

# NOVAS TÉCNICAS DE PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA. DIAGRAFIAS INSTANTÂNEAS EM SONDAGENS DESTRUTIVAS\*

por

ANTÓNIO GOMES COELHO\*\*

J. L. TOCHA SANTOS\*\*\*

**RESUMO** – O presente trabalho descreve as características, princípios de interpretação e domínios de aplicação das diagrfias instantâneas em prospecção geotécnica. O registo automático dos parâmetros de furação consiste no registo de um parâmetro físico do terreno em função da profundidade, medido directamente por intermédio de dispositivos ligados ao equipamento de furação. As variações destes parâmetros estão relacionadas com as características mecânicas do maciço rochoso atravessado pela sondagem.

**SYNOPSIS** – This paper describes the characteristics, principles of interpretation and field of application of automatic record of drilling parameters. Continuous «logging while drilling» is the measuring and recording as a functions of depth of a physical quantity, measured directly on the drill machine during the drilling, the variations of these parameters being in connection with the mechanical properties of the rock mass.

## 1 – INTRODUÇÃO

Designa-se por *diagrfia instantânea* o registo contínuo de um parâmetro físico do terreno em função da profundidade efectuado em tempo real, isto é, simultaneamente com a execução de um furo de sondagem.

As diagrfias instantâneas são usadas desde longa data como rotina nas sondagens de prospecção petrolífera e hidrogeológica. A sua aplicação com carácter sistemático na prospecção geotécnica só surge em meados dos anos 70 em França[1] onde a sua utilização se encontra hoje plenamente radicada.

---

\* Manuscrito recebido em Outubro de 1984. A discussão do trabalho está aberta por um período de três meses.

\*\* Geólogo. Investigador do LNEC

\*\*\* Geólogo. M Sc., D.I.C., HIDROPROJECTO

O interesse das diagrfias instantâneas foi realçado no 14.º Congresso Internacional de Grandes Barragens (Rio de Janeiro, 1982) nomeadamente no relato do Comité Francês sobre Novas Técnicas de Prospecção[2] e, mais recentemente, no Simpósio Internacional «Soil and Rock Investigation by In Situ Tests» da AIGE (Paris, 1983) onde foram objecto de 5 comunicações [3, 4, 5, 6 e 7] sobre casos de aplicação e novos aperfeiçoamentos ao nível das técnicas de registo e de tratamento de dados.

Tendo em conta os resultados já obtidos em diversos estudos e as características de eficácia e de rentabilidade evidenciadas, é previsível uma crescente utilização destas técnicas, nomeadamente no estudo dos maciços rochosos. Visando a sua divulgação no nosso meio técnico, onde permanecem pouco conhecidas, fazem-se no presente artigo algumas considerações sobre as diagrfias instantâneas, descrevem-se os parâmetros medidos e os princípios básicos da sua interpretação e referem-se os domínios de aplicação mais interessantes.

## 2 – SONDAGENS DESTRUTIVAS E DIAGRFIAS INSTANTÂNEAS

### 2.1 – *Valorização das sondagens destrutivas*

O sucesso das diagrfias instantâneas na prospecção geotécnica deve-se, em grande parte, ao facto de recorrerem a técnicas de sondagem muito rápidas e de baixo custo, nomeadamente às sondagens destrutivas de furação à rotação ou à roto-percussão.

De modo sumário, as características destas sondagens são as seguintes:

- a) rotação com tricone (*rotary*), que utiliza uma ferramenta constituída por três roletes cónicos denteados que desagregam a rocha por rotação e arranque e usa água ou lamas como fluidos de circulação;
- b) roto-percussão com *wagon-drill*, que é um martelo pneumático montado sobre uma plataforma móvel;
- c) martelo de fundo de furo, que é um martelo pneumático adaptado a trabalhar no fundo do furo.

O uso destas sondagens rápidas na prospecção geotécnica tem-se limitado ao atravessamento de depósitos superficiais muito grosseiros de difícil furação (cascalheiras, blocos) retomando-se em seguida a sondagem por métodos não destrutivos. O seu maior inconveniente reside no facto de não proporcionarem uma amostragem dos maciços atravessados. De facto, as sondagens destrutivas apenas fornecem detritos de furação de diminutas dimensões (*cuttings*) cuja identificação litológica se reveste de apreciável dificuldade. Acresce que os detritos de furação são trazidos do fundo do

furo pelo fluido de circulação (ar, água ou lamas) e levam um determinado tempo a chegar à superfície, variável com a profundidade, as características do fluido, o tipo de rocha, etc. Por estes motivos, os perfis litológicos que se obtêm são em regra pouco precisos no que se refere à litologia e principalmente às cotas das interfaces litológicas.

Estas têm sido desvantagens de peso dos métodos destrutivos em comparação com as sondagens carotadas<sup>(2)</sup> em que se espera obter uma amostragem integral e contínua do maciço. A utilização das diagrfias instantâneas veio colmatar em parte estas desvantagens e valorizar em elevado grau as sondagens destrutivas como método de prospecção.

De facto, num estudo geológico bem conduzido, não é forçoso que a prospecção mecânica deva utilizar exclusivamente sondagens carotadas. Se desde o início se proceder a uma aplicação racional e concertada do reconhecimento geológico de superfície e de métodos geofísicos adequados, bastará muitas vezes um pequeno número de sondagens judiciosamente implantadas para identificar o modelo geológico representativo do sítio (estrutura geológica, unidades litológicas e domínios de homogeneidade do maciço).

Este deveria ser, dado o elevado custo e longo prazo de execução, o objectivo dominante das sondagens carotadas: obter com precisão os limites entre unidades litológicas, permitir a observação directa do estado de alteração e de fracturação do maciço, fornecer amostras para ensaios de laboratório, em suma, estabelecer um perfil geotécnico de referência, detalhado e preciso, com o qual seja possível correlacionar os resultados obtidos por outros métodos.

A passagem da prospecção mecânica inicial em malha larga a uma malha mais densa de pontos de observação e de medida, poderia em muitos casos ser feita à custa de sondagens destrutivas, desde que os seus resultados se possam correlacionar com os obtidos em sondagens carotadas clássicas.

As diagrfias instantâneas permitem estas correlações com suficiente precisão. De facto, com esta técnica, a ausência de uma amostragem representativa do maciço rochoso é compensada pelo registo contínuo de dois ou mais parâmetros de furação os quais reflectem indirectamente, mas com precisão, as características do maciço atravessado. Deste modo, as diagrfias instantâneas conferem às sondagens destrutivas as características de um ensaio *in situ*. O registo diagráfico permite apreciar as variações das características geotécnicas de uma formação ao longo de toda a espessura furada. É evidente a sua analogia com a técnica do ensaio de penetração estática (CPT) correntemente usada nos maciços terrosos.

---

(1) Apesar de se tratar de um péssimo galicismo usa-se aqui, por comodidade, este termo, para designar as sondagens à rotação com coroa e amostragem contínua.

Afigura-se, portanto, que em muitos programas de prospecção geotécnica se poderia substituir um grande número de sondagens carotadas por sondagens destrutivas paramétricas com significativas vantagens de custos e de prazos de execução ou, pelo mesmo custo, realizar um programa de malha mais densa como sondagens destrutivas paramétricas.

Aplicadas às próprias sondagens carotadas clássicas, as diagrfias instantâneas podem desempenhar um importante papel de controlo na interpretação dos seus resultados. Bastará lembrar que, ao contrário do que é frequente supor, o tradicional caixote de tarolos está longe de ser, só por si, o único resultado concreto e objectivo de uma sondagem carotada.

É bem sabido que, em diversas circunstâncias, a exclusiva observação dos tarolos pode dar origem a indefinições e a conclusões bem pouco rigorosas se não forem tidas em consideração algumas variáveis geralmente bem difíceis de controlar nas sondagens carotadas, como sejam: o estado das coroas, o tipo de coroa usado, a pressão na ferramenta, a velocidade de rotação, o fluido de furação, o diâmetro do furo, a perícia do sondador na condução da furação, etc. Ora é exactamente nos casos em que a amostragem é mais pobre e a recuperação mais baixa, correspondendo a zonas alteradas, fracturadas, à presença de falhas ou de vazios, etc., que é necessário que a sondagem possibilite uma caracterização geotécnica mais precisa e sem indefinições.

Finalmente, sublinha-se que os furos abertos por métodos destrutivos permanecem igualmente utilizáveis para a execução de ensaios *in situ* (permeabilidade, piezometria, dilatometria) bem como de diagrfias diferidas (PS, resisitividade, sónica, raios gama, etc.).

## 2.2 – *Parâmetros de furação*

Actualmente, com as diagrfias instantâneas, podem registar-se os seguintes parâmetros de furação:

- VI – Velocidade instantânea de avanço
- PR – Percussão reflectida
- PF – Pressão na ferramenta
- MR – Momento de rotação
- VR – Velocidade de rotação

Normalmente a velocidade instantânea de avanço e a percussão reflectida aplicam-se conjuntamente nas sondagens à roto-percussão, sendo opcional o registo da pressão na ferramenta e da pressão de injeção.

Nas sondagens à rotação com tricone (*rotary*) mede-se em regra a velocidade instantânea de avanço e a pressão do fluido de injeção, podendo ainda registar-se a pressão na ferramenta, o momento de rotação e a velocidade de rotação.

### 2.2.1 – Velocidade instantânea de avanço (VI)

A velocidade de avanço, ou simplesmente o avanço, foi sempre objecto de registo na execução de sondagens clássicas carotadas. Na folha diária o sondador aponta o tempo gasto na furação de uma dada espessura de terreno e daí obtém uma velocidade média de avanço. Sendo o intervalo de terreno (manobra) demasiado grande, a velocidade de avanço para aquele intervalo integra a influência de numerosos factores (variações litológicas, intervenção do sondador na condução da sondagem, estado e característica da ferramenta, etc.) de modo que a formação só muito grosseiramente pode caracterizar-se por este processo.

No caso da diagrafia de velocidade, obtém-se um registo contínuo da velocidade instantânea de avanço num intervalo que pode reduzir-se a cerca de 1 mm e, dada a

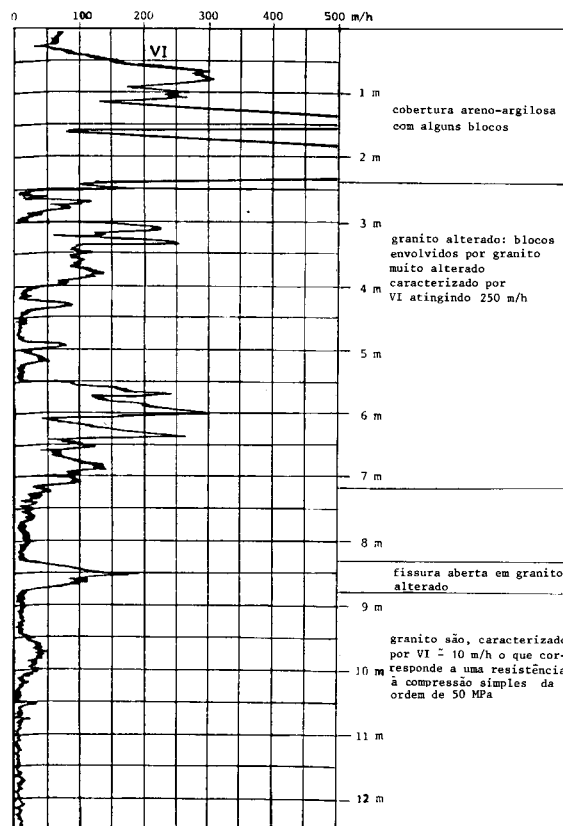


Fig. 1 — Registo da velocidade instantânea de avanço num maciço granítico (adaptado de J. Lutz, 1983 [8]).

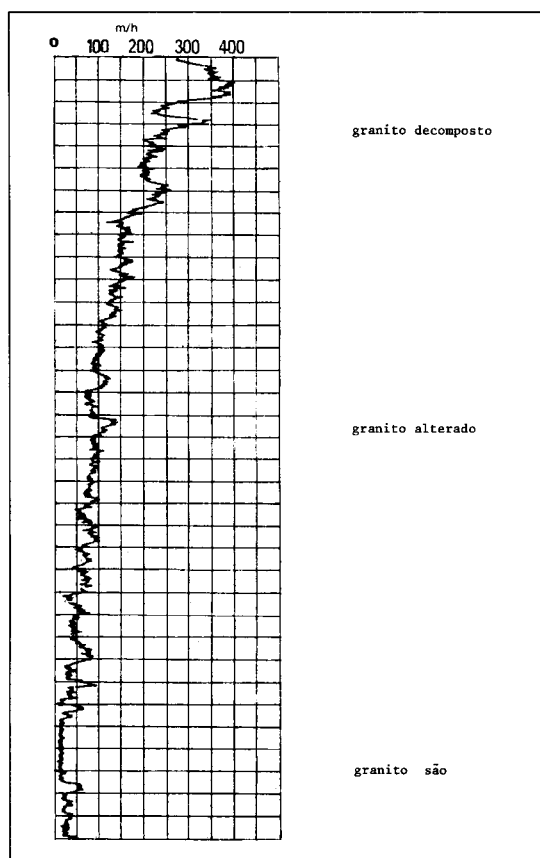


Fig. 2 — O registo mostra o decréscimo regular de VI correspondente à passagem gradual do granito alterado ao granito são (adaptado de J. Lutz, 1983 [8]).

automatização completa do sistema, é eliminada, sem intervenção do sondador, a influência dos factores que não intervêm no processo de furação.

O captor da velocidade de avanço é ligado a um ponto fixo da máquina e detecta o deslocamento de um órgão mecânico qualquer ligado ao avanço (cabeça de injeção, martelo, p. ex.).

Com os actuais equipamentos de registo é possível escolher o passo ou intervalo com que se deseja registar a velocidade de avanço num domínio entre cerca de 1 mm e 200 mm, de acordo com os objectivos da sondagem.

Esta precisão dá à diagrafia de velocidade uma notável sensibilidade às variações de natureza e de estado do maciço rochoso atravessado. O registo permite identificar

variações relacionadas com diferentes litologias, estado de alteração, grau de fracturação, zonas de esmagamento (falhas), cavidades preenchidas ou vazias, etc.

Os exemplos das figuras 1 e 2 mostram as imagens de diagrfias de velocidade num maciço granítico. A velocidade de avanço passa de 250 m/h no maciço muito alterado para 10 m/h no maciço são. No registo da Fig. 1, a passagem gradual do maciço alterado ao maciço são é evidenciada pelo decréscimo da velocidade de avanço com a profundidade.

A ocorrência de zonas fissuradas com diaclases abertas ou com enchimentos argilosos é traduzida por zonas com picos característicos repetidos sobre um «ruído de fundo» ou por picos singulares, cuja expressão diagráfica permite medir a espessura da zona fissurada ou a abertura das descontinuidades detectadas (Fig. 3).

No caso de vazios importantes (carsificação, túneis de lava, etc.) o registo da velocidade de avanço pode aparecer saturado no seu valor máximo ou acusar apenas um aumento brusco bem definido no caso de cavidades com enchimento, (Fig. 4 e 8).

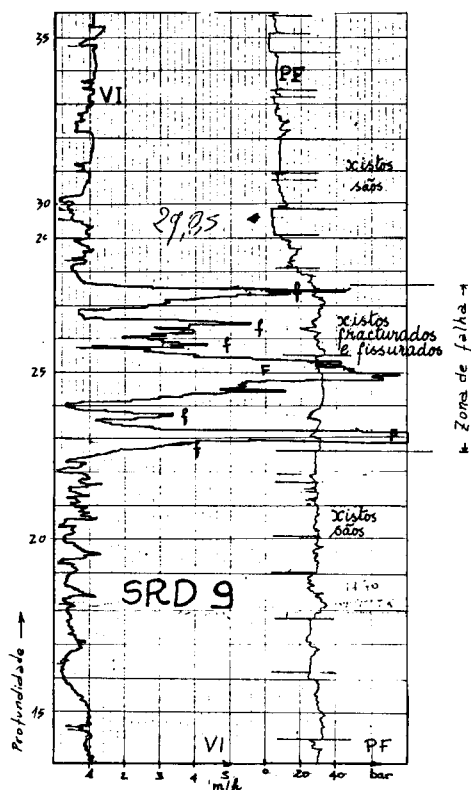


Fig. 3 — Exemplo de registo da velocidade de avanço (VI) numa sondagem destrutiva

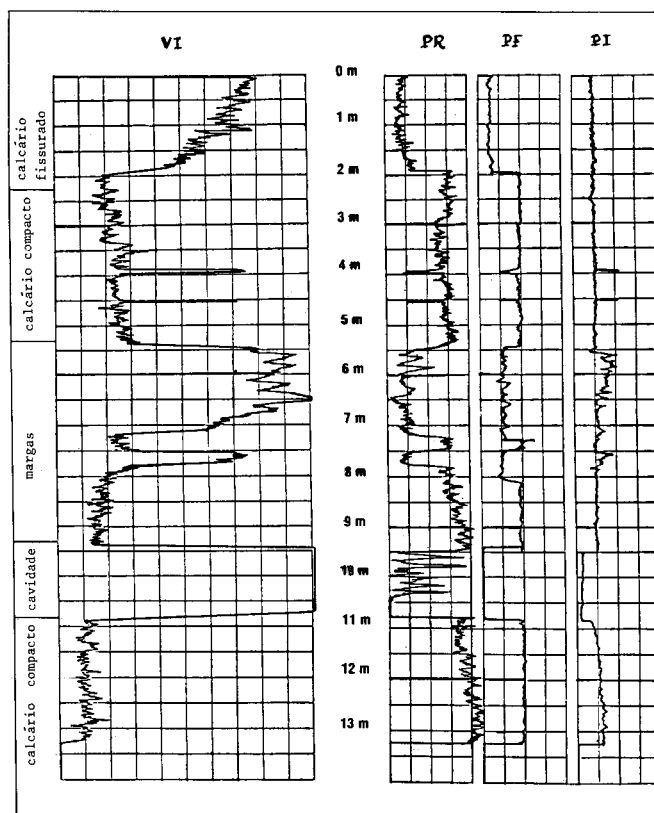


Fig. 4 — Exemplo de registos de VI, PR, PF e PI, num maciço calcário carsificado (adaptado de J. Lutz, 1983 [8]).

### 2.2.2 – Percussão reflectida

A diagrafia de percussão ou vibração reflectida aplica-se essencialmente nas sondagens à roto-percussão, caso dos super-martelos ou *wagon-drill* e dos martelos de fundo de furo.

O processo de furação à roto-percussão consiste em aplicar choques periódicos no topo das varas que tem simultaneamente movimento de rotação. A percussão propaga-se pelas varas à velocidade do som até ao trépano situado na extremidade inferior. Uma parte da energia é absorvida pelo terreno e gasta na sua cominuição, a parte restante é reflectida (*rebound*) através das varas e regressa à superfície à mesma velocidade.

A diagrafia de percussão reflectida consiste em medir a amplitude desta onda reflectida. É evidente que quanto maior for a resistência e dureza da rocha, mais importante será a onda reflectida. Ao contrário, um terreno brando, pouco compacto ou plástico, absorverá a maior parte da energia incidente.

A diagrafia de percussão reflectida regista portanto um parâmetro directamente relacionado com a dureza do terreno e com as suas características mecânicas.

A onda reflectida é medida por intermédio de um captor constituído por um acelerómetro de quartzo sensível aos choques, fixado no martelo da máquina.

Fisicamente, o captor mede uma aceleração e teoricamente a amplitude do registo deveria ser proporcional à aceleração da onda reflectida do fundo do furo. Na prática é difícil obter um registo quantificado devido à grande dispersão resultante do estado de desgaste dos martelos e às variações de pressão dos compressores, o que influi significativamente na intensidade das pancadas. Deste modo, a interpretação do registo baseia-se na análise das variações relativas e os seus resultados são expressos qualitativamente.

### *2.2.3 – Pressão sobre a ferramenta (PF) e velocidade de rotação (VR)*

O registo destes parâmetros permite controlar a regularidade da operação de furação e complementar a informação do parâmetro velocidade de avanço.

Por exemplo, a pressão na ferramenta anula-se bruscamente ao atravessar vazios ou zonas cavernosas e é por isso um elemento adicional de interpretação.

Em princípio, a furação deve realizar-se com pressão constante para que sejam interpretáveis as variações da velocidade de avanço (Fig. 5).

O registo da pressão na ferramenta é efectuado por meio de um captor ligado ao circuito hidráulico ou ao compressor e regista continuamente a carga sobre a ferramenta.

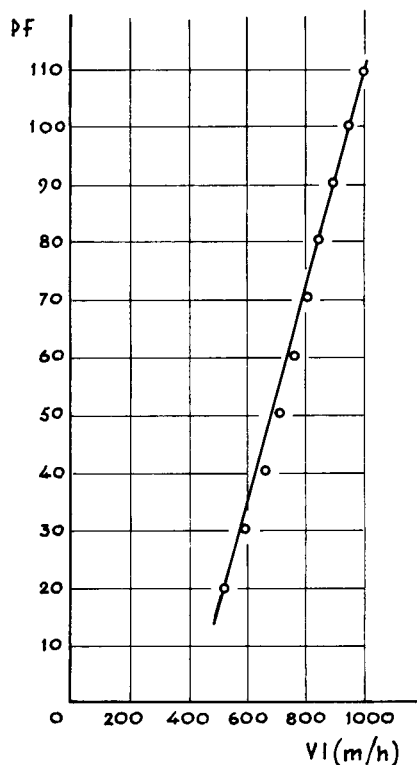


Fig. 5 — Influência da pressão aplicada à ferramenta (PF) sobre a velocidade de avanço (VI), (segundo Cailleux et al., [4]).

#### 2.2.4 — Pressão de injeção (PI)

O registo contínuo da pressão do fluido de circulação é obtido por intermédio de uma célula de pressão ligada à tubagem de saída da bomba de injeção.

A pressão do fluido de circulação reage com apreciável sensibilidade ao comportamento do terreno ao nível da ferramenta e à ocorrência de descontinuidades abertas do maciço.

A pressão aumenta se no fundo do furo se produzem abatimentos que dificultam a corrente de retorno.

Acusa igualmente efeitos de baixa permeabilidade no caso dos terrenos argilosos em que se dá uma certa penetração da ferramenta no fundo do furo, dificultando a circulação do fluido e o seu retorno à boca de sondagem.

Nas rochas de resistência elevada as variações de pressão do fluido dependem da fracturação do maciço e não da própria rocha. Quando ocorrem vazios ou diaclases abertas, a perda parcial ou total do fluido causa uma diminuição brusca da pressão de circulação.

O caudal do fluido de circulação não é medido instantaneamente. Mede-se o volume perdido, ou seja a diferença entre o volume injectado pela bomba e o volume restituído pelo furo relativo a um dado intervalo de furação (50 cm por exemplo).

A diagrafia de pressão de injeção pode assim considerar-se equivalente a uma diagrafia de fissuração e de aptidão à absorção (permeabilidade).

#### 2.2.5 – *Momento de rotação (MR)*

Esta diagrafia regista as variações do binário aplicado à cabeça de rotação das varas por intermédio da leitura da pressão admitida no motor hidráulico ou pneumático de rotação.

A força de torsão aplicada às varas depende da reacção do terreno ao trabalho da ferramenta, em particular da maior ou menor aderência do terreno ao tricone ou às varas.

Nas rochas brandas a cominuição resulta principalmente do efeito de raspagem da ferramenta no fundo do furo o que acarreta um aumento da força de torsão. Pelo contrário, nas rochas de elevada resistência à cominuição é conseguida sobretudo à custa da rotura frágil o que permite uma força de torsão menor. A diagrafia do momento de rotação usa-se nas sondagens tipo rotary em complemento das diagrfias de velocidade de avanço, pressão de injeção e pressão na ferramenta.

### 3 – PRINCÍPIOS DE INTERPRETAÇÃO

As diagrfias dos parâmetros de furação permitem três níveis de interpretação[3]:

a) *Interpretação imediata* – localizar em cada sondagem as zonas homogéneas e distinguir para várias sondagens as variações ou as anomalias postas em evidência pelo aspecto diferencial dos registos em função das profundidades. O interesse da interpretação imediata reside na possibilidade de orientar a posição e as condições dos ensaios «in situ» (Lugeon, dilatómetro, p. ex.).

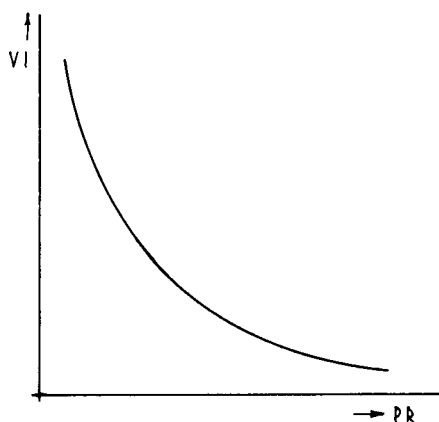
b) *Interpretação diferida qualitativa* – permite precisar, segundo critérios qualitativos, as variações de natureza e de estado do maciço, por correlação com sondagens carotadas de referência e com os resultados dos ensaios *in situ* nelas executados, uma vez que:

- 1) a velocidade instantânea de avanço é inversamente proporcional à resistência da rocha e à compacidade ou consistência dos solos;
- 2) a pressão sobre broca é proporcional à dureza dos materiais furados;
- 3) a pressão de injeção diminui quando a furação atravessa níveis permeáveis ou vazios;
- 4) a percussão reflectida caracteriza a qualidade do material rocha e evidencia as descontinuidades do maciço;
- 5) o momento de rotação dá informações sobre a aderência do terreno à ferramenta ou à coluna de varas.

Nas sondagens à roto-percussão as diagrfias de velocidade e de percussão reflectida são em regra utilizadas simultaneamente. São de facto duas diagrfias complementares cuja interpretação conjunta resulta muito informativa.

A velocidade de avanço e a percussão reflectida variam em sentidos opostos em função das características dos terrenos atravessados. A variação entre os dois parâmetros é do tipo indicado na Fig. 6.

Esta complementaridade acentua-se principalmente nas situações extremas em que os maciços exibem resistências muito elevadas ou muito baixas. Nos terrenos de baixa resistência, a percussão reflectida pode não exibir sensibilidade às variações de resistência, as quais são todavia detectadas pelas correspondentes variações das velocidades de avanço. Inversamente, nos terrenos rochosos de resistência elevada, sucede por vezes que a velocidade de avanço é quase cega às variações locais do teor em argila e do estado de fissuração da rocha, as quais são todavia identificadas no registo da percussão reflectida. A grande sensibilidade da percussão reflectida permite pela análise dos registos distinguir as zonas com descontinuidades afastadas e fechadas das



*Fig. 6 — Variação da velocidade de avanço (VI) com a percussão reflectida (PR).*

zonas de descontinuidades próximas ou abertas com enchimentos argilosos e as zonas tectonizadas.

c) *Interpretação diferida quantitativa* – uma vez que as variações dos parâmetros de furação são função da natureza e do estado dos tipos de terreno perfurados pode determinar-se, para cada diagrama de sondagem, um índice de qualidade mantendo a pressão sobre a broca constante e tomando em consideração apenas a velocidade de avanço  $V$ .

Por exemplo numa determinada secção da sondagem (i) o índice de qualidade é definido por[3]:

$$I_q(i) = \frac{V_{\text{máx.}} - V_{(i)}}{V_{\text{máx.}} - V_{\text{mín.}}}$$

onde  $V_{\text{máx.}}$  e  $V_{\text{mín.}}$  são as velocidades de avanço máximas e mínimas em toda a sondagem e  $V_{(i)}$  a velocidade do avanço na secção considerada,  $h$ .

Por outro lado, o índice médio de qualidade relativa a toda a sondagem será:

$$I_{qm} = \frac{V_{\text{máx.}} - V_m}{V_{\text{máx.}} - V_{\text{mín.}}}$$

onde  $V_m$  = velocidade média ponderada, que é igual a:

$$V_m = \frac{h_{(i)} \cdot V_{(i)}}{h_{(i)}}$$

Pode-se também definir para o maciço global de qualidade  $\bar{I}_q$ .

Com base nos índices médio e global de qualidade pode definir-se um índice médio de degradação  $I_{dm}$  e um índice global de degradação  $\bar{I}_d$ .

$$I_{dm} = 1 - I_{qm}$$

$$\bar{I}_d = 1 - \bar{I}_q$$

O índice de qualidade pode-se correlacionar com os parâmetros mecânicos e o índice de degradação com os parâmetros de injectabilidade do maciço, tendo em conta que a espessura equivalente dos vazios injectáveis é dada por

$$H_v = H \cdot I_{dm}$$

onde  $H$  é o comprimento da sondagem e  $I_{dm}$  o índice médio de degradação correspondente[4].

#### 4 – CUSTOS E PRAZOS DE EXECUÇÃO

Segundo dados relativos a França[5] o custo da furação destrutiva é de cerca de 44% da furação com carotagem, sendo de 63% se acompanhadas da realização de diagrfias instantâneas.

Vejamos agora os custos que se poderão prever em Portugal, onde a tecnologia das diagrfias instantâneas não é ainda dominada, tendo os respectivos trabalhos de ser executados por empresas estrangeiras. Para o efeito, tomaram-se como base os valores médios de alguns preços unitários indicados em propostas recentes para a prospecção de um túnel.

Admitindo um programa de prospecção, em que se pretende dez sondagens iguais com um comprimento total de furação de 1000 m e partindo do princípio que são utilizadas 2 sondas mecânicas, construiu-se o quadro seguinte:

QUADRO 1

Modalidade	Descrição	Custos ( $\times 10^3$ Esc)	Prazo de Execução (Meses)
A	Furação com carotagem	7016	2,3
B	Furação destrutiva	3778	0,6
C	Furação destrutiva acompanhada de diagrfias instantâneas	5731	0,6

Os números apontados mostram existir uma grande vantagem no que respeita aos prazos de execução. A diferença de custos é também significativa, mas mostraria obviamente uma vantagem económica muito mais acentuada das diagrfias instantâneas se estas pudessem ser executadas por empresas portuguesas.

#### 5 – DOMÍNIOS DE APLICAÇÃO

As diagrfias instantâneas associadas às sondagens destrutivas podem em princípio aplicar-se a qualquer tipo de terrenos. É, no entanto, no reconhecimento geotécnico dos maciços rochosos que estas técnicas encontram o seu principal domínio de aplicação. No caso dos solos, os ensaios *in situ* clássicos são muito mais informativos e têm a seu favor as vantagens de uma larga experiência de interpretação.

No quadro 2 indicam-se aplicações das diagrfias instantâneas.

## QUADRO II

DOMÍNIO DE UTILIZAÇÃO DO REGISTO AUTOMÁTICO DOS PARÂMETROS DE FURAÇÃO

(Adaptado de JEAN LUTZ, SA, 1983 [8])

PRINCIPAIS APLICAÇÕES	PARÂMETROS					
	VI	PR	PF	PI	MR	VR
1. Tipos de sondagens						
- "rotary"	x	x	x	0	0	0
- roto-percussão	x	x	x	0	0	0
- carotagem	x		0	x	0	0
2. Prospeção geotécnica						
- correlações entre sondagens destrutivas e sondagens com carotagem	x	x	x	0	0	0
- detecção de cavidades	x	0	x	0		
- definição das zonas meteorizadas	x	x	x	0	0	0
- determinação de zonas fracturadas	x	0	x	x		
- definição do perfil do "bed-rock"	x	0	x	0		
3. Controlo de injeções						
- injeções de colagem	x		x			
- injeções de consolidação	x	x	x	0		

x - RECOMENDADO

0 - OPÇÃO

O seu domínio de utilização cobre não só os estudos geotécnicos necessários às diferentes fases do projecto de obras de engenharia mas também à fase de construção.

Referem-se em seguida alguns exemplos de aplicação considerados mais significativos: túneis, cavidades subterrâneas, pedreiras, fundações, tratamento por injeção, prospecção submarina, prospecção em formações vulcânicas.

### 5.1 – Túneis

As obras subterrâneas em geral e, em particular as obras lineares como os túneis, oferecem um dos campos de aplicação mais interessantes, principalmente quando as profundidades interessadas pelas obras são grandes tornando extremamente onerosa a utilização exclusiva de sondagens carotadas em número suficiente para a caracterização e zonamento do maciço.

Com efeito, conhecidas as características geológicas principais através de reconhecimento de superfície e de algumas sondagens com carotagem, localizadas preferencialmente nas zonas mais sensíveis do túnel, o recurso às sondagens destrutivas e diagrfias permite investigar, de uma forma mais económica, as características do maciço na zona de recobrimento em vários pontos do traçado, sem prejuízo de na zona do atravessamento do túnel a furação passar a ser com carotagem, de modo a permitir

a observação directa e a colheita de amostras para ensaios. A informação assim obtida, correlacionada com os resultados de outros meios de prospecção, permite realizar o estudo estatístico das principais características do maciço, o seu zonamento geotécnico e detectar zonas anómalas.

As diagrfias instantâneas aplicadas a sondagens horizontais à roto-percussão na frente de avanço dos túneis permitem uma previsão das condições locais nos trechos a escavar, antecipando a possível ocorrência de acidentes geológicos desfavoráveis (Fig. 7). Tal procedimento, incompatível com os atrasos que uma furação não destru-

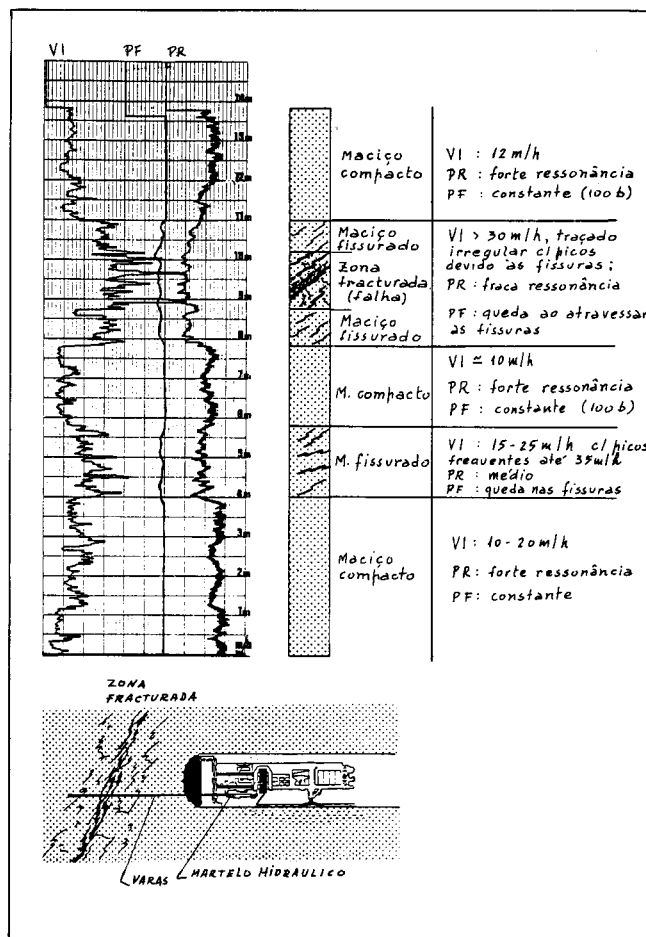


Fig. 7 — Reconhecimento na frente de avanço de um túnel (adaptado de Jean Lutz, [8]).

tiva provoca, é sobretudo importante no caso da abertura de túneis com máquinas de furação contínua (*full-face*) em que a ocorrência de zonas de falha, sua localização e extensão, condicionam o avanço da máquina e a escolha das técnicas de suporte.

## 5.2 – Detecção e tratamento de cavidades subterrâneas

Estas técnicas têm tido particular sucesso na detecção de cavidades subterrâneas e no tratamento de maciços carsificados onde se procede ao enchimento das cavidades e vazios.

O atravessamento de zonas cavernosas traduz-se por modificações de certos parâmetros de furação (VI, PF, PI, PR) cujo registo diagráfico assume singularidades morfológicas características (Fig. 8), permitindo não só reconhecer a ocorrência de vazios como precisar o seu estado de degradação mecânica.

No tratamento dos maciços, a execução de diagrfias nas sondagens de injeccção permite adaptar o tratamento às variações das condições locais. A comparação dos registos antes e após as injeccções constitui um meio de controlo rápido e económico da eficácia do tratamento.

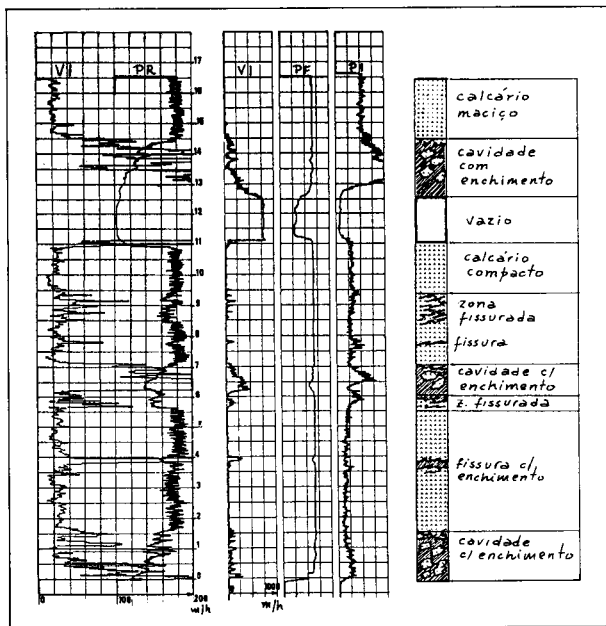


Fig. 8 — Detecção de cavidades num maciço calcário com sonda hidráulica à roto-percussão (adaptado de Jean Lutz, [8]).

### 5.3 – Pedreiras

O estudo geológico, o zonamento e a inventariação das reservas de pedreiras poderão ser levados a um pormenor mais apurado recorrendo às sondagens destrutivas e às diagrfias instantâneas em complemento das sondagens habituais, normalmente feitas em número reduzido.

### 5.4 – Fundações

Estas técnicas podem constituir um complemento importante das técnicas clássicas no estudo dos terrenos de fundação: reconhecimento da topografia do substrato, da espessura de alteração, de cavidades, de zonas singulares tectonizadas, etc.

A obtenção de elementos de correlação entre os parâmetros de furação e parâmetros de resistência e deformabilidade (Fig. 9) do maciço permite melhorar o zonamento geotécnico de maciços de fundação de barragens, fundamentando-o, de modo económico, com uma maior densidade de informação.

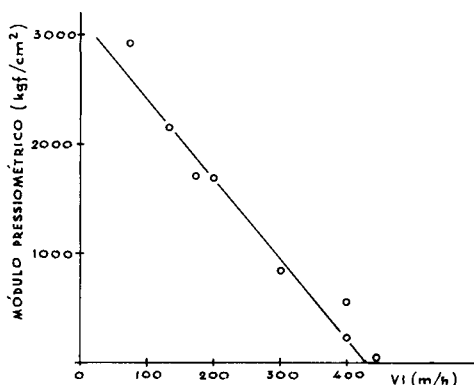


Fig. 9 — Correlação entre a velocidade instantânea de avanço e o módulo de deformabilidade (segundo Jean Lutz [8]).

### 5.5 – Prospecção de terrenos submersos

Tendo em conta as naturais dificuldades que geralmente se deparam no estudo de terrenos submersos, consegue-se obter informação valiosa através da execução de sondagens destrutivas e diagrfias dos parâmetros de furação.

A influência do mau tempo sobre a sondagem é reduzida pela grande rapidez de execução.

## 5.6 – Prospeção geotécnica em formações vulcânicas

Em certas regiões com características geológicas singulares, como é em Portugal o caso da Madeira e dos Açores, os métodos convencionais de prospeção geotécnica revelam-se frequentemente desajustados.

Nestas regiões vulcânicas, os principais problemas geotécnicos resultam da grande heterogeneidade dos maciços, da alternância complexa de rochas lávicas aleatoriamente fissuradas, com rochas piroclásticas de grande variabilidade de composição e granulometria (cinzas, bagacinas, escórias, brechas vulcânicas, *clinker*, etc.) e da ocorrência de vazios subterrâneos de origem primária (túneis de lava) ou secundária (erosão interna devida à circulação subterrânea).

Nestes maciços, as sondagens carotadas são de custo elevado e apresentam com grande frequência recuperações muito baixas cujo significado geotécnico é ambíguo e de difícil interpretação. As sondagens convencionais à percussão não são apropriadas e os clássicos ensaios *in situ* carecem muitas vezes de significado. Como interpretar, por exemplo, à luz da experiência empírica da sua aplicação em solos, os resultados de ensaios de penetração dinâmica SPT em materiais texturalmente tão singulares como a pedra-pomes, as bagacinas ou os ignimbritos?

O uso de sondagens destrutivas acompanhadas de diagrfias instantâneas, seguramente daria uma contribuição valiosa para a caracterização geotécnica destes terrenos, na medida em que permitiria identificar e correlacionar as zonas de baixa resistência, a ocorrência de vazios, as zonas fissuradas, etc., por um custo compatível.

## 6 – CONCLUSÕES

Descreveram-se as características das sondagens destrutivas acompanhadas de diagrfias instantâneas como método de prospeção e teceram-se algumas considerações sobre os princípios de interpretação e alguns domínios de aplicação.

Do que atrás ficou exposto convém sublinhar as características de rapidez, economia e eficácia deste método de prospeção. É, por seu turno, necessário reter a ideia de que se trata de um método complementar de outras técnicas, que permite, nos casos adequados e quando convenientemente aplicado, otimizar a informação obtida. De modo algum substitui os métodos de sondagens não destrutivas embora possa, em casos particulares, resolver isoladamente determinados problemas. Requerendo o projecto de programas de prospeção muita ponderação e bom senso, há que ter em conta os casos em que este método não é aplicável.

Por último, destaca-se o particular interesse da utilização das diagrfias instantâneas como meio de prospeção expedita e como instrumento de controlo na fase de construção das obras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] THORIN, R., UNVOIS, J.P., (1977) – *Identification des cavités souterraines par sondages*. Bull. Liaison P. et. Ch., 88, Mars – Avril.
- [2] Groupe de Travail du Comité Français (1982) – *Nouvelles Techniques de Reconnaissance*. 14.º Congresso Internacional das Grandes Barragens, Rio de Janeiro.
- [3] BRU, J; LEDOUX, J.L.; MENARD, J; WASCHKOWSKI, E. (1983) – *Les diagraphies et les essais de mécanique des sols en place*. Symposium Int. Reconnaissance des Sols et des Roches par Essais en Place. Paris.
- [4] CAILLEUX, J.B.; TOULEMONT, M. (1983) – *La reconnaissance des cavités souterraines par méthodes diagraphiques*. Symposium Int. Reconnaissance des Sols et des Roches par Essais en Place. Paris.
- [5] DEVEAUX; MARTIN; RECH; ALESSANDRELLO, E.; LEMOINE, Y. (1983) – *Diagraphies instantanées en recherche d'eau*. Symposium Int. Reconnaissance des Sols et des Roches par Essais en Place. Paris.
- [6] HAMELIN, J.P.; LEVALOIS, J.; PFISTER (1983) – *Enregistrement des paramètres de forage: nouveaux développements*. Symposium Int. Reconnaissance des Sols et des Roches par Essais en Place. Paris.
- [7] FLEPP, G.; GOGUEL, B. (1983) – *Utilization de correlations entre paramètres pour une reconnaissance de sites plus efficace au barrage du Chélif (Algérie)*. Symposium Int. Reconnaissance des Sols et des Roches par Essais en Place. Paris.
- [8] LUTZ, J. (1983) – *Automatic Record of Drilling Parameters*. General Presentation. Société Jean Lutz SA, Jurançon (France).