

NOTA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE ALTERAÇÃO E ALTERABILIDADE DO DOLERITO DE RIBAMAR (ERICEIRA)

Note sur les caractéristiques d'altération et altérabilité du dolérite de Ribamar (Ericeira)

por

JOSÉ DELGADO RODRIGUES

RESUMO – Fazem-se considerações sobre o mecanismo de alteração do dolerito de Ribamar e apresentam-se resultados de alguns ensaios de caracterização do seu estado de alteração

A rápida ruína desta rocha, observada em cubos de pavimentação em Lisboa, poderá ser devida à intensa microfissuração que facilita o contacto dos fluídos circundantes com minerais argilosos de natureza *montmorilonítica* presentes na rocha. Esta ruína poderá ser acelerada pelas matérias orgânicas presentes nesses fluídos.

De acordo com o mecanismo de alteração proposto, escolheram-se para caracterizar o estado de alteração o módulo de elasticidade e a velocidade de propagação de ultrassons. Seleccionou-se este último como ensaio a adoptar dado que apresenta boa correlação com o módulo de elasticidade estático e por ser de realização expedita.

RESUMÉ – On fait des considérations sur le mécanisme d'altération du dolérite de Ribamar et on présente les résultats de quelques essais de caractérisation de son état d'altération.

La ruine rapide de cette roche peut être due à son intense microfissuration qui facilite le contact des fluides présents avec les matériaux argileux de nature *montmorilonitique* existant dans la roche. Cette ruine pourra être accélérée par des matières organiques présentes dans ces fluides.

D'accord avec le mécanisme d'altération proposé on a choisi pour caractériser l'état d'altération les modules d'élasticité et la vitesse de propagation d'ultrasons. On sélectionna ce dernier comme l'essai à adopter, étant donné qu'il présente une bonne corrélation avec le module d'élasticité et qu'il est rapide.

* Geólogo, Estagiário para especialista do LNEC

1 – INTRODUÇÃO

O presente trabalho insere-se numa linha de investigação que tem vindo a desenvolver-se no LNEC no domínio da alteração e alterabilidade de rochas, visando o seu emprego em trabalhos de Engenharia Civil (Delgado Rodrigues, 1971).

De entre os caos conhecidos de rochas muito alteráveis, o dolerito de Ribamar ocupa um lugar de destaque pois que a sua completa ruína chega a ocorrer com cerca de um ano de utilização. Estão neste caso os cubos de pavimentação citados por Nascimento (1968), nalguns arruamentos da cidade de Lisboa onde têm sido utilizados com a designação de *cubos de granito*.

A sua exploração parece ter diminuído, mantendo-se no entanto algumas pedreiras em actividade, continuando a sua produção a destinar-se fundamentalmente a cubos de pavimentação.

Fez-se uma amostragem em duas pedreiras próximo de Ribamar (Junseira e Valpaços), com a finalidade de procurar esclarecer o mecanismo de alteração desta rocha, procurando-se também seleccionar ensaios físicos de natureza quantitativa e de realização tanto quanto possível expedita para caracterizar o estado de alteração.

Colheram-se cerca de 170 cubos, agrupados por zonas da pedreira.

2 – ENSAIOS REALIZADOS

Foi feita a caracterização micropetrográfica de todos os grupos de cubos, tendo igualmente sido determinadas as velocidades de propagação de ultrassons, os pesos específicos aparentes, os módulos de elasticidade estáticos e dinâmicos, os teores em água de embebição e a expansão por embebição. Os ensaios de alteração pelo sulfato de magnésio e de alteração pela água oxigenada bem como o de desgaste pela máquina de Los Angeles, apenas foram realizados num grupo de cubos – o grupo 6 – por serem ensaios de execução menos expedita. Foi escolhido o grupo 6 para estes ensaios porque os ensaios anteriores tinham mostrado que ele não diferia muito dos grupos 1, 2, 3 e 5.

Foi feito um estudo aos Raios X, da fracção fina de algumas amostras do grupo 2 depois de desagregadas, bem como do solo residual do dolerito colhido na pedreira.

3 – APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

O dolerito de Ribamar é uma rocha holocristalina, de textura dolerítica típica, em que as hastes de plagioclase muito abundantes, moldam e incluem secções de augite-pigeonítica, de biotite e de minério negro, no geral magnetite.

As plagioclases são do domínio da andesina-labrador, apresentando-se em geral frescas embora bastante microfissuradas.

A piroxena mostra acentuado grau de alteração, originando produtos esverdeados cloríticos e massas nebulosas possivelmente de minerais argilosos.

A biotite também evidencia transformação em clorite, mas, na generalidade, está muito mais preservada do que a augite-pigeonítica.

Como minerais secundários ocorre larga quantidade de calcite que impregna toda a rocha, sendo também abundantes as massas clorítico-nebulosas geralmente formadas a partir dos minerais ferromagnesianos que constituem a rocha.

Devido à sua isotropia geral, ao seu aspecto fibro-nebuloso e à sua dependência de minerais ferromagnesianos presume-se que estas massas sejam essencialmente uma mistura clorítico-minerais argilosos.

Para esclarecer com mais pormenor a sua composição mineralógica, foram estudadas aos Raios X duas amostras do solo residual e uma amostra do bloco 2 que tinha sido desagregada num ensaio com vaselina. Este estudo procurava esclarecer a natureza das massas nebulosas não acessíveis ao estudo microscópico, que pareciam ser as responsáveis pelo mecanismo da desagregação da rocha.

Os radiogramas forneceram os seguintes elementos:

- nas amostras de solo residual foram detectados, entre outros minerais, caulinite, ilite, montmorilonite e goetite ordenados por ordem decrescente de importância;
- na amostra de rocha do bloco 2 foram detectados montmorilonite, ilite e caulinite também ordenados por ordem decrescente de importância.

Salienta-se a importância do aparecimento da montmorilonite na rocha pois que, dadas as suas características expansivas, pode ser a responsável

pela tão rápida ruína da rocha quando em contacto fácil com os agentes atmosféricos.

Quando se procedia à caracterização por ultrassons em ciclos sucessivos de secagem e embebição, verificou-se que as extremidades dos provetes se deterioravam com certa facilidade. Levantou-se a hipótese de este facto ser devido à vaselina utilizada para facilitar o contacto com os topos do provete, do emissor e do receptor de ultrassons. Para comprovar esta hipótese cobriram-se algumas amostras, de cerca de 5mm de espessura, com vaselina, colocaram-se na estufa 48 horas e depois de serem arrefecidas em exsiccador foram colocadas em água destilada. Verificou-se a completa desagregação das amostras em cerca de 24 horas. Paralelamente foi executado ensaio em branco com amostra não vaselinada, que não apresentou sinal de desagregação. Foi também executado um ensaio com etileno-glicol, que se verificou produzir igualmente desagregação, mas menos intensa que a vaselina.

Com base na presença da montmorilonite, detectada aos Raios X e na fácil desagregação perante o etileno-glicol, que se sabe provocar expansões na rede da montmorilonite é de supor que esta desagregação, em presença de etileno-glicol, seja essencialmente provocada pelas tensões de expansão que se verificam nas massas nebulosas predominantemente montmoriloníticas.

Admitiu-se que com a vaselina se passasse um fenómeno semelhante. Como não se conhecem referências de aumento da equidistância basal na montmorilonite, provocado pela vaselina, executou-se um ensaio procurando esclarecer esta dúvida. Assim, tomou-se uma amostra padrão muito rica em montmorilonite e fizeram-se 4 passagens aos Raios X. A primeira amostra vaselinada a frio, a segunda vaselinada a quente (2 horas), a terceira vaselinada a quente (48 horas), tendo-se na quarta passagem utilizado a terceira amostra depois de se colocarem algumas gotas de água destilada, deixando repousar durante 24 horas. As amostras vaselinadas a quente foram passadas depois de arrefecidas em exsiccador.

Não foi detectado nas 4 passagens, qualquer aumento da equidistância basal da montmorilonite.

No Quadro I apresentam-se os resultados susceptíveis de serem apresentados numéricamente.

Na Fig. 1 apresentam-se os resultados dos ensaios de expansão por embebição.

QUADRO I

BLOCO	ULTRASSONS MÉDIAS DE VELOCIDADES		MOD. ELÁSTIC. ESTÁTICO $E(10^3 \text{ kgf/cm}^2)$	COEFICIENTE POISSON ν	PESO ESPECÍFICO APARENTE g/cm^3		MOD. DE ELÁSTICID. DINÂMICO $E_d(10^3 \text{ kgf/cm}^2)$		ÁGUA DE EMBEBIÇÃO	EXPANSIBI- LIDADE	ÁGUA OXIGENADA	SULFATOS	LOS ANGELES	OBSERVAÇÕES
	Y (m/s)	SATURADO			SECO	SATURADO	SECO	SATURADO	%	$E_{\text{rel}} \times 10^3$ (LBN)	%	%	%	
			SECO	SATURADO										
D 1	4680	4650	4299	0,23	2,65	2,70	510,1	513,9	0,64	1,0				
D 2	4530	4440	428,7	0,29	2,62	2,68	418,6	411,4	0,81	2,9				
D 3	4730	4660	464,0	0,25	2,64	2,69	501,5	496,7	0,61	5,1				
D 5	4760	4690	471,0	0,22	2,65	2,69	535,8	528,9	0,47	2,1				
D 6	4400	4320	363,5	0,26	2,62	2,67	422,9	415,5	0,66	4,6	0,6	2,0	16	
D 8	4220	4160	332,8	0,20	2,64	2,70	427,1	400,7	1,28	8,1				
D 8 A	4160	4010	279,1	0,22	2,58	2,69	399,0	387,0	2,74	76,3				PROVETES PROVENIEN- TES DO BLOCO ANTE- RIOR DUMA ZONA MAIS ALTERADA.
D 171 B	2960	2560	100,8	0,18	2,48	2,63	205,0	176,0	4,00	797,0				RESULTADOS OBSERVA- DOS NUM SÓ PROVETE.



Fig. 1 - Ensaios de expansão por embebição

4 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Das amostras observadas nenhuma se apresenta no estado são, como se verificou pela análise micropetrográfica. A análise modal mostra que a rocha chega a ter 40% de minerais alterados dando para todas as amostras um índice micropetrográfico definido por Mendes et al. (1966), apenas ligeiramente superior a 1. Aquela análise permite concluir que a alteração começa pelos minerais ferromagnesianos (augite e biotite principalmente), só depois se alterando as plagioclases. Os minerais resultantes da alteração parecem constituir as manchas cloríticas e as massas nebulosas tipo argiloso que os Raios X mostram tratar-se principalmente de montmorilonite. Como resultado desta alteração os minerais aumentam de tamanho, provocando tensões que, adicionadas a tensões de outras origens, provocam na rocha uma microfissuração intensíssima que terá uma importância relevante no comportamento futuro da rocha.

Mesmo com os minerais ferromagnesianos profundamente alterados, a rocha apresenta boas características de resistência logo após a sua extração, como o atestam os valores dos módulos de elasticidade e o valor relativamente baixo que apresenta no ensaio de Los Angeles (Quadro I).

Verifica-se, no entanto, que a rocha se arruína facilmente após um curto espaço de tempo de exposição aos agentes atmosféricos.

O que parece passar-se é que, devido à intensa microfissuração, a água penetra na rocha, entrando em contacto com as massas montmoriloníticas por natureza expansivas, provocando a sua fácil desagregação, como consequência das tensões provocadas por essa expansão. Esta expansão será, muito provavelmente, auxiliada pelas matérias orgânicas carreadas pelas águas, como talvez aconteça nos citados pavimentos da cidade de Lisboa construídos com cubos desta rocha e com um mecanismo provavelmente análogo ao que se verifica quando se submete a rocha ao tratamento com vaselina, atrás descrito.

Para a caracterização do estado de alteração da rocha é necessário um parâmetro que varie com o estado de alteração, para que, duma maneira biunívoca, a cada valor do parâmetro corresponda um só valor do estado de alteração.

Pelo mecanismo de alteração descrito se verifica que a sua progressão acarretará uma diminuição importante na coesão do material, quer pela microfissuração provocada pelas expansões, quer pela modificação do tipo de ligações provocada pela alteração dos minerais. Por isso, é de esperar que a progressão da alteração influencie de modo sensível as características mecânicas da rocha.

Assim o módulo de elasticidade e tensão de rotura parecem ser um bom índice para caracterizar o seu estado de alteração. As variações do módulo de elasticidade entre 100.800 kgf/cm^2 para a rocha mais alterada e 471.300 kgf/cm^2 para a mais sã, cuja diferença parece ser apenas devida ao estado de alteração (incluindo a microfissuração), cobre uma gama capaz de permitir um bom escalonamento segundo os vários estados de alteração.

Como a determinação da velocidade de propagação de ondas elásticas é uma técnica simples e mais rápida que a determinação dos módulos de elasticidade, procurou substituir-se estes por aquela velocidade. Já Iliev (1966) tinha chamado a atenção para este facto e para a boa correlação que a velocidade de propagação das ondas elásticas apresenta com o módulo de elasticidade, em monzonitos por ele estudados. Também para o dolerito isso se verifica como se constata no gráfico da Fig. 2.

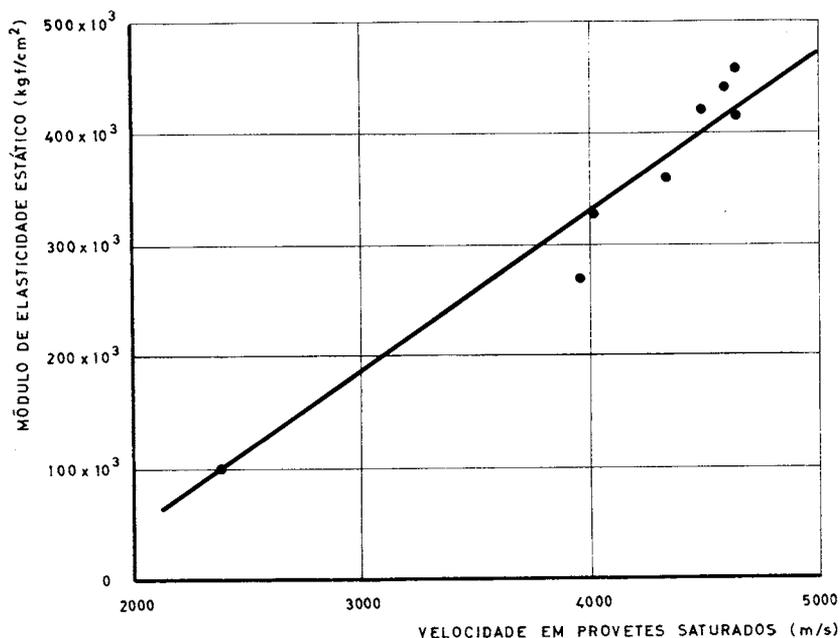


Fig. 2 – Relação entre os módulos de elasticidade estáticos e as velocidades de propagação de ultrassons

Para a caracterização do estado de alteração adoptam-se as velocidades medidas em provetes embebidos, por ser a situação, simultaneamente mais clara e mais próxima da situação em que, no caso particular dos cubos de pavimentação e em muitos outros, o dolerito se encontra empregado.

Quanto ao ensaio de expansão verifica-se que os valores obtidos variam numa gama bastante extensa a partir de um certo grau de alteração, sendo a variação muito pequena para os provetes pouco alterados. Assim no Quadro I se verifica que nos blocos D₁ a D₆ a expansibilidade varia apenas entre $1,0 \times 10^{-5}$ e $4,6 \times 10^{-5}$ enquanto o bloco D_{8A}, mais alterado, apresenta já valor de $76,3 \times 10^{-5}$ e o provete D_{171-B} apresenta um valor de 797×10^{-5} . Idênticas considerações se podem fazer para o teor em água de embebição embora a gama de variação seja bastante mais pequena.

5 – CONCLUSÕES

O estudo micropetrográfico e os Raios X permitem concluir que a alteração do dolerito estudado começa pelos minerais ferromagnesianos (piroxena mais biotite), conduzindo à formação de montmorilonite, ilite, caulinite e goetite. Esta alteração, provavelmente associada a outras causas, provoca uma microfissuração muito intensa no feldspato que se mantém praticamente são até à completa destruição dos ferromagnesianos.

A ocorrência de um mineral expansivo, como é a montmorilonite, conduz a que, em presença da água, a rocha fica sujeita a tensões de expansão provocadas pelo inchamento daquele mineral. Esta expansão será provavelmente auxiliada por matérias orgânicas que entrem em contacto com a montmorilonite, segundo um mecanismo parecido com o que se verifica com a vaselina atrás descrito.

No que diz respeito à caracterização do estado de alteração adoptou-se como parâmetro a velocidade de propagação de ultrassons. Escolheu-se este parâmetro por apresentar nesta rocha uma boa correlação com outros parâmetros normalmente usados, (módulos de elasticidade, teores em água de embebição, etc.) sendo, além disso, de realização expedita.

Pensa-se que o ensaio com vaselina, depois de esclarecido o seu mecanismo de actuação, possa servir como auxiliar importante em ensaios de recepção de determinados materiais, pois que, de entre alguns ensaios já realizados, sem carácter sistemático, sobre granitos, quartzitos, doleritos e margas, apenas os doleritos e as margas mostraram sensibilidade a este ensaio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DELGADO RODRIGUES, (1971) – Estudos relativos à alteração e alterabilidade de rochas – Dolerito de Ribamar. LNEC Proc.º 54/5/2654. Relatório Interno. Lisboa 1971.
- ILIEV, I. G. (1966) – An attempt to estimate the degree of weathering of intrusive rocks from their physicommechanical properties. Proc., 1st Int. Cong. of the ISRM. Vol. I, pg. 109. Lisbon 1966.
- MENDES, F. M. et al. (1966) – The use of modal analysis in the mechanical characterization of rock masses. Proc. 1st Int. Cong. of the ISRM. Vol. I pg. 217. Lisboa 1966.
- NASCIMENTO, U. (1968) – O problema da alterabilidade das rochas em engenharia civil. Curso Livre de Geologia Aplicada da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra. LNEC, Relatório. Lisboa 1968.