

Padrões de fraturação regional e exploração de rochas ornamentais

J.M.F. Carvalho ⁽¹⁾ e J.V. Lisboa ⁽¹⁾

⁽¹⁾Unidade de Recursos Geológicos e Geofísica, LNEG, Apartado 7586, 2610-999 Amadora.
E-mail: jorge.carvalho@lneg.pt; vitor.lisboa@lneg.pt

RESUMO

No presente trabalho apresenta-se um estudo regional da fraturação que afeta o Maciço Calcário Estremenho, Portugal, por intermédio de fotografia aérea. Esse estudo permitiu concluir que os diferentes setores tectonostratigráficos desse maciço apresentam padrões de fraturação característicos. Visando determinar da aplicação dos resultados obtidos para a definição de áreas favoráveis à extração de blocos para fins ornamentais, apresentam-se dois casos de estudo correspondentes a dois núcleos de pedreiras que se encontram em atividade. Conclui-se que os resultados alcançados não podem ser aplicados pois não apresentam resolução suficiente para determinar o espaçamento característico das principais famílias de fraturas presentes.

Palavras-chave: Padrões de fraturação regional, rochas ornamentais.

Regional fracturing patterns and the exploitation of ornamental stones

ABSTRACT

In this work we present a regional fracturing study of the Portuguese Maciço Calcário Estremenho. It was carried out through the interpretation of aerial photographs. We concluded that each of the tectonostratigraphic units of this region exhibit different characteristic fracturing patterns. Aiming the application of the obtained results to the definition of favorable areas for the production of ornamental stones, two case studies are presented which correspond to two major mining sites. It is concluded that the obtained results cannot be applied since they don't have enough resolution to quantify precisely the characteristic spacing of each of the main families of fractures present.

Key words: Regional fracturing patterns, ornamental stones.

INTRODUÇÃO

O estudo da variabilidade de padrões de fraturação constitui uma ferramenta que se pode revelar importante para a compreensão da evolução tectónica duma determinada região. Sendo a fraturação um dos principais critérios de decisão sobre a aptidão de um maciço rochoso para a produção de rochas ornamentais (Carvalho,

Henriques, Falé *et al.*, 2008, Carvalho, 2010) o presente trabalho visa determinar até que ponto o estudo de padrões de fraturação por intermédio de fotografia aérea se pode revelar eficaz para a determinação dos locais mais favoráveis a essa indústria.

Para o efeito apresenta-se o caso de estudo que é o Maciço Calcário Estremenho

(MCE), uma região do território português que se apresenta sobrelevada tectonicamente (Figura 1) e no qual de desenvolve intensa exploração de calcários para fins ornamentais em grandes núcleos de pedreiras (Carvalho, Manuppella & Moura, 2003; Carvalho & Henriques, 2007).

No MCE distinguem - se 3 unidades tectonostratigráficas principais sobrelevadas, nomeadamente, a Serra dos

Candeeiros, o Planalto de Santo António e o Planalto de São Mamede-Aire-Fátima. As rochas nelas aflorantes datam, sobretudo, do Jurássico Médio. Correspondem a calcários de cores claras e elevado grau de pureza. Os estratos estão dispostos sub-horizontalmente. Estas unidades estão separadas entre si por depressões tectónicas onde afloram calcários margosos, de cores cinzentas e castanhas e que datam do Jurássico Superior.

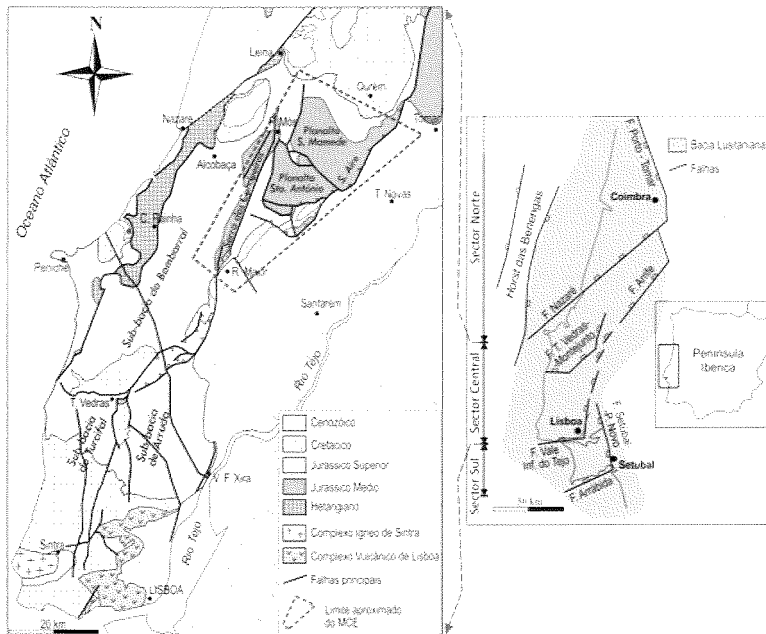


Figura 1. Enquadramento do Maciço Calcário Estremenho no contexto da Bacia Lusitaniana (Portugal).

O fato dos calcários muito puros do Jurássico Médio se apresentarem sobrelevados contribui para que nas 3 unidades antes referidas seja comum a ocorrência de extensas áreas em que os afloramentos de calcários estão expostos, desprovidos de coberto vegetal. São, portanto, condições favoráveis à aplicação de meios de deteção remota para a avaliação de padrões de fraturação,

nomeadamente por intermédio de fotografia aérea.

DADOS E METODOLOGIA

O estudo realizado baseou-se na interpretação de um levantamento fotográfico à escala aproximada 1/26.000 que cobre na totalidade o MCE. Ao invés de se optar por coleções de fotografias aéreas recentes, optou-se por um

levantamento fotográfico de 1958 a fim de poder observar o território num estado pouco afetado antropogenicamente. Assim, utilizou-se o método clássico de observação de fotografias aéreas em papel, o que foi realizado por intermédio do estereoscópio *Old Delft Scanning Stereoscope III*.

Por norma, em fotografia aérea identificam-se lineamentos que podem ou não ter correspondência com fraturas. Contudo, dadas as características dos afloramentos no MCE antes referidas, os lineamentos identificados correspondem, efetivamente, a fraturas abertas.

As fraturas identificadas foram desenhadas sobre papel transparente colocado sobre cada um dos pares de fotografias observadas. O traço da caneta utilizada é de 0,5 mm. Após digitalização para formato *raster* de todas as fraturas, a informação foi incorporada em SIG *Geomedia Pro V6*, no qual se procedeu à sua georreferenciação e digitalização para formato vetor.

A partir da aplicação SIG referida foi então possível a produção de mapas com a representação das fraturas fotointerpretadas. Foi também possível a exportação dos dados de orientação e comprimento dessas fraturas para formato ASCII e sua posterior importação para a aplicação *Spheristat* onde se elaboraram diagramas de rosa.

RESULTADOS

Na Figura 2 apresenta-se um mapa no qual estão implantadas todas as fraturas fotointerpretadas. No que respeita à orientação destas, tanto pela observação da roseta que está integrada nessa figura, como pela observação dos respetivos traços no mapa, constata-se que as fraturas cobrem todo o espectro azimutal. Contudo, também se observa que essa grande variação de orientações não ocorre por todo o maciço. Na realidade, observam-se padrões de fraturação mais ou menos regulares em determinadas regiões.

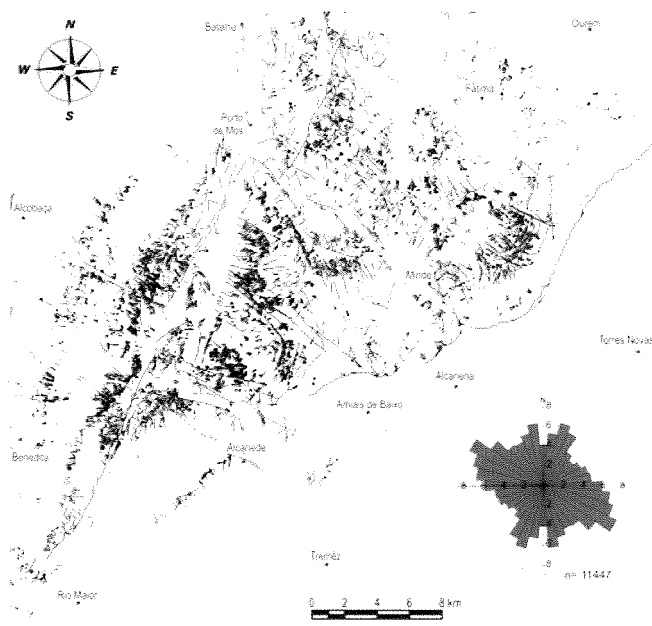


Figura 2. Projeção das fraturas fotointerpretadas no MCE.

Por essa razão e tendo em atenção que o MCE compreende diversos setores tectonostratigráficos, procedeu-se à distinção das fraturas em função desses setores ou unidades tectonostratigráficas.

Para cada um elaborou-se uma roseta que se projetou sobre um mapa cronostratigráfico simplificado do MCE, conforme a Figura 3.

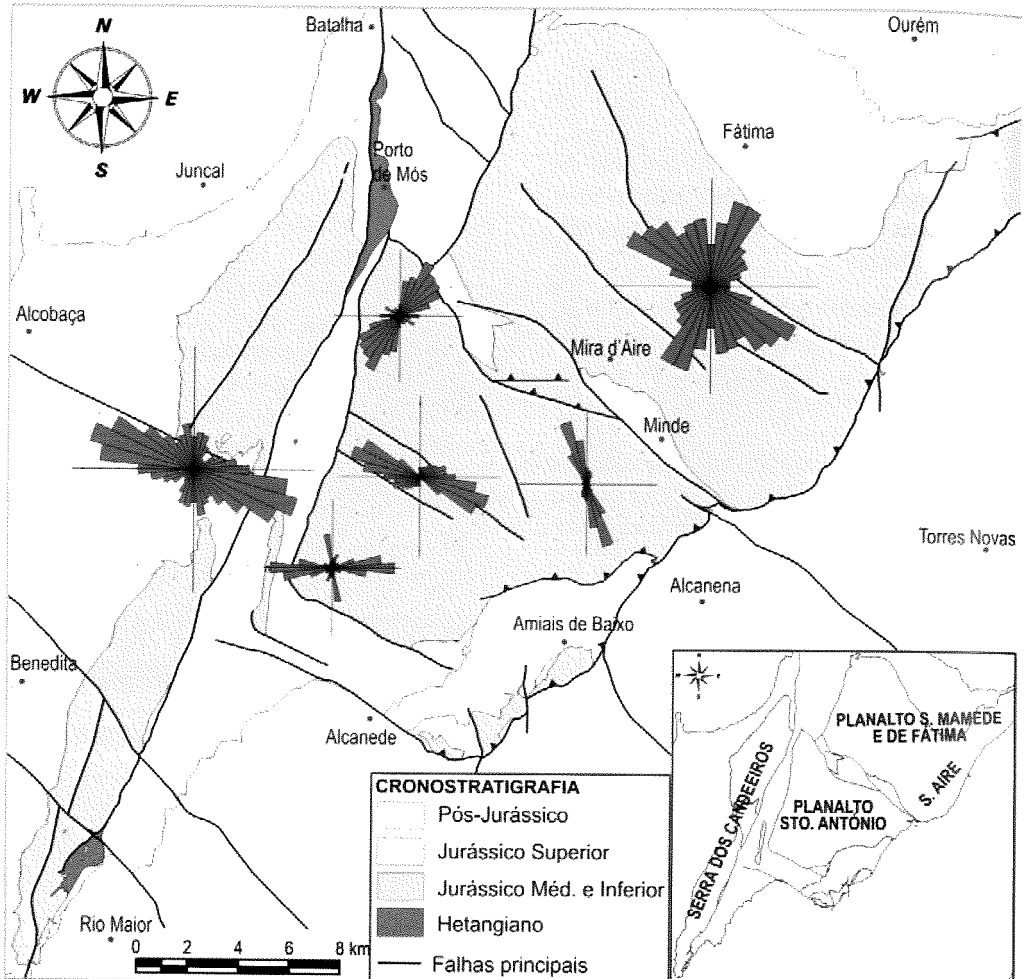


Figura 3. Mapa cronostratigráfico simplificado do MCE com representação das rosetas correspondentes à distribuição estatística das orientações de fraturas fotointerpretadas por unidades morfoestruturais do MCE.

Da análise desse mapa e das rosetas correspondentes a cada uma das unidades tectonostratigráficas, confirma-se que a cada uma delas corresponde um padrão de fraturação específico, mais ou menos complexo:

- Na Serra dos Candeeiros predomina uma direção de fraturação segundo WNW-ESE, paralela a alguns dos acidentes principais que caracterizam o MCE, muitas vezes preenchidos por rochas doleríticas.

- No Planalto de Sto. António consideram-se 4 zonas distintas:

- A região sudoeste, também conhecida por área de Pé da Pedreira. Aí afloram bancadas espessas de *grainstones* e *rudstones* pelbiolitoclásticos que assentam sobre estratos pouco espessos (0,1 a 0,8 m) de *mudstones*, *wackstones* e *flagstones* micríticos e pelmicríticos, mais ou menos bioclásticos. O padrão de fraturação característico mostra um sistema subortogonal constituído por uma família de fraturas W-E e outra NNW-SSE.

- Na região central do planalto afloram os calcários micríticos atrás referidos. À semelhança da Serra dos Candeeiros, também aqui o padrão de fraturação é, no essencial, dominado por uma família WNW-ESE, paralela aos acidentes tectónicos maiores que aí também ocorrem.

- A região oriental do planalto, onde ainda afloram calcários idênticos aos anteriores, é dominada por uma única família de fraturas orientadas NNW-SSE, subperpendicularmente a acidentes cavalgantes a norte e a sul.

- Na região setentrional do planalto dominam fraturas orientadas em torno de NE-SW. Os calcários aí aflorantes são de natureza diversa, desde calcários margosos em bancadas muito estreitas até calcários sparíticos (*grainstones* e *rudstones*) em bancadas muito espessas.

- A região dos planaltos de São Mamede e de Fátima e ainda a Serra de Aire estão fraturadas segundo duas direções principais, oblíquas entre si, mas com grande dispersão de valores azimutais: uma família orientada NNE-SSW e outra orientada NW-SE. Nestas regiões predominam bancadas estreitas, entre 0,1 a 0,4 m de *mudstones* e *wackstones* mais ou menos bioclásticos, à exceção do Planalto

de Fátima onde as rochas aflorantes, do Jurássico Superior, correspondem a bancadas alternantes de calcários mais ou menos margosos, cuja espessura varia de 0,1 a 0,6 m.

Em conclusão, o MCE está afetado por 6 principais famílias direcionais de fraturas. A sua distinção apenas é possível porque são características de determinados domínios tectonostratigráficos.

Aplicação à indústria das rochas ornamentais

No MCE existem vários núcleos de pedreiras para blocos de calcários ornamentais. Tendo-se concluído que a diferentes regiões deste maciço rochoso correspondem diferentes padrões regulares de fraturação, pode-se admitir que as áreas sujeitas a atividade extrativa também estejam fraturadas segundo um padrão específico. Conhecendo-se esse padrão poder-se-á planear melhor as explorações existentes, a fim de otimizar o seu rendimento. Poder-se-ão também fazer conjecturas quanto às potencialidades de outras áreas onde ocorre o mesmo tipo de rochas mas que ainda não são alvo de exploração.

Para ilustrar os resultados obtidos pelo estudo regional de fraturação por intermédio de fotografia aérea, abordam-se dois desses núcleos de pedreiras, nomeadamente o núcleo de Pé da Pedreira (Figura 4) e o núcleo de Codaçal (Figura 5). Em ambos desenvolve-se atualmente uma intensa atividade de exploração com rendimentos que rondarão os 70% de aproveitamento (Carvalho, 1997; Quartau, 2000). Tal valor é elucidativo de que a fraturação que afeta as unidades litológicas exploradas não é intensa.

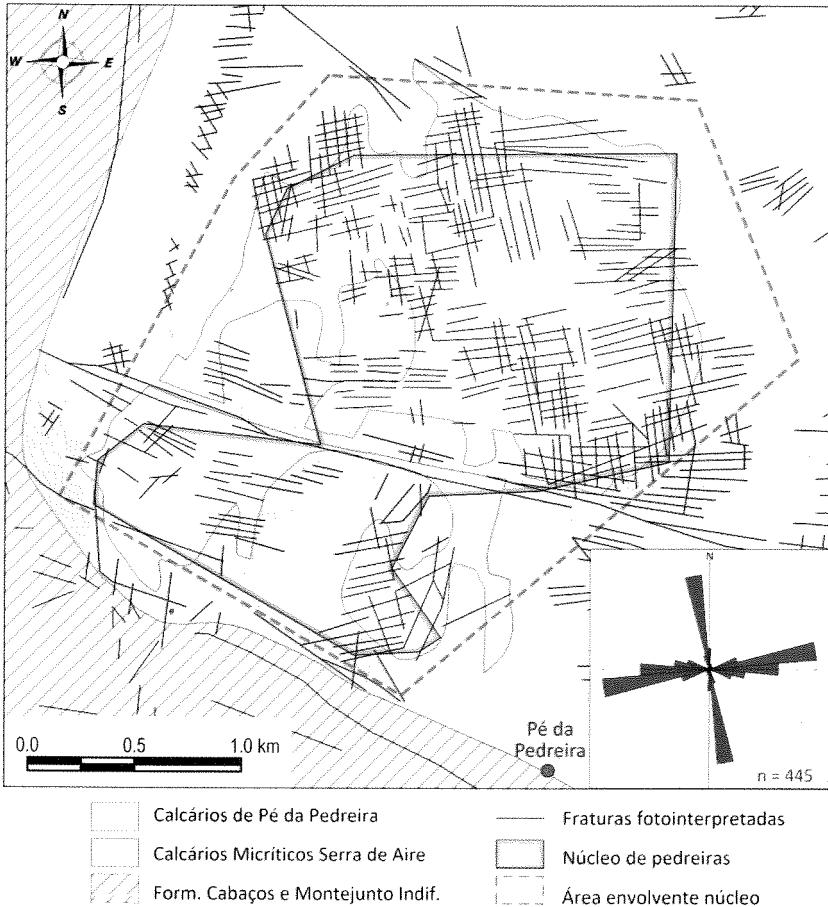


Figura 4. Mapa litostratigráfico simplificado da Área de Pé da Pedreira com projeção das fraturas fotointerpretadas e roseta correspondente às fraturas da área que envolve o núcleo de pedreiras.

Na área de Pé da Pedreira (Figura 4) os calcários explorados fazem parte duma unidade litostratigráfica que toma esse nome – Calcários de Pé da Pedreira. Correspondem aos calcários calciclásticos de granulometria grosseira antes mencionados. Assentam sobre a unidade Calcários Micríticos de Serra de Aire que como o próprio nome indica, é essencialmente constituída por calcários micríticos, os quais também já foram antes caracterizados. Estes, por se apresentarem em bancadas pouco possantes e pouco

homogéneas texturalmente, não apresentam aptidão ornamental.

A unidade Calcários de Pé da Pedreira está afetada por um simples sistema ortogonal de fraturas constituído pelas famílias WSW-ENE e NNW-SSE sem dispersão relevante de orientações (*cf.* Figura 4). Traduz, no essencial, a roseta que se apresenta na Figura 3 para esta região. A principal diferença é que a família W-E que se observa no diagrama de rosa correspondente à região sudoeste do Planalto de Sto. António (Figura 3) engloba

fraturas de ambas as unidades litostratigráficas que aqui afloram, ao passo que a família WSW-ESE na roseta da Figura 4, respeita unicamente aos calcários ornamentais. Outro aspeto relevante é que a família NNW-SSE é característica desta unidade.

Refere-se ainda uma família de fraturas longas e orientadas WNW-ESE, mas cuja representatividade estatística é reduzida. Têm correspondência com uma estrutura filoniana que atravessa a área em causa.

Na área do Codaçal (Figura 5), na região setentrional do Planalto de Sto. António (cf. Figura 3), a unidade ornamental é denominada Calcários do Codaçal: espessas bancadas de grainstones e rudstones oolíticos e pelibiotoclásticos. Estes calcários estão sobre uma unidade de calcários margosos em bancadas com espessura centimétrica a decimétrica (Calcários de Vale da Serra).

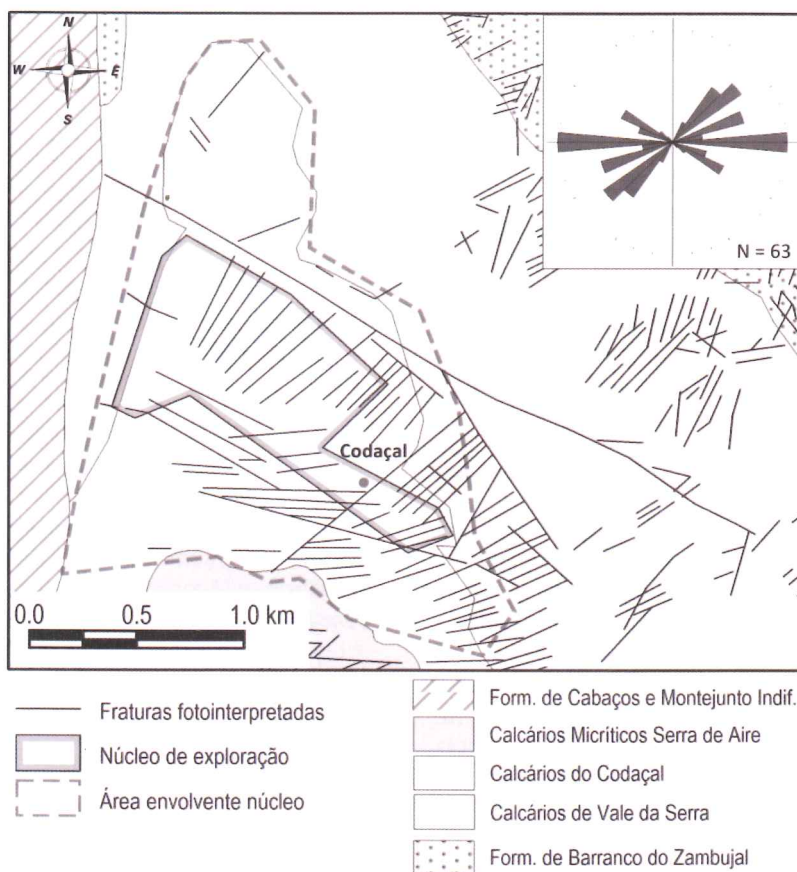


Figura 5. Mapa litostratigráfico simplificado da Área de Codaçal com projeção das fraturas fotointerpretadas e roseta correspondente às fraturas da área que envolve o núcleo de pedreiras.

Os Calcários do Codaçal estão afetados por 3 famílias de fraturas, oblíquas entre si. As

mais relevantes estão centradas em E-W e em torno de NE-SW. A família secundária

WNW-ESE (a NW-SE) é paralela a um filão que atravessa o núcleo do Codaçal e que no mapa apresentado tem correspondência com a longa fratura assim orientada. Pelo menos aparentemente, esse filão limita corresponde a uma fronteira entre uma zona bastante fraturada, a sul, e uma zona pouco fraturada, a norte.

DISCUSSÃO

As explorações de rochas para fins ornamentais visam a extração de blocos paralelepípedicos cujas dimensões comerciais mínimas rondam 1 x 1 x 1,5 m. Para o caso das rochas sedimentares, essas dimensões dependem da espessura dos estratos, do número de famílias de fraturas presentes e do respetivo espaçamento.

Para os casos concretos das áreas de Pé da Pedreira e do Codaçal, duas das dimensões mínimas estão asseguradas pela espessura dos estratos que constituem as unidades litostratigráficas exploradas. Com efeito, essas unidades correspondem a corpos sedimentares maciços, de espessura superior a 40 m, em que apenas localmente é possível a diferenciação de estratos sedimentares. Resta que a outra dimensão mínima, de 1 m, depende da fraturação.

Conceptualmente, no que respeita à fraturação, as condições mais favoráveis à exploração de blocos ornamentais corresponderão à inexistência de fraturas ou à existência de apenas uma família de fraturas com espaçamento superior a 1 m. Situação menos favorável será a ocorrência de 2 famílias ortogonais entre si, desde que os respetivos espaçamentos sejam também superiores a 1 m. A ocorrência de 2 ou mais famílias oblíquas entre si corresponde a situações desfavoráveis à obtenção de blocos.

No caso do núcleo de Pé da Pedreira estamos perante a situação óbvia de um

sistema ortogonal de fraturas e, portanto, se avaliada a área em função deste critério, ela demonstra aptidão para a produção de blocos. Poder-se-á concluir que para áreas de ocorrência de espessas bancadas sedimentares afetadas por um padrão ortogonal de fraturas mas que ainda não estão a ser exploradas, elas demonstram aptidão para este tipo de indústria.

Porém, no núcleo do Codaçal, o padrão de fraturação mostra famílias oblíquas entre si, o que não seria de esperar face à atividade extrativa desenvolvida e aos altos rendimentos dessa atividade.

São duas as razões que justificam esta incongruência. Por um lado, observando o modo como as diferentes famílias de fraturas estão distribuídas, verifica-se que só localmente ocorrem no mesmo espaço. Portanto, é como se em cada local específico existisse apenas uma família de fraturas. Por outro lado e mais importante, há que ter em atenção o espaçamento de cada uma das famílias.

A este respeito, e tanto para a Área do Codaçal, como para a Área de Pé da Pedreira, os espaçamentos de cada uma das famílias, ou seja a distância medida na perpendicular entre duas fraturas paralelas consecutivas, tem de ser suficientemente elevado para permitir a obtenção de blocos com dimensões comercializáveis.

Tendo em atenção a metodologia aplicada para a fotointerpretação, ou seja, fotografias à escala 1/26000 e fraturas desenhadas sobre essas fotografias sob a forma de traços com 0,5 mm de largura, resulta que o espaçamento mínimo entre dois traços paralelos consecutivos passíveis de ser desenhados é, também, de 0,5 mm, aproximadamente. Esse valor tem correspondência com um espaçamento real próximo de 13 m. Portanto, é um valor muito superior ao mínimo de 1 m

requerido, compensando a existência de locais em que as fraturas se apresentam oblíquas (caso do núcleo do Codaçal) ou com espaçamento aparentemente mais apertado (caso de Pé da Pedreira).

CONCLUSÕES

Um estudo regional do MCE por fotointerpretação mostrou-se eficaz para determinar os padrões de fraturação que o caracterizam. A cada uma das suas unidades tectonostratigráficas corresponde um padrão de fraturação específico constituído por uma ou duas principais famílias direcionais de fraturas. Os resultados obtidos servem a estudos quanto à evolução geodinâmica deste maciço.

Quanto à aplicação dos resultados à determinação de áreas, favoráveis para a exploração de blocos de rocha ornamental, o estudo realizado não se mostra eficaz. A resolução proporcionada pelo método aplicado e, sobretudo, pela escala das fotografias, não permite determinar o espaçamento real das principais famílias de fraturas.

Para esse efeito há que recorrer a outros meios, nomeadamente, fotografias aéreas a maior escala e imagens de satélite com resolução de 1 m. Contudo, como estas técnicas apenas permitem a observação de fraturas não preenchidas e com aberturas superiores à respetiva resolução, os estudos de fraturação aplicados à prospeção de rochas ornamentais terão sempre de ser

complementados com levantamentos de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carvalho, J.M.F. 1997. Calcários Ornamentais e Industriais da Área de Pé da Pedreira (Maciço Calcário Estremenho) - *Carta de Aptidão. Estudos, Notas e Trabalhos do Instituto Geológico e Mineiro*, 39, 71 - 89.

Carvalho, J.M.F., Manuppella, G. & Moura, A.C. 2003. Portuguese Ornamental Limestones. In: Yuzer, E., Ergin, H. & Tugrul, A. (Eds), *International Symposium: Industrial Minerals and Building Stones*. Turkey: Kelebek & Grafika Grup, Istanbul, 69-76.

Carvalho, J.M.F. & Henriques, P. 2007. Geologia. In: Moura, A. C. (Ed), *Mármoreos e Calcários Ornamentais de Portugal* Amadora: Gestão de Artes Gráficas, SA. 21-34.

Carvalho, J.M.F., Henriques, P., Falé, P. & Luís, G. 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. 2010. Metodologias para a prospeção de rochas ornamentais. In: Alvarado, E. B. & Cuesta, M. J. D. (Eds), *Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológico-mineros*. Instituto Geológico y Minero de España and CYTED - Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Oviedo, 129-139.

Quartau, R. 2000. *Calcários ornamentais do Maciço Calcário Estremenho - A variedade Semi-Rijo do Codaçal*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

Revisado:

Bonito, Nuno
Centro Tecnológico para o Aproveitamento e Valorização das Rochas Ornamentais e Industriais (CEVALOR). Portugal.
nuno.bonito@cevalor.pt