

## **Caracterização das descontinuidades e de situações de instabilidade de uma pedreira de calcário ornamental localizada em Valinho de Fátima**

### **Discontinuity characterization and instability situations of an ornamental limestone quarry in Valinho de Fátima**

**J. DUARTE** – [jd.info@eduardomarquesrosa.pt](mailto:jd.info@eduardomarquesrosa.pt) (Eduardo Marques & Rosa, Lda)

**P. SANTARÉM ANDRADE** – [pandrade@dct.uc.pt](mailto:pandrade@dct.uc.pt) (Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia)

**A. SARAIVA** – [asaraiva@dct.uc.pt](mailto:asaraiva@dct.uc.pt) (Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia)

*RESUMO:* Apresenta-se o estudo das descontinuidades e das potenciais situações de instabilidade de uma pedreira de calcário ornamental que se localiza nas imediações de Valinho de Fátima (freguesia de Fátima). Definiram-se três famílias principais de descontinuidades, bem como as suas principais características: orientação, espaçamento, persistência, abertura, material de preenchimento, rugosidade, presença da água, índice de diaclasamento volumétrico e ângulo de atrito. Através da análise cinemática, em que utilizou o método de Markland, identificaram-se situações de instabilidade de rotura em cunha.

*PALAVRAS-CHAVE:* pedreiras, calcários, descontinuidades, taludes, instabilidade.

*ABSTRACT:* This article presents the study of discontinuities and potential slope instability of an ornamental limestone quarry located in Valinho de Fátima. Three joints sets were defined, as well as its characteristics such as: orientation, spacing, persistence, aperture, filling, roughness, percolation, volumetric joint count and friction angle. A kinematic analysis, based on Markland's method was carried out, which allowed the identification of wedge failures occurrences.

*KEYWORDS:* quarries, limestones, discontinuities, slopes, instability.

## **1. INTRODUÇÃO**

Neste trabalho, efectuou-se a caracterização das descontinuidades e das possíveis situações de instabilidade de taludes ou frentes da exploração de calcários ornamentais designada como EM&R nº6478 e pertencente à empresa Eduardo Marques & Rosa, Lda. Para a definição das principais famílias de descontinuidades, recorreu-se à projecção estereográfica dos dados recolhidos nos levantamentos geológicos e estruturais de campo. Para além da definição da orientação, efectuou-se a determinação das principais características das superfícies das descontinuidades: a persistência, a abertura, o material de preenchimento, o espaçamento, a rugosidade e a presença de água. Algumas das estruturas e contactos geológicos foram definidos através da análise de ortofotomapas, de imagens do Google Earth e da Folha 27 - A da Carta Geológica de Portugal à escala 1: 50 000 (IGM, 1998). No levantamento de campo, utilizou-se um dispositivo GPS (Garmin GPS 60) para definição das coordenadas dos vários locais estudados. A orientação e o ângulo de atrito das superfícies das descontinuidades, bem como a orientação das frentes da exploração, foram utilizados na aplicação do método de Markland (1972) para avaliar a possibilidade de ocorrência de roturas planares ou em cunha.

## 2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A exploração de calcários denominada EM&R nº6478 localiza-se nas proximidades de Valinho de Fátima (figura 1), freguesia de Fátima, concelho de Ourém (distrito de Santarém). O local de estudo situa-se na região geomorfológica do Maciço Calcário Estremenho, designadamente na região do planalto de São Mamede e Serra de Aires. A exploração localiza-se nos Calcários de Moleanos ( $J^2_{MI}$ ), que têm uma espessura aproximada de 150 m, sendo constituídos por calcários clásticos que apresentam cores esbranquiçadas ou creme e possuem intercalações de calcários muito fossilíferos e de calcários pelmicríticos com bioturbação, filamentos e amonóides. Parte da pedraira abrange também as formações das Camadas de Cabaços ( $J^3_C$ ). Os Calcários de Moleanos ( $J^2_{MI}$ ) apresentam características hidrogeológicas de um aquífero cársico com a presença de um número reduzido de nascentes que são muitas vezes temporárias e de caudais elevados, mas com variações sazonais muito acentuadas. As Camadas de Cabaços ( $J^3_C$ ) têm características hidrogeológicas diferentes, situando-se na passagem do Caloviano para o Oxfordiano. Essa transição delimita o aquífero, servindo de base as camadas mais impermeáveis do Caloviano e, de tecto, as camadas que se sobrepõem estratigraficamente e que pertencem ao Oxfordiano, sendo o aquífero recarregado a partir da infiltração local.

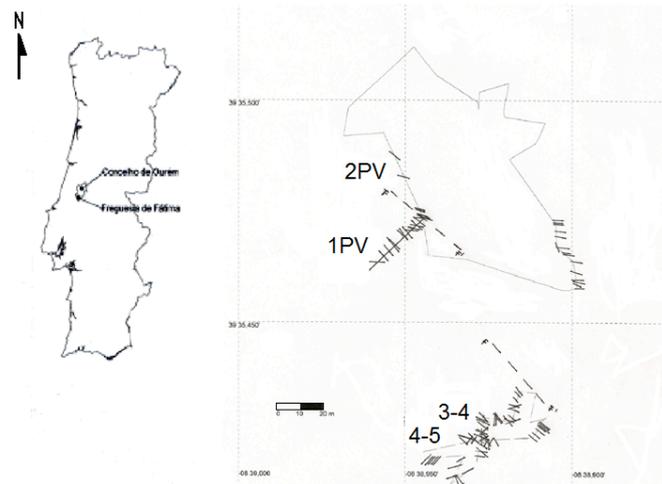


Figura 1 – Localização geográfica de pedraira EM&R nº6478.

## 3. RESULTADOS

Na parte SW da escavação de maiores dimensões, constatou-se a presença de uma falha de direcção NW-SE que condiciona de modo determinante a exploração. Nas partes N e S da escavação de dimensões mais reduzidas, verificou-se a existência de uma zona de falhamento de direcção NW-SE que delimita uma parte da área de exploração.

Estudaram-se quatro frentes de exploração que foram referenciados como sendo os taludes 3-4, 4-5, 1PV e 2PV.

Para cada um dos taludes, procedeu-se a um levantamento geológico e identificaram-se os diferentes tipos de descontinuidades, bem como as suas características de acordo com o ISRM (1978) e Saraiva (1993), pelo que se definiram: as coordenadas geológicas, o espaçamento, a persistência, a abertura, o material de preenchimento, a rugosidade (escala intermédia e pequena), a presença de água e o índice de diaclasamento volumétrico ( $J_v$ ).

A partir dos valores das orientações das descontinuidades, definiram-se as famílias presentes nas diferentes frentes e na totalidade do maciço rochoso. A família A apresenta uma orientação aproximada de  $N46^\circ-49^\circ W$ ;  $76^\circ-88^\circ SW$ , a família B de  $N40^\circ-45^\circ W$ ;  $12^\circ NE$  e a família C de  $N79^\circ-80^\circ W$ ;  $86^\circ-88^\circ S$ . A família A é a predominante na exploração, encontrando-se bem representada nos quatro taludes considerados e apresenta uma direcção semelhante à falha de maiores dimensões que condiciona a exploração; é de mencionar que algumas das principais

estruturas tectónicas do Maciço Calcário Estremenho apresentam a mesma orientação de NW-SE. A família B está associada à estratificação e apresenta uma orientação semelhante à referida na Folha 27 - A da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 (IGM, 1998). A família C está quase ausente no talude 4-5.

Na tabela 1, apresentam-se as características mais comuns das descontinuidades relativas às principais famílias identificadas.

Tabela 1 – Características modais das superfícies de descontinuidades.

Características	Família A	Família B	Família C
Orientação	N46°-49°W; 76°-88°SW	N40°-45°W; 12°NE	N79°-80°W; 86°-88°S
Espaçamento (m)	0,6 – 2,0	0,6 – 2,0	0,6 – 2,0
Persistência (m)	1 – 3	3 – 10	< 1
Rugosidade	Ondulada (escala intermédia) Lisa (escala pequena)	Escadaria (escala intermédia) Lisa (escala pequena)	Escadaria (escala intermédia) Estriada (escala pequena)
Abertura (m)	0,01 – 0,10	0,01 – 0,10	0,01 – 0,10
Enchimento	Sem material de preenchimento	Sem material de preenchimento	Sem material de preenchimento
Presença de água	Presença de gotas de água	Sem presença de água	Presença de gotas de água

O espaçamento para as três famílias de descontinuidades consideradas apresenta valores modais para o intervalo de 0,6 a 2,0 metros. Os valores da persistência das descontinuidades são muito variados para as diferentes famílias, sendo maioritariamente de 1 a 3 metros (60,9%) para a família A, superior a 3 metros (75%) para a família B, enquanto a persistência para a família C apresenta a maior parte dos valores inferiores a 1 metro (66,7%). O estudo da rugosidade de escala intermédia revelou que as descontinuidades da família A são, na sua maior parte, consideradas onduladas, enquanto as das famílias B e C apresentam-se em escadaria. A rugosidade de escala pequena é classificada como lisa para as descontinuidades das famílias A e B e como estriada para as da família C.

A maioria das descontinuidades é considerada como muito ampla, com valores compreendidos entre 0,01 e 0,10 metros; grande parte destas descontinuidades localiza-se nas zonas próximas da superfície, verificando-se uma diminuição em profundidade como é visível nos taludes 3-4 e 2PV. O material de preenchimento encontra-se ausente em 43,5%, 62,5% e 66,7% das descontinuidades, respectivamente, das famílias A, B e C. É de salientar a presença de material argiloso em 37,5% das descontinuidades da família B e de filonetes de calcite em 26,1% das descontinuidades da família A. Verificou-se a presença de gotículas de água na maioria e em metade das superfícies das descontinuidades, respectivamente, das famílias A e C. Para as descontinuidades da família B, observou-se que 90% se apresentam sem presença de água.

Os valores de  $J_v$  estão relacionados com o espaçamento das diaclases e com a presença de planos de falhamento. Os taludes 3-4, 1PV e 4-5 revelaram valores de  $J_v$ , respectivamente, de 1,9, 1,4 e 2,9, pelo que os blocos rochosos limitados pelas descontinuidades são classificados de acordo com a ISRM (1978) como grandes. A análise da fracturação do talude 2PV permitiu definir valores de  $J_v$  de 0,4, o que levou a considerar os blocos rochosos como de dimensões enormes.

#### 4. ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES

Na definição das condições de estabilidade dos taludes, utilizou-se o método de Markland (1972). Este método está relacionado com as orientações da face do talude considerado e das superfícies de descontinuidade, bem como com o valor do ângulo de atrito ( $\phi$ ), destas últimas.

No método de Markland (1972), assume-se que a coesão aparente é nula e que ambos os planos de descontinuidade que estão relacionadas com uma possível rotura em cunha apresentam o mesmo valor de  $\phi$ .

Os ensaios de inclinação progressiva (“tilt tests”) para a determinação do valor de  $\phi$  foram realizados a partir da sobreposição de dois blocos rochosos. Os resultados obtidos são definidos a partir do momento em que ocorre o deslizamento do bloco superior em relação ao bloco inferior. As superfícies de descontinuidade que foram testadas foram classificadas como lisas, rugosas e onduladas, os dois primeiros tipos foram obtidos respectivamente através de corte por fio diamantado e por furação, enquanto a rugosidade classificada como ondulada corresponde a uma grande parte das superfícies de descontinuidade da família A. O valor de  $\phi$  foi definido como igual a 32,5° e resultou da média dos valores dos vários ensaios realizados.

A análise cinemática das situações de instabilidade do talude, como as possíveis roturas por cunha ou planares, foi feita com recurso ao método de Markland (1972) e ao refinamento deste método por Hocking (1976). Para os diferentes taludes, verificou-se que as condições de Markland, referentes a roturas planares ou em cunha, não foram satisfeitas para as descontinuidades dos taludes 3-4, 4-5 e 2PV. Constatou-se a possibilidade de existirem várias roturas em cunha no talude 1PV. Estas potenciais roturas em cunha são originadas pela orientação de planos de falhamento e de diaclases. A instabilidade atrás referida poderá envolver volumes mais significativos de material rochoso com o aumento da profundidade da exploração no talude 1PV.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Definiram-se três famílias principais de descontinuidades na área de exploração. A família A de orientação N46°-49°W; 76°-88°SW possui uma direcção similar às principais estruturas tectónicas do Maciço Calcário Estremenho.

Do estudo das diferentes características das descontinuidades, salienta-se que a maior parte do espaçamento determinado para as três famílias se enquadra no intervalo de 0,6 a 2,0 metros. Os valores de  $J_v$  permitiram classificar os blocos rochosos como tendo dimensões grandes para três frentes de exploração. Para a frente de maiores dimensões o valor de  $J_v$  permitiu a definir os blocos rochosos como tendo dimensões que foram classificadas como enormes. O ângulo de atrito das descontinuidades (32,5°) foi obtido através de ensaios de inclinação progressiva.

A partir da análise cinemática realizada, constatou-se a possível ocorrência de roturas em cunha numa das quatro frentes da exploração. Estas situações potenciais de instabilidade deverão ser referenciadas no futuro desenvolvimento da exploração em profundidade, de modo a evitar situações que coloquem em risco trabalhadores, técnicos e equipamentos.

## Referências

- Hocking, G. (1976) – A method for distinguishing between single and double plane sliding of tetrahedral wedges. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics*, 13, pp. 225–226.
- IGM (1998) – *Folha 27-A, Vila Nova de Ourém. Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- ISRM (1978) – Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics*, 15, pp. 319-368.
- Markland, J.T. (1972) – *A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge slip type of failure is expected*. Imperial College Rock Mechanics Research Reprints, 19, pp. 1–10.
- Saraiva, A. L. A. (1993) – *Descontinuidades. Análise Morfológica para a Geotecnia*. Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, 43 p.
- Smolczyk, U. (2002) – *Geotechnical Engineering Handbook, Volume 1 (Fundamentals)*. Ernst & Sohn, Berlin, 650 p.