

MÓDULO DE ELASTICIDADE DE UMA ROCHA OBTIDO A PARTIR DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DOS SEUS MINERAIS

Modulus of elasticity of a rock obtained from the moduli of elasticity of the constituents

por F. PERES RODRIGUES*

RESUMO – Mostra-se neste trabalho, baseado em dois exemplos, a boa concordância existente entre o valor do módulo de elasticidade de uma rocha, obtido directamente, e o dado pela média harmónica ponderada dos módulos de elasticidade dos minerais que a constituem, tendo como pesos as suas percentagens.

SYNOPSIS – This work, based on two examples, shows the close agreement that exists between the modulus of elasticity of a rock, obtained directly from samples, and the modulus of elasticity given by the weighted harmonic mean calculated from the moduli of elasticity of the mineral constituents of the rock, the weights being their percentages.

Considere-se uma rocha formada por vários minerais, supostos homogéneos e isotrópicos, e sem microfissuras abertas.

O presente trabalho mostra ser possível, dentro das precisões habituais, calcular o módulo de elasticidade da rocha, E_r , a partir do conhecimento dos módulos de elasticidade e das percentagens dos minerais que a constituem.

Seja uma rocha constituída por n minerais, em que o mineral genérico de ordem i , apresenta as seguintes características:

E_i – módulo de elasticidade médio

δ_i – desvio padrão do módulo de elasticidade

v_i – coeficiente de variação correspondente a δ_i

p_i – percentagem do mineral na rocha.

* Engenheiro Civil, especialista do Serviço de Barragens, Chefe da Divisão de Fundações Rochosas do LNEC

Os valores de E_i são calculados medindo as extensões ϵ_i , sofridas pelo mineral de ordem i , a partir de bases de medida suficientemente pequenas de forma a que, tanto quanto possível, interessem apenas este mineral. Por outro lado a extensão da rocha, ϵ_r , pressupõe uma base de medida, b , suficientemente grande para que nela estejam representados todos os minerais e nas percentagens em que ocorrem na rocha.

Aplicando uma tensão normal, σ , a um provete de rocha, em ensaio de compressão simples, a extensão ϵ_r , medida na base b , deverá ser a média ponderada ou esperança matemática:

$$\epsilon_r = \sum_{i=1}^n \epsilon_i p_i \quad (1)$$

com:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (2)$$

O módulo de elasticidade da rocha, será dado por:

$$E_r = \frac{\sigma}{\epsilon_r} = \frac{\sigma}{\sum_{i=1}^n \epsilon_i p_i} \quad (3)$$

mas como:

$$\epsilon_i = \frac{\sigma}{E_i} \quad (4)$$

substituindo em (3) resulta simplificando:

$$E_r = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{E_i}} \quad (5)$$

daqui se infere que o módulo de elasticidade duma rocha constituída por vários minerais é a média harmónica ponderada dos módulos de elasticidade dos seus minerais tendo como pesos as percentagens em que estes ocorrem.

Por outro lado o coeficiente de variação, v_r , do módulo de elasticidade da rocha, E_r , deverá ser igual ou menor que a média ponderada ou a esperança matemática dos coeficientes de variação dos minerais tendo como pesos as suas percentagens: (*)

$$v_r \leq \sum_{i=1}^n v_i p_i \quad (6)$$

Esta condição permite verificar se a base de medida escolhida para a determinação do módulo de elasticidade da rocha, E_r , é suficiente para se poder considerá-la representativa da rocha.

Calculados E_r e v_r pelas fórmulas (5) e (6), o desvio padrão do módulo de elasticidade, δ_r , será dado por:

$$\delta_r = v_r E_r \quad (7)$$

O que acaba de ser exposto foi aplicado a duas rochas.

No primeiro caso tratava-se de um granito porfiroide de duas micas, cuja composição modal, obtida a partir da análise micropetrográfica de seis lâminas delgadas, deu como valores médios:

quartzo	$p_1 = 0,29$
feldspato	$p_2 = 0,61$
mica	$p_3 = 0,10$
	<u>1,00</u>

As extensões foram medidas mediante a aplicação de extensómetros eléctricos de resistência tipo “Shinkoh”, com duas bases de medida diferentes, de 2 mm

(*) A justificação desta afirmação sai fora do âmbito deste trabalho.

colados nos diversos tipos de minerais (Foto 1) e de 60 mm colados na rocha propriamente dita. Os dois topos do provete de ensaio foram rectificadados por meio duma camada de resina "Akemi".

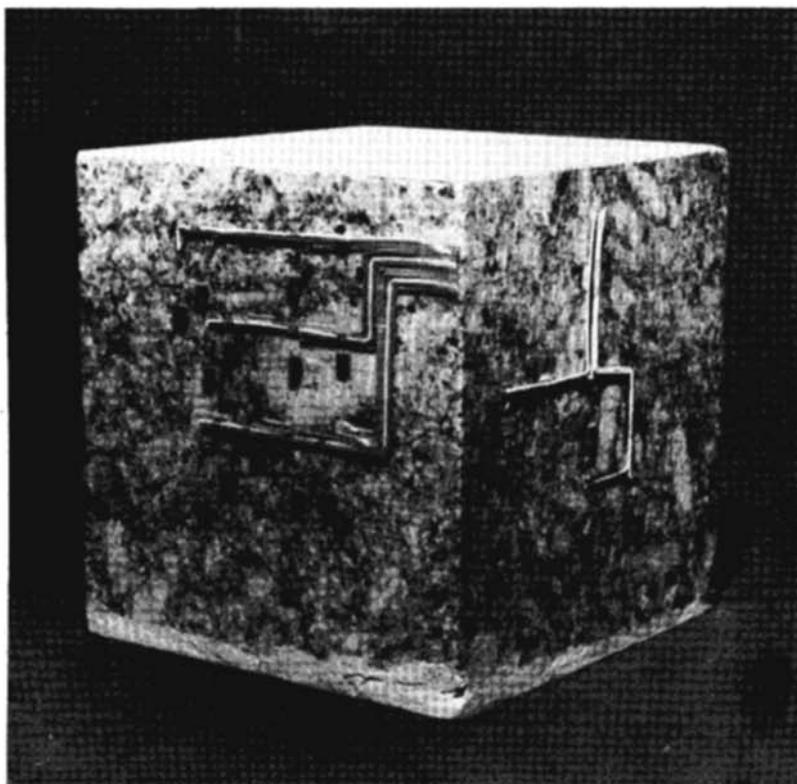


Foto 1

No quadro I apresentam-se os módulos de elasticidade médios e os correspondentes coeficientes de variação, bem como o número n_i de medições realizadas, quer para os minerais quer para a rocha.

QUADRO I

Material	Módulo de Elasticidade E_i ($10^3 \times \text{kgf} / \text{cm}^2$)	Coefficiente de variação v_i (%)	Número de medições n_i
quartzo	530	7	112
feldspato	413	18	112
mica	258	16	96
rocha	406	15	64

A aplicação das fórmulas (5) e (6) conduziu, para a rocha, ao módulo de elasticidade e coeficiente de variação, seguintes:

$$E_r = 415 \times 10^3 \text{ kgf} / \text{cm}^2; \quad v_r = 15\%$$

valores estes que comparados com os valores obtidos directamente por medição e insertos no quadro I, estão de acordo com o exposto atrás.

No segundo caso tratava-se de um pegmatito granítico, cuja composição modal, deu como valores médios:

$$\begin{aligned} \text{quartzo} & \dots \dots \dots p_1 = 0,48 \\ \text{feldspato} & \dots \dots \dots p_2 = \underline{0,52} \\ & \dots \dots \dots 1,00 \end{aligned}$$

As técnicas de ensaio e de leitura foram idênticas às anteriormente descritas e os resultados das medições encontram-se resumidos no quadro II.

Material	Módulo de Elasticidade E_i ($10^3 \times \text{kgf} / \text{cm}^2$)	Coefficiente de variação v_i (%)	número de medições n_i
quartzo	539	30	80
feldspato	300	30	80
rocha	420	20	20

A aplicação das fórmulas (5) e (6) conduziu, para a rocha, a:

$$E_r = 415 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2; \quad v_r = 30\%$$

o que comprova o exposto atrás.

Nas rochas em que os minerais se apresentem em camadas sensivelmente paralelas, como é o caso de pegmatito estudado (Foto 2), dever-se-á colar todos os extensómetros, quer aos minerais quer à rocha, paralelos entre si e normais às camadas. O provete, para evitar possíveis influências anisotrópicas das carac-

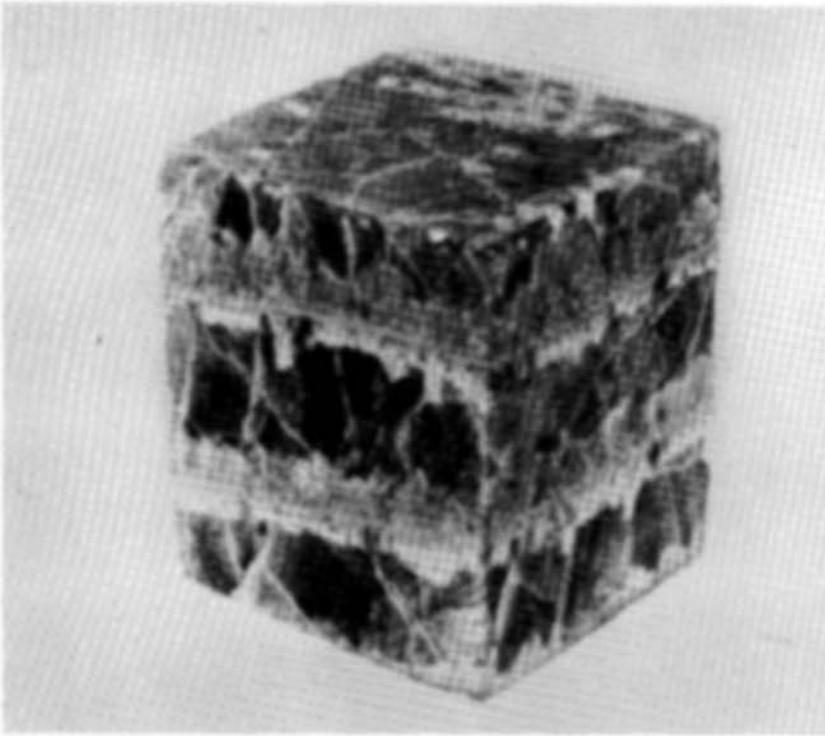


Foto 2

terísticas em estudo, deverá ser talhado de forma a que os topos de ensaio sejam paralelos às camadas. Nas rochas em que os seus minerais se apresentem aleatoriamente distribuídos, caso do primeiro exemplo citado, o único cuidado a ter é colar todos os extensómetros normalmente aos topos do provete.

O autor deseja manifestar o seu agradecimento ao experimentador Manuel Reis e Sousa pela colaboração prestada na condução dos ensaios.