidade com a face exposta de rocha, apenas para um dos lados da fita graduada; iii) T - tipo de terminação que apresenta a extremidade da descontinuidade (R - na rocha; D - noutra descontinuidade; O - obscura); iv) atitude da descontinuidade (direcção e inclinação) medida junto ao ponto de intersecção da linha de amostragem com a descontinuidade; v) C - curvatura, numa escala de 1 a 5, em que 1 representa superfícies planas e 5 superfícies muito curvas; vi) R - rugosidade, numa escala de 1 a 5, representando 1 uma superfície lisa e 5 uma superfície muito rugosa; vii) diversas características das descontinuidades, tais como abertura, tipo de preenchimento, presença de água, entre outras.

Os dados recolhidos no terreno, referentes à técnica de amostragem linear, foram objecto de um tratamento adequado para posterior interpretação e análise, permitindo a definição de diversas famílias de descontinuidades. O estabelecimento das diferentes famílias para os painéis cartografados foi conseguido através da elaboração de diagramas estruturais e 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<sup>â</sup>, 1992-1995).

Os parâmetros geológico-geotécnicos determinados para a caracterização das descontinuidades do maciço foram, essencialmente, os seguintes: a atitude, o espaçamento, a continuidade ou persistência, o preenchimento e a rugosidade. Procedeu-se, também, a uma inventariação e caracterização preliminar das condições hidrogeológicas do maciço.

O levantamento das atitudes das descontinuidades foi efectuado em seis painéis (fig. 3) distribuídos com diversas orientações, de modo a caracterizar, na medida do possível, toda a área do maciço (longitudinal e transversalmente) de exploração da Mimosa.

Contudo, foram encontradas dificuldades do ponto de vista operacional no levantamento de um maior número de diaclases devido, por um lado, a uma instabilidade permanente da maioria dos taludes, e por outro lado, por ter ocorrido um grande escorregamento, com *ca.* 250m de extensão e segundo uma orientação estrutural aproximada de N40°E.

### Descrição geológica e geotécnica local

O enquadramento geológico local do maciço intrusivo da Mimosa é composto pela fácies de granito porfiróide de grão grosseiro, de duas micas, essencialmente biotítico (MEDEIROS *et al.*, 1980). Macroscopicamente, as rochas da unidade geológica em estudo apresentam um grão grosseiro, cor cinzenta e, por vezes, apresentam uma foliação fluidal materializada pelos megacristais de feldspato e dos filossilicatos. Este litótipo apresenta uma boa homogeneidade textural, quer quanto à granularidade quer quanto à cor.

Tendo em conta a disposição do corpo granítico, de forma rectilínea e alongada, cujos limites estão, inequivocamente, controlados do ponto de vista tectónico ao longo de, pelo menos, duas dezenas de quilómetros, é possível presumir que a intrusão foi condicionada estruturalmente ao longo de lineamentos tectónicos profundos, tal como se pode deprender da análise do padrão da rede de fracturação regional e local. A deformação frágil do maciço caracteriza-se por um diaclasamento relativamente pouco espaçado, apresentando as diaclases mais comuns a orientação média N30°-40°E.

O material-rocha granítico apresenta uma textura cristalina, granulometria uniforme, e com alguma orientação fluidal dos megacristais de feldspato e dos filossilicatos. O maciço em causa pode ser considerado, em termos de qualidade geológico-geotécnica, como muito fracturado e, em algumas zonas, com um grau de alteração muito acentuado. Por exemplo, no painel 1 observa-se nitidamente o evoluir do estado de alteração de uma zona onde a pedreira apresenta um estado do material-rocha relativamente são [W<sub>1-2</sub>] (coincidente com o eixo do corpo granítico), para uma zona lateral do eixo da massa granítica muito tectonizada e com um grau de alteração evidente, podendo ser considerado, em alguns tramos do talude, um saibro granítico [W<sub>5</sub>].

### Grau de alteração

No caso em estudo, o estado de maior alteração de rocha granítica (W<sub>4-5</sub>, segundo a classificação da ISRM, 1978, 1981 e da GSE, 1995) confina-se a uma estreita faixa superficial (não ultrapassando, regra geral, um metro de espessura). Na proximidade das discontinuidades (quer sub-verticais quer sub-horizontais), e em zonas de maior densidade de fracturação ou esmagamento, a alteração caracteriza-se pela ocorrência de pontuações ferruginosas, resultantes da oxidação dos minerais ferromagnesianos (particularmente da biotite), conferindo globalmente ao material-rocha uma tonalidade amarelada. As zonas limítrofes do afloramento caracterizam-se, por vezes, por uma intensa alteração, exibindo granito desagregado e mesmo arenizado (tipo saibro, W<sub>4-5</sub>).

Na quase totalidade da pedreira pode-se considerar que estamos em presença de um granito medianamente alterado (W<sub>3</sub>), exceptuando as zonas limítrofes que apresentam um estado de alteração muito evoluído, ou seja, o material-rocha encontra-se muito decomposto (W<sub>4-5</sub>). Convém salientar que foram cartografadas no maciço áreas pouco alteradas (W<sub>1-2</sub>), especialmente, no material-rocha aflorante no eixo do corpo granítico (por exemplo, painel 3).

### Caracterização das discontinuidades: análise da fracturação

Foram efectuados levantamentos geológico-geotécnicos em seis painéis com diferentes orientações de modo a caracterizar da melhor forma possível o maciço, quer transversal quer longitudinalmente. Um dos maiores constrangimentos encontrados aquando do levantamento de campo, prendeu-se com o facto de a pedreira estar em plena laboração, pelo que as linhas de amostragem foram seleccionadas em função das frentes disponíveis e os levantamentos tiveram que ser realizados, por vezes, num curto espaço de tempo. A ocorrência de um enorme escorregamento numa zona da pedreira considerada vital para o presente estudo, situada entre os painéis 2 e 5, impossibilitou a caracterização daquela zona.

O tratamento dos dados recolhidos no terreno, referentes à técnica de amostragem linear, foi feito

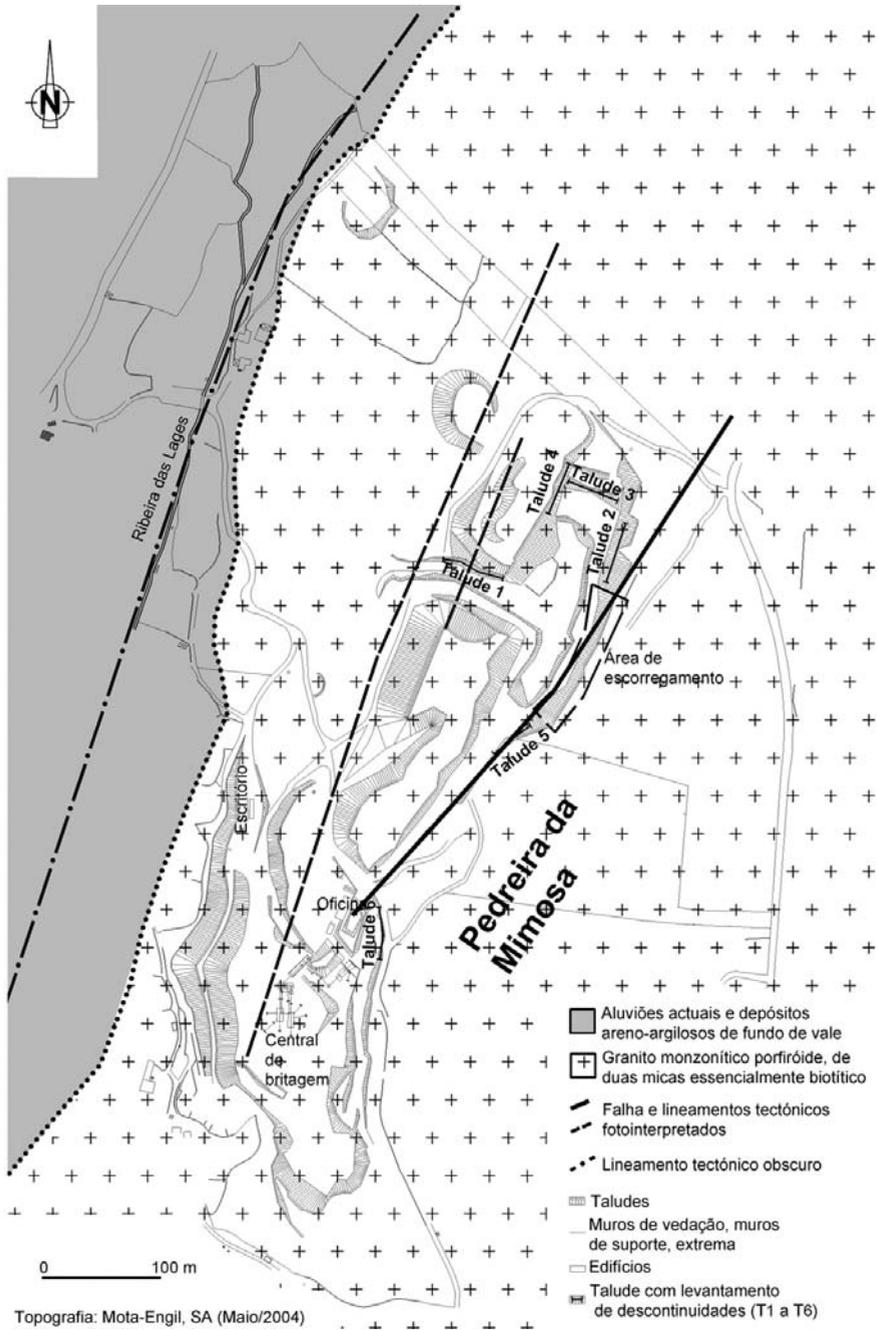


Fig. 3 – Enquadramento geológico local da Pedreira da Mimosa.

recorrendo a diagramas geológico-estruturais (diagramas de contorno estrutural e diagramas de rose-tas), os quais permitiram a definição do número de famílias de descontinuidades e, sobretudo, da família dominante, da sua atitude, do seu espaçamento e da sua persistência. Para além disso, considerou-se a caracterização, do ponto de vista geotécnico e geomecânico, de famílias por painel em troços homogêneos e para toda a pedraira.

Da análise dos diagramas estruturais das atitudes das descontinuidades (diaclases), medidas de forma sistemática, nos seis painéis estudados, resultaram as seguintes considerações (quadro 1; fig. 4):

**Painel 1** (n= 59; orientação do painel N110°E): existência de uma família de diaclases predominante com orientação N20°-30°E; subvertical; registou-se ainda a ocorrência de descontinuidades sub-horizontais com ligeiro pendor para SW;

**Painel 2** (n= 38; orientação do painel N200°E): predominância da família de diaclases N30°-40°W; subvertical;

**Painel 3** (n= 29; orientação do painel N50°E): predominância da família de diaclases N20°-30°E; subvertical; neste painel assume alguma importância a família N45°W; subvertical;

**Painel 4** (n= 18; orientação do painel N120°E): predominância da família de diaclases N30°-40°W; subvertical; existência de uma outra família subvertical com azimute N40°E-N50°E;

**Painel 5** (n= 7; orientação do painel N30°E): dado o número reduzido de descontinuidades levantadas, optou-se por não efectuar a projecção dos diagramas estruturais. Contudo, pela análise da ficha de levantamento constata-se um domínio das descontinuidades com o azimute N30°-40°E;

**Painel 6** (n= 231; orientação do painel N170°E): predominância da família de diaclases N30°-40°E; subvertical; neste painel assume alguma importância a família N40°W; subverti-cal.

Da análise do estereograma geral e do diagrama de rosetas geral, nos quais foram projectadas todas as descontinuidades medidas nos painéis, resultaram as seguintes conclusões:

uma família de diaclases principal com orientação média N30°E; subvertical;

uma família de diaclases com orientação N40°W; subvertical;

uma família de descontinuidades sub-horizontais com características cisalhantes, inclinando ligeiramente para SW.

### Espaçamento

O sistema de diaclases de orientação N30°E a N40°E (em regra, subverticais) é o que apresenta menor espaçamento. Verifica-se pela análise que, para qualquer dos painéis amostrados, a intensidade de fracturação é (segundo os critérios da ISRM, 1978, 1981), regra geral, F<sub>4-5</sub>, ou seja, a distância entre diaclases varia entre 6 e 20cm (próximas), com alguma tendência para F<sub>3</sub> (20-60cm, i.e., medianamente afastadas),

Foi também estimado um parâmetro geomecânico que se denominou *factor de fracturação* (CHAMINÉ *et al.*, 2001). Este factor resulta da razão entre o número de diaclases medidas e o comprimento do painel amostrado. A aplicação deste factor corrobora a intensidade de fracturação referida anteriormente (quadro 1, fig. 5). Além disso, pela observação e cartografia das linhas de amostragem da pedraira da Mimosa o padrão geral da rede de fracturação assemelha-se, segundo a classificação de PALMSTRÖM (1995), a uma geometria prismática.

A ISRM (1981) sugere o estabelecimento de um índice dimensional – I<sub>B</sub> (“Block Size Index”) para representar as dimensões médias dos blocos do material-rocha. Este índice é dado pela média dos comprimentos dos três lados do sólido em questão, i.e.:  $I_B = (e_1 + e_2 + e_3) / 3$ , sendo o parâmetro e<sub>i</sub> o espaçamento médio entre descontinuidades da mesma família. No caso do maciço da Mimosa, o I<sub>B</sub> resultante é 3.16.

A ISRM (1981) propõe ainda o estabelecimento de um outro índice volumétrico, o J<sub>V</sub>, que é dado pela soma do número de descontinuidades por metro cúbico, para cada família. A linha de amostragem recomendada é de, pelo menos, 5 a 10m (PALMSTRÖM, 1995; PALMSTRÖM & SINGH, 2001). Os resultados do índice volumétrico (J<sub>V</sub>) podem ser correlacionáveis com o tamanho dos blocos. PALMSTRÖM (1995) refere o parâmetro J<sub>V</sub> como o somatório do número de descontinuidades por unidade de comprimento para todas as famílias de descontinuidades aflorantes numa dada área das

unidades geológicas interessadas para uma dada obra. A expressão simplificada é (PALMSTRÖM, 1995):  $J_v = 1/e_1 + 1/e_2 + 1/e_3$ , representando  $e_1$ ,  $e_2$  e  $e_3$  o espaçamento médio de cada família de descontinuidades. No caso do maciço da Mimosa, com três famílias de descontinuidades principais, as quais apresentam espaçamentos médios de 1.5m, 3m e 5m, ter-se-ia um  $J_v = 1.2$ . Desta forma, o maciço poder-se-ia classificar, segundo a ISRM (1981), como constituído por blocos grandes.

### Continuidade ou persistência

As diaclases mais frequentes no maciço têm uma atitude média N30°E; subvertical e são também as mais contínuas no terreno. A observação da persistência das descontinuidades foi efectuada em duas dimensões, correspondentes à intersecção das diaclases com a superfície de exposição sub-horizontal e subvertical (nas frentes de desmonte). A sua persistência em todos os painéis amostrados é também superior à dos restantes sistemas de diaclasma.

Constata-se, em todos os painéis estudados, que as diaclases mais abundantes são aquelas que apresentam uma continuidade planar mais acentuada. As faixas sub-horizontais de material-rocha (cataclastos) com um grau de esmagamento assinalável apresentam também uma grande continuidade, interrompendo sistematicamente as descontinuidades (verticais e subverticais) pertencentes às outras famílias.

### Preenchimento

No maciço estudado encontraram-se alguns filonetes de quartzo, em regra geral, com a orientação geral N30°E; subvertical. Registaram-se, igualmente, preenchimentos argilosos em algumas das diaclases.

### Rugosidade

No maciço em estudo, a rugosidade dominante corresponde a um tipo em que as paredes das descontinuidades não são perfeitamente lisas, mas também não são visíveis estruturas fibrosas (*eg.*, estrias de falhas) que possam impedir ou facilitar a movimentação relativa de blocos.

### Caracterização geomecânica local

No que diz respeito às características mecânicas do maciço, embora as características de resistência ao corte do maciço rochoso sejam essencialmente dependentes das descontinuidades, é de grande utilidade o conhecimento da resistência à compressão do material-rocha. A determinação da resistência à compressão uniaxial é determinada, em geral, a partir de ensaios de laboratório ou de campo (*eg.*, ISRM, 1981; KATZA *et al.*, 2000; AL-HARTHI, 2001; KAHRAMAN, 2001; KAHRAMAN *et al.*, 2002). A determinação do índice de resistência à carga pontual, recorrendo à determinação da dureza com o esclerómetro portátil ou *martelo de Schmidt* (SCHMIDT, 1951), pode conduzir à estimativa do valor da resistência uniaxial.

O esclerómetro portátil consiste, em traços gerais, num aparelho que permite um ensaio de campo que avalia a dureza do material-rocha através da medição do ressalto de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície da rocha. As condições gerais para o ensaio de campo serem válidas assentam nos seguintes pontos, a saber: limpeza da zona do ensaio, verificação da ausência de fissuras e eliminação da patine de rocha meteorizada. Na execução do ensaio, o aparelho foi posicionado perpendicularmente à superfície estrutural a ser ensaiada. Em função da dureza (ou resistência) da rocha, a massa de aço sofre maior ou menor ressalto; seguidamente, o valor é registado numa escala (0-100) do aparelho. Registaram-se 10 percussões com o martelo e eliminaram-se os 5 valores mais baixos, tendo-se considerado, por fim, o valor médio destas medições. Finalmente, recorre-se ao ábaco de Miller (ISRM, 1978) para determinar a resistência à compressão simples a partir da dureza de Schmidt e da densidade média da rocha (a densidade determinada para o granito das Mimosas é de 26 KN/m<sup>3</sup>; MOTA & COMPANHIA, 2003).

No trabalho de campo (fig. 5) foi utilizado o esclerómetro portátil do tipo L, da marca PRO-CEQ, SA (Zurich, Switzerland), do Laboratório de Mecânica das Rochas do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP). Pela análise dos resultados do (quadro 2) constata-se que nas zonas do maciço menos alteradas ( $W_{1-2}$ ) os valores de resistência uniaxial à compressão variam em média

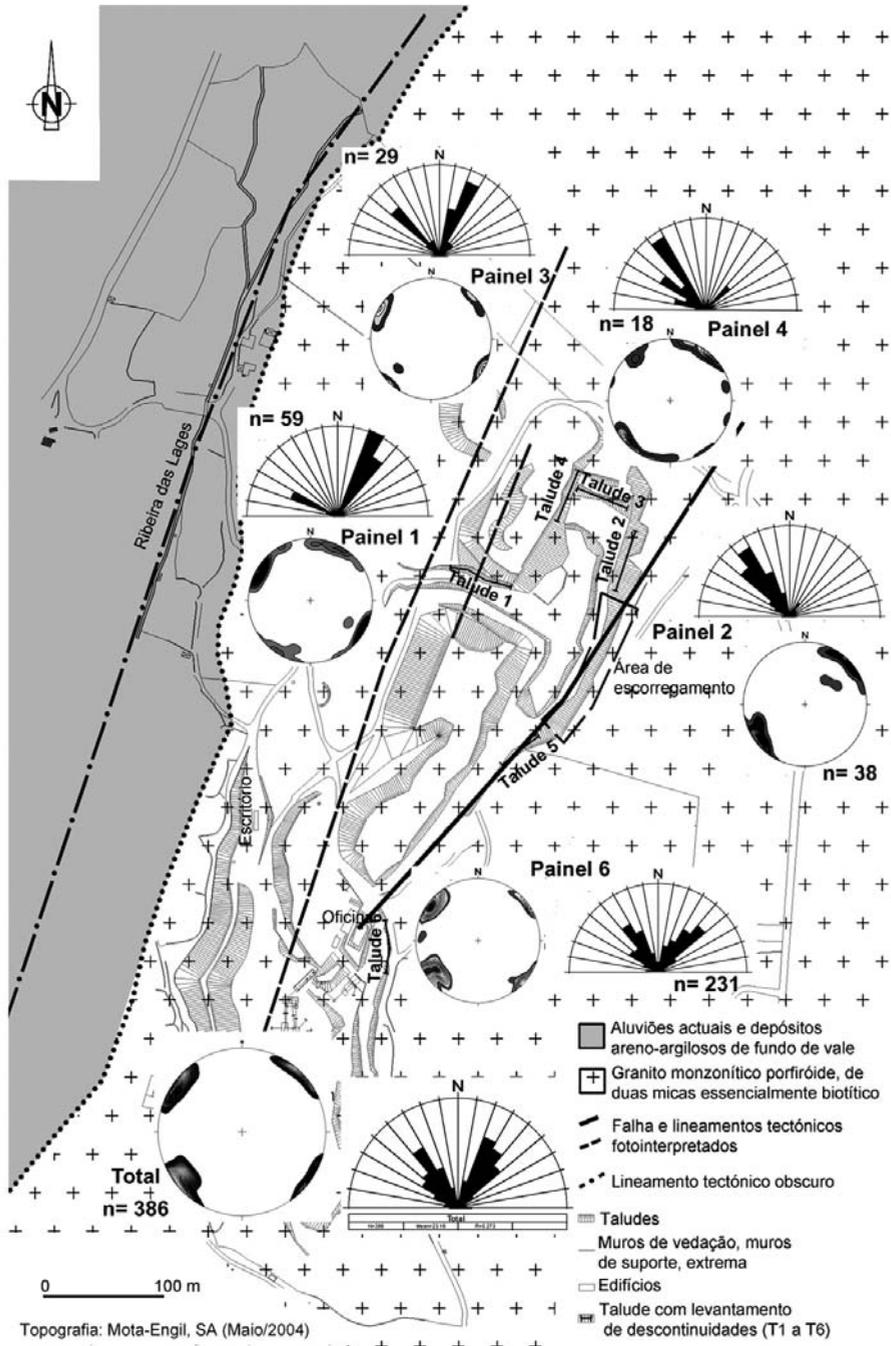


Fig. 4 – Diagramas estruturais: diagramas de contorno estrutural (rede de igual-área, hemisfério inferior) e diagramas de roseta.

Taludes/ Painéis	Fácies Granítica - Grau de Alteração	Cota de exploração (m)	Orientação do painel	Comprimento do painel [A] (m)	Nº de diáclases [B]	Factor de fracturação [B/A]
PAINEL 1	Grão grosseiro - W <sub>3</sub>	275	N110°E	74,2	59	0,80
PAINEL 2	Grão grosseiro - W <sub>3</sub>	280	N200°E	43	38	0,88
PAINEL 3	Grão grosseiro - W <sub>1-2</sub>	280	N50° E	20,6	29	1,41
PAINEL 4	Grão grosseiro - W <sub>3</sub>	280	N120°E	23,6	18	0,76
PAINEL 5	Grão grosseiro - W <sub>3</sub>	280	N30°E	20	7	0,35
PAINEL 6	Grão grosseiro - W <sub>4-5</sub>	275	N170° E	165	231	1,40

Quadro 1 - Síntese das características geológicas e geomecânicas dos painéis estudados (Pedreira da Mimosa).

entre 150-170 MPa; por seu turno, nas zonas mais alteradas (W<sub>3</sub> a W<sub>4-5</sub>) o ensaio apresenta valores de resistência média de cerca de 70 MPa. Os resultados globais alcançados estão de acordo com os valores preliminares avançados no relatório da MOTA & COMPANHIA (2003), bem como corroboram, em termos qualitativos, o estado de deformação do maciço.

## CONCLUSÕES

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 da Mimosa 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 compartimentação do maciço.

No caso vertente, pretende-se que constitua um ponto de partida com vista à optimização dos diagramas de fogo principalmente nas suas direcções principais. Uma vez que nos diagramas de fogo é usual ter-se a frente livre perpendicular à direcção da família principal de descontinuidades (neste caso, o azimute médio N30°E) sugere-se como orientação preferencial da frente de trabalho para o desmonte, com recurso a explosivos, o azimute N120°E. Com efeito, esta direcção será a mais favo-



Fig. 5 – Aspectos geológicos e geotécnicos observados na Pedreira da Mimosa. A) Superfície planar materializado por uma falha regional, localizada no painel 5, com orientação média  $N40^{\circ}E$ ; B, C) Aspectos da fracturação e deformação intensa do maciço da Mimosa; D) Vista frontal do escorregamento (22.05.2004) das bancadas compreendidas entre o painel 2 e 5, segundo uma orientação  $N40^{\circ}E$ , correspondendo ao alinhamento estrutural materializado por uma falha, com a mesma atitude, observada no painel 5 (ver foto A); E) Ensaio esclerométrico, visando o estudo da resistência à compressão uniaxial; F) Exemplificação da técnica de amostragem linear para o estudo da compartimentação do maciço.

Localização	Grau de alteração	Painel n°	Leitura n°										média dos 5 melhores resultados	resistência uniaxial à compressão (MPa)*
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	W1-2	1	55	55	59	47	61	64	44	54	57	59	60	225
43	W1-2	1	50	58	46	47	48	54	55	37	48	40	53	170
60	W3	1	56	44	48	44	40	42	48	44	40	50	49.2	130
61	W1-2	2	52	50	41	41	42	45	37	42	50	41	47.8	125
99	W1-2	2	45	52	42	43	40	45	55	55	42	51	51.6	140
100	W1-2	3	55	60	42	27	39	44	38	64	48	52	55.8	175
128	W1-2	3	48	54	40	48	28	46	58	50	44	40	51.6	140
130	W1-2	4	60	48	62	58	42	44	44	49	46	57	57.2	190
148	W1-2	4	30	46	40	46	38	57	34	38	32	48	47.4	125
157	W4-5	6	34	41	30	32	35	46	40	39	40	42	41.8	85
220	W4-5	6	38	37	36	46	40	34	38	18	30	32	39.8	75
250	W4-5	6	28	26	34	28	28	30	26	28	36	36	32.8	52
365	W3	6	50	60	58	40	58	59	59	52	58	50	58.8	220
380	W3	6	54	48	46	54	60	58	50	48	46	56	56.4	185

\* densidade do granitóide das Mimosas estimada em 26 KN/m<sup>3</sup>

Quadro 2 - Resultados da resistência à compressão recorrendo ao esclerómetro portátil, no granito da Pedreira da Mimosa.

rável a considerar, embora se saiba, que não é possível desmontar apenas nesta direcção, pelo menos em tempos mais próximos, pois a pedreira está numa fase de definição de painéis não sendo, por isso, possível tal imposição.

A aplicação da técnica de amostragem linear aplicada à caracterização da compartimentação de maciços rochosos fracturados poderá, assim, contribuir para aperfeiçoar uma gestão racional e sustentável dos georrecursos graníticos, especialmente os do Norte de Portugal e da Galiza, tendo em vista a sua exploração para fins vários, tais como a rocha ornamental, a brita, o “tout-venant”, o enrocamento e o balastro.

## AGRADECIMENTOS

São devidos agradecimentos à empresa MOTA-ENGIL, SA a possibilidade de realização e a divulgação dos principais resultados dos estudos desenvolvidos na pedreira da Mimosa, ao abrigo de uma parceria com o Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP. Os agradecimentos são extensivos ao Eng. Eduardo Guimarães (MOTA-ENGIL,

SA), pela disponibilidade demonstrada no apoio à realização deste trabalho, bem como na cedência de material bibliográfico inédito sobre a pedreira. Por fim, os autores estão gratos aos Engenheiros Geotécnicos H. Costa e H. Rodrigues pelo apoio nos levantamentos de campo. São devidos agradecimentos à Dra. M. J. Afonso (ISEP) pela leitura à primeira versão do manuscrito original. Um agradecimento especial ao Professor A. Diogo Pinto (IST, Lisboa) e ao Eng. C. Mendonça Arrais (ISEP, Porto) pela revisão crítica ao manuscrito.

*Recibido: 1/6/2005*  
*Aceptado: 14/7/2005*

## REFERÊNCIAS

- AL-HARTHI, A. A., (2001) A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate *Bull. Eng. Geol. Environ.*, **60**:193-200.
- AFONSO, M. J. C.; CHAMINÉ, H. I.; TRIGO, F.; PINHO, P. & CAMPOS & MATOS, A. (1999). Estudo geológico e geotécnico de um talude de S. Romão-Lousado (Vila Nova de Famalicão, NW de Portugal). *Geólogos, Revista Departamento de Geologia da Universidade do Porto*, **5**: 67-79.
- BRADY, B. H. G. & BROWN, E. T. (1985). *Rock mechanics for underground mining*. George Allen & Unwin, London. 527 pp.
- BROWN, E. T. (1991). Da teoria à prática em mecânica das rochas. *Ingenium, Revista da Ordem dos Engenheiros*, Ano IV (48): 9-29.
- BRUM FERREIRA, A. (1978). Planaltos e montanhas do Norte da Beira: estudo de geomorfologia. *Memórias Centro Estudos Geográficos*, Lisboa, **4**: 1-374.
- BRUM FERREIRA, A. (1979). Os mantos de alteração e o modelado das regiões graníticas: ideias recentes e orientações de pesquisa. *Finisterra*, Lisboa, **14** (28): 218-244.
- CABRAL, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. *Mem. Inst. Geol. Min.*, Lisboa, **31**: 1-256.
- CABRAL, J. & RIBEIRO, A. (1988). *Carta neotectónica de Portugal Continental, escala 1/1000000*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- CALADO, C. (2001). *A ocorrência de água sulfúrea alcalina no Maciço Hespérico: quadro hidrogeológico e quimioéneses*. Universidade de Lisboa. 462 pp. (tese de doutoramento).
- CARVALHO, J. M. (1984). A metodologia de prospecção e pesquisa de águas subterrâneas em formações cristalinas e cristalofílicas portuguesas. In: *Volume d'Hommage au Géologue G. Zbyszewski*. Éd. Recherche sur les Civilizations, Paris. pp. 137-153.
- CHAMINÉ, H. I. & GÁSPAR, 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.
- CFCFF - Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (1996). *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*. National Research Council, National Academy Press, 568 pp.
- CRUZ, J. V. & OLIVEIRA SILVA, M. (1991). Enquadramento geológico-estrutural das nascentes termominerais da região de Viseu. *Geolís*, Lisboa, **5** (1): 49-60.
- DAVEAU, S. (1988). Comentários e actualizações ao Regime do Rios por Orlando Ribeiro. In: RIBEIRO, O., LAUTENSACH, H. & DAVEAU, S., Geografia de Portugal: o ritmo climático e a paisagem. Editor João Sá da Costa, Lisboa, **2**: 483-535.
- 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.
- FERRER, M. & GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. [eds.] (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. *Publicaciones ITGE*, Madrid. 81 pp, 41 fotografias.
- GSE - Geological Society Engineering Group Working Party Report (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, **28** (3): 207-242.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. & OTEO, C. [coords.] (2002). *Ingeniería geológica*. Prentice Hall, Madrid, 715 pp.
- HOEK, E. (2000). *Practical rock engineering*. RocScience: Hoek's Corner, 313 pp.
- HUDSON, J. A & PRIEST, S. D., 1983. Discontinuity frequency in rock masses. *Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, **20**: 73-89.

- I.S.R.M. - International Society of Rock Mechanics (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, **15** (6): 319-368.
- ISRM - International Society of Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, **18**: 85-110.
- 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.
- KAHRAMAN S. (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, **38**: 981-994.
- 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.
- 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. *3º Congresso Nacional Geotecnica, Sociedade Portuguesa de Geotecnica*, **3**: C33-C44.
- LISBOA, J. V. & OLIVEIRA, D. (2003). Maciços graníticos de Antas-Matança e Esmolfe (Portugal): reconhecimento, caracterização e definição de áreas com potencialidade para exploração de granito ornamental. *Boletim Paranaense de Geociências, UFPR*, **52**: 19-40.
- MEDEIROS, A. C.; PEREIRA, E. & MOREIRA, A. (1980). *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50000, folha 9-D (Penafiel)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 46 pp.
- MENDES, M. S. (2000). *Problemática ambiental e do ordenamento do território no Concelho de Penafiel*. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 453 pp. (Tese de mestrado)
- MOTA & COMPANHIA, S.A. (2003). *Estudo do impacto ambiental do projecto de ampliação da pedreira n.º5612- Mimosas*. Relatório da Apubliambiente, Lisboa. 252 pp. (relatório inédito).
- PALMSTRÖM, A. (1995). *RMi: a rock mass characterization system for rock engineering purposes*. University of Oslo, 400 p. (Tese de Doutoramento).
- PALMSTRÖM A. & SINGH R. (2001). The deformation modulus of rock masses: comparisons between *in situ* tests and indirect estimates. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **16** (3): 115-131.
- 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.
- PEDROSA, M. Y. [coord.] (1999). *Notícia Explicativa da Carta Hidrogeológica de Portugal, na escala 1/ 200 000. Folha 1*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa. 70 pp. (+ 1 mapa).
- PEREIRA, E.; RIBEIRO, A.; CARVALHO, G. S.; NORONHA, F.; FERREIRA, N. & MONTEIRO, J. H. [coords.] (1989). *Carta Geológica de Portugal, escala 1/200 000, Folha 1*. Serviços Geológicos de Portugal.
- PEREIRA, J. (1985). *Caracterização geotécnica de maciços rochosos*. Universidade Nova de Lisboa. 404 pp. (Tese de mestrado).
- PRIEST, S. D. (1993). *Discontinuity analysis for rock engineering*. Chapman and Hall, London. 473 pp.
- 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.
- RIBEIRO, A. & CABRAL, J. (1992). Tectónica recente. In: PEREIRA, E. (Coord.). *Carta Geológica de Portugal na escala 1/200 000, Notícia Explicativa da Folha 1*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. pp. 57.
- ROCHA, M. (1981). *Mecânica das Rochas*. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 445 pp.
- RSAEEP – Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (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.
- SANTOS PEREIRA, C. (2004). *A técnica de amostragem linear: aplicação ao estudo geotécnico e geomecânico do maciço granítico da pedreira da Mimosas (Cabeça Santa, Penafiel)*. Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto. 47 pp., 28 anexos (Relatório de Projecto/Estágio inédito).
- SCHMIDT, E. (1951). A non-destructive concrete tester. *Concrete*, **59** (8): 34-35.

- SOARES DE CARVALHO, G. (1992). Depósitos quaternários e cenozóicos indiferenciado. In: PEREIRA, E. (Coord.), Carta Geológica de Portugal na escala 1/200 000. Notícia Explicativa da Folha 1. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 47-50 pp.
- 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: *4º encontro Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica/2ème Rencontre en Génie Parasismique des Pays Méditerranées, Sísmica'99*, Faro, Algarve, pp. 153-164.
- TERZAGHI, R. D. (1965). Sources of errors in joint surveys. *Geotechnique*, **15**: 287-304.
- VIDAL ROMANI, J. R. & TWIDALE, C. R. (1999). Sheet fractures, other stress forms and some engineering implications. *Geomorphology*, **31** (1-4): 13-27.