

A TÉCNICA DE AMOSTRAGEM LINEAR APLICADA A ESTUDOS DE COMPARTIMENTAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS NO NORTE DE PORTUGAL

THE SCANLINE SAMPLING TECHNIQUE APPLIED TO THE CHARACTERIZATION OF ROCK MASSES FROM NORTHERN PORTUGAL

Martins, Ricardo J., *Dep. de Engenharia Geotécnica, ISEP, Portugal, ricardo@universalafir.pt*
Moreira, Pedro N., *Dep. de Engenharia Geotécnica, ISEP; e FPM: Francisco Pereira Marinho & Irmãos, S.A., Construção, Lamego, Portugal*

Santos Pereira, Carlos, *Dep. de Engenharia Geotécnica, ISEP; Universidade de Aveiro, o Portugal*

Neto, Eduardo P., *Dep. de Engenharia Geotécnica, ISEP; Universidade de Aveiro, Portugal*

Medeiros Pereira, Alzira, *Dep. de Engenharia Geotécnica, ISEP, Portugal*

Teixeira, José, *Universidade de Aveiro, Portugal*

Vieira, António, *Dep. de Engenharia Geotécnica, ISEP e MOTA-ENGIL: Engenharia e Construção, S.A., Porto, Portugal*

Chaminé, Helder I., *Dep. de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP); e Centro de Minerais Industriais e Argilas, Univ. Aveiro, Portugal, hic@isep.ipp.pt*

RESUMO

A amostragem ao longo de um perfil linear é uma aproximação rigorosa à recolha sistemática de informação respeitante às descontinuidades. Esta técnica é uma das formas mais expeditas de coligir dados relativos às descontinuidades. Neste estudo apresentam-se exemplos de levantamentos geológico-geotécnicos de superfícies de descontinuidades recorrendo à técnica da amostragem linear em superfícies expostas da rocha em diversas pedreiras graníticas localizadas no Norte de Portugal. Em todas as pedreiras foram seleccionados diversos afloramentos, tendo-se recorrido às seguintes ferramentas: cartografia geológica, análise morfotectónica e modelação digital de terreno, geologia estrutural e geotecnia. Esta abordagem conduziu a uma melhor compreensão da relevância, para estudos e projectos de geoengenharia, da caracterização a diferentes escalas da heterogeneidade geológica de massas rochosas.

ABSTRACT

Sampling along a linear scanline is an accurate approach to the systematic collection of fracture information. In several geological and geotechnical situations it is, moreover, the easiest and fastest way to collect discontinuities' data. In this work, we present and discuss the results of a field survey of discontinuities performed by applying the scanline technique on free rock-mass faces from several granitic quarry outcrops (Northern Portugal). For our purpose, all quarries, each including several selected outcrops, were studied by using the following tools: surface geological mapping, morphotectonic and terrain digital modelling analysis, structural geology and geotechnics. This approach led us to a better understanding of the relevance for geoenvironmental studies and projects of the characterisation at different scales of the rock-masses' geological heterogeneity.

1. INTRODUÇÃO

Em estudos de geotecnia e de geomecânica de maciços rochosos fracturados a contribuição da geologia é de extrema importância nas várias fases de qualquer projecto de engenharia de maciços rochosos (*e.g.*, Terzaghi [1], Rocha [2], Vidal Romaní & Twidale [3]). Com efeito, as feições geológicas do material-rocha, no que se refere à heterogeneidade litológica, aos graus de alteração e de fracturação, reflectem-se em termos de estabilidade e de condições hidrogeotécnicas dos maciços rochosos. De facto, as ferramentas geológicas e geomorfológicas — por exemplo, cartografia geológica e geomorfológica, geologia estrutural, hidrogeologia e fotogeologia — quando aplicadas à prospecção geológico-geotécnica e geomecânica, perspectivadas num enquadramento geológico regional actualizado, em que se valorizam os trabalhos à escala local baseados em critérios técnico-científicos (*e.g.*, ISRM [4], [5], CFCFF [6], González de Vallejo *et al.* [7]), serão concertiza uma ferramenta de excelência, dentro dos seus limites de actuação e de competência, em estudos de natureza aplicada. Esta dicotomia — geociências *versus* prospecção geológico-geotécnica — tem sido amplamente abordada em trabalhos aplicados conforme está patente nas preocupações de muitos autores (*e.g.*, Cruz e Oliveira Silva [8], Dinis da Gama *et al.* [9], Chaminé *et al.* [10], Lisboa e Oliveira [11]).

2. OBJECTIVOS E ENQUADRAMENTO

Este trabalho pretende ilustrar a aplicação da técnica de amostragem linear aplicada à compartimentação de maciços rochosos graníticos, baseando-se em estudos geológico-geotécnicos realizados nas Pedreiras de Fontelo (Armamar), de Monteiras (Castro Daire) e da Mimosa (Penafiel). Pretende-se, ainda, que constitua um ponto de partida com vista à optimização do planeamento dos diagramas de fogo para o desmonte das bancadas e, conseqüentemente, a obtenção de melhores calibres do material rochoso (*e.g.*, Dinis da Gama [12], [13], Dinis da Gama e Jimeno [14]).

O presente estudo 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 cartografia aplicada; uma segunda fase, ligada ao processamento, análise e interpretação dos dados para uma caracterização da compartimentação geológica-geotécnica do maciço rochoso com recurso aos critérios da ISRM [5]. É de extrema importância o estudo da rede de fracturação regional, com base na análise morfotectónica de mapas topográficos e dos reconhecimentos geológicos do local do georrecurso a caracterizar, com o intuito de elaborar esboços geológicos e uma cartografia de zonas geotécnicas. Devem-se ainda comparar os resultados obtidos à mega- e macro-escala no sentido de averiguar a presença de um padrão de fracturação com dimensão multi-escala. Por fim, aplicar esta metodologia e as técnicas associadas na conceptualização de um modelo geológico-geotécnico e, se possível, elaborar um modelo geomecânico. A aplicação desta técnica para a caracterização da compartimentação do maciço poderá contribuir para aperfeiçoar a gestão sustentável de georrecursos graníticos, tendo em vista a sua exploração para fins vários, tais como brita, “tout-venant”, enrocamento e balastro.

3. A TÉCNICA DE AMOSTRAGEM LINEAR

Na impossibilidade, do ponto de vista prático, de se estudar exaustivamente a compartimentação do maciço rochoso na totalidade da área envolvente de um dado georrecurso, opta-se, em regra, por realizar esse estudo a partir de uma amostragem que seja 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 exemplo, por vias de comunicação, ferroviária ou rodoviária), adopta-se em muitas situações a técnica da amostragem linear (*e.g.*, Priest e Hudson [15], Lamas [16], Dinis

da Gama *et al.* [9], Chaminé e Gaspar [17], Peacock *et al.* [18]). Esta técnica tem sido aplicada com alguma frequência, em Portugal, em contextos geológicos e geotécnicos distintos dos que ora se apresentam. (*e.g.*, Lamas [16], Dinis da Gama *et al.* [9], Chaminé e Gaspar [17], Espinha Marques *et al.* [19]).

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 geomecânicas) de todas as descontinuidades por ela intersectadas (figura 1). Uma descrição metodológica pormenorizada da técnica encontra-se, por exemplo, em Lamas [16], Chaminé e Gaspar [17] e, Brady e Brown [20]. Na sua aplicação à área do maciço granítico das pedreiras objecto deste estudo 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) cartografado, depois de colocada a fita graduada a partir da origem de cada linha de amostragem, foram cartografadas de uma forma sistemática todas as descontinuidades (*e.g.*, diaclases, falhas e/ou estruturas filonianas) que intersectavam essa linha de amostragem. Cada uma das descontinuidades foi descrita e registada em fichas de levantamento geotécnico segundo a proposta da ISRM [5] para a descrição geotécnica de maciços rochosos com a denominação de “*Basic Geotechnical Description of Rock Masses*” (BGD).

Para cada descontinuidade que intersectava a linha de amostragem foram registadas, entre outras, numa ficha de levantamento de descontinuidades as seguintes grandezas (adaptado da ISRM [4], [5] e de Brady e Brown [20]): i) distância à origem da fita graduada (D); ii) semi-comprimento exposto (L), ou seja, o comprimento visível da intersecção da descontinuidade com a face exposta de rocha, apenas para um dos lados da fita graduada; iii) tipo de terminação (T) que apresenta a extremidade da descontinuidade (R - na rocha; D - noutra descontinuidade; O - obscura); iv) atitude geológica da descontinuidade (directão/inclinação e quadrante de inclinação) medida junto ao ponto de intersecção da linha de amostragem com a descontinuidade; v) curvatura (C), numa escala de C_1 a C_5 , em que C_1 representa superfícies planas e C_5 superfícies muito curvas; vi) rugosidade (R), numa escala de R_1 a R_5 , representando R_1 uma superfície lisa e R_5 uma superfície muito rugosa; vii) tipo de litologia(s) e o respectivo grau de alteração (W); viii) diversas características das descontinuidades, tais como abertura, tipo de preenchimento, presença de água, entre outras; ix) foram, ainda, registadas as seguintes informações, número, localização e orientação da linha de amostragem, orientação do hasteal (ou talude) estudado, data do levantamento e rubrica do responsável pelo levantamento.

A técnica de amostragem linear é extremamente expedita e versátil para o estudo da compartimentação de maciços rochosos, bem como fornece informações fulcrais sobre o estado da fracturação e a geologia estrutural do maciço rochoso. É comumente utilizada no estudo de obras superficiais e/ou subterrâneas e em estudos de prospecção geológico-geotécnica em maciços fracturados. Como principais desvantagens desta técnica podemos apontar (Peacock *et al.* [18]): i) no caso das descontinuidades (sub-)horizontais predominarem no maciço, a sua representatividade não ser valorizada; ii) o arqueamento por vezes descrito pela fita graduada na face exposta da rocha, pelo facto de esta não se encontrar suficientemente “esticada”.

Um dos principais problemas no estudo e caracterização de descontinuidades está relacionado com a sua amostragem. Muitos autores, entre os quais Priest e Hudson [15], Hudson e Priest [21] e Peacock *et al.* [18], 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 geomecânicas. Nesta técnica é muito importante o conhecimento do espaçamento e da extensão de um conjunto de descontinuidades de um dado maciço rochoso.

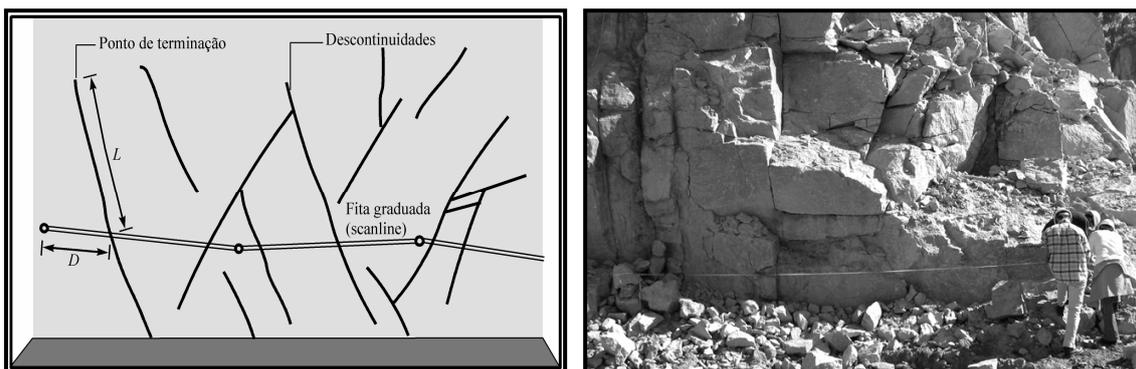


Figura 1 – Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear (adaptado de Brady e Brown [20]; D: distância à origem da fita; L: semi-comprimento exposto). Exemplo de aplicação de uma linha de amostragem graduada no estudo da compartimentação da pedra granítica da Mimosa, Penafiel (Santos Pereira [22]).

4. A COMPARTIMENTAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS: ALGUNS EXEMPLOS

4.1. Considerações iniciais

Nos casos em estudo ora apresentados, a técnica de amostragem linear, tal como foi descrita anteriormente, manteve-se na sua essência. Para cada talude analisado, depois de colocada a fita graduada (a partir da origem de cada linha de amostragem), foram cartografadas todas as descontinuidades (diaclases, falhas, etc.) que intersectavam essa linha de amostragem. Cada uma delas foi descrita de forma sistemática e registada em fichas de levantamento geológico-geotécnico. Os dados recolhidos no terreno, referentes à técnica de amostragem linear, foram submetidos a um tratamento adequado para posterior interpretação e análise, permitindo a definição de diversas famílias de descontinuidades. Para o estabelecimento das famílias das descontinuidades, recorreu-se aos diagramas geológico-estruturais (diagramas de roseta e de contorno estrutural) comumente utilizados em geotecnia de maciços rochosos.

4.2. Os exemplos dos georrecursos: Pedreira da Mimosa, Pedreira de S. Domingos N°2 e Pedreira de Monteiras

4.2.1. Enquadramento geográfico e geológico regional

Como se referiu, este trabalho reflecte o estudo pormenorizado dos constrangimentos geológico-geotécnicos e geomecânicos em três explorações graníticas do Norte de Portugal (Santos Pereira [22], Moreira [23], Martins [24]). Todas as pedreiras se situam em maciços de rochas graníticas, cuja topografia constitui relevos rigidamente orientados segundo NNE-SSW a NE-SW e estão localizadas em segmentos morfoestruturais na proximidade de escarpas de falha regionais. Os maciços graníticos de Cabeça Santa (Pedreira da Mimosa, Penafiel), de S. Domingos (Pedreira de S. Domingos N° 2; Fontelo, Armamar) e de Coira D'Além (Pedreira de Monteiras, Castro Daire) fazem parte de uma faixa de granitóides variscos que se estende desde o Alto Minho até às Beiras. Do ponto de vista geotectónico esta faixa insere-se na Zona Centro-Ibérica do Maciço Ibérico (Dias *et al.* [25]).

De referir que o material-rocha extraído destas pedreiras apresenta um grau de fracturação elevado a muito elevado e, por isso, estas explorações se destinam, essencialmente, à extracção de agregados para a construção civil e obras públicas. As características geológico-estruturais dos maciços, resultantes da intensidade da deformação (frágil) e do grau de alteração (especialmente dos bordos do maciço próximo a escarpas de falhas regionais, onde ocorrem linhas de água), acarretam fortes restrições à extracção deste litótipo granítico tendo em vista, por exemplo, o mercado de rocha ornamental.

Foram realizados estudos de reconhecimento geológico dos locais de exploração e das áreas envolventes, complementados com a análise de fotografia aérea, de mapas topográficas e de modelos digitais de terreno, que permitiram a apresentação de esboços de cartografia geológica e geomorfológica, nas escalas 1/500 e 1/1.000, numa base georreferenciada. A descrição geotécnica recorrendo à técnica de amostragem linear aplicada à BGD (ISRM [5]) permitiu uma caracterização geológico-geotécnica do grau de compartimentação das discontinuidades (procedeu-se a um levantamento entre 380 a 720 discontinuidades, nas diferentes pedreiras) e o grau de alteração do maciço. Foram efectuados levantamentos geológico-geotécnicos em vários taludes (e em diferentes bancadas da exploração) com diferentes orientações de modo a caracterizar da melhor forma possível o maciço, quer transversal quer longitudinalmente. Realizaram-se ensaios esclerométricos, recorrendo ao martelo de Schmidt da marca Proceq do tipo L, em mais de 60 estações geomecânicas para se determinar a resistência à compressão uniaxial do material-rocha. Esta abordagem integradora permitiu a execução de uma proposta de uma cartografia do zonamento geotécnico do georrecurso na perspectiva de se identificar as zonas de melhor qualidade geológico-geotécnica para auxiliar o planeamento da gestão racional das pedreiras.

4.2.2. O material-rocha: características geológico-estruturais e geotécnicas

Do ponto de vista geológico as fácies graníticas predominantes nas três pedreiras (figuras 2, 3, 4) enquadram-se nos granitos porfiróides de grão médio a fino, de duas micas, tonalidade branca-acinzentada e nos granitos de grão fino, essencialmente biotítico, e cor negra-acinzentada. Os litótipos apresentam, em regra, uma boa homogeneidade textural, quer quanto à granularidade quer quanto à coloração.

Os maciços em causa podem ser considerados, em termos de qualidade geológico-geotécnica, como muito fracturado (F_3 a $F_{4.5}$) e, em algumas zonas, com um grau de alteração muito acentuado ($W_{4.5}$). Na proximidade das discontinuidades (quer sub-verticais quer sub-horizontais), e em zonas de maior densidade de fracturação, 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, $W_{4.5}$). Observou-se, ainda, uma fracturação subhorizontal (especialmente na Pedreira de S. Domingos N° 2) materializada por uma foliação tectónica (faixas de esmagamento materializadas por cataclasitos), correspondendo a bandas de intensa deformação.

O tratamento dos dados recolhidos no terreno, referentes à técnica de amostragem linear, foi feito recorrendo a diagramas geológico-estruturais (diagramas de contorno estrutural e diagramas de rosetas), os quais permitiram a definição do número de famílias de discontinuidades 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 homogéneos e para toda a pedreira.

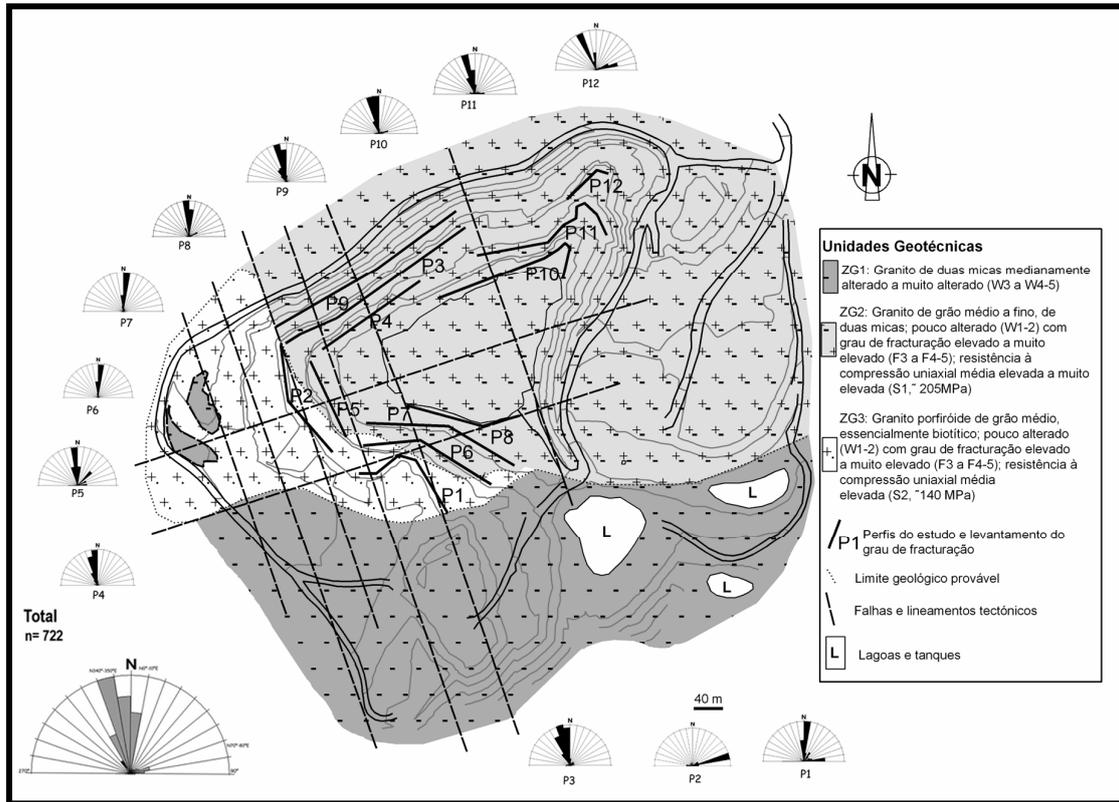


Figura 2 – Cartografia das unidades geotectónicas para a exploração granítica das Monteiras, Coira D’Além, Castro Daire (adaptado de Moreira [23]).

Quadro 1 – Exemplo da síntese das características geológico-geotectónicas da Pedreira de Monteiras.

Perfil	Grau de alteração	Fácies granítica	Orientação média do perfil	Comprimento do perfil (m) (A)	Nº de descontinuidades (B)	"Factor de fracturação" (B/A)
1	W ₃	Y _b e Y _{2m}	N90°-100°E	46,4	64	1,38
2	W ₄₋₅ e W ₃	Y _b	N30°-40°E	58,1	22	0,38
3	W ₃	Y _{2m}	N60°-100°E	36,8	71	1,93
4	W ₃ e W ₂	Y _{2m}	N60°-80°E	41,7	68	1,63
5	W ₃	Y _{2m}	-	-	13	-
6	W ₃	Y _b e Y _{2m}	N100°-140°E	28,2	58	2,06
7	W ₃	Y _b e Y _{2m}	N90°-120°E	51,3	71	1,38
8	W ₃	Y _{2m}	N104°-114°E	12,5	10	0,8
9	W ₄₋₅ e W ₃	Y _{2m}	N60°-80°E	35,1	92	2,62
10	W ₃	Y _{2m}	N60°-100°E	67,1	127	1,89
11	W ₁₋₂ e W ₃	Y _{2m}	N60°-80°E	32,5	94	2,9
12	W ₃	Y _{2m}	N30°-40°E	9,5	23	2,42

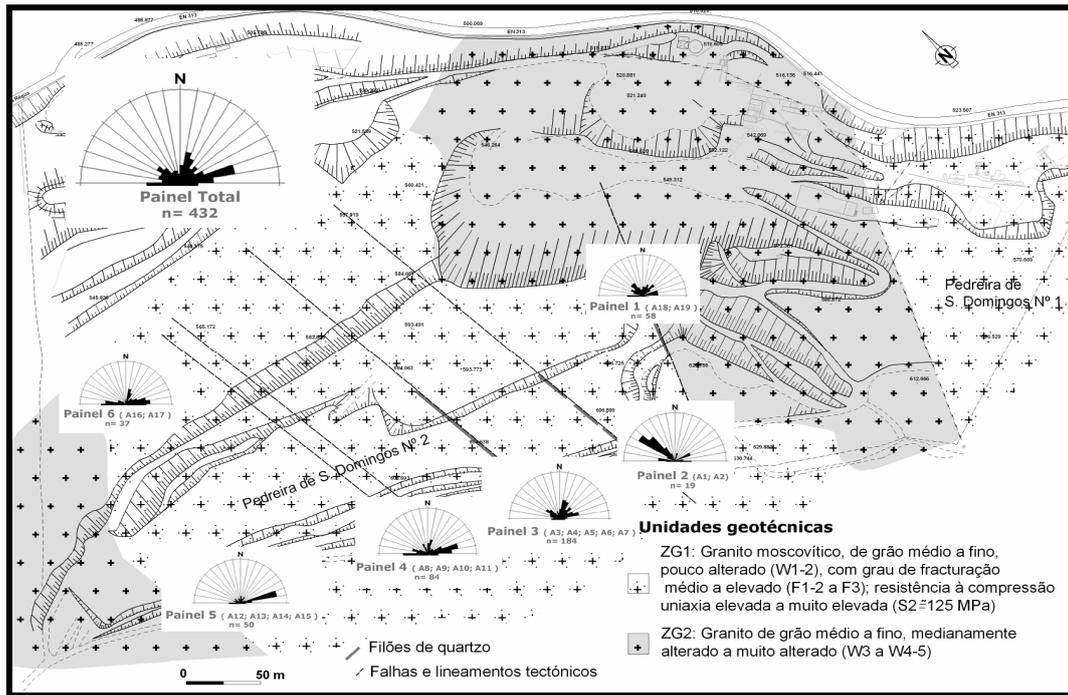


Figura 3 – Cartografia das unidades geotécnicas para a exploração granítica de S. Domingos N° 2, Fontelo, Armamar (adaptado de Martins [24]).

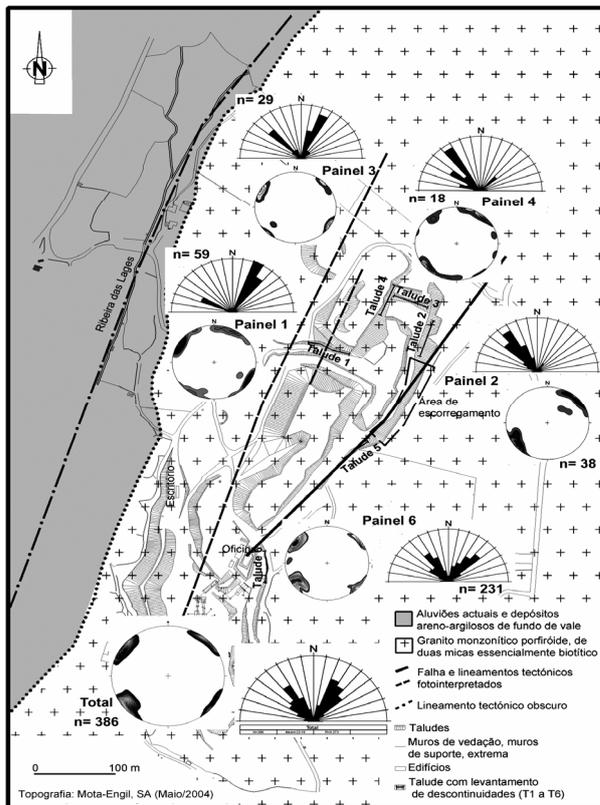


Figura 4 – Cartografia das unidades geotécnicas para a exploração granítica da Mimosa, Cabeça Santa, Penafiel (adaptado de Santos Pereira [22]). Panorâmicas das explorações graníticas (fotos de Setembro de 2005): A) Pedreira da Mimosa (Penafiel); B) Pedreira de S. Domingos N° 2 (Fontelo, Armamar); C) Pedreira de Monteiras (Coira D'Além, Castro Daire).

4.2.3. O material-rocha: aspectos geomecânicos

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 ensaio 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 de grandes quantidades de amostra. Alguns autores (*e.g.*, Kazi e Al-Molki [26], Al-Harathi [27]) têm 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 prático para o desgaste do material-rocha da exploração (*e.g.*, Al-Harathi [27], Conde *et al.* [28]).

Seguidamente apresenta-se a abordagem realizada para a Pedreira de Monteiras. Os dados em que este estudo se baseia reportam-se à actividade da pedreira de Monteiras entre os meses de Janeiro e Abril de 2005. Durante este período a exploração desenvolveu-se na área onde se localiza a fácies granítica correspondente à zona geotécnica ZG3 (figura 2), ou seja constituída por um granito porfiróide de grão médio, essencialmente biotítico. Os valores considerados para a determinação da resistência à compressão simples (ensaio esclerométrico) foram os valores médios (correspondentes à realização de três réplicas por estação) das estações geomecânicas daquela zona geotécnica. Neste ensaio, realizado de acordo com as recomendações da ISRM [4], [5], foram aplicados estes procedimentos em 12 estações geomecânicas ao longo dos perfis cartografados. Todos os ensaios de resistência ao desgaste “Los Angeles” foram realizados segundo a norma NP EN1907-2 (2002). Foram realizados 36 ensaios “Los Angeles”, correspondentes a três réplicas por cada estação, sendo calculada para cada estação a média das três réplicas respectivas. Executadas as operações anteriores foram encontrados 12 pares ordenados de valores de ensaio. É interessante verificar que a projecção destes resultados, de desgaste de “Los Angeles” e de resistência à compressão uniaxial, no diagrama de Al-Harathi [27] para rochas cristalinas e sedimentares, mostra que os valores obtidos no presente estudo não se afastam dos encontrados por este autor.

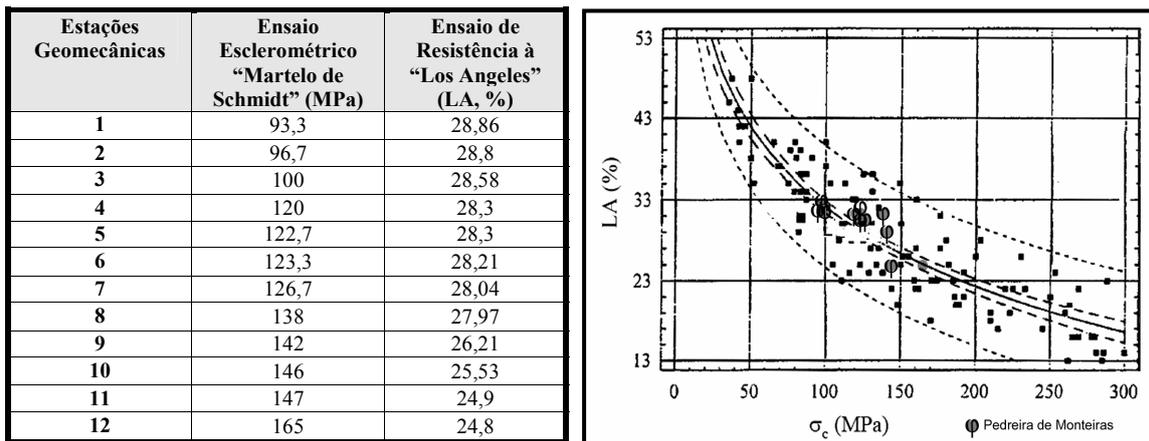


Figura 5 - Resultados comparativos dos ensaios “Los Angeles” e esclerométrico, no estudo geotécnico-geomecânico da Pedreira de Monteiras. Relação entre a resistência à compressão uniaxial (MPa) e o ensaio “Los Angeles” (LA, %); (adaptado de Al-Harathi [27]).

Os resultados apresentados nesta abordagem exploratória mostram-se bastante promissores relativamente à possibilidade de obtenção de um modelo válido de relação entre os valores de resistência das rochas e os valores de desgaste de “Los Angeles”. Futuramente, a estimação de um modelo fiável e com aplicação prática deverá passar pela realização de amostragens subsequentes com obtenção de um número superior de ensaios. Amostragens estas, a ser realizadas nesta mesma pedreira, em condições idênticas às actuais, bem como noutras pedreiras com maciços graníticos de características idênticas ao da pedreira de Monteiras, no sentido de avaliar também a repetibilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos.

5. 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 em pedreiras graníticas para o estudo da compartimentação do maciço rochoso. 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 associado a um georrecurso. Nos casos em estudo, pretendeu-se que constitua um ponto de partida com vista à optimização dos diagramas de fogo para o desmonte do maciço. 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 georrecurso graníticos, especialmente os do Norte da Península Ibérica, tendo em vista a sua exploração para fins vários, tais como a rocha ornamental, a brita, o “tout-venant”, o enrocamento e o balastro.

6. AGRADECIMENTOS

São devidos agradecimentos às empresas FPM - Francisco Pereira Marinho & Irmãos, S.A., Construção e MOTA-ENGIL - Engenharia e Construção, SA pela autorização na divulgação dos resultados apresentados. Gratos ao Eng. Jorge Marinho (FPM, SA) e ao Eng. Eduardo Guimarães (MOTA-ENGIL, SA), pela disponibilidade demonstrada. Um agradecimento por todo o apoio às colegas Maria José Afonso (ISEP) e Ana Pires (MIA-UA).

7. REFERÊNCIAS

- [1] Terzaghi, R. D., Sources of errors in joint surveys, *Geotechnique*, 15, (1965), pp. 287-304.
- [2] Rocha, M., *Mecânica das Rochas*. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, (1981), 445 pp.
- [3] Vidal Romaní, J. R. e Twidale, C. R., Sheet fractures, other stress forms and some engineering implications, *Geomorphology*, 31 (1-4), (1999), pp. 13-27.
- [4] ISRM - International Society of Rock Mechanics, Basic geotechnical description of rock masses, *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18, (1981), pp. 85-110.
- [5] ISRM - International Society of Rock Mechanics, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 15 (6), (1978), pp. 319-368.
- [6] CFCFF - Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow, *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*. National Research Council, National Academy Press, (1996), 568 pp.
- [7] González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L. e Oteo, C. [coords.], *Ingeniería geológica*. Prentice Hall, Madrid, (2002), 715 pp.
- [8] Cruz, J. V. e Oliveira Silva, M., Enquadramento geológico-estrutural das nascentes termominerais da região de Viseu, *Geolis*, Lisboa, 5 (1), (1991), pp. 49-60.

- [9] Dinis da Gama, C., Arrais, C. e Santos, C., Dimensionamento racional de suportes em minas de carvão, *Geotecnia, Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia*, Lisboa, 66, (1992), pp. 45-62.
- [10] Chaminé, H. I., Dias, A. G. e Dinis da Gama, C., Estudo geológico e geomecânico do maciço granítico de Lamoso (Paços de Ferreira, NW de Portugal), *Geociências Rev. Univ. Aveiro*, 15, (2001), pp. 79-92.
- [11] Lisboa, J. V. e Oliveira, D., 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, (2003), pp. 19-40.
- [12] Dinis da Gama, C. Um modelo para a fragmentação de rochas sob acção de explosivos. *Geotecnia, Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia*, Lisboa, 76, (1996a), pp. 41-51.
- [13] Dinis da Gama, C., The concept of rock mass fragmentability. In: *Measurement of Blast Fragmentation* (Franklin e Katsabanis, Eds.), Balkema, Rotterdam, (1996b), pp. 209-214.
- [14] Dinis da Gama, C. e Jimeno, C. L., Rock fragmentation control for blasting cost minimization and environment impact abatement. *Proceedings 4th International Symposium Rock Fragmentation by Blasting*, Vienna, (1993), pp. 273-280.
- [15] Priest, S. D. e Hudson, J. A., Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18, (1981), pp. 183-197.
- [16] Lamas, L. N., 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^o Congresso Nacional Geotecnia, SPG, 3: C33-C44, (1989).
- [17] Chaminé, H. I. e Gaspar, A. F., Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear: Aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde, *Estudos, Notas e Trabalhos do Inst. Geol. Min., Porto*, 37, (1995), pp. 97-111.
- [18] Peacock, D. C. P., Harris, S. D. e Mauldon, M., Use of curved scanlines and boreholes to predict fracture frequencies, *J. Struct. Geol.*, 25, (2003), pp. 109-119.
- [19] Espinha Marques, J., Chaminé, H. I., Fonseca, P. E., Gomes, A., Teixeira, J., Carvalho, J. M., Marques, J. M., Aires-Barros, L. e Sodrê Borges, F., Aplicação da técnica de amostragem linear para estudo da compartimentação do maciço rochoso do sistema termomineral de Caldas do Moledo (Peso da Régua): implicações para a rede de fracturação regional. *Geociências Rev. Univ. de Aveiro*, 16, (2004), pp. 53-60.
- [20] Brady, B. H. G. e Brown, E. T., *Rock mechanics for underground mining*, 3rd edition, George Allen & Unwin, London, (2004), 527 pp.
- [21] Hudson, J. A. e Priest, S. D., Discontinuity frequency in rock masses, *Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 20, (1983), pp. 73-89.
- [22] Santos Pereira, C., A técnica de amostragem linear: aplicação ao estudo geotécnico e geomecânico do maciço granítico da pedra da Mimosa (Cabeça Santa, Penafiel), *Relatório de Projecto/Estágio inédito, Dep. Eng. Geotécnica, ISEP*, (2004), 47 pp., 28 anexos.
- [23] Moreira, P., Estudo da compartimentação do maciço granítico da pedra de Monteiras (Castro Daire) e área envolvente: uma caracterização geológica, geotécnica e geomecânica, *Relatório de Projecto/Estágio inédito, Dep. Eng. Geotécnica, ISEP*, (2005), 113 pp., 8 anexos.
- [24] Martins, R., Geologia, geotecnia e geomecânica do maciço granítico da Pedreira de S. Domingos N^o2 (Fontelo, Armamar): contributos para a gestão do georrecurso, *Relatório de Projecto/Estágio inédito, Dep. Eng. Geotécnica, ISEP*, (2005), 119 pp., 21 anexos.
- [25] Dias, G., Noronha, F. e Ferreira, N., Variscan plutonism in the Central-Iberian Zone, Northern Portugal. *Eurogranites'2000 Field Meeting Guide Book*, Braga, (2000).
- [26] Kazi, A. e Al-Molki, M.E., Empirical relationship between Los Angeles abrasion and aggregate impact value tests, *Proc. 4th Congr. Int. Assoc. Eng. Geol.* 6, (1982), pp. 293-299.
- [27] Al-Harhi A., A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate, *Bull. Eng. Geol. Environment*, 60, (2001), pp.193-200.
- [28] Conde, M. C., Dinis da Gama, C. e Lopes, M. G., Correlação entre o comportamento mecânico de agregados e das rochas originais, 9^o Congresso Nacional de Geotecnia, 1, (2004), pp. 141-150.