

UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS SÍSMICOS NO ESTUDO DA DEFORMABILIDADE DE MACIÇOS ROCHOSOS*

Geophysical Seismic Methods for Assessment of Rock Masses Deformability

por
LUÍS FIALHO RODRIGUES**

RESUMO — Descreve-se a metodologia de aplicação de métodos sísmicos no estudo da deformabilidade estática de maciços rochosos.

Apresentam-se algumas correlações empíricas entre parâmetros sísmicos (módulo de elasticidade dinâmico e frequência da onda de corte) e o módulo de deformabilidade estático.

SYNOPSIS — A methodology for the application of geophysical seismic methods to the study of rock masses deformability is described.

Empirical correlations between seismic parameters (dynamic elasticity modulus and shear wave frequency) and static deformability modulus are also presented.

1 — INTRODUÇÃO

Os maciços rochosos que constituem a fundação de obras são meios heterogêneos, dependendo as suas propriedades mecânicas do material rocha que os constitui e, principalmente, da densidade e características geométricas e físicas das descontinuidades que os afectam. Destes factores dependem, também, basicamente, as velocidades de propagação e a atenuação de ondas elásticas propagando-se num determinado maciço, principalmente próximo da superfície.

Os métodos sísmicos, pelas razões apontadas e pelo facto de permitirem investigar volumes apreciáveis dos maciços, são largamente utilizados no zonamento geotécnico e na obtenção de índices de qualidade de maciços rochosos. Além disso, dada a sua rapidez de execução e baixo custo relativamente aos ensaios estáticos, podem ainda ser usados no estudo da deformabilidade dos maciços rochosos, através do

* Trabalho recebido em Janeiro de 1986. A discussão do trabalho está aberta por um período de 3 meses.

** Geólogo, Investigador Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

estabelecimento de correlações empíricas entre as características dinâmicas (módulos de elasticidade e parâmetros de atenuação) e o módulo de deformabilidade estático.

Através das referidas correlações e do zonamento geotécnico efectuado para o maciço rochoso pretende-se a extrapolação a todo o maciço interessado por uma determinada obra dos resultados dos ensaios de deformabilidade estática, os quais devido ao seu elevado custo, são sempre efectuados em número reduzido.

No presente trabalho procurar-se-á descrever a metodologia que se considera mais adequada para a obtenção dos objectivos que foram apontados e apresentar-se-ão alguns exemplos de aplicação.

2 — METODOLOGIA DE CONDUÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios sísmicos para estudo da deformabilidade deverão ser executados depois de efectuada a geofísica de superfície e os trabalhos de prospecção directa (sondagens, galerias, etc.), de acordo com a metodologia que seguidamente se apresenta.

2.1 — *Zonamento do maciço em termos de velocidades de propagação de ondas elásticas*

Este zonamento pode ser obtido através da execução de ensaios sísmicos directos entre furos de sondagem, entre furos de sondagem e galerias e entre galerias.

2.2. — *Execução de ensaios sísmicos nas mesmas zonas escolhidas para os ensaios de deformabilidade estática*

Nestes ensaios procura-se determinar as velocidades de propagação das ondas elásticas (ondas P e S) nos volumes do maciço que são interessados pelos ensaios estáticos.

A partir das velocidades de propagação das ondas P e S determina-se o módulo de elasticidade dinâmico que é utilizado no estabelecimento de correlações com os parâmetros estáticos, geralmente obtidos através de ensaios com macacos planos de grande área (LFJ).

Dadas as pequenas distâncias e, consequentemente, os reduzidos tempos de propagação envolvidos nestes ensaios, eles são conduzidos de acordo com a técnica que está esquematicamente representada na Fig. 1.

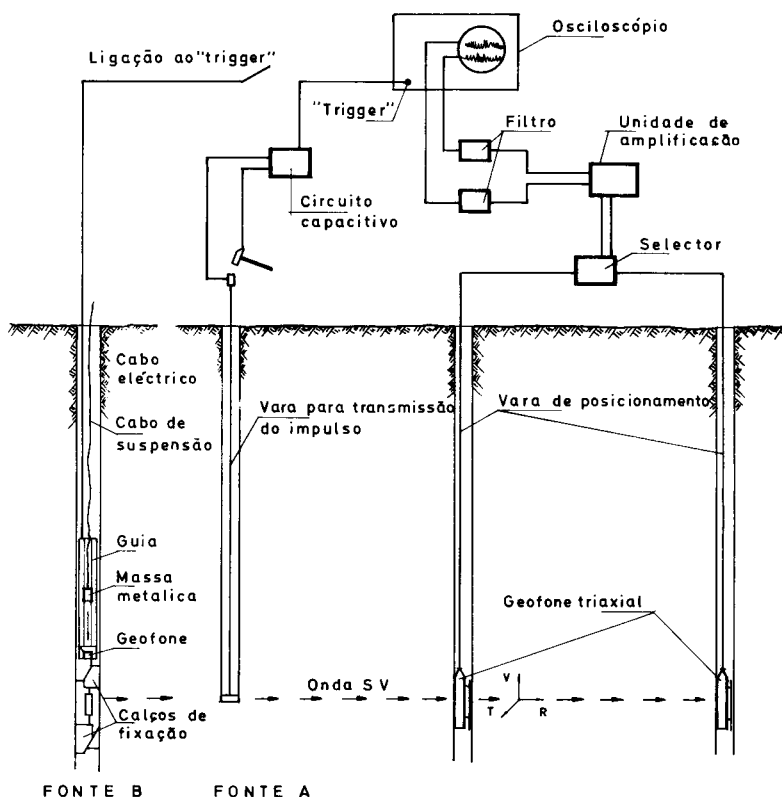


Fig. 1 — *Ensaio entre furos de sondagem (representação esquemática do método).*

Esta técnica consiste basicamente em produzir ondas P e S por meio de uma pancada com um martelo no topo da vara metálica (fonte A).

As ondas produzidas são recebidas nos geofones triaxiais e projectadas no osciloscópio, que é disparado quando do contacto do martelo com a vara metálica através da descarga de um circuito capacitivo.

Como fonte alternativa, RODRIGUES (1979), pode ser usado um «martelo sísmico», que é fixado às paredes do furo (fonte B), através de calços actuados por um sistema hidráulico de alta pressão. As ondas elásticas são originadas por meio da queda de uma massa metálica que transmite a energia ao terreno através dos calços de fixação.

2.3 — Definição de índices de qualidade do maciço

Estes índices são obtidos a partir da relação entre as velocidades de propagação determinadas *in situ* e as medidas em laboratório sobre amostras intactas de rocha. Utilizam-se habitualmente as relações:

$$\frac{V_{in\ situ}}{V_{lab}} \quad \text{ou} \quad \left(\frac{V_{in\ situ}}{V_{lab}} \right)^2$$

2.4 — Estabelecimento de correlações empíricas entre o módulo de deformabilidade estático e os parâmetros dinâmicos

Estas correlações podem ser obtidas entre o módulo de deformabilidade estático (E_{est}) e o módulo de deformabilidade dinâmico E_{din} (determinado através das velocidades de propagação das ondas P e S), ou entre o módulo de deformabilidade estático e os parâmetros de atenuação.

As correlações entre E_{est} e E_{din} são estabelecidas através da variação da relação

$\frac{E_{est}}{E_{din}}$ em função do índice de qualidade do maciço rochoso (I_v).

Na Fig. 2 apresenta-se um exemplo de uma destas correlações, obtidas no maciço de fundação da barragem de Foz-Coa, no norte de Portugal.

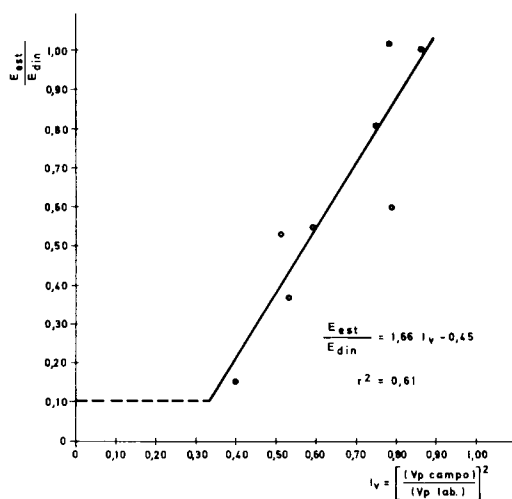


Fig. 2 — Variação da relação $\frac{E_{est}}{E_{din}}$ em função de I_v .

Além das relações entre E_{est} e E_{din} uma outra via tem vindo a ser seguida no domínio da aplicação de métodos sísmicos ao estudo da deformabilidade e que consiste no estabelecimento de correlações entre E_{est} e outros parâmetros das ondas sísmicas, como por exemplo a frequência dominante da onda de corte (f_s).

Na Fig. 3 apresenta-se uma relação entre f_s e E_{est} obtida em ensaios realizados nos locais da barragem de Fronhas (Portugal) e do Mingtan Project (Taiwan), mostrando os resultados obtidos uma boa concordância com os determinados por SCHNEIDER (1967) e mais recentemente por BIENIAWSKI (1978) e também representados na mesma figura.

Considerando a totalidade dos resultados, obteve-se uma excelente correlação entre f_s e E_{est} (coeficiente de correlação de 0,97).

O aspecto mais interessante desta correlação reside no facto dela ter sido obtida com base nos ensaios realizados com métodos diferentes, quer no que respeita aos ensaios sísmicos quer aos estáticos e, o que é ainda mais notável, em maciços de natureza muito diversa.

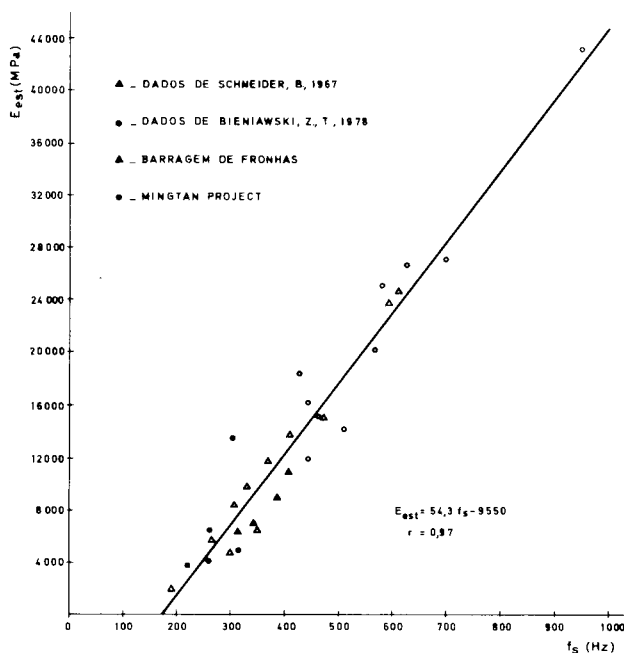


Fig. 3 — Correlação entre a frequência da onda de corte (f_s) e o módulo de deformabilidade estático (E_{est})

2.5 — *Extrapolação dos resultados dos ensaios estáticos*

Esta extrapolção é efectuada com base nas correlações empíricas estabelecidas entre os parâmetros estáticos e dinâmicos e tendo em conta o zonamento geotécnico efectuado para o maciço rochoso, apoiado na prospecção sísmica e nos trabalhos de prospecção directa.

3 — CONCLUSÕES

Além da utilização no zonamento geotécnico de maciços rochosos os métodos sísmicos podem também ser utilizados no estudo da deformabilidade estática desde que os ensaios sejam conduzidos com uma metodologia adequada.

A excelente correlação entre a frequência dominante da onda de corte (f_s) e o módulo de deformabilidade estático (E_{est}) mostrou que aquele parâmetro pode ser de grande utilidade na previsão de deformabilidade estática de maciços rochosos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIENIAWSKI Z. T. (1978) *Determining Rock Mass Deformability: Experience from Case Histories*. International Journal Rock Mechanics and Mining Science, Vol. 15, nr. 5, October.
- RODRIGUES, L. F. (1982) *Métodos de Prospecção Sísmica em Geologia de Engenharia. A Importância da onda de corte* Tese LNEC.
- SCHNEIDER, B. (1967) *Moyens Nouveaux de Reconnaissance des Massifs Rocheux*. Annales de l'ITBTP, série Sols et Fondations, 62, Juillet/Août.