

7. ENSAIOS IN SITU

7.1 INTRODUÇÃO

É frequente acompanhar os trabalhos de prospecção mecânica com a execução de ensaios realizados “in situ” para caracterização dos maciços, uns efectuados praticamente em simultâneo com aqueles e outros posteriormente à sua realização.

Alguns ensaios realizam-se quase de forma sistemática, como é o caso dos ensaios de penetração dinâmica ou estática, associados em regra a sondagens realizadas em maciços terrosos; outros, como os ensaios de permeabilidade, de deformabilidade ou de determinação de estado de tensão, realizam-se apenas quando os trabalhos de prospecção visam esclarecer especificamente estas características, como nos casos, por exemplo, de fundações de barragens, de cavidades subterrâneas, etc.

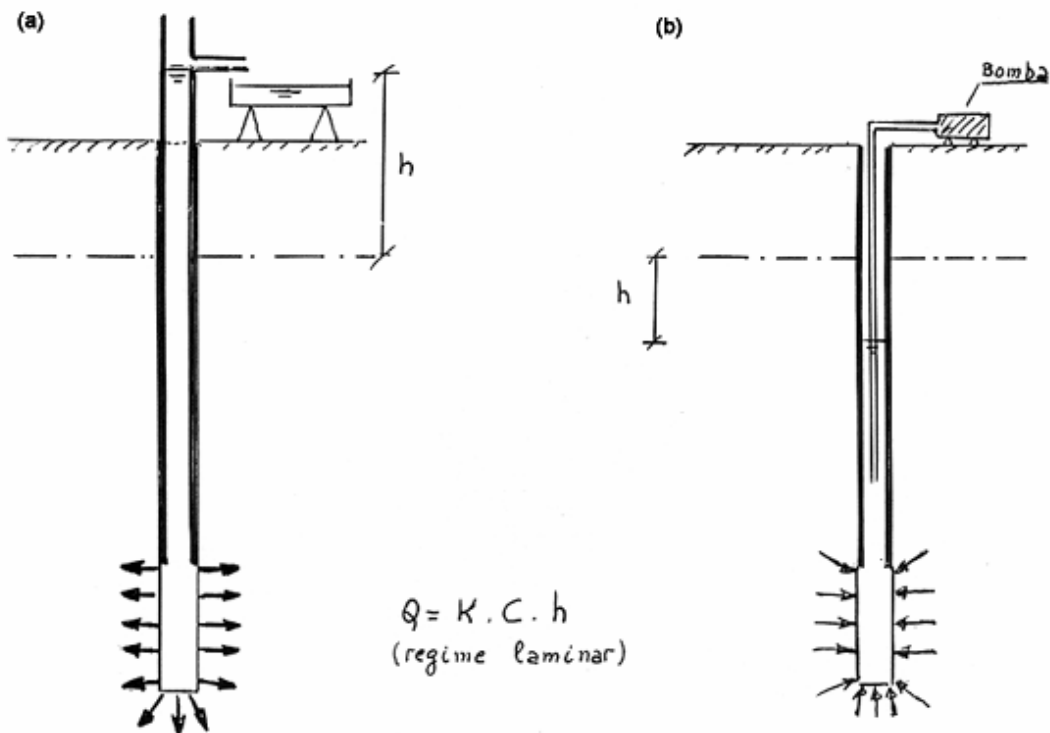
Faz-se neste texto referência aos ensaios ‘in situ’ associados aos trabalhos de prospecção que vulgarmente se realizam com a finalidade de completar o zonamento geotécnico do maciço interessado por determinada obra. Conforme já referido em capítulos anteriores, o zonamento dum maciço deverá ter em atenção o funcionamento da obra em análise e o tipo de terreno onde aquela se insere. Os parâmetros geotécnicos mais correntemente objecto de estudo através dos ensaios “in situ” são os relativos à caracterização da permeabilidade, da deformabilidade, de resistências e do estado de tensão “in situ”.

7.2 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

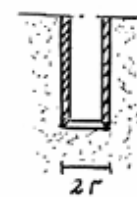
7.2.1 Ensaios de Permeabilidade em Solos

O ensaio que está mais vulgarizado na determinação da permeabilidade “in situ” de formações terrosas é o ensaio designado por Lefranc, realizado em furos de sondagem e no decorrer da realização destas, embora em certas situações o ensaio de bombeamento em poços dê informações com muito interesse.

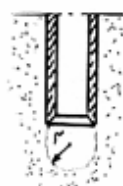
O ensaio Lefranc é feito normalmente a diversas profundidades. Consiste em introduzir ou bombear água numa cavidade de forma fixa, esta situada a uma determinada profundidade do terreno em relação ao qual se pretende conhecer a permeabilidade. Este ensaio pode ser feito com carga hidráulica constante ou variável.



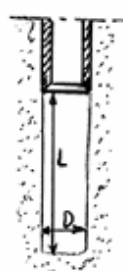
C : coeficiente de forma relativo à cavidade



$C = 5,7 \cdot r$



$C = 4 \cdot \pi \cdot r$



$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot D \cdot \sqrt{\frac{L^2}{D^2} - 1}}{\ln\left(\frac{L}{D} + \sqrt{\frac{L^2}{D^2} - 1}\right)}$$

se $L \gg D$

$$C = \frac{2 \pi L}{\ln \frac{2L}{D}}$$

Figura 7.1 - Ensaio de permeabilidade do tipo Lefranc com carga constante.

No ensaio com carga hidráulica constante introduz-se (Figura 7.1a) ou bombeia-se (Figura 7.1b) um caudal constante na cavidade de forma a verificar-se a estabilização do nível aquífero na sondagem.

A interpretação dos ensaios baseia-se em certas hipóteses simplificativas, nomeadamente, que o escoamento é laminar (campo de aplicação da lei de Darcy), que o meio é isotrópico e homogéneo e que o regime de escoamento é permanente. Nestas condições, o caudal Q é proporcional à permeabilidade, caracterizada pelo coeficiente k , e à carga hidráulica h :

$$Q = k.C.h$$

em que C é um coeficiente característico da forma da cavidade.

A carga hidráulica é dada pela altura de água no furo acima do nível freático (a carga é considerada nula antes do ensaio). A posição do nível freático, no entanto, nem sempre é de fácil determinação o que dificulta a obtenção razoavelmente correcta do coeficiente de permeabilidade.

Para minimizar os erros no cálculo do coeficiente de permeabilidade é conveniente que se possa garantir com boa aproximação a forma da cavidade, preferencialmente cilíndrica, quer utilizando tubagem crepinada no trecho a ensaiar que simultaneamente mantém estáveis as paredes do furo e permite o afluxo de água ao maciço sem grandes perdas de carga, quer previamente introduzindo seixo grosso no trecho final do furo levantando depois a tubagem na altura respectiva. Com frequência o trecho de ensaio tem comprimento entre 0,5 e 1 m.

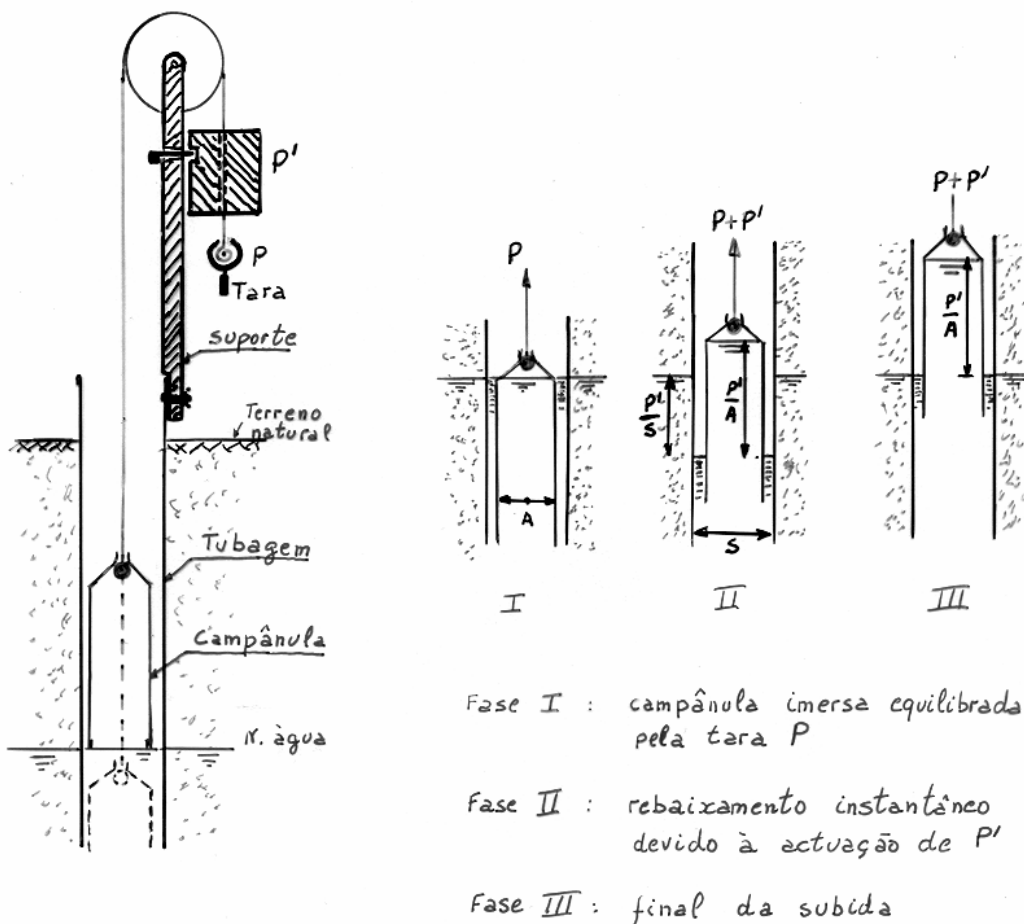
Na Figura 7.1 apresentam-se algumas expressões para a determinação do valor de C . No caso da cavidade cilíndrica, sempre que a relação L/D (comprimento/diâmetro) do trecho ensaiado é superior a 2, aceita-se como razoável o valor do coeficiente C determinado pela fórmula simplificada:

$$C = \frac{2pL}{\ln \frac{2L}{D}}$$

No ensaio com carga hidráulica variável introduz-se ou bombeia-se um dado volume de água na cavidade e registam-se as variações de nível piezométrico no furo de sondagem ao longo do tempo. Este tipo de ensaio é, em geral, realizado em solos pouco permeáveis ($k < 10^{-4}$ cm/s). Na Figura 7.2 representa-se, em esquema, o dispositivo de Brillant com o qual é possível fazer a determinação do coeficiente de permeabilidade quando a carga h é variável ao longo do tempo t e apresenta-se a fórmula teórica geralmente utilizada para a determinação do coeficiente de permeabilidade quando se realizam este tipo de ensaios em furos de sondagem cuja área transversal é representada por S .

Em termos comparativos, é de referir que os ensaios realizados com carga hidráulica constante são de realização trabalhosa mas dão resultados fáceis de interpretar. Os ensaios com carga variável são de realização muito simples mas a interpretação dos resultados não é, em regra, fácil.

Uma das dificuldades na interpretação dos resultados dos ensaios Lefranc resulta de que, em regra, não se determina separadamente o coeficiente de permeabilidade vertical e horizontal, já que, quer no caso de cavidade cilíndrica, quer no caso de cavidade esférica, o coeficiente de permeabilidade que se determina é um coeficiente misto, afectado pela permeabilidade vertical e horizontal. Esta circunstância tem tanto mais importância quanto menos isotrópico e homogêneo for o terreno onde se pretende determinar a permeabilidade.



$$h = h_0 \cdot e^{-\frac{k \cdot C}{s} (t - t_0)} \Rightarrow k = \frac{s}{C(t - t_0)} \cdot \ln \frac{h_0}{h}$$

Figura 7.2 - Ensaio de permeabilidade do tipo Lefranc (dispositivo de Brillant) com carga variável.

7.2.2 Ensaio de Permeabilidade em Maciços Rochosos

Do ponto de vista hidráulico, o escoamento num maciço rochoso difere em geral bastante do que é observado num meio poroso. Tal deve-se essencialmente à forma e dimensões dos vazios por onde circula a água, poros num caso, descontinuidades (fissuras) no outro. O grau de abertura destas descontinuidades e a carga geram escoamentos por vezes com velocidades elevadas. O escoamento pode tornar-se turbulento, o que invalida a aplicação da lei de Darcy. Por outro lado as hipóteses, correntes no caso de meios porosos, da homogeneidade e da isotropia da permeabilidade não são admissíveis em maciços rochosos.

Na prática, estas condições particulares dos maciços rochosos deveriam obrigar a que os ensaios fossem realizados de forma a caracterizar a permeabilidade nas várias direcções do espaço (ensaios tridimensionais). Infelizmente não é fácil a execução deste tipo de ensaios, pelo que se aceita não mais do que estimar os valores médios e aproximados da permeabilidade através de métodos empíricos baseados em ensaios tais como o ensaio Lugeon¹. A validade dos resultados obtidos deve ser considerada relativa e depende grandemente da seriedade e dos cuidados colocados durante a execução dos trabalhos.

O ensaio Lugeon consiste na injeção (radial) de água sob pressão num certo trecho de um furo de sondagem e na medição da quantidade de água que entra no maciço rochoso durante um certo tempo, a uma dada pressão de injeção, depois de estabelecido um regime de escoamento permanente. A realização do ensaio em vários degraus de pressão, crescentes e decrescentes (vulgarmente com sequência do tipo $P_1, P_2 = 2P_1, P_3 = 2P_2, P_2, P_1$), permite traçar curvas *caudal versus pressão* ($Q-P$) que dão informação quanto ao regime de percolação do maciço e quanto ao estado e tipo de fracturação nas vizinhanças do trecho ensaiado.

A tendência para normalização levou a que, em regra, o ensaio Lugeon seja realizado nas mesmas condições, independentemente do tipo e dimensão das obras que vão ser fundadas no maciço respectivo. Apareceu assim a unidade Lugeon que corresponde ao valor médio da absorção de 1 litro por minuto e por metro de furo, para um patamar de injeção com a duração de 10 minutos em que a pressão de injeção da água se mantém estabilizada no valor de 1 MPa. A 1 unidade Lugeon corresponde um valor de k entre 1×10^{-5} e 2×10^{-5} cm/s para sondagens de diâmetros entre 5 e 10 cm.

A experiência mostrou que para valores de coeficiente de absorção inferiores a uma unidade Lugeon é impossível injectar qualquer calda de cimento, pelo que foi considerado que um maciço rochoso é “impermeável” sempre que a permeabilidade é inferior a 1 Lugeon.

¹ O ensaio referido é vulgarmente realizado em furos de sondagem em maciços rochosos e tem a designação de ensaio Lugeon em homenagem ao geólogo suíço Maurice Lugeon que o desenvolveu, no início do século XX, para responder aos problemas postos pela construção das primeiras barragens de certa importância.

Em regra, estes ensaios vão sendo realizados à medida que o furo vai prosseguindo, em trechos de comprimento variável conforme a permeabilidade do maciço e a capacidade da bomba de injeção, mas mais vulgarmente em trechos com 5 m ou 3 m de comprimento. Neste caso, o limite inferior do trecho é o fundo do furo, no momento do ensaio, e o limite superior definido pela posição de um obturador de couro ou borracha (Figura 7.3a) que tem por missão impedir que a água injectada no furo se escape entre o obturador e a parede respectiva. Convém que o obturador seja suficientemente comprido (entre 0,5 e 1 m) de forma a garantir uma boa vedação do troço do furo. Quando o ensaio é realizado num trecho intermédio do furo de sondagem utiliza-se um obturador duplo (Figura 7.3b), ou em casos especiais um obturador quádruplo (Figura 7.3c), que define os limites superior e inferior do trecho a ensaiar.

ENSAIO LUGEON

"1 LUGEON" = caudal de 1 litro por minuto e por metro de furo injectado num ensaio realizado à pressão estabilizada de 1 MPa e com a duração de 10 minutos

Nota: admitindo o maciço com comportamento idêntico a um meio homogéneo (solo) com a mesma absorção à pressão de 1 MPa:

$$\text{Se: } \left. \begin{array}{l} L = 100 \text{ cm} \\ D = 10 \text{ cm} \end{array} \right\} C = 209$$

$$h = 1 \text{ MPa} \approx 100 \text{ m} = 10^4 \text{ cm}$$

$$Q = 1 \text{ l/min} \approx 17 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

$$K = \frac{17}{209 \times 10^4} = 8 \times 10^{-6} \text{ cm/seg}$$

$$\approx 10^{-5} \text{ cm/seg}$$

A pressão de injeção de água é lida, em regra, num manómetro colocado à superfície, junto à boca do furo, e a quantidade de água absorvida é lida num contador vulgar ou, na sua falta, medida pela descida de nível num reservatório de secção conhecida. Calculadas as absorções em litros por minuto e por metro para cada patamar de pressões utilizado no ensaio, depois de proceder à respectiva correcção resultante das leituras das pressões se fizerem junto à boca do furo², traçam-se gráficos

² Para que as pressões utilizadas na elaboração dos gráficos sejam da ordem de grandeza das que solicitam o maciço na zona do ensaio, torna-se necessário fazer, em boa parte dos casos (nomeadamente em furos profundos em que o nível freático está bastante abaixo da superfície do terreno), uma correcção que é constituída por duas parcelas uma das quais, aditiva, corresponde à pressão resultante da coluna de água entre a boca do furo (onde está instalado o manómetro) e o

de “pressão” versus “absorção” ($Q-P$) que permitem avaliar o regime de escoamento que se instalou no maciço como consequência das características físicas e dimensões das discontinuidades interessadas.

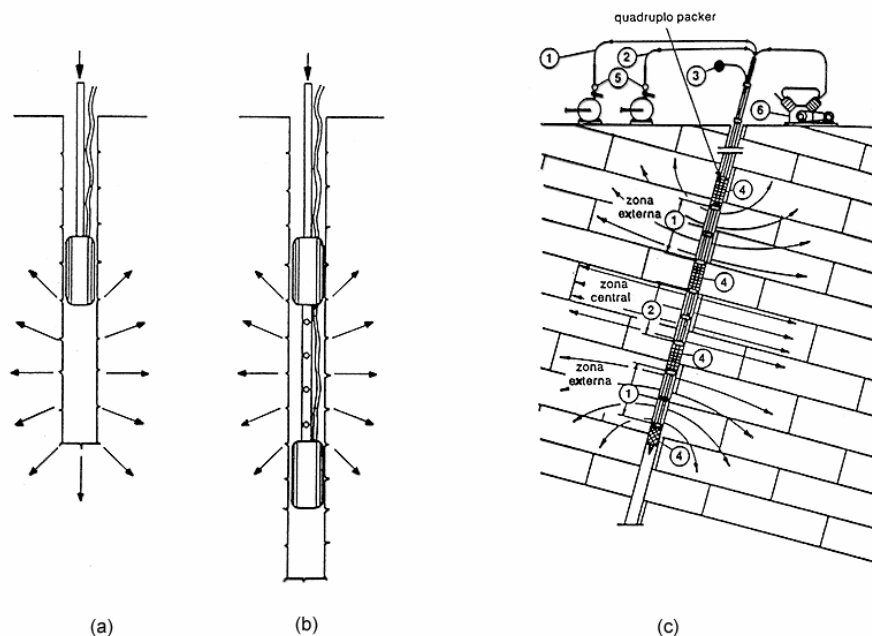


Figura 7.3 - Ensaio Lugeon: a) - obturador simples; b) – obturador duplo, c) – obturador quádruplo.

Desde que os ensaios tenham sido correctamente realizados, a informação obtida é de grande utilidade na definição do regime hidrogeológico do maciço e da sua fracturação, e no projecto dos trabalhos de impermeabilização dos maciços, quando considerados necessários. Feitas as correcções, os valores que se obtêm permitem, por um lado, ajuizar das características de permeabilidade do maciço e, conseqüentemente, a necessidade de tratamento de impermeabilização e, por outro, como se referiu, dar informações no que respeita ao regime de escoamento instalado.

Quando se verifica proporcionalmente entre os caudais e as pressões está-se na presença de um escoamento laminar (regido pela lei de Darcy ($v = k.i$)) que, no caso de maciços rochosos, é característico de discontinuidades pouco abertas ou preenchidas por materiais granulares. É o caso da Figura 7.4a onde se representa esquematicamente o resultado de um ensaio em que as discontinuidades ou não tinham enchimento ou o enchimento não foi sensível à percolação durante o ensaio.

nível freático e a outra, subtractiva, corresponde às perdas de carga através da canalização utilizada (diâmetro, rugosidade, caudal, etc.)

Casos há, no entanto, em que a injeção da água sob pressão conduz quer a colmatagem progressiva das discontinuidades por arrastamento de material (Figura 7.4b) e outros em que o aumento de pressão provoca arrastamento dos materiais de enchimento e, conseqüentemente, lavagem das discontinuidades (Figura 7.4c).

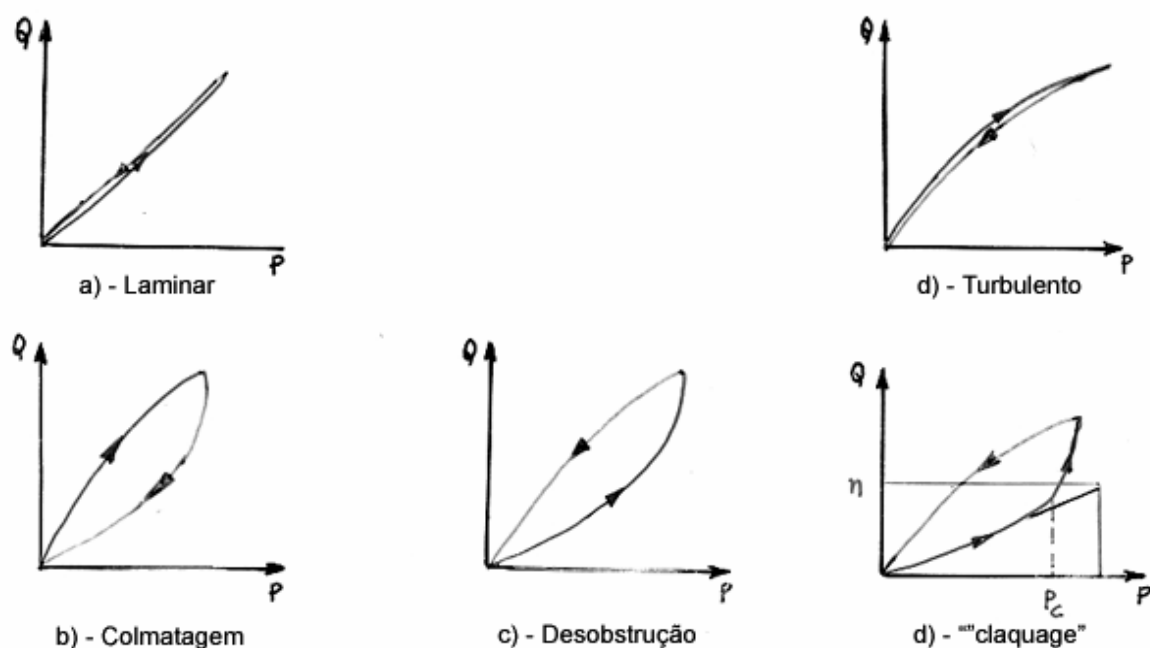


Figura 7.4 - Curvas típicas obtidas através de ensaios Lugeon.

Quando não há proporcionalidade na curva $Q-P$ está-se, em princípio, em presença de um escoamento turbulento, que é regido pela lei de Chezy quando os gradientes são proporcionais ao quadrado das velocidades ($v = k\sqrt{i}$) e a curva obtida é do tipo da representada na Figura 7.4d. No entanto, este resultado pode dever-se apenas à abertura elástica da fractura como consequência em certos casos da elevada pressão de injeção. Neste caso, há, em regra, quando se diminui a pressão, um retorno de água absorvida pelo maciço que se reflecte numa contra-pressão.

A mudança de curvatura, como a representada na Figura 7.4e, correspondente à situação de um incremento brusco do caudal a partir de determinada pressão, será representativo do fenómeno de fracturação hidráulica. Este fenómeno designa-se usualmente por "claquage" e está associado à criação de novas superfícies de descontinuidade geradas pelo incremento das pressões de injeção.

Dadas as características de percolação num maciço rochoso fracturado, facilmente se compreende que, muito mais do que no caso de ensaios de permeabilidade em maciços terrosos, a orientação adequada dos furos de sondagem onde são realizados os ensaios é indispensável para que os ensaios sejam de facto representativos. Erroneamente verifica-se, por vezes, que se pretende que ensaios de absorção de água realizados em furos de sondagem com a mesma inclinação da fracturação preponderante sejam informativos quanto à permeabilidade desse maciço.

7.3 ENSAIOS DE DEFORMABILIDADE

Para maciços terrosos os ensaios mais correntes são os ensaios de placa que se realizam, em regra, em galerias ou em poços e que consistem na aplicação de uma força a uma placa rígida da área estabelecida como mais conveniente, em função do tipo de solo e de natureza do problema. Este ensaio é com mais frequência realizado com vista à definição dos assentamentos que determinada formação vai sofrer em função das cargas a que vai ser submetida e utiliza-se em problema de fundações de edifícios, estradas, etc..

O módulo de deformabilidade do terreno pode obter-se a partir da seguinte fórmula:

$$E = \frac{P(1-u^2)}{2rd}$$

em que P é a pressão de ensaio, u o coeficiente de Poisson, r o raio da placa e d o assentamento verificado para a pressão P .

Para maciços rochosos, idêntico ensaio pode ser realizado, sendo os deslocamentos observados, em princípio, menores. Dado que a área de contacto no ensaio é, em regra, pequena e que há vantagem em determinar a deformabilidade dos maciços rochosos não só com solicitações de maior grandeza como também envolvendo volumes mais significativos para ter em conta a influência das heterogeneidades e descontinuidades, recorre-se com frequência à realização de ensaios em galerias e em poços onde as pressões são aplicadas nas paredes de um dos lados com recurso a macacos hidráulicos, servindo as paredes opostas como elemento de reacção do sistema de aplicação das cargas (Figura 7.5 e Figura 7.6).

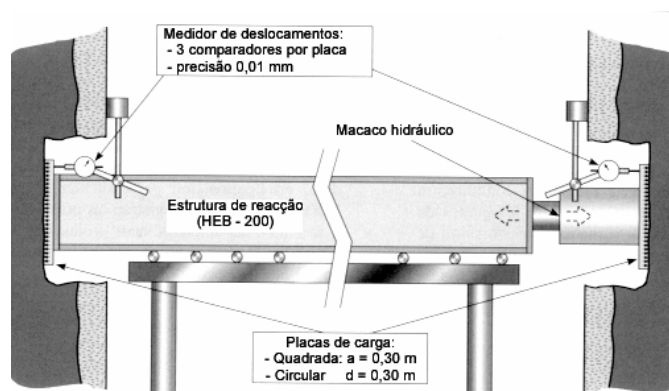


Figura 7.5 - Ensaio de deformabilidade em maciços rochosos. Exemplo de dispositivo para ensaio de placa com carga aplicada nas paredes de galeria.

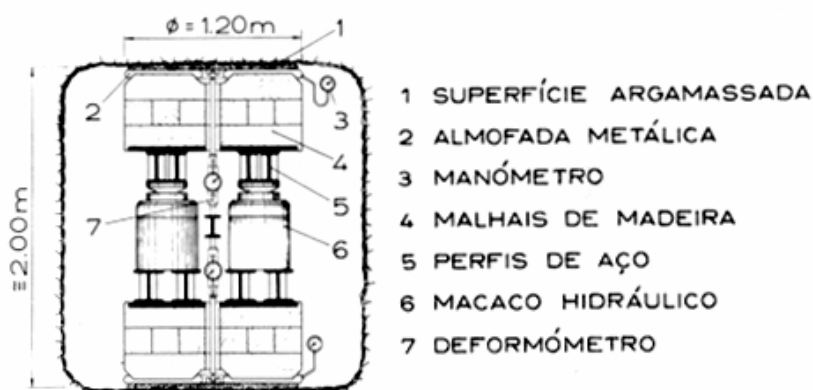


Figura 7.6 - Ensaio de deformabilidade em maciços rochosos. Esquema para ensaio de placa com carga aplicada na base e tecto de galeria.

Naturalmente quanto maior for a área de contacto da placa que transmite as pressões ao maciço rochoso, maior será o volume de terreno envolvido no ensaio e mais representativos do comportamento deformacional serão os resultados obtidos. No tipo de dispositivos representados na Figura 7.5 e Figura 7.6 as áreas das placas de carga raramente ultrapassam valores na ordem de 1 m^2 .

Um outro método para a determinação da deformabilidade dos maciços rochosos baseia-se na medição dos deslocamentos relativos das faces duma fenda aberta no maciço rochoso por meio dum disco diamantado de 1 m de diâmetro, sujeita a uma pressão uniforme aplicada por um macaco de

paredes finas³, deformáveis e de grande área, contendo no seu interior quatro defómetros com extensómetros eléctricos de resistência, que medem a variação de abertura da fenda (Figura 7.7). Estes macacos podem ser colocados em fendas abertas lado a lado (Figura 7.8) e ensaiados simultaneamente ou separadamente, permitindo interessar volumes suficientemente grandes para que sejam representativos do maciço rochoso.

Em qualquer dos ensaios atrás referidos para maciços rochosos é necessário aceder aos locais de ensaio (normalmente galerias ou poços) e proceder à preparação das superfícies onde irão ser aplicadas as cargas de forma a minimizar os erros que possam resultar da concentração de tensões como consequência de irregularidades das superfícies. Esses trabalhos de preparação e de execução do ensaio propriamente dito são demorados e caros pelo que só se justificam em face de projecto de obras importantes depois de bem definidas as características geotécnicas das diversas zonas do maciço interessado pelas obras. Daí que se tenha desenvolvido métodos que tiram partido dos furos de sondagem realizados normalmente em qualquer campanha de prospecção de maciços.

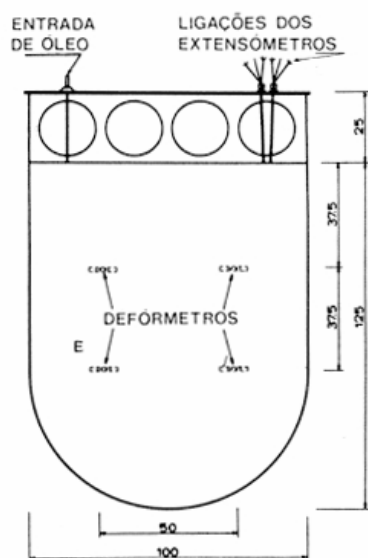


Figura 7.7 - Macaco plano de grande área e localização dos defómetros.

³ LFJ – Large Flat Jack

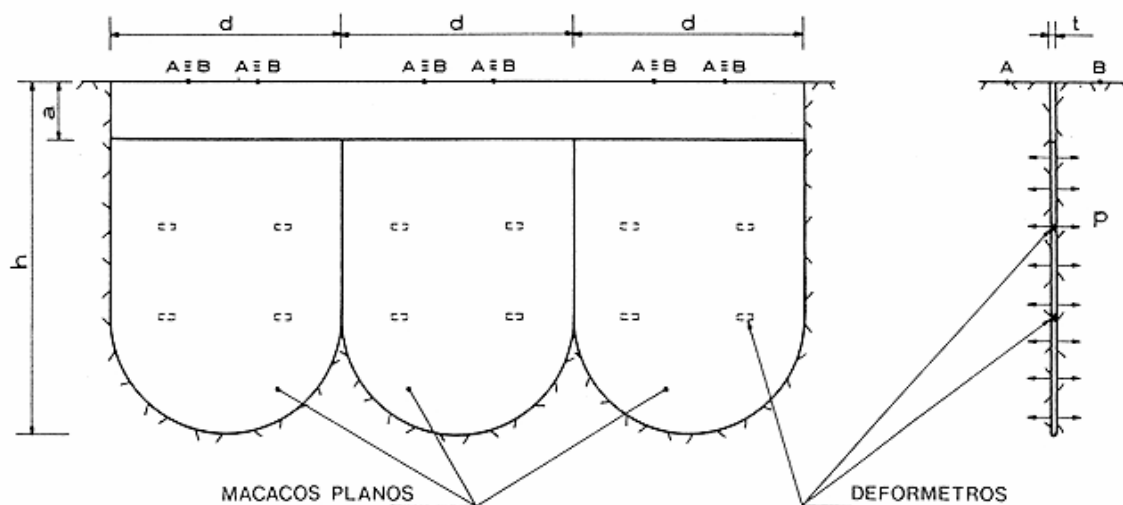


Figura 7.8 - Associação de três macacos planos.

Um desses métodos utiliza o dilatômetro BHD desenvolvido pelo LNEC (Figura 7.9) que permite realizar ensaios de deformabilidade em furos de sondagem cujo diâmetro pertença ao intervalo 75 a 81 m. Na sua essência, o dilatômetro é constituído por uma camisa cilíndrica de borracha, que se adapta ao furo de sondagem e carrega as paredes na região cuja deformabilidade interessa apreciar, e por um sistema eléctrico de medição de deformações, este último influenciado por palpadores fixos na camisa e em contacto com a parede do furo. A camisa envolve um cilindro metálico, muito rígido, ao qual se fixa pelas extremidades, e é no interior deste cilindro que se situa o sistema eléctrico de medição.

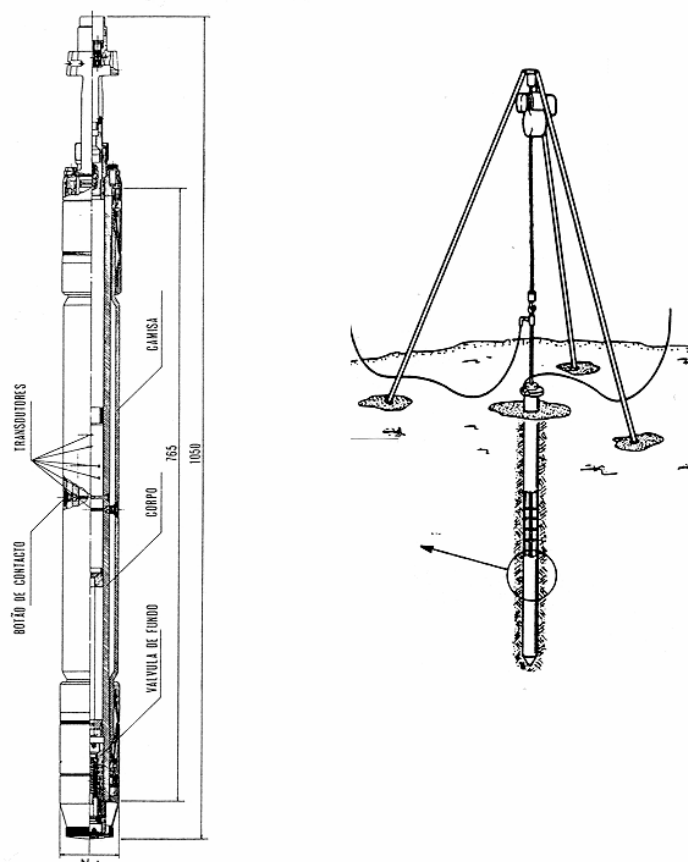


Figura 7.9 - Dilatômetro BHD desenvolvido pelo LNEC.

Introduzindo água, sob pressão conhecida, no espaço limitado pelas superfícies exterior do cilindro e interior da camisa, provoca-se a deformação do maciço rochoso, na zona circundante. Assim, o dilatômetro, depois de introduzido num furo de sondagem a determinada profundidade, aplica nas respectivas paredes uma pressão radial P tendo na sua zona média 8 transdutores que permitem medir as correspondentes variações de diâmetro em 4 direcções fazendo entre si ângulos de 45° . A posição dos palpadores permite que as medições correspondam, com bastante rigor, a um estado plano de deformação.

O emprego do ensaio dilatométrico generalizou-se graças à sua aplicabilidade mesmo em locais de acesso difícil a outros tipos de ensaio como, por exemplo, pontos a grandes profundidades, locais subjacentes a leitos de rio, etc.. Verifica-se, contudo, que os valores dos resultados obtidos com ensaios efectuados com o dilatômetro são em regra inferiores aos alcançados com outros métodos. Tal constatação levou a que se considerasse o resultado do ensaio com o dilatômetro como um índice de qualidade, designando-se por o valor obtido como módulos dilatométrico, o qual é correlacionável com o módulo de deformabilidade obtido por outros métodos.

Uma das vantagens da utilização do dilatômetro reside no facto de os ensaios poderem ser efectuados quando da execução das sondagens de prospecção realizadas com outras finalidades, o que permite, na fase de caracterização geotécnica do maciço adequada ao anteprojecto das estruturas, realizar um zonamento em termos de módulos de deformabilidade. Mais tarde, em fase de projecto, será possível então estudar com mais pormenor as características geológicas de certas zonas identificadas como críticas.

7.4 ENSAIOS DE DESLIZAMENTO

Na Figura 7.10 e Figura 7.11 representam-se dois esquemas de montagem para ensaios “in situ” de deslizamento de diaclases ou de corte em rocha, os quais podem ser realizados em cavidades subterrâneas ou a céu aberto. Como facilmente se depreende são ensaios bastante dispendiosos e que só são justificáveis em casos de obras muito especiais, tais como grandes barragens ou obras subterrâneas, e em que seja importante o conhecimento das características de resistência ao corte ou deslizamento das discontinuidades ou dos maciços rochosos. A condução do ensaio é similar à descrita no capítulo relativo à resistência ao deslizamento das discontinuidades.

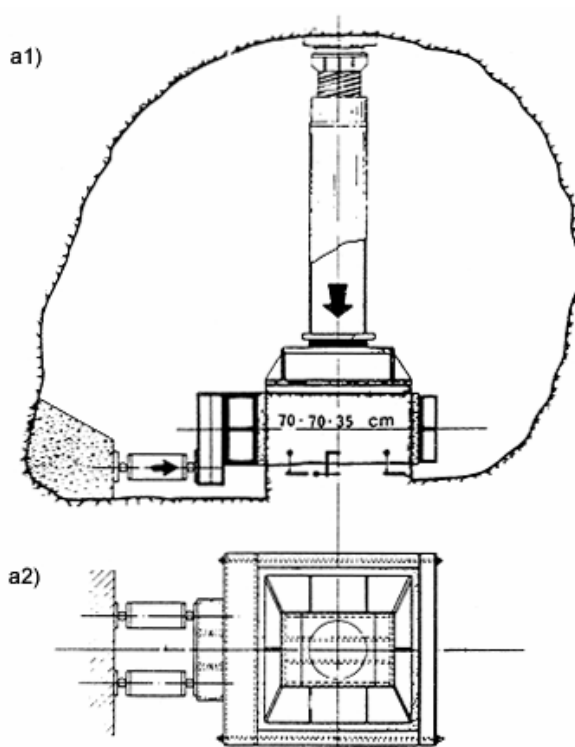


Figura 7.10 - Esquema de ensaio de deslizamento: a1) vista em corte; a2) planta.

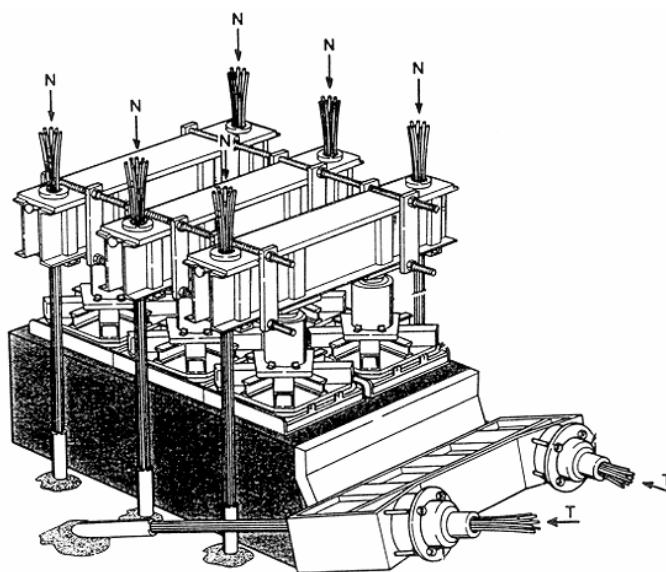


Figura 7.11 - Esquemas de ensaio de deslizamento ou corte com forças aplicadas por ancoragens.

7.5 ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DO ESTADO DE TENSÃO

Os métodos disponíveis para a determinação das tensões em maciços rochosos baseiam-se na libertação de tensões, quer por meio da abertura de rasgos, quer por sobre-carotagem da zona de medição.

A primeira das metodologias referida utiliza um macaco plano de pequena área (SFJ) e de pequena espessura, construído em chapa de aço ou cobre, que permite a aplicação de uma pressão uniforme nas paredes de um rasgo aberto no maciço rochoso por um disco de serra diamantado. Os rasgos podem ser abertos em paredes de túneis, de galerias ou de poços que previamente terão de ser escavados, o que constitui uma forte condicionante para a realização deste tipo de ensaio.

A técnica do método SFJ pode ser sucintamente descrita da seguinte forma:

- i) colocam-se numa superfície a estudar, depois de previamente aplanada, pares de bases de medida entre as quais se medem as distâncias;
- ii) com serra de disco diamantado abre-se um rasgo entre as bases, libertando-se assim a tensão normal existente no plano do rasgo. Como consequência varia a distância entre as bases de medida;
- iii) introduz-se um macaco plano de forma apropriada que preenche o rasgo e introduz-se óleo sob pressão no macaco, medindo-se a distância entre bases até que se obtenha a posição inicial;
- iv) a pressão introduzida no macaco para se obter o retorno à posição inicial é a tensão normal existente na faceta correspondente ao rasgo aberto.

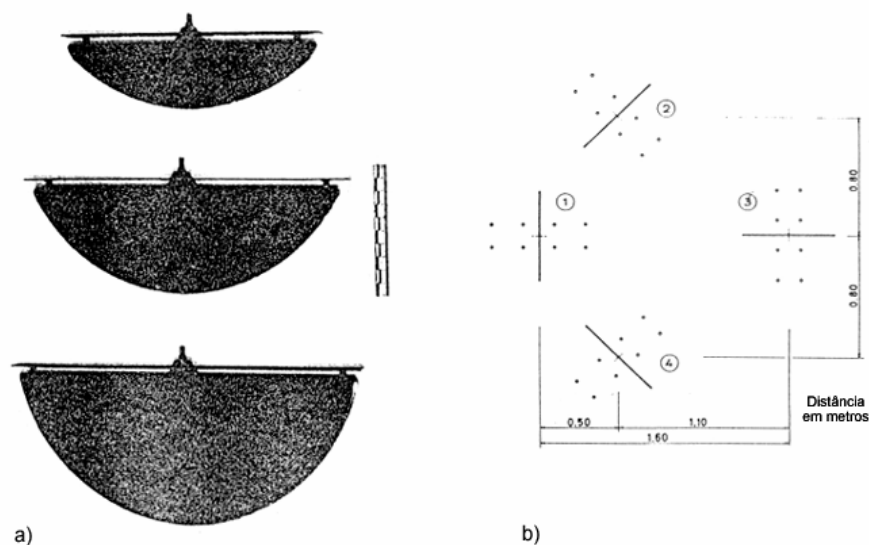


Figura 7.12 - Determinação do estado de tensão "in situ" com macacos planos de pequena área (SFJ): a) SFJ com diversas dimensões; b) esquema com roseta de rasgos e pontos de medição.

A execução de três ensaios do tipo descrito com rasgos formando uma roseta permite a determinação do estado de tensão no ponto do plano em causa. Normalmente utilizam-se quatro rasgos em roseta a 45°, o que permite por meio do ensaio superabundante uma verificação dos resultados obtidos. Se o estudo do plano referido se repetir em mais dois planos com orientação diferente do primeiro poder-se-á determinar o estado de tensão completo no ponto considerado.

Das metodologias que recorrem à sobrecarotagem há a referir o ensaio STT desenvolvido pelo LNEC que utiliza um defórmetro tridimensional. Este é um dispositivo formado por um cilíndrico plástico com extensómetros eléctricos de resistência embebidos que permite a completa determinação do estado de tensão inicial ou induzido, num maciço rochoso, através de medições efectuadas em furos de sondagem.

A técnica do método STT consiste essencialmente em:

- i) abertura de um furo de sondagem de grande diâmetro (não inferior a 75 mm) até à proximidade do ponto no qual se quer determinar o estado de tensão;
- ii) abertura de um furo de sondagem de pequeno diâmetro (37 mm) com um comprimento de 80 cm, a partir do fundo do furo da sondagem anterior;
- iii) colagem à parede do furo de pequeno diâmetro do extensómetro tridimensional convenientemente orientado;
- iv) leitura inicial dos extensómetros eléctricos contidos no STT;

- v) sobrecarotagem do tarolo contendo o STT até uma profundidade que garanta o alívio total das tensões a que está submetido (40 cm abaixo do ponto de medida);
- vi) leitura final dos extensómetros contidos no STT;
- vii) cálculo do estado de tensão com base na diferença de leituras referidas em iv) e vi).

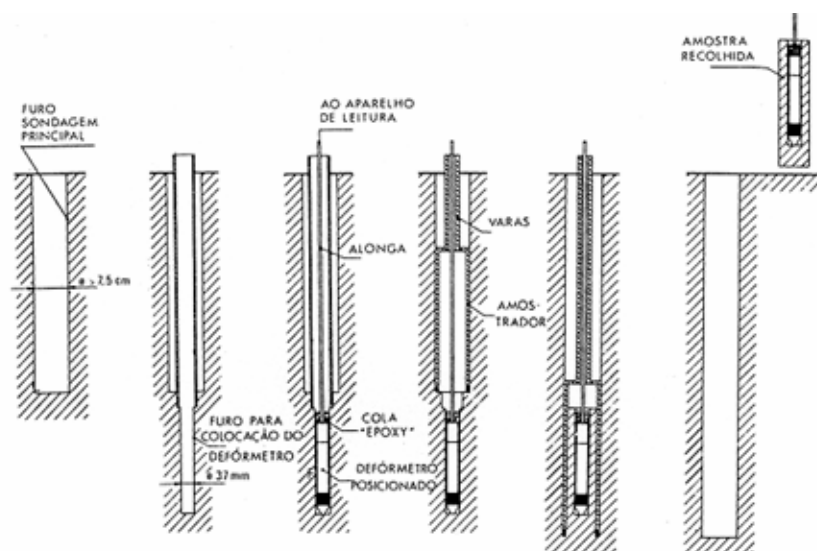


Figura 7.13 - Determinação do estado de tensão "in situ" pela técnica do defórmetro tridimensional (STT).

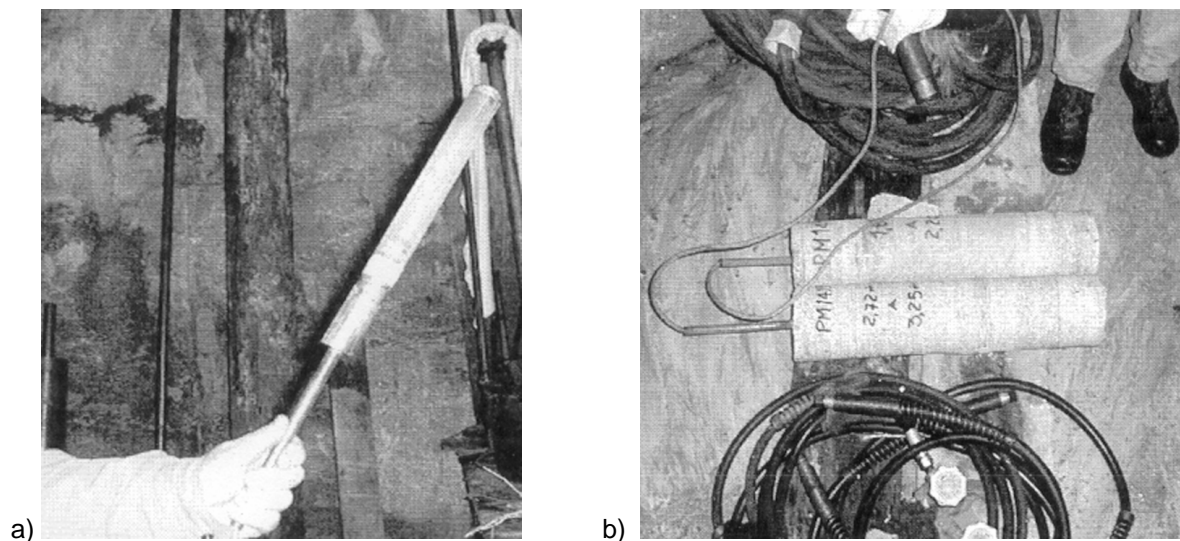


Figura 7.14 - Ensaio STT: a) defórmetro antes de colocado no furo; b) exemplares após sobrecarotagem.

Em conclusão refira-se os ensaios para determinação do estado de tensão só normalmente se justificam em casos de obras especiais (túneis, cavernas subterrâneas) em que o estado de tensão possa ter grande influência no comportamento, dimensionamento e custo da obra.