ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

J. M. F. Carvalho

Índice

Metodologias para a prospecção de rochas ornamentais

J. M. F. Carvalho

Unidade de Recursos Geológicos e Geofísica, LNEG, Apartado 7586, 2721-866 Alfragide.
E-mail: Jorge.carvalho@ineti.pt

RESUMO

As rochas ornamentais podem ser entendidas como a matéria-prima mineral utilizada como material de construção com funções essencialmente decorativas. São um recurso geológico que ano após ano tem vindo a ganhar importância económica mas cuja exploração tem sido feita, na maior parte dos casos, com base em conhecimentos empíricos. Mesmo perante os crescentes constrangimentos de acessibilidade territorial aos recursos, pouco se tem investido na inovação das metodologias de prospecção e avaliação de jazidas de rochas ornamentais. Estando a ocorrência e localização desses depósitos dependente unicamente de factores geológicos, as metodologias para a sua revelação e avaliação deverão basear-se em critérios também eles de índole geológica. Enfatiza-se neste trabalho a cartografia geológica e o estudo da fracturação dos maciços rochosos como ferramentas fundamentais à avaliação dos critérios de carácter decisivo na prospecção de rochas ornamentais. Estes relacionam-se unicamente com o dimensionamento e homogeneidade das unidades geológicas e seu estado de fracturação.

Palavras chave: Prospecção, Rochas Ornamentais

Ornamental stones exploration techniques

ABSTRACT

Ornamental stones are building raw materials of mineral origin mainly used with decorative purposes. They are a geologic resource that year after year has come to gain economic value but whose exploitation is being made, for the most part of the cases, on the basis of empirical knowledge. Even before the constraints on land use accessibility to mineral resources, little has been invested in the innovation for exploration and evaluations methodologies of ornamental stone deposits. Being the occurrence and localization of these deposits dependent solely of geologic factors, the methodologies for its discovery and evaluation will have also to be based on criteria of geologic nature. One emphasizes in this work the geologic mapping and the rock fracturing studies as the main tools to the characterization and evaluation of the decisive criteria for the exploration of ornamental stones. These become related solely with the sizing, homogeneity and fracturing state of the geologic units.

Key words: Exploration, Ornamental Stones

INTRODUÇÃO

As metodologias e técnicas de prospecção geológica têm evoluído ao longo dos tempos acompanhando a evolução do conhecimento técnico-científico, em particular nas áreas respeitantes aos recursos minerais metálicos e hidrocarbonetos. São as mais-valias económicas inerentes à descoberta deste tipo de jazigos que justificam os avultados investimentos na prospecção, despoletando,

concomitantemente, o desenvolvimento e evolução dessas metodologias que hoje se mostram indispensáveis e altamente sofisticadas, fazendo uso de técnicas geológicas, geofísicas e geoquímicas.

Num campo oposto podemos situar o que se passa relativamente aos chamados recursos em rochas e minerais industriais e de forma mais particular, o que se passa relativamente aos recursos utilizados como materiais de construção. Com efeito, sendo matérias-primas em geral comuns na natureza e perto da superfície, a sua disponibilidade é muito grande. Não carecem, portanto, de avultados investimentos ao nível da prospecção, nem o permitem dado o seu baixo valor económico. Como consequência, não têm sido desenvolvidas metodologias de pesquisa adequadas a este tipo de recursos, adoptando-se, genericamente, as aplicadas ao sector dos recursos minerais metálicos, em particular aos de tipo filoneano e cujas raízes se perdem no tempo. Assim se compreendem muitas das imprecisões ainda hoje comuns no sector extractivo das rochas e minerais industriais, como referências ao "filão de argila" ou ao "filão de mármore" e, muitas vezes, a planos mineiros desajustados.

Dos materiais de construção, o sector das rochas ornamentais é, porventura, aquele que maior semelhança denota com o sector dos minérios metálicos. Essa semelhança decorre das suas especificidades geológicas em termos de tipo e modo de ocorrência das jazidas e do maior valor económico da matéria-prima quando comparado com o dos restantes materiais de construção. Contudo, embora a ocorrência e localização dessas jazidas não resulte do acaso, estando dependente de factores estritamente geológicos, pouco se tem evoluído na investigação e desenvolvimento das metodologias e ferramentas de prospecção geológica particularmente dirigidas aos recursos em rochas ornamentais, sendo escassa a literatura sobre o assunto.

Apresentam-se neste trabalho, de modo muito sucinto, as metodologias e técnicas de investigação que se consideram mais relevantes no processo de decisão acerca da viabilidade dos maciços rochosos para a produção de rochas ornamentais.

DEFINIÇÕES E ÂMBITO DE UTILIZAÇÃO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

As rochas ornamentais, também vulgarmente designadas por Pedras Dimensionais (Bowles, 1939; Currier, 1960 e Barton, 1968), ou Pedras Naturais, podem ser definidas como a matéria-prima de origem mineral utilizada como material de construção com funções essencialmente decorativas. Cabem neste âmbito todos os tipos rochosos extraídos e processados segundo as mais variadas dimensões e formas, desde os pequenos cubos utilizados no calcetamento de ruas, até às finas placas de rochas xistentas usadas em revestimentos, passando, como é óbvio, pelos grandes blocos destinados à obtenção de chapas para revestimentos diversos, estatuária, pedras tumulares, etc.

Figura 1. *Exemplos de aplicação das Rochas Ornamentais.*

Tradicionalmente distinguem-se dois grandes grupos de rochas ornamentais, nomeadamente, os mármores e os granitos ou, mais recentemente, mármores, granitos e outras, em que neste último grupo é comum enquadrar os "xistos", os quartzitos e arenitos. De acordo com estas classificações, os calcários são englobados no grupo dos mármores e sob a designação de granitos é englobada uma grande variedade de rochas ígneas, desde os granitos propriamente ditos, aos sienitos, gabros, dioritos e gnaisses.

Se em termos de características físico-mecânicas e portanto, em termos de campo de aplicação, é admissível a inclusão num só grupo duma grande variedade de rochas como a que é reportada ao grupo dos granitos, já no que respeita ao grupo dos mármores não nos parece adequado a inclusão dos calcários. Com efeito, é bem marcada a diferença entre mármores e calcários, não só em termos das suas características físico-mecânicas, com consequências ao nível da sua aplicabilidade (Carvalho *et al.,* 2000a), como também em termos das suas características estéticas. Parece-nos mais adequado, mesmo do ponto de vista comercial, a distinção apresentada por Langer (2001) para as Rochas Ornamentais dos seguintes grupos: o grupo dos granitos,

dos calcários, dos mármores, das ardósias (ou "xistos") e o dos quartzitos e arenitos.

Do mesmo modo que para os restantes materiais de construção, das características tecnológicas das rochas ornamentais depende o modo e âmbito da sua aplicação. Assim, em função das propriedades físico-mecânicas e químico-mineralógicas que actualmente são avaliadas laboratorialmente, decorrem restrições à utilização das rochas ornamentais, em particular no que respeita a aplicações em interiores *versus* aplicações em exteriores e em edifícios públicos *versus* habitações privadas.

Ainda no âmbito da utilização das rochas ornamentais há a considerar o seu aspecto estético, não fosse esse o factor intrínseco ao fundamento da sua utilização como material de construção com funções decorativas. Deste modo, a estética ou beleza dum determinado tipo litológico é condicionadora da sua utilização como rocha ornamental. Daqui decorre que essa beleza ornamental é um factor importante a ter em conta na fase de prospecção geológica, mesmo sendo um factor com uma forte carga subjectiva. No entanto, essa subjectividade resulta da percepção conjunta dum conjunto de critérios objectivos dos quais se destacam a cor, a textura e a existência ou não de descontinuidades. São critérios cuja avaliação deve unicamente basear-se numa observação a "olho-nú" e que no seu conjunto dão o grau de **homogeneidade** da rocha.

A homogeneidade é, assim, um dos critérios fundamentais a ter em conta na prospecção de rochas ornamentais, tanto mais que dele depende, pelo menos parcialmente, o dimensionamento da jazida: um determinado volume de rocha em que se verifica uma homogeneidade de características.

PROSPECÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

É escassa a literatura respeitante às metodologias de investigação das rochas ornamentais, em particular no que respeita à sistematização das metodologias de prospecção. Na Tabela I apresenta-se uma compilação dos critérios a ter em consideração nas diferentes etapas de avaliação de um jazigo de rochas ornamentais, desde a compilação inicial da informação disponível até ao projecto de exploração, com base numa adaptação das propostas de Muñoz de la Nava *et al.* (1989), Harben e Purdy. (1991), Casal Moura *et al.* (1995), García (1996) e Selonen *et al.* (2000).

Tabela I. Principais aspectos a considerar na prospecção de Rochas Ornamentais.

Morfologia	Limites Espessura e variações de espessura Variações de fácies Carsificação
Estrutura	Estratificação, clivagens, xistosidades, lineamentos, etc. Falhas e fracturas dobramentos
Fracturação	Famílias direccionais Espaçamento entre famílias Densidade de fracturação

Metamorfismo	Tipo Zonação Mineralogia
Características litológicas	Composição mineralógica e química Cor Granulometria Textura Recristalizações, *Schlieren*, encraves, fósseis, etc. Homogeneidade (cor, textura, fósseis,e outras descontinuidades) Oxidações e outras alterações Propriedades físico-mecânicas (absorção de água, peso específico, resistência à compressão e à flexão, etc.)
Explorabilidade	Reservas Acessibilidade (topografia, acessos, distância aos centros consumidores, zonas de defesa e protecção ambiental) Espessura de camada de alteração e dos depósitos de cobertura Impacto ambiental Infraestruturas industriais Actividade extractiva instalada Aceitação no mercado

Conforme demonstrado por Carvalho *et al.*, 2008, os factores de carácter decisivo para a viabilidade dum maciço rochoso para a produção de rochas ornamentais estão relacionados unicamente com a homogeneidade das unidades geológicas, com o seu dimensionamento e com o seu estado de fracturação (Tabela II). Todos os aspectos de índole geológica que constam da Tabela I, assumem um papel secundário quando abordados a nível individual porque não são factores de exclusão.

Tabela II. Critérios de decisão na prospecção de Rochas Ornamentais.

Dimensionamiento	Homogeneidade	Estado de Fracuração
Espessura das unidades produtivas (bancada sedimentar, fácies metamórfica, etc.). Volume total do depósito. Disposição espacial.	Cor Textura Descontinuidades	Direcções preferenciais Frequência Densidade Intensidade Tipo e morfologia das fracturas

A **cartografia geológica** e o levantamento do **estado de fracturação** dos depósitos são as duas ferramentas básicas para a avaliação destes critérios de decisão. A cartografia geológica permite dar resposta às questões acerca do dimensionamento e homogeneidade dos depósitos. O levantamento "in-situ" dos dados de fracturas permite dar resposta quanto ao estado de fracturação desse depósito.

A CARTOGRAFIA GEOLÓGICA

A cartografia geológica aplicada à prospecção de rochas ornamentais deve estar vocacionada para a identificação, delimitação e caracterização de áreas com aptidão para rocha ornamental. A essas áreas deverá corresponder a existência de uma ou mais unidades geológicas em que se verifique uma homogeneidade de

características litológicas e cuja espessura e volume total permitam a obtenção de blocos com dimensões comercializáveis por um determinado período de tempo. Esta cartografia deverá, portanto, fazer uso de alguns conceitos e terminologia pouco usuais numa cartografia geológica clássica, mas que se revelam fundamentais ao fim em vista. Há que ter em apreço os seguintes aspectos: escala, litologia, estrutura geológica e convenções e terminologia a utilizar.

Dependendo da etapa de trabalho, do tipo de litologias presentes e da complexidade estrutural da região em causa, diferente será a **escala** de execução da cartografia geológica. Assim, na fase de reconhecimento geral deverá fazer-se uso de escalas regionais que poderão variar de 1/100.000 a 1/25.000, consoante o grau de conhecimento existente sobre a região. Na fase intermédia de prospecção, ou seja, aquela que se destina ao reconhecimento e avaliação dos grandes alvos seleccionados na etapa anterior, a cartografia a executar deverá ser à escala 1/10.000 ou 1/5.000, como é o caso ilustrado pelo mapa geológico da Figura 2. Tal depende, fundamentalmente, das litologias presentes e deverá contar com o apoio de sondagens de reconhecimento. Desta fase resultará a delimitação de áreas-alvo mais restritas para eventual localização de unidades de exploração, ou expansão das existentes. A sua avaliação deverá ser feita com base numa cartografia à escala 1/2.000 a 1/500 e fortemente apoiada em dados de sondagens.

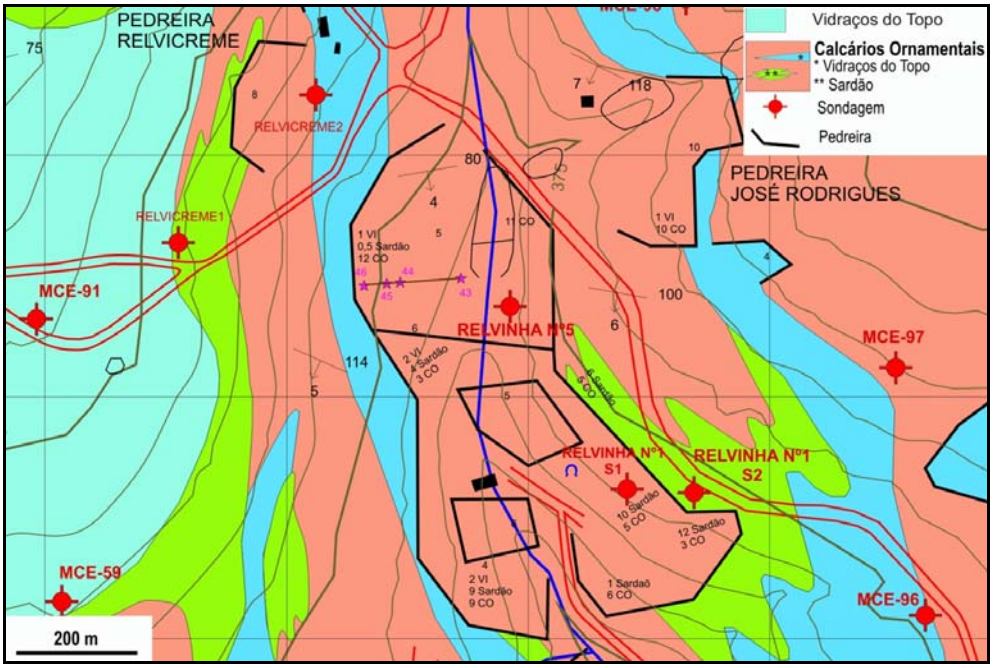

Figura 2. *Extracto de mapa geológico à escala 1/5.000 de área de exploração de calcários ornamentais (área de Pé da Pedreira, Maciço Calcário Estremenho, Portugal). Todas as litologias presentes correspondem a calcários, utilizando-se na legenda as designações locais.*

A **litologia** é o aspecto principal a considerar na cartografia geológica de temática vocacionada para as rochas ornamentais. Em primeiro lugar há que ter em conta a natureza sedimentar, ígnea ou metamórfica das rochas no que respeita a um adequado conhecimento das condições geológicas que presidem à eventual ocorrência de jazidas de rochas ornamentais. Por outro lado e com base nesse conhecimento será possível uma selecção e atribuição de importância aos critérios constantes das Tabelas I e II. Com efeito e a título de exemplo, se a presença, dimensão e disposição de fósseis em rochas sedimentares são critérios a ter em apreço, por poderem constituir um elemento de elevada qualidade estética, na cartografia de rochas graníticas tais critérios não são aplicáveis.

O conhecimento da **estrutura geológica** do depósito é fundamental ao seu **dimensionamento**, pelo que a cartografia geológica deve ser, essencialmente, uma cartografia geológico-estrutural. Deverão ser tomados em consideração todos os critérios e técnicas de análise estrutural que permitam o estabelecimento dum modelo estrutural do depósito. Em particular e em função da complexidade estrutural da região em causa, é importante ter em atenção os dados relativos à orientação dos planos de estratificação, clivagens, xistosidades, lineações e os relativos à orientação e tipo de falhas, fracturas e dobramentos eventualmente presentes. A estrutura geológica tanto pode ser um factor condicionador como promotor da ocorrência de jazidas de rochas ornamentais.

No que respeita às **convenções e terminologia**, a cartografia deverá fazer uso de simbologia apropriada de modo a que seja fácil a identificação e caracterização das áreas com maior interesse, bem como das variedades ornamentais existentes (em detrimento duma terminologia puramente científica).

AVALIAÇÃO DO ESTADO DE FRACTURAÇÃO

Para a avaliação do estado de fracturação dos maciços rochosos deve-se fazer uso, numa etapa inicial, de métodos indirectos de avaliação. Entre eles contam-se as técnicas de detecção remota, nomeadamente as imagens de satélite LandSat Tm e as fotografias aéreas, os quais constituem preciosos auxiliares nas etapas de reconhecimento inicial. Para além de fornecerem uma visão global da área sob investigação, a conjugação de ambas as técnicas têm permitido uma cada vez mais detalhada delimitação de áreas mais ou menos fracturadas e a definição de padrões de fracturação a nível regional. Neste capítulo surgiu muito recentemente uma nova ferramenta com capacidades de desenvolvimento e utilização muito grandes. Trata-se da aplicação informática Google Earth™ *mapping service* a qual, em muitos casos se revela uma ferramenta de detecção remota muito eficaz na selecção de áreas alvo em função do estado de fracturação dos maciços.

No âmbito das etapas iniciais de reconhecimento de descontinuidades maiores assumem também importância os métodos geofísicos. No entanto, o maior relevo da aplicação destes métodos verifica-se ao nível das fases de investigação mais detalhada, como complemento aos métodos directos de avaliação da fracturação. Entre elas há a considerar os métodos sísmicos em geral (Carvalho *et al.,* 2000b), o geo-radar, o *VLF-EM/RF-EM (Radio Frequency – Electromagnetics)* (Carvalho *et al.,* 1999) e as tomografias eléctricas e sísmicas. Todos eles têm vantagens e desvantagens ao nível

do tipo e detalhe da informação que fornecem, rapidez de execução e custo.

Os métodos indirectos não substituem os directos na apreciação do estado de fracturação dos maciços rochosos, sendo que estes constituem uma ferramenta indispensável na prospecção de rochas ornamentais. Baseiam-se na caracterização e medição da atitude das fracturas "in situ" pelo que o seu modo de execução depende da dimensão da área a prospectar e das suas características em termos das litologias presentes e da forma, tamanho e disposição dos afloramentos. Destes condicionalismos depende o método a adoptar, sendo que os diferentes métodos diferem entre si, basicamente, no modo de inventariação e no posterior tratamento e análise dos dados.

Os modos de inventariação mais comuns baseiam-se no inventário de todas as fracturas englobadas numa dada área (circular ou quadrangular) ou intersectadas por uma determinada linha de amostragem (*scan line*). As dimensões a adoptar para a área ou para a *scan line* dependem muito duma avaliação preliminar do espaçamento entre fracturas duma mesma família e da área disponível.

O método de inventário em área adequa-se melhor a medições em afloramentos, ao passo que o método da *scan line* está mais adequado à medição em frentes de desmonte já existentes ou em taludes naturais. O caso particular do inventário de fracturas nos testemunhos de sondagens reporta-se ao método da *scan line* que neste caso acaba por ser o próprio testemunho.

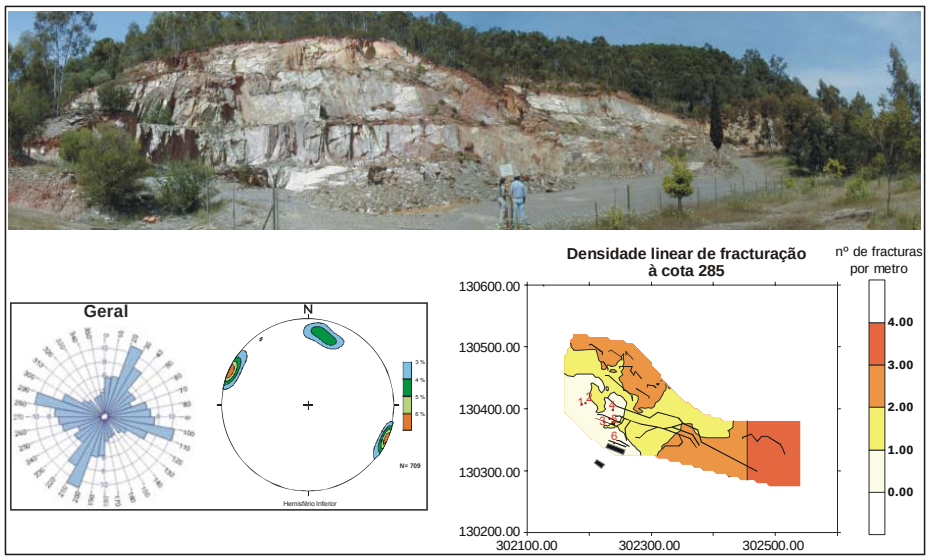

Figura 3. *Estudos de fracturação aplicados a uma pedreira de xistos ornamentais em Barrancos (Alentejo – Portugal).*

Devem ser seguidas as recomendações constantes da extensa bibliografia publicada a respeito dos métodos de levantamento de fracturas em maciços rochosos, em particular as apontadas pela *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1978), Priest e Hudson, 1981;

Barton *et al.*, 1993; Hudson e Priest, 1983; Mauldon *et al.,* 2001.

Tendo como objectivo as rochas ornamentais, as características a que mais importa prestar atenção para a análise descritiva das fracturas são: a orientação (direcção e inclinação), o comprimento, a abertura e tipo de preenchimento, o espaçamento entre famílias, a terminação (continuidade) das fracturas e o tipo litológico onde ocorrem. Para cada um dos parâmetros são admissíveis diversas formas de tratamento e apresentação de resultados, sendo comum a conjugação das ferramentas da estatística descritiva com os métodos sugeridos pela *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1978).

Particularmente no que respeita ao processamento e análise estatística dos dados de orientação das fracturas, importa não esquecer que são dados de natureza circular, pelo que esse processamento é geralmente abordado, em termos probabilísticos, em função da Distribuição de Von Mises (Baas, 2000; Mardia, 1972) que é análoga à Distribuição Normal, mas adaptada a dados circulares.

Mais recentemente têm vindo a ganhar apreço os métodos geoestatísticos para a determinação da intensidade de fracturação dos maciços rochosos, particularmente a partir dos dados de espaçamento das famílias de fracturas presentes (Figura 3).

São disso exemplo os trabalhos publicados por La Pointe e Hudson, 1985; Luís, 1995; Bastante *et al.*, 2008; Taboada *et al.,* 2008. Baseiam-se na teoria das variáveis regionalizadas (Matheron, 1970), ou seja, aleatórias mas cujo valor depende da localização espacial e relacionamento com os valores de amostragem vizinhos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A ocorrência e localização dos recursos geológicos, nomeadamente de rochas ornamentais, é governada unicamente por factores geológicos. A revelação de novas jazidas carece de conhecimentos e metodologias geológicas para tal vocacionadas, não podendo ficar ao acaso em função de actividades empíricas que acabam por se traduzir num deficiente planeamento da actividade mineira com consequência ao nível do ordenamento do território e da degradação ambiental. A este respeito importa realçar que nos últimos anos muito se tem investido nos aspectos tecnológicos associados à exploração e transformação de rochas ornamentais, tendo em vista a optimização económica das explorações e a diminuição da quantidade de resíduos. No entanto, os resíduos na indústria extractiva das rochas ornamentais constituem cerca de 70% do total de matéria primas extraída. Julgamos que tal se deve fundamentalmente a deficientes planeamentos de lavra por falta de um conhecimento adequado das características dos depósitos de rochas ornamentais em causa.

Esse conhecimento obtém-se numa etapa anterior à da exploração, ou seja, obtém-se durante a prospecção geológica e avaliação dos depósitos. Urge, portanto, investir nestas etapas de modo a inovar metodologias e técnicas.

O trabalho aqui apresentado vem ao encontro destas questões, realçando os critérios decisivos nas etapas de prospecção que têm um peso efectivo na definição e dimensionamento das jazidas de rochas ornamentais, nomeadamente os critérios tendentes à avaliação da dimensão, homogeneidade e estado de fracturação das jazidas. Os factores extrínsecos à definição da jazida, como sejam as características

tecnológicas das rochas, a sua beleza, a espessura de depósitos de cobertura, o enquadramento ambiental e paisagístico, as condições de acessibilidade, etc., são factores que apenas condicionam a aplicabilidade dos diferentes tipos de rochas e a viabilidade económica da sua exploração.

BIBLIOGRAFIA

Baas, J. H. 2000. EZ-Rose: a computer program for equal-area circular histograms and statistical analysis of two-dimensional vectorial data. *Computers & Geosciences*, 26, 153-166.

Barton, W. R. 1968. *Dimension stone*. U.S. Bureau of Mines Information Circular 8391, 147.

Barton, C. C., Larsen, E., Page, W. R. e Howard, T. M. 1993. *Characterizing fractured rock for fluid-flow, geomechanical, and paleostress modeling: methods and preliminary results from Yucca Mountain, Nevada*. USGS, OFR-93-269, Denver, Colorado, 80.

Bastante, F., Ordonez, C., Taboada, J. e Matias, J. 2008. Comparison of indicator kriging, conditional indicator simulation and multiple-point statistics used to model slate deposits. *Engineering Geology*, 98, 50-59.

Bowles, O. 1939. *The Stone Industries*. McGraw-Hill Book Company, New York, 2nd edition, 519.

Carvalho, A., Dussel, M., Reis, E., Baptista, R., Coimbra, R. & Reis, M. 1999. The combined use of electromagnetic methods and tracers to detect preferential groundwater pathways. *Jornadas Actualidad de las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología*, Granada.

Carvalho, J. M. F. 2008. Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45, 1306–1319.

Carvalho, J. M. F., Manuppella, G. e Casal Moura, A. 2000a. Calcários Ornamentais Portugueses. *Boletim de Minas do Instituto Geológico e Mineiro*, 37 (4), 223-232.

Carvalho, J. P., Lisboa, J. V.; Torres, L. e Mendes-Victor, L. A. 2000b. Rock mass evaluation using in-situ velocity and attenuation measurements. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics,* 5, 15-31.

Casal Moura, A., Grade, J.; Ramos, F. e Ferreira, N. 1995. Aspectos metodológicos do futuro e caracterização de maciços graníticos tendo em vista a sua exploração para a produção de rochas ornamentais e industriais. *Boletim de Minas*, Lisboa, 32 (1).

Currier, L.W. 1960. Geologic appraisal of dimension-stone deposits. *U.S. Geological Survey Bulletin* 1109, 78.

García, E. O. 1996. Investigación de Yacimientos. In: Jimeno, C.L. (eds.), *Manual de Rocas Ornamentales – Prospección, explotation, elaboratión y colocación*. Entorno Grafico, S. L., Madrid, 139-174.

Harben, P. e Purdy, J. 1991, Dimension stone evaluation: from cradle to gravestone. *Industrial Minerals*, February, 47-61.

Hudson, J. A. e Priest, S. D. 1983. Discontinuity frequency in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 20 (2), 73-89.

ISRM, 1978. Suggested methods for the quantitative description in rock masses. International *Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences & Geomechanical Abstracts*, 15 (6), 319-368.

Langer, W. H. 2001. Construction Materials, Dimension Stone. In: Buschow, K. H. J., Cahn, R. W., Flemings, M. C., Ilschner, B., Kramer, E. J. y Mahajan, S. (eds.). *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, Volume 1. Elsevier, Oxford, 1546-1550.

La Pointe, P. R. e Hudson, J. A. 1985. Characterization and Interpretation of Rock Mass Properties. *Geological Society of America*, Denver, Colorado, 37.

Luís, A. G. 1995. *Caracterização, avaliação e simulação da blocometria de um jazigo de mármores*. Tese de Mestrado em Mineralurgia e Planeamento Mineiro. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 75.

Mardia, K. V. 1972. *Statistics of Directional Data*. Academic Press, London.

Mauldon, M., Dunne, W. M. e Rohrbaugh, M. B. 2001. Circular scanlines and circular windows: new tools for characterizing the geometry of fracture traces. *Journal of Structural Geology*, 23, 247-258.

Matheron, G. 1970. *La théorie des variables regionalisées et ses applications*. Les Cahiers du CGMM. Fontainebleau. Paris, 212.

Muñoz de la Nava, P. M., Escudero, J. R., Suarez, I. R., Romero, E.G., Rosa, A. C., Moles, F. C. & Martinez, M. G. 1989. Metodologia de investigación

de rocas ornamentales: granitos. *Boletín Geológico y Minero*, 100 (3), 129-149.

Priest, S. D. e Hudson, J. A. 1981. Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences & Geomechanical Abstracts*, 18, 183-197.

Selonen, O., Luodes, H. & Ehlers, C. 2000. Exploration for dimensional stone – implications and examples from the Precambrian of southern Finland. *Engineering Geology*, 56, 275-291.

Taboada, J., Rivas, T., Saavedra, A. and Bastante, F. 2008. Evaluation of the reserve of a granite deposit by fuzzy kriging, *Engineering Geology*, 99, 23-30.

Revisado:	Fortes Durmmond Chicarino Varajao, Angélica Dto. De Geología. Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto angelica@degeo.ufop.br