

# ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE SONDAGENS MECÂNICAS PARA A ENGENHARIA CIVIL

## Analysis and Interpretation of Bore-Hole Data for Civil Engineering Projects

por  
NEY MARANHÃO \*

**RESUMO** – O presente trabalho trata dos procedimentos e critérios empregados na análise e interpretação de sondagens mecânicas convencionais realizadas para projectos de Engenharia Civil. Formula-se ainda sugestões para a condução destes trabalhos e propõe-se novos modelos de diagramas de sondagens, compatíveis com as necessidades actuais.

**SYNOPSIS** – This text deals with procedures and criteria used in the analysis and interpretation of bore-hole data for Civil Engineering projects. Some sugestions to carry out this work are presented too and new bore-hole data logs, suited to present needs, are proposed.

### 1 – INTRODUÇÃO

Em todas as obras de Engenharia Civil é fundamental o conhecimento do terreno em que elas vão ser implantadas. Para se obter os elementos que possibilitem este conhecimento, recorre-se, além dos métodos superficiais, a um conjunto de investigações sub-superficiais, das quais as sondagens mecânicas se destacam pelo volume de dados que podem fornecer.

Básicamente, uma campanha de sondagens bem executada e interpretada fornece indicações completas sobre a geologia, hidrogeologia e a resistência oferecida pelos diferentes terrenos atravessados. Contudo, a qualidade e quantidade destes dados dependem muito da maneira com que elas são conduzidas e da análise e interpretação de seus resultados.

---

\* Geólogo – Bolseiro da Fundação Calouste Gulbenkian no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

## 2 – ANÁLISE

### 2.1 – Generalidades

A análise dos elementos fornecidos pelas sondagens envolve desde a conferência, ordenação e anotação directa dos dados da perfuração até à descrição detalhada dos testemunhos, passando por todos os cálculos necessários para a obtenção de valores que serão adequadamente interpretados na fase devida. A análise inclui, por exemplo, a determinação dos coeficientes de permeabilidade, mas não cogita do significado de seus valores, objecto da interpretação.

Ela pode ser dividida em dois níveis – campo e escritório – e envolve tanto observações macroscópicas como microscópicas. Em geral, compõe-se das seguintes fases:

- conferência dos dados relativos à perfuração e constantes dos boletins respectivos;
- cálculos;
- descrição detalhada dos testemunhos de sondagem;
- ensaios;
- observações quanto à qualidade e limitações dos dados fornecidos pelas sondagens.

### 2.2 – Conferência dos dados de perfuração

É a primeira fase a ter lugar e deve, de preferência, ser cumprida concomitantemente com a perfuração. O geólogo responsável pelo acompanhamento da sondagem deve conferir, junto com o sondador e diante das caixas de testemunhos, os dados constantes do boletim de perfuração, procurando reconstituir todas as operações da sondagem e referenciá-las aos testemunhos. São então verificadas omissões, aspectos dúbios, deficiências, tudo enfim que possa comprometer a precisão dos dados.

Os pontos mais importantes a observar são:

- diâmetro, profundidade de início e fim da cada manobra, razões de execução de manobras curtas, causas de eventuais reduções de diâmetro;
- presença ou não de revestimento, diâmetro e comprimento revestido;
- ferramenta de corte empregada em cada manobra, rendimento da ferramenta, velocidade de rotação, pressão sobre a ferramenta, velocidade de avanço e problemas durante a perfuração («embuchamentos», etc.);
- amostras (recuperação, representatividade, perturbação, fragmentação

artificial, diaclasamento, etc.), amostradores (tipo empregado, estado) e condições de limpeza do furo antes da amostragem;

- condições de execução dos ensaios de penetração, equipamento empregado, pré-penetração, penetrações inicial e final;

- medições do N.A., condições de medição e equipamento usado;

- ensaios de permeabilidade, condições, pressões, vazões, particularidades (perdas de água anormais, retornos, etc);

- outros ensaios e instrumentação instalada: tipo, profundidade, condições de ensaio ou instalação e resultados (quando realizados pelo próprio sondador).

Uma vez conferidos os boletins e acrescentados comentários explicativos onde couber, eles são encaminhados para o escritório, onde os dados que independem de cálculos são transcritos directamente para o diagrama de sondagem correspondente (ver ítem 3).

## 2.3 – Cálculos

É a fase de escritório que engloba todos os cálculos efectuados com os dados de campo para encontrar os diversos valores dos parâmetros interessados ao projecto.

### 2.3.1 – Índice de recuperação

#### – 1. Sondagens percussivas

Existem três índices de recuperação para as amostras intactas colhidas nestas sondagens. Levando em consideração que o chamado índice de recuperação líquida permite atestar melhor o sucesso da amostragem, julga-se mais interessante usá-lo como medida de recuperação. Este índice é definido como sendo a relação entre o comprimento de amostra recuperada e o comprimento da penetração efectuada abaixo do fundo do furo, expressa em percentagem

$$IR = \frac{L_{amostra}}{L_{penetração}} \times 100$$

#### – 2. Sondagens rotativas

O índice de recuperação das sondagens rotativas é a relação, expressa em percentagem, entre o comprimento total da amostra obtida e o comprimento da manobra realizada

$$IR = \frac{L_{amostra}}{L_{manobra}} \times 100$$

### 2.3.2 – Índice de fragmentação

É o número de fragmentos da amostra existente em um metro de manobra.  
É calculado pela expressão

$$IF = \frac{N}{L}$$

em que N = n.º de fragmentos da amostra existente na manobra

L = comprimento da manobra

O IF é expresso em unidades por metro.

### 2.3.3 – Índice de diaclasamento

É o número de diaclases abertas interceptadas em um metro de manobra, expresso em unidades por metro. É calculado pela expressão

$$ID = \frac{n}{L} \quad \text{em que}$$

n = n.º de diaclases abertas interceptadas na manobra

L = comprimento da manobra

### 2.3.4 – Índice de qualidade da rocha (RQD)

Proposto por DEERE (1969), é a relação, expressa em percentagem, entre a soma dos comprimentos de todas as amostras da manobra, que sejam firmes e maiores que 10 cm, e o comprimento da manobra

$$RQD = \frac{\sum i}{L} \quad \text{em que}$$

i = comprimento de cada fragmento da amostra, firme e com mais de 10 cm

L = comprimento da manobra

Sòmente quando a fragmentação for natural é que ela será computada para o cálculo do RQD.

### 2.3.5 – Gráficos das penetrações inicial e final

Com base nas anotações referentes aos ensaios de penetração são traçados gráficos tendo para ordenadas as profundidades e para abcissas o número de golpes contados, respectivamente, nas penetrações inicial e final.

### 2.3.6 – Gráfico das variações do N.A.

Tomando para ordenadas a profundidade do lençol freático e para abcissas os dias, traça-se o gráfico da variação do nível freático durante o período da sondagem. Sempre que for medida a variação do nível de alguma massa de água vizinha é recomendável lançá-la no mesmo gráfico, para efeitos de comparação.

### 2.3.7 – Gráfico da estabilização do lençol freático

Sempre que a grandeza das variações for representável (quando os terrenos não apresentarem permeabilidades muito baixas), traça-se o gráfico de estabilização do lençol freático, a partir das medições feitas no final dos trabalhos diários, após o esgotamento do furo. Este gráfico oferece uma ideia da permeabilidade do terreno a partir da velocidade com que o nível freático dentro do furo é recuperado.

### 2.3.8 – Cálculos relativos aos ensaios de permeabilidade tipo Lugeon

#### – 1. Determinação do coeficiente de absorção (c)

Calculado pela fórmula

$$c = \frac{Q}{t.l}$$

onde Q vazão em litros

t = tempo de injeção depois de atingir um caudal constante

l = comprimento em metros do trecho ensaiado

O coeficiente de absorção é expresso em l/min./m.

#### – 2. Gráficos absorção x pressão

Determinado o valor de c, é possível traçar o gráfico absorção x pressão para cada trecho ensaiado. Regista-se nas abcissas as absorções e nas ordenadas as pressões efectivas de cada ensaio. Estas pressões são calculadas pela fórmula

$$P = P_m + P_a$$

P = pressão efectiva de ensaio

P<sub>m</sub> = pressão manométrica lida, em metros de altura de água

P<sub>a</sub> = profundidade do lençol freático em metros.

As perdas de carga na tubulação são consideradas desprezíveis.

- 3. Cálculo dos coeficientes de permeabilidade (k)

O cálculo da permeabilidade através dos ensaios Lugeon tem sido muito estudado, havendo diversas fórmulas conduzindo a valores de k, mas com precisões diferentes. Admite-se que para rochas porosas ou com fissuração muito fina é possível calculá-la; no caso de grandes fissuras, não há sentido calculá-la, visto que o escoamento não é laminar e sim turbulento.

Assim, verificada a propriedade da determinação de k, sugere-se o emprego da fórmula de BABOUCHKTINE, apresentada por BOGOMOLOV (1959):

$$k = \frac{Q}{2 \pi Pl} \cdot C_f \quad \text{em que} \quad C_f = \ln \frac{0,66 l}{r}$$

onde k = coeficiente de permeabilidade (cm/s)

Q = vazão (m³/s)

l = comprimento do trecho ensaiado (m)

r = raio da sondagem (m)

C<sub>f</sub> = coeficiente de forma (adimensional)

P = pressão total (em metros de altura de água)

Tem-se ainda

$$P = P_a + P_m$$

P<sub>a</sub> = profundidade do lençol freático, em metros

P<sub>m</sub> = pressão monométrica lida, em metros de altura de água

## 2.4 – Descrição dos testemunhos

A descrição dos testemunhos vem a constituir-se na parte mais importante da análise e é realizada em dois níveis: campo e escritório.

A descrição de campo é macroscópica. O geólogo examina as amostras obtidas na sondagem, que se encontram acondicionadas em caixas de madeira devidamente identificadas (nome do executor, nome do projecto, n.º do contrato, n.º da sondagem, n.º da caixa, intervalo de profundidade abrangido pelos testemunhos nela contidos, data de início e fim do furo) e com as manobras assinaladas por marcos de madeira intercalados entre os testemunhos, indicando a profundidade correspondente (escrita nos marcos com tinta indelével). Este exame deve preferivelmente ter lugar ao pé da sonda e imediatamente após o término do furo, quando não for possível fazê-lo simultaneamente com

a sondagem; se, por acaso, não houver condições de proceder à inspecção dos testemunhos ao lado da sonda, deve ser escolhido e preparado um lugar nas proximidades dela ou do conjunto das sondagens programadas, a fim de evitar a fragmentação das amostras durante o transporte.

A fase de campo também envolve a selecção de amostras para estudo micropetrográfico e ensaios de laboratório. Quando for retirada uma amostra, além de acondicioná-la convenientemente e etiquetá-la com todos os dados necessários para a sua correcta identificação e quaisquer outros elementos julgados necessários para a interpretação dos resultados de estudos posteriores, é fundamental deixar na caixa dos testemunhos um cartão, indicando a data da retirada da amostra, suas dimensões e estado, o nome do responsável pela retirada e com que finalidade foi levada. O cartão é deixado na posição em que a amostra extraída se encontrava.

Imediatamente antes do estudo dos testemunhos, eles devem ser fotografados caixa por caixa, a cores; cada detalhe julgado de interesse (zonas de alteração ou decompostas, contactos, inclusões, granulação e textura, diaclasamentos mais importantes, preenchimentos, etc.), também deve ser fotografado.

Durante o trabalho de descrição, convém que o geólogo tenha consigo os boletins de perfuração preenchidos pelo sondador para confronto e referência.

A fase de escritório se concentra na descrição micropetrográfica das amostras seleccionadas no campo e na execução de ensaios de laboratório (solos e rochas). Normalmente tem lugar aí o estudo petrográfico por lâminas delgadas das diferentes rochas colectadas, visando a perfeita caracterização de cada uma, a identificação de seus minerais constituintes e o estudo microscópico dos processos de alteração que eventualmente estejam tendo lugar. Os solos amostrados são classificados em laboratório e a sua mineralogia é estudada através de microscópio binocular. Esta fase inclui ainda a manipulação das medidas efectuadas durante os trabalhos de campo e escritório e o confronto da descrição macroscópica com a microscópica.

A descrição final dos testemunhos de sondagem será a síntese dos estudos de campo e de gabinete. Apresenta-se em seguida os diversos aspectos considerados na descrição dos testemunhos, acompanhados de uma rápida discussão sobre os critérios adoptados e as técnicas empregadas na observação de cada um deles.

#### 2.4.1 – Sondagens percussivas

As amostras colhidas nas sondagens à percussão para fins de Engenharia Civil, em regra, são solos. A descrição, portanto, consiste na classificação dos diversos solos atravessados, no estudo da mineralogia, granulação, cor e resistência (através dos ensaios de penetração).

A classificação macroscópica de um solo é sempre imperfeita, já que os sistemas de classificação consagrados envolvem parâmetros de difícil avaliação macroscópica. Recomenda-se portanto que o programa de sondagens especifique de antemão uma quantidade mínima de solo para cada amostragem, compatível com a quantidade necessária para os ensaios de laboratório preconizados no sistema adoptado (Casagrande, HRB, etc.), os quais devem ser realizados sempre que a amostra represente realmente o terreno atravessado.

Todavia, deve-se fazer uma classificação de campo expedita para cada amostra, determinar a sua cor, tal como se encontra no campo, de acordo com a carta de solos, e estimar a sua plasticidade através de testes de campo.

Em laboratório, a amostra enviada deve ser analisada ao microscópio binocular e ensaiada (granulometria e limites). Sempre que se desconfiar da representatividade da amostra, o facto deve ser assinalado, bem como os motivos de suspeita.

Os resultados desses exames são lançados, posteriormente, no diagrama de sondagem à percussão.

#### 2.4.2 – Sondagens rotativas

A descrição macroscópica deve abordar cuidadosamente os seguintes aspectos:

##### – 1. Classificação litológica

A classificação das diversas rochas atravessadas deve ser tão precisa quanto possível, mas só até onde se pode ir com certeza. Além disso, a nomenclatura deve ser uniforme e obedecer a um critério definido.

Nunca é demais enfatizar a importância de uma classificação petrográfica precisa e adequada. Eventuais discrepâncias entre a classificação macroscópica e microscópica podem ocorrer; nestas circunstâncias, a petrografia microscópica deve dar a última palavra.

É preciso muito critério na escolha das amostras para estudos de gabinete. O número delas depende da complexidade petrográfica da rocha amostrada, dos objectivos do estudo e da variação mineralógico-textural observada, além da presença ou não de acidentes geológicos que possam exercer influência na rocha.



## – 2. Cor

A cor de uma rocha é, ao mesmo tempo, uma das suas propriedades mais evidentes e também uma das difíceis a definir, visto que o conceito de cor é muito pessoal.

Entretanto esta dificuldade já se encontra resolvida há algum tempo, pela publicação da Carta das Cores (Color Chart), pela Geological Society of America. Nela, uma grande quantidade de cores e matizes está representada, tendo um número associado a cada nome. A identificação faz-se por comparação e a definição pelo nome seguido do número correspondente entre parênteses.

Vale lembrar aqui que a cor exibida por uma rocha tem conotações geológicas, seja devido à natureza e grau de intemperismo, seja pelo ambiente de deposição ou meio de transporte (no caso de sedimentos), etc. Uma coloração marrom, por exemplo, pode ser devida à oxidação e hidratação da biotita, ou granada e/ou outros minerais que contêm ferro.

Recomenda-se, por isso, a adopção de uma carta de cores para a definição correcta desta característica.

– 3. Alteração de uma rocha é o conjunto de modificações físicas e químicas, desencadeadas por agentes naturais, que tem lugar na rocha como resposta às novas condições físico-químicas a que se encontra submetida e que são diferentes daquelas existentes quando da sua génese. A alteração traduz-se por decomposição química e/ou desagregação física e, nos projectos de engenharia civil, estes dois aspectos têm grande importância.

Assim, os objectivos da análise, no que tange à alteração são: (1) caracterização do estado de alteração da(s) rocha(s) para cada profundidade amostrada; (2) agrupamento desses diversos estados em graus distintos e de diferentes intensidades de alteração; (3) estudo dos diferentes estados de alteração apresentados pelos diversos minerais da(s) rocha(s), com o fim de caracterizar a(s) sua(s) alterabilidades(s); (4) estudo e definição dos diversos processos de alteração que têm lugar. Os itens 1 e 2 são executados macroscopicamente e microscópicamente, enquanto os itens 3 e 4, só microscópicamente.

A experiência do autor tem mostrado ser preferível classificar o grau de alteração segundo estágios mais amplos, onde haja um número apreciável de modificações físicas e/ou químicas de um estágio para o outro, do que tentar dividir em inúmeras etapas com fronteiras subtis e pouco nítidas. Tal conduta, se por um lado não compromete a segurança das obras de engenharia que se

pretende projectar, por outro lado evita a imprecisão proveniente do uso de termos ambíguos e de pouco significado físico e remove as dificuldades de definição do grau de alteração de rochas de granulação muito fina ou contendo minerais que se pigmentam intensamente à mais leve alteração, dando a impressão de se encontrar o processo em adiantado estado.

Em vista disso, propõe-se que a alteração de uma rocha seja caracterizada pelo estado de alteração dos minerais que a constituem e classificada segundo um dos quatro estágios a seguir descritos, que envolvem critérios macroscópicos:

a) Rocha fresca – caracterizada por não apresentar indícios nítidos de alteração. Os minerais apresentam as faces com o brilho que lhes é característico ou levemente foscas.

b) Rocha medianamente alterada – neste estágio, embora os minerais ainda se encontrem aglutinados, nota-se que eles exibem sinais evidentes de ataque químico, sendo que alguns já mostram superfícies pulverulentas. A alteração faz-se sentir em todo o volume do testemunho.

c) Rocha muito alterada – nesta fase os minerais já se encontram intensamente alterados, desagregando-se com relativa facilidade. Há um grande número de minerais pulverulentos.

d) Rocha decomposta – é a chamada «rocha podre». O testemunho fragmenta-se com pressão dos dedos e a rocha neste estágio apresenta todos os minerais completamente decompostos (excepto o quartzo) e da textura e estrutura originais só guarda relíquias.

#### – 4. Textura

A textura de uma rocha é função das condições físico-químicas em que ela se formou e é o conjunto de características relacionadas com o tamanho, forma e grau de cristalização dos minerais que a constituem e as relações geométricas que estes guardam entre si.

A textura é fundamentalmente um conceito micropetrográfico que pode ser estendido, com perda de detalhe, para o estudo macroscópico de uma rocha. Isto quer dizer que a identificação macroscópica da textura de uma rocha extrusiva de granulação muito fina é muito menos precisa (e, conseqüentemente, mais genérica) do que a observação da textura de, por exemplo, um pegmatito; e mesmo nesta rocha, certos detalhes das relações geométricas existentes entre os constituintes menores passarão despercebidos.

A classificação macroscópica deve basear-se principalmente no tamanho absoluto e relativo dos minerais constituintes, na homogeneidade ou não deste

tamanho e, sempre que compatível com as limitações da lupa, o grau de cristalinidade dos minerais.

A terminologia deve envolver um pequeno conjunto de termos claros e de fácil compreensão. A classificação micropetrográfica é muito mais rica e precisa, mas também é especializada e de difícil entendimento para os não especialistas.

#### – 5. Estrutura e outros aspectos tectónicos

É o conjunto de características conspícuas apresentadas pela rocha. A estrutura é um conceito fundamentalmente macroscópico, embora algumas vezes seja confundido com o de textura, devido à fronteira mal definida que existe entre eles.

Na descrição dos testemunhos, as seguintes feições, quando presentes, devem ser observadas quanto às características e orientação espacial: lineações, xistosidade, massividade, compartimentação (diaclasamentos), planos de estratificação e acamamentos, vesículas, etc.

Nem sempre é possível medir ou determinar as orientações devido às limitações da amostragem (não se sabe a posição original do testemunho). Modernamente já existe um conjunto de técnicas para resolver este problema, através de fotografia orientada, câmaras de televisão e electoresistividade. Neste campo, o método da amostragem integral desenvolvido por ROCHA (1971), representa o processo mais aperfeiçoado disponível no momento, permitindo não somente obter amostras orientadas mas também possibilitando estudar cada feição aproximadamente como se encontrava em subsuperfície. De qualquer modo, é imprescindível que a orientação do testemunho «in situ» resulte bem determinada.

O conhecimento da compartimentação tem grande interesse para os projectos de Engenharia, permitindo extrair indicações importantes para o estudo da deformabilidade e permeabilidade dos maciços rochosos. Ele consiste em medir a atitude de cada superfície de compartimentação, determinar a sua condição local e, sempre que possível, informar sobre a sua forma.

A medição da orientação espacial já foi discutida acima. Entretanto, se não for possível obter amostras orientadas, deverão, pelo menos, ser medidos os mergulhos dos planos de compartimentação.

A condição local de uma diaclase pode ser satisfatoriamente descrita como aberta, fechada ou preenchida. No primeiro caso, os dois fragmentos de testemunho por ela separados não apresentam superposição exacta e a superfície de ambos mostra-se alterada; nestes casos é conveniente estimar a abertura. Nos

diaclasamentos fechados só se vê a rachadura da diaclase ou, quando houve ruptura devido à perfuração, verifica-se superposição entre os pedaços partidos; as superfícies podem estar frescas ou profundamente alteradas. No caso de diaclase preenchidas, convém registar sempre que possível a natureza, espessura e consistência deste enchimento. As sondagens que empregam o método da amostragem integral oferecem testemunhos orientados e nos quais se pode medir a abertura das diaclases abertas e estudar o preenchimento, quando este existe.

O exame das superfícies de ruptura deve abordar o grau de alteração, a forma (plana, curva, irregular) e, grosseiramente, a rugosidade (untuosa, macia ou áspera).

Sempre que se suspeitar de perda de fragmentos do contacto entre as duas partes ou do preenchimento de uma diaclase é muito importante assinalar o facto.

A presença de falhas, microdobras, planos de clivagem tectónica, microfragmentação e outros acidentes deve ser anotada, descrevendo-se as evidências observadas (estrias, cataclase, etc.).

#### – 6. Secção geológica esquemática

Uma vez descritos os testemunhos, é possível elaborar uma secção geológica dos terrenos atravessados pela sondagem a fim de possibilitar uma visão de conjunto da geologia sub-superficial da área.

### 2.5 – Observações quanto à qualidade e limitações dos dados

A análise, idealmente, deveria ser factual. Contudo, nem sempre o material observado apresenta características bem definidas, exigindo muitas vezes que o geólogo que o está analisando recorra à sua experiência ou conhecimento da área. Noutras condições, as medições efectuadas são imprecisas, obrigando a aproximações ou até mesmo rejeição delas.

Assim, durante o trabalho de análise dos dados de uma sondagem, há que avaliar constantemente as evidências de que se dispõe, registando todos os detalhes referentes à qualidade ou limitações das medidas e observações, para que sejam devidamente consideradas durante a interpretação.

### 2.6 – Ensaios

Durante a realização das sondagens deve-se separar amostras do material para ensaios de laboratório com vista à sua classificação exacta.

Quando se realizam, os ensaios sobre amostras de espécimes rochosos em laboratório são geralmente os de determinação do índice de absorção, expansibili-

dade e peso específico. Dependendo do estudo que se realiza, podem ser feitos também ensaios de compressão uniaxial.

Muitas vezes, sobre as amostras de solo realizam-se ensaios de identificação e classificação, nomeadamente granulometria e limites de Atterberg

### 3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA

#### 3.1 – Generalidades

Os dados provenientes das sondagens, depois de devidamente analisados, são transcritos em impressos especiais, denominados diagramas de sondagens. Tais diagramas devem constituir um autêntico inventário das informações extraídas das sondagens e tanto a sua forma como conteúdo são extremamente variáveis, dependendo principalmente da conveniência e especialização das entidades executoras.

#### 3.2 – Características e constituição dos diagramas

Um diagrama de sondagem depende do tipo de sondagem realizada, dos seus objectivos e da natureza do estudo a que se destina, porém todos eles devem ter em comum as seguintes características:

- abranger todas as informações possíveis de serem obtidas através de uma sondagem, sintetizando, dessa forma, os conhecimentos adquiridos com a sua execução;
- possuir as partes constituintes distribuídas de tal maneira que seja possível localizar rápida e precisamente qualquer elemento;
- apresentar todos os seus componentes esteticamente dispostos.

As figuras 1 e 2 representam modelos destes diagramas, propostos pelo autor, para sondagens percussivas e rotativas respectivamente, capazes de conter todos os dados que se pode extrair deste tipo de investigação sub-superficial, de acordo com a orientação do presente artigo.

### 4 – INTERPRETAÇÃO

#### 4.1 – Generalidades

Na maior parte dos casos, o trabalho de investigação sub-superficial por sondagens mecânicas é dado por completo com a apresentação dos diagramas correspondentes e algumas informações sobre as metragens perfuradas. Ora, o especialista em sondagens é quem as executa e não o cliente que as requisitou,

*Fig. 1 – Modelo de diagrama de sondagem percussiva*



de modo que o primeiro deve interpretar as informações colhidas através das sondagens.

A interpretação, realizada sobre os dados resultantes da análise, é a fase em que se compõe o panorama geológico revelado pelas sondagens e o seu significado para o projecto, permitindo que se estabeleçam conclusões e se formulem sugestões. Assim, compõe-se ela das seguintes etapas:

- estudo estatístico das feições analisadas e dos resultados dos diversos ensaios efectuados;
- caracterização da natureza e estado geral dos solos e substrato rochoso;
- estimativa, com base nos dados das sondagens, das características construtivas dos diferentes materiais;
- estabelecimento de regiões críticas;
- discussão das possíveis influências das técnicas de perfuração e amostragem empregadas e do método de estudo adoptado nos resultados atingidos.

Aqui se procurará examinar rapidamente cada uma das etapas apresentadas.

#### 4.2 – Estudo estatístico das feições analisadas e dos resultados de ensaios

O primeiro passo na interpretação dos elementos resultantes de uma campanha de sondagens é o seu estudo estatístico, desde que a quantidade de dados associada à grande variação de seus valores não permita que eles sejam examinados globalmente sem tal tratamento.

A aplicação destas técnicas, envolvendo o estabelecimento de valores de medidas de tendência central e dispersão, coeficientes de confiabilidade e inferências estatísticas para a região interessada a partir dos dados das sondagens, deve interessar cada sondagem isoladamente e o conjunto delas, apreciando-se, entre outras, as seguintes feições:

##### 4.2.1 – Solos

- granulometria
- limites de liquidez e plasticidade
- índice de recuperação
- índice de penetração (inicial e final)

##### 4.2.2 – Rochas

- índice de recuperação e RQD



- índice de fragmentação
- estudo do diaclasamento (representação estereográfica, identificação de famílias, natureza e abertura)
- velocidade de avanço e de rotação da coluna de hastes.

#### 4.2.3 – Rochas e Solos

- coeficientes de permeabilidade
- tendências de comportamento hidrogeológico a partir dos resultados dos ensaios Lugeon.

#### 4.3 – Caracterização da natureza e estado dos solos e substrato rochoso

A aplicação dos métodos estatísticos às diversas feições analisadas fornece novos elementos que, conjugados aos resultados da análise, permitem caracterizar geologicamente a região estudada, comparar as propriedades apresentadas pelos diversos tipos de solo e rocha presentes e estudar as variações espaciais.

#### 4.4 – Estimativa de características construtivas

A interpretação dos resultados de uma campanha de sondagens abrange, em grau de detalhamento compatível com os dados disponíveis, informações sobre as características construtivas, de interesse para o empreendimento em estudo, que podem ser esperadas dos diferentes materiais amostrados.

Para fazer estas estimativas, investiga-se as diversas feições apresentadas pelos diferentes tipos de solos e rochas que de algum modo se relacionem com as características em exame. Por exemplo, ao se tratar das condições de injectabilidade de um maciço rochoso são e fissurado, analisa-se os coeficientes de permeabilidade e a compartimentação (intensidade, natureza e orientação espacial) e, com base neles, indica-se a orientação mais conveniente para os furos de injeção, discute-se a necessidade ou não de se realizar uma lavagem prévia com água sob pressão e estuda-se a influência que o preenchimento das diaclases pode ter nos resultados desejados.

Como se disse, as características focalizadas são função do tipo da obra que se vai realizar. Todavia, quase sempre se faz estimativas sobre as seguintes características:

- a) para os solos:
  - espessura média e volume de escavação da camada de solo vegetal;
  - escavabilidade dos diversos tipos presentes;

- estabilidade e erodibilidade em cortes;
- possibilidade de escorregamentos;
- expansibilidade e possibilidade de recalques;
- condições de drenagem;
- permeabilidade;
- qualidade como aterro e suporte de fundação;
- injectabilidade.

b) para as rochas:

- volumes de rocha alterada e decomposta;
- escavabilidade dos diversos estados de alteração da rocha;
- estabilidade em cortes
- permeabilidade e injectabilidade;
- qualidade como suporte de fundação;
- qualidade como agregado.

Estes dados são muito úteis para a tomada de decisão pelo projectista e para a etapa seguinte, onde se delimitam as zonas mais desfavoráveis da região estudada.

#### 4.5 – Estabelecimento de trechos críticos

Entende-se por trechos críticos as porções da região estudada que possuem um conjunto de características desfavoráveis e que podem comprometer, nestas porções, a estabilidade da obra que se pretende construir. Por esta razão, é conveniente verificar a possibilidade de tais trechos existirem na área investigada através dos dados resultantes da realização das sondagens.

O estabelecimento destes trechos críticos tem por objectivo chamar a atenção do projectista para as áreas assinaladas e definir zonas prioritárias para investigações mais detalhadas. Na definição destes trechos, dois problemas se põem: (1) até onde podem ser extrapolados os dados da sondagem para a região interessada ao estudo e (2) quais as feições geológicas que serão consideradas.

Pode-se estabelecer que a região do espaço para a qual cada sondagem pode ser considerada como representativa é arbitrada em função do número e espaçamento do conjunto de sondagens e da complexidade da geologia local, enquanto as condições geológicas a investigar são função da natureza da obra.

#### 4.6 – Exame da influência das técnicas de perfuração e dos métodos de estudo nos resultados obtidos

Por fim, interpretados todos os resultados, tem lugar a avaliação do trabalho realizado e dos resultados obtidos através da crítica da adequabilidade, limitações e imprecisões das técnicas de perfuração e amostragem empregadas e do método de estudo aplicado em face das imperfeições e deficiências apontadas durante a análise.

O trabalho tem grande interesse, visto que permitirá explicar ou confirmar eventuais valores anômalos, justificar a ausência de informações mais completas em determinada manobra e esclarecer acidentes ocorridos durante a perfuração. Ainda dentro desta crítica deve ser feita referência à confiabilidade dos resultados apresentados.

Dentre os diversos tópicos que são abordados nesta revisão crítica, devem ser destacados:

- precisão das medidas efectuadas nos diversos ensaios;
- perturbações e representatividade das amostras de solo colhidas;
- condições de execução dos ensaios de permeabilidade;
- prováveis causas de baixa recuperação em manobras;
- precisão da localização do contacto solo/rocha decomposta e da delimitação dos diversos estados de alteração presentes;
- condições de determinação da atitude espacial de camadas de rocha, diques, falhas e diaclases;
- medições da profundidade do lençol freático;
- rendimento técnico do equipamento usado;
- modificações introduzidas no programa de trabalho.

#### 4.7 – Conclusões e sugestões

Em face dos resultados atingidos, apresentam-se conclusões sobre a adequabilidade do local escolhido para a obra e os tipos de problemas que podem surgir por causa das condições geológicas presentes. São ainda formuladas sugestões referentes a estudos mais específicos em determinados locais ou a providências a tomar na elaboração do projecto.

Estas conclusões e sugestões, bem como todos os diagramas, comentários interpretativos, ilustrações (secções geológicas, blocos diagramas, etc.) e demais informações pertinentes são apresentados em um relatório final das investigações sub-superficiais levadas a efeito.

## INFORMAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES BARROS, L. A., 1968 – Petrologia e Petrografia de Rochas Ígneas – Alteração e Alterabilidade, Rel. Int. 5415/2654, LNEC, Lisboa.
- BOGOMOLOV, G. V.; SLIN-BEKTCHOURINE, R. I., 1959 – Hidrogéologie Spécialisée. Annales du Service d'Information Géologique, No. 37, Moscou.
- CAMBEFORT, H., 1926 – Perforaciones y Sondeos. Ediciones Omega, Barcelona.
- DEERE, D. U., 1963 – Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes, Rock Mechanics and Engineering Geology, vol. 1, n.º 1, pp. 16-22.
- DEERE, D. U., 1969 – Geological Considerations. In: Stagg, K. G. e Zienkiewicz, O. C. (Editors), Rock Mechanics in Engineering Practice, John Wiley, London.
- ROCHA, M., 1971 – Método para Amostragem Integral de Maciços Rochosos, Memória n.º 374, LNEC, Lisboa.
- SERAFIM, J. L.; SEABRA, F., 1962 – Reconhecimento de Maciços Rochosos por Sondagens para o Estudo de Fundações de Barragens, Memória n.º 189, LNEC, Lisboa.
- LNEC, 1971 – Termos de Petrografia mais utilizados em Engenharia Civil, LNEC, Lisboa.
- LNEC, 1967 – Termos de Tectónica mais utilizados em Engenharia Civil, LNEC, Lisboa.
- LNEC, 1968 – Prospeção geotécnica de terrenos – Especificações n.ºs 218, 219 e 220, LNEC, Lisboa.