

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA ONDA DE CORTE ENTRE FUROS DE SONDAGEM*

Shear wave velocity measurement by the crosshole method

por

LUÍS FIALHO RODRIGUES**

RESUMO — Refere-se a utilização de ensaios sísmicos, entre furos de sondagem, para determinação da velocidade de propagação da onda de corte. Apresentam-se e descrevem-se os equipamentos utilizados, especialmente uma fonte mecânica, denominada “martelo sísmico”, que permite inverter o sentido da solicitação e facilita a identificação do instante de chegada da onda de corte. Descreve-se ainda a técnica de condução dos ensaios e apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos em três locais com diferentes características geológicas.

SYNOPSIS — The paper describes the field procedures and equipment used to measure in situ shear wave velocity by the crosshole seismic method. An impact source that permits the reversal of the impact, enhancing the identification of the initial shear wave arrival, has been developed. In addition in situ data from three different sites are also shown.

1 — INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento nos anos mais recentes dos métodos de análise dinâmica de grandes obras de engenharia conduziu paralelamente à necessidade do estudo do comportamento dos solos a solicitações dinâmicas, sendo o módulo dinâmico de deformabilidade transversal um dos parâmetros mais representativos para o estudo do comportamento dinâmico dos solos.

* Trabalho apresentado na 10.^a sessão do X ICSMFE, Stockholm, Junho, 1981.

** Especialista em Geologia de Engenharia (LNEC).

A determinação “in situ” deste parâmetro para baixos níveis de tensão é feita habitualmente por métodos geofísicos com base na velocidade de propagação da onda de corte e usando a seguinte expressão

$$G = \frac{\gamma}{g} V_s^2 \quad (1)$$

onde

G — módulo dinâmico de deformabilidade transversal

γ — peso específico do solo

g — aceleração da gravidade

V_s — velocidade de propagação da onda de corte

A determinação de V_s tem sido realizada quer a partir da superfície do terreno, usando o método de refração sísmica e métodos vibratórios, quer com base em ensaios ao longo e entre furos de sondagem, utilizando ondas directas.

O método sísmico directo com ensaios entre furos de sondagem, tem sido frequentemente utilizado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil na determinação de V_s , sendo objectivo do presente trabalho fazer a descrição dos equipamentos usados (nomeadamente da fonte de energia e dos receptores) e da técnica de condução dos ensaios.

Apresentam-se ainda os resultados obtidos nos estudos de caracterização dinâmica de 3 locais com características geológicas diferentes, nos quais está prevista a instalação de centrais termo-eléctricas pela Empresa Electricidade de Portugal (EDP).

2 — ENSAIOS SÍSMICOS ENTRE SONDAGENS UTILIZANDO ONDAS DIRECTAS

2.1 — *Bases do método*

A utilização de ensaios sísmicos entre furos de sondagem para a determinação da velocidade de propagação de ondas elásticas encontra-se abundantemente descrito (Hoar e Stokoe II, 1979).

O método consiste basicamente em determinar o tempo de percurso de uma onda sísmica directa entre dois pontos de um dado volume de terreno e ao longo de um trajecto suposto horizontal. As ondas sísmicas são produzidas por meio de uma fonte apropriada colocada num dado nível de um furo de sondagem, capta-

das por meio de receptores colocados em furos adjacentes e ao mesmo nível a que se origina a perturbação no furo onde está colocada a fonte e transmitidas para um registador. A velocidade de propagação é calculada dividindo a distância percorrida pelo respectivo tempo de percurso.

2.2 — Equipamento

O equipamento utilizado é basicamente constituído pelos seguintes componentes:

a) Fontes de energia

A fonte de energia desenvolvida (Fig. 1) é genericamente designada por “Martelo sísmico” e foi especialmente projectada para a geração de ondas de corte do tipo SV (Rodrigues, 1979).

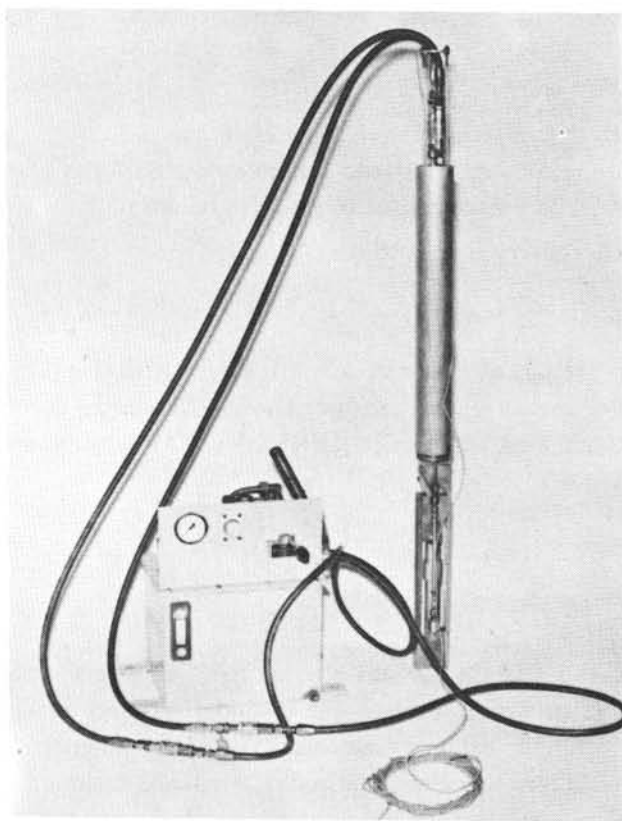


Fig. 1 — Martelo sísmico para ondas de corte

O martelo sísmico pode operar em furos de sondagem com diâmetros entre 76 e 102 mm e é composto por um sistema de fixação, um sistema de percussão e um sistema de posicionamento.

O sistema de fixação é constituído por um dispositivo hidráulico de alta pressão que efectuando a abertura ou o fecho de dois calços, permite a fixação da fonte às paredes do furo de sondagem ou sua remoção depois de realizado o ensaio.

O sistema de percussão é constituído por uma massa de 2,0 kg suspensa no interior do corpo cilíndrico, a uma altura de cerca de 0,50 m, por um cabo de aço manejado da superfície do terreno. A perturbação é originada pela queda da massa e é transmitida ao terreno pelos calços de fixação. Puxando a massa de baixo para cima é também possível aplicar um impacto em sentido inverso.

O martelo sísmico sobe e desce no furo de sondagem através de um cabo de aço, manejado por intermédio de uma roldana acoplada num tripé colocado na superfície do terreno.

b) Receptores

As ondas produzidas na fonte são recebidas em geofones triaxiais (Fig. 2), os quais são fixados às paredes do furo por meio de um patim actuado da superfície do terreno.

c) Sistema de ampliação e registo

É composto por um conjunto de amplificadores ABEM e por um osciloscópio TEKTRONIX, ambos alimentados por baterias. Ao ecrã do osciloscópio está adaptada uma máquina fotográfica TEKTRONIX, sendo os sinais registados em papel POLAROID.

2.3 — Técnica de condução dos ensaios

Para a execução dos ensaios são abertos três furos de sondagem, os quais são revestidos com tubagem de ferro que é solidarizada ao terreno circundante por meio da injeção de calda de cimento. Visando a obtenção das distâncias exactas às profundidades a que são realizados os ensaios é ainda sistematicamente determinada a atitude dos furos de sondagem, através do seu levantamento inclinométrico.

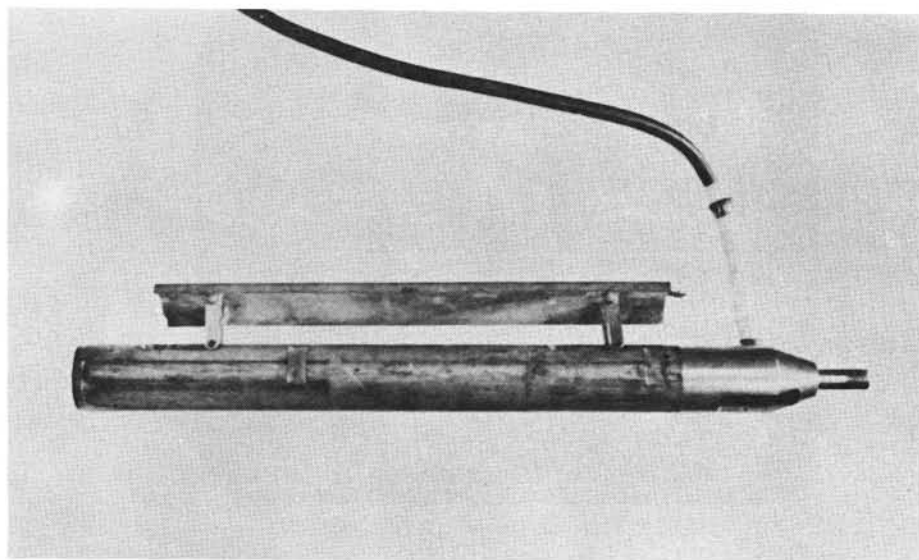


Fig. 2 — Geofone triaxial

Para a execução de um ensaio procede-se do seguinte modo:

Desce-se a fonte até à profundidade desejada, onde é fixada às paredes do furo, e colocam-se os geofones nos dois furos adjacentes. Seguidamente, deixa-se cair a massa metálica existente no interior da fonte e transmite-se a perturbação ao terreno através dos calços de fixação e simultaneamente dispara-se o osciloscópio por meio do sinal eléctrico enviado por um geofone colocado na base onde cai a massa e registam-se os sinais captados pelos geofones. Finalmente, com a fonte e os geofones na mesma posição puxa-se a massa de baixo para cima e faz-se um novo registo. Com a técnica descrita originam-se principalmente ondas de

corte do tipo SV, correspondendo à inversão do sentido da solicitação uma inversão da polaridade da onda de corte produzida, o que permite uma melhor identificação do seu instante de chegada.

Na Fig. 3 apresenta-se um registo correspondente a um dos ensaios realizados.

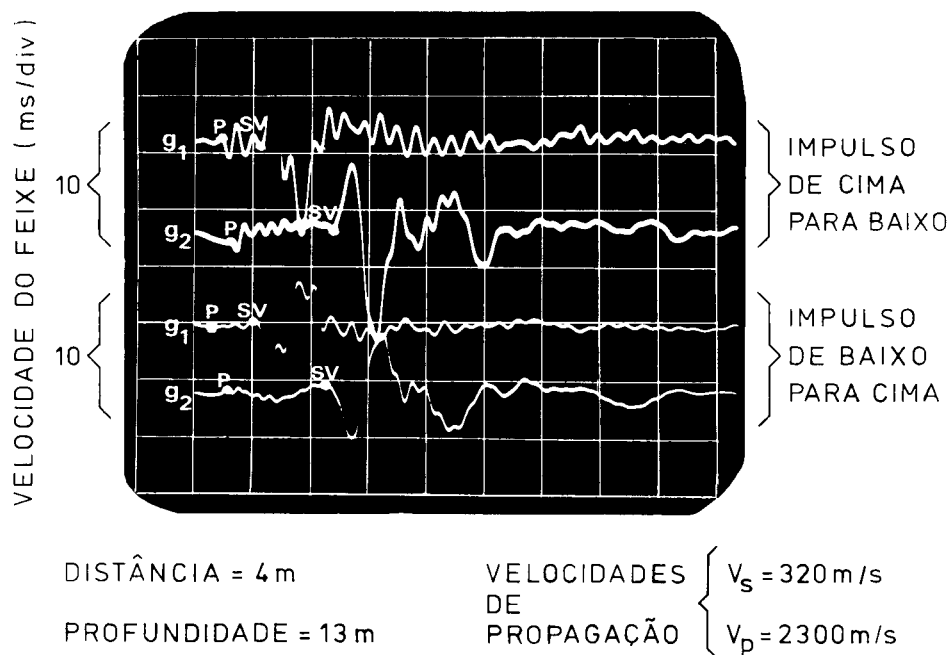


Fig. 3 — Registo tipo

Neste registo, no qual os dois traços superiores correspondem a um impulso de cima para baixo e os dois traços inferiores a um impulso de baixo para cima, verifica-se facilmente que à inversão do sentido da solicitação corresponde uma inversão da polaridade da onda SV produzida.

3 — RESULTADOS OBTIDOS

3.1 — Local de Tunes

Os terrenos ocorrentes neste local pertencem a um complexo sedimentar que engloba formações que vão desde o Cretácio até ao Plio-Plistocénio.

Realizaram-se ensaios sísmicos em dois grupos de três furos e até uma profundidade de cerca de 30 m, apresentando-se na Fig. 4 os resultados obtidos.

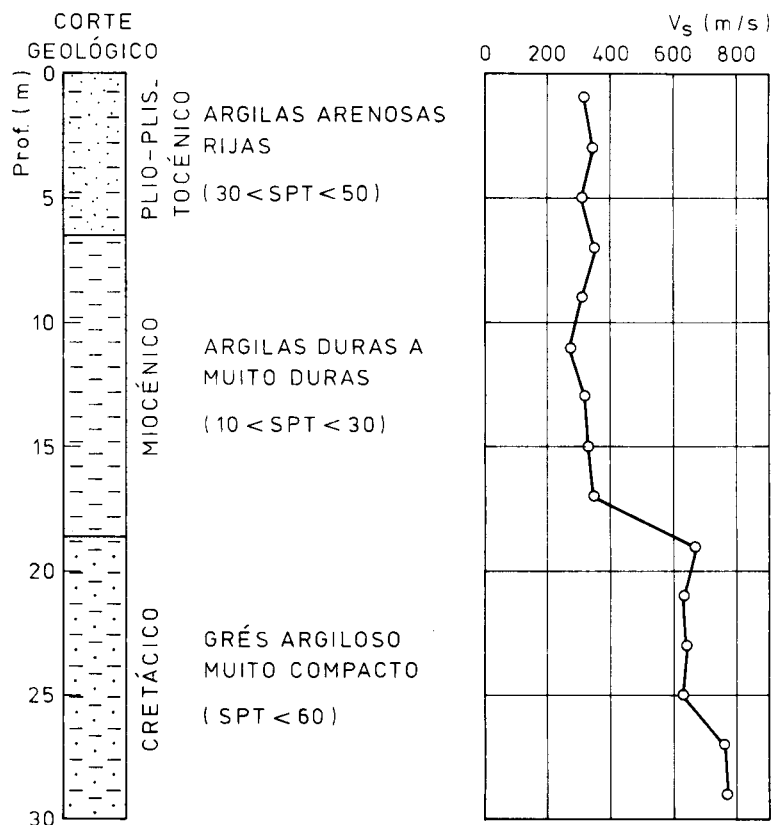


Fig. 4 — Velocidades da onda de corte obtidas no local da Central de Tunes.

Com base nesta figura verifica-se que as formações plio-plistocénicas e mio-cénicas, respectivamente constituídas por argilas arenosas rijas ($30 < SPT < 50$) e argilas duras a muito duras ($10 < SPT < 30$) apresentam valores de V_s da mesma ordem de grandeza, de cerca de 300 m/s; as formações cretácicas, constituídas por grés argilosos, muito rijos ($SPT > 60$) apresentam valores de V_s muito superiores e compreendidos entre 600 e 800 m/s.

3.2 — Local de Sines

As formações geológicas ocorrentes neste local são constituídas por um complexo arenoso pliocénico sobrejacente a um complexo de xistos argilosos, datados do Carbónico marinho, e que se encontram muito alterados até apreciável profundidade.

Foram ensaiados quatro grupos de três furos apresentando-se na Fig. 5 uma síntese dos resultados obtidos nas diferentes formações.

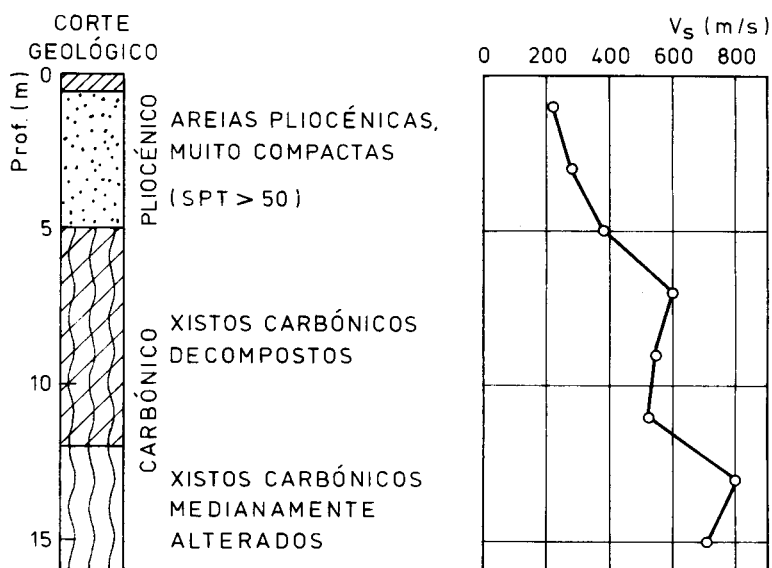


Fig. 5 — Velocidades da onda de corte obtidas no local da Central de Sines.

Com base nesta figura verifica-se que as areias pliocénicas muito compactas (SPT > 50), apresentam valores de V_s entre cerca de 200 e 400 m/s; os xistos carbónicos muito alterados exibem valores de V_s entre 500 e 600 m/s e os xistos medianamente alterados valores de V_s entre 700 e 800 m/s.

3.3 — Local do Muranzel (Aveiro)

As formações ocorrentes neste local são constituídas por terrenos quaternários de natureza essencialmente arenosa, sobrejacentes a formações cretácias de natureza silto-argilosa.

Foi ensaiado um grupo de três furos de sondagem tendo os ensaios atingido uma profundidade da ordem dos 45 m, representando-se na Fig. 6 a litologia das formações atravessadas e os valores de V_s que foram determinados.

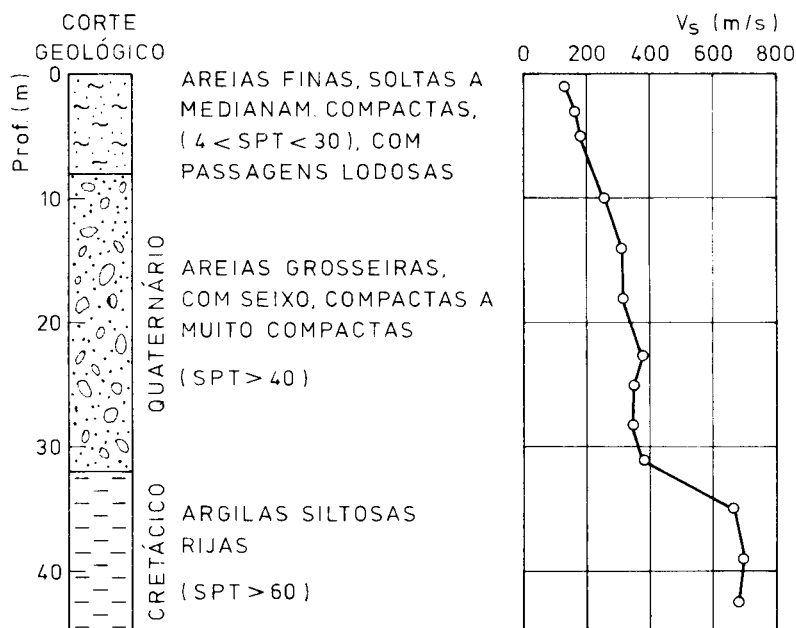


Fig. 6 — Velocidades da onda de corte obtidas no local da Central de Muranzel.

Os resultados obtidos mostram que o complexo quaternário de areias finas, soltas a medianamente compactas ($4 < \text{SPT} < 30$) com algumas intercalações lodosas, apresenta valores de V_s entre 120 e 180 m/s enquanto que o complexo de areias grosseiras com seixo, compactas a muito compactas ($\text{SPT} > 40$) exhibe valores de V_s entre 250 e 380 m/s; nas argilas siltosas cretácias, muito rijas ($\text{SPT} > 60$) os valores de V_s são muito superiores, da ordem dos 700 m/s.

4 — CONCLUSÕES

Do que foi exposto podem apontar-se as seguintes conclusões gerais:

- a) O método sísmico directo com ensaios entre furos de sondagem mostrou-se adequado para a geração e registo da onda de corte, possibilitando a determinação da sua velocidade de propagação em diferentes situações geológicas e até profundidades da ordem dos 45 m.
- b) A fonte desenvolvida mostrou-se adequada para a geração de ondas de corte do tipo SV. A possibilidade de inverter o sentido da sollicitação melhora igualmente a identificação das ondas S, pois corresponde-lhe uma onda com polaridade inversa.
- c) Os valores de V_s determinados mostraram boa concordância com outros parâmetros de caracterização mecânica de solos, especialmente com o ensaio de penetração dinâmica SPT. O parâmetro V_s é assim um bom indicador das características das formações geológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HOAR, R.J. and STOKOE II, K.A. (1978) — Generation and measurement of shear waves in situ. Dynamic geotechnical testing. ASTM, STP 654, 1978.
- RODRIGUES, L.F. (1979) — Métodos de prospecção sísmica em geologia de engenharia. A importância da onda de corte. Tese LNEC, 1979.

AGRADECIMENTO

O autor agradece à EDP a autorização para a publicação dos resultados.