

ENSAIOS «IN SITU» EM MACIÇOS ROCHOSOS PARA FUNDAÇÕES DE BARRAGENS*

«IN SITU» TESTS ON ROCK MASSES FOR DAMS FOUNDATION

por

F. PERES RODRIGUES**

RESUMO – São feitas algumas considerações sobre a caracterização dos maciços rochosos e apresentadas as técnicas de ensaios «in situ» utilizadas no estudo de maciços rochosos destinados a fundações de barragens, a maior parte das quais desenvolvidas no LNEC.

SYNOPSIS – Some considerations are presented on the rock masses characterization, as well as on the procedures, mostly developed at LNEC, for «in situ» testings of rock masses regarding dams foundations.

1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A caracterização dos maciços rochosos é um dos principais objectivos que se colocam à Mecânica das Rochas. Essa caracterização é feita essencialmente a partir da realização de ensaios «in situ», dado que os ensaios em laboratório, na sua generalidade, não conseguem ter em conta a influência da compartimentação nessa mesma caracterização. Embora existam já tentativas, para o estabelecimento de teorias baseadas em hipóteses ainda discutíveis, no sentido de extrapolar os resultados obtidos em laboratório sobre rochas para os maciços rochosos donde foram extraídas, tendo em atenção a compartimentação dos mesmos, ainda são hoje os resultados obtidos em ensaios «in situ» os que maior confiança transmitem aos especialistas da matéria. Contudo não é de desprezar, antes devem ser incentivadas todas as tentativas conducentes à caracterização dos maciços rochosos a partir de ensaios em laboratório, pela economia de tempo e custo que daí adviriam, aliada à possibilidade, de realização de um maior número de ensaios. É uma via promissora que se espera venha a dar os seus frutos num futuro mais ou menos próximo, logo que os conhecimentos sobre efeitos de escala atinjam um desenvolvimento adequado ao fim em vista.

* Versão portuguesa da conferência proferida em espanhol no VIII Simpósio Nacional da Sociedade Espanhola de Mecânicas das Rochas, realizado em Madrid em Dezembro de 1984.

** Engenheiro Civil, Investigador Coordenador e Chefe do Núcleo de Fundações Rochosas do LNEC e Professor Catedrático Convidado do IST.

Uma das grandes dificuldades que se levantam a uma mais correcta caracterização de um maciço rochoso é o carácter acentuadamente anisotrópico e heterogéneo que a quase totalidade dos maciços rochosos apresenta. Daqui advem a necessidade da realização de um número tão elevado, quanto possível, de ensaios de forma a que se possa aplicar aos resultados obtidos um tratamento estatístico conveniente. Assim, e cada vez mais, a Mecânica das Rochas deverá ser considerada como uma ciência estatística e não determinística, em que os resultados que se obtêm são valores mais ou menos prováveis com uma dada faixa de indeterminação, função de heterogeneidade dos maciços rochosos e dos métodos de ensaio utilizados.

Os métodos e as técnicas de ensaio actualmente utilizados na caracterização dos maciços rochosos constituem um entrave ao desenvolvimento da Mecânica das Rochas pela precisão e sensibilidade diminutas com que os resultados são obtidos, tornando assim, os métodos de cálculo existentes com a utilização de computadores, demasiado sofisticados em face da imprecisão com que a caracterização dos maciços rochosos é obtido. Está-se assim numa fase em que, depois do desenvolvimento espectacular das técnicas operacionais dos computadores, se espera que exista um desenvolvimento semelhante nas técnicas experimentais e de medição dos ensaios sobre maciços rochosos.

Neste domínio, já algum progresso tem sido feito, quer em Portugal quer no estrangeiro, embora ainda insuficiente para as necessidades actuais.

No Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), desde há cerca de vinte anos que têm sido desenvolvidos métodos de ensaios e técnicas de medição com a finalidade de melhor caracterizar os maciços rochosos.

De entre as características que mais interessam determinar num maciço rochoso, são de destacar a deformabilidade, a resistência, a permeabilidade, a compartimentação e as tensões internas ou residuais, não esquecendo que todas elas apresentam um comportamento mais ou menos anisotrópico, isto é, o de poderem assumir valores diferentes em torno de um ponto consoante a direcção considerada. Este comportamento anisotrópico vem tornar mais difícil e onerosa a determinação das características mencionadas, mas hoje em dia, começa a tornar-se uma rotina a sua consideração, sobretudo, em maciços rochosos que, pela simples inspecção visual, se apresentam significativamente anisotrópicos.

Também a heterogeneidade que, em maior ou menor grau, todos os maciços rochosos apresentam, é mais uma dificuldade que se tem de vencer, visto que uma dada característica poderá variar significativamente entre pontos, não muito afastados, de um maciço rochoso. Em face desta realidade, é corrente dividir o maciço rochoso em zonas, que poderão não coincidir para todas as características a determinar, e admitir em cada zona um valor consoante para cada característica em estudo, considerando assim pouco significativas as dispersões dos valores de cada característica em cada uma das suas zonas. Se há maciços rochosos onde o número de zonas é da ordem

de 3 ou 4, outros há em que este número é significativamente maior, tornando, assim, bastante demorado e oneroso um estudo que se queira sério e realista.

Acaba de se apresentar a traços largos as dificuldades que a caracterização de um maciço rochoso comporta; contudo, é nessas mesmas dificuldades que se encontram o incentivo e a necessidade de uma investigação sistemática e criteriosa tendente a um melhor conhecimento dos maciços rochosos, para que haja um melhor aproveitamento das capacidades intrínsecas desses mesmos maciços tornando assim mais económicas as obras neles inseridas, sem quebra de segurança que se lhes deve exigir.

Feitas estas considerações gerais ir-se-ão percorrer, de uma maneira sucinta, os ensaios «in situ» que o LNEC realiza com mais frequência e cujas técnicas, na sua grande maioria, foram nele desenvolvidas.

2 – ENSAIOS DE DEFORMABILIDADE

Os ensaios de deformabilidade são realizados pelo LNEC utilizando o dilatómetro, os macacos planos de grande área e os macacos hidráulicos.

2.1 – Dilatómetro (BHD)

O dilatómetro usado é um aparelho desenvolvido no LNEC, conhecido internacionalmente por (BHD) iniciais de borehole dilatometer, que permite a obtenção da deformabilidade em quatro direcções diametraes desfasadas de 45° , existentes numa secção, suposta plana, de um furo de sondagem NX com o diâmetro pertencente ao intervalo de 75 a 81 mm.

Na Fig. 1 apresenta-se o dilatómetro desenvolvido no LNEC e que é essencialmente constituído por um cilindro de aço de 54 cm de comprimento envolvido por uma camisa de borracha, localizando-se na secção média os instrumentos de medição constituídos por transdutores diferenciais lineares. Introduzindo água, sob pressão

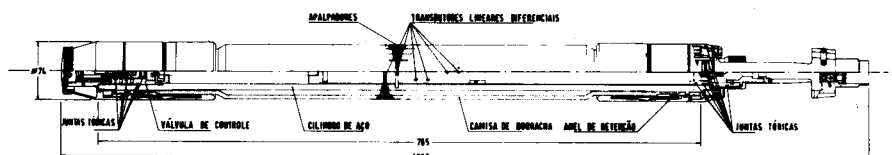


Fig. 1

conhecida, no espaço compreendido entre a camisa de borracha e o cilindro de aço, provoca-se a deformação do maciço rochoso, na zona circundante do furo, Fig. 2. Esta deformação é acompanhada pela camisa de borracha e pelos apalpadores ou botões de contacto que se lhe são solidários e transmitida aos transdutores diferenciais.

A deformação Δ do diâmetro do furo é dada por:

$$\Delta = \frac{1 + \nu}{E} d.P$$

em que:

- ν – coeficiente de Poisson
- E – módulo de deformabilidade
- d – diâmetro do furo
- P – pressão aplicada

e baseia-se nas hipóteses de que o maciço rochoso é homogéneo, isotrópico e elástico e de que a relação entre o comprimento do furo sujeito a pressão e o seu diâmetro é suficientemente grande, cerca de 7, para que a zona média do volume ensaiado se possa considerar em equilíbrio plano.

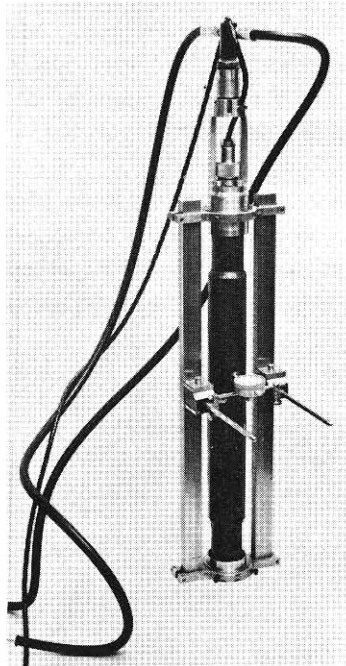


Fig. 2

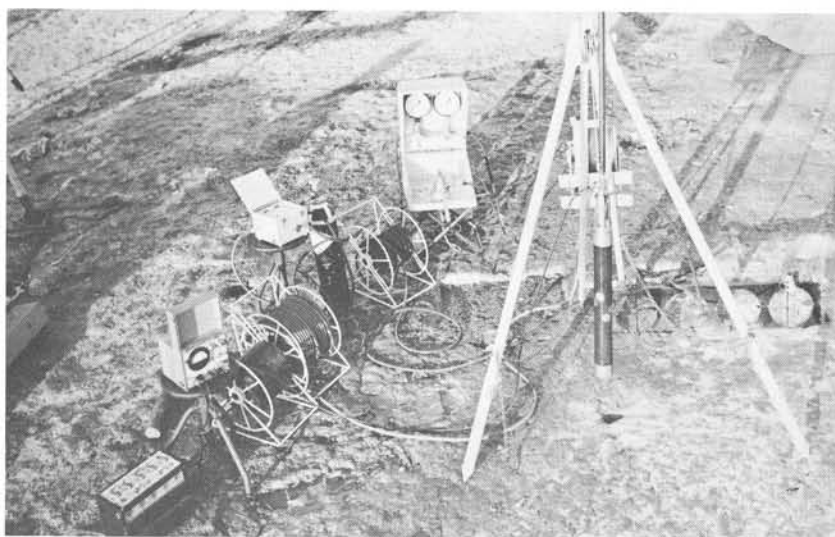


Fig. 3

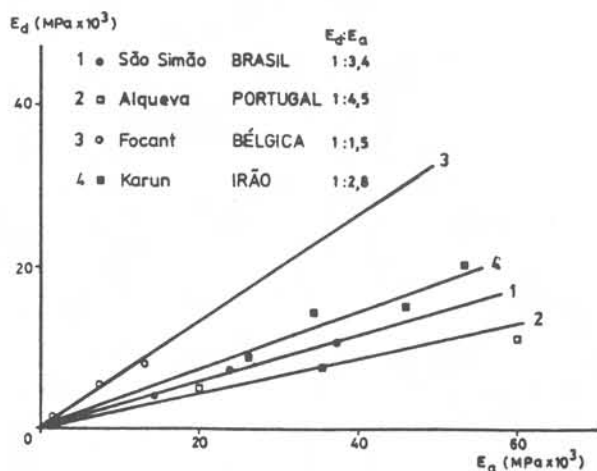


Fig. 4

Este aparelho, de aplicação relativamente fácil, Fig. 3, permite determinar a deformabilidade em pontos inacessíveis ao homem, mas dado o estado de tensão de tracção instalada pelo ensaio e o diaclasamento do maciço rochoso, os resultados obtidos para o módulo de deformabilidade são sistematicamente por defeito. A relação entre os módulos de deformabilidade obtidos pelo dilatómetro e pelo método dos macacos planos de grande área (LFJ), a seguir descrito, varia entre 1:1 e 1:5, Fig. 4.

Esta constatação levou a que se designasse o módulo obtido com o dilatómetro por módulo dilatométrico e se considerasse o seu valor como um índice de qualidade.

A obtenção de quatro valores do módulo dilatométrico, para uma mesma secção plana do furo de sondagem, possibilita a determinação da anisotropia plana do maciço rochoso relativamente à caracterização medida, Fig. 5.

O dilatómetro permite aplicar à parede do furo de sondagem tensões máximas da ordem dos 150 kg/cm² e tem sido aplicado até agora a profundidades máximas da ordem dos 120 m com inclinações não superiores a 30° com a vertical.

ANISOTROPIAS				ANISOTROPIAS			
Prof. (m)	Elipse	Semi eixos (10 ³ kg/cm ²)	Coeficiente	Prof. (m)	Elipse	Semi eixos (10 ³ kg/cm ²)	Coeficiente
38.00		211 150	1.41	67.20		306 190	1.61
41.50		276 184	1.50	70.70		371 287	1.29
45.10		290 173	1.68	78.50		593 126	4.71
48.00		289 164	1.76	80.60		253 188	1.35
55.00		243 135	1.80	85.20		269 212	1.27
62.60		403 182	2.21	89.00		300 245	1.22

Fig. 5

2.2 – Macacos planos de grande área (LFJ)

O método dos macacos planos de grande área permite determinar o módulo de deformabilidade do maciço rochoso em quatro pontos por cada macaco plano utilizado que tem cerca de 1,4 m² de área. Um macaco plano é constituído essencialmente por duas chapas metálicas, com a forma representada na Fig. 6, soldadas nos seus topos, tendo no seu interior quatro pontos de medição constituídos cada um por um defórmetro contendo 4 extensómetros eléctricos de resistência.

Os macacos planos podem ser aplicados em série, até hoje no máximo de quatro, de modo a aumentar a área do ensaio e consequentemente o volume do maciço rochoso interessado.

Os macacos planos são introduzidos em fendas complanares abertas lado a lado (Fig. 7); para a abertura de cada fenda é necessário a abertura prévia de um furo

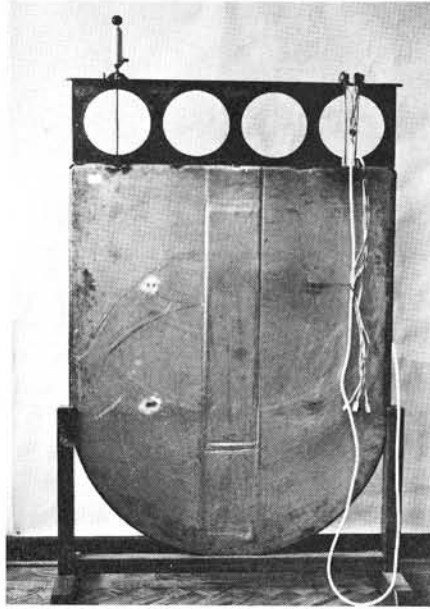


Fig. 6

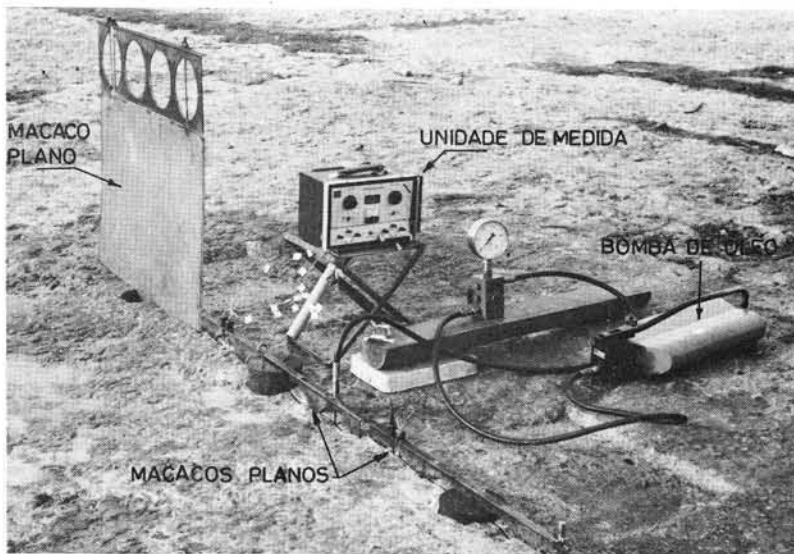


Fig. 7

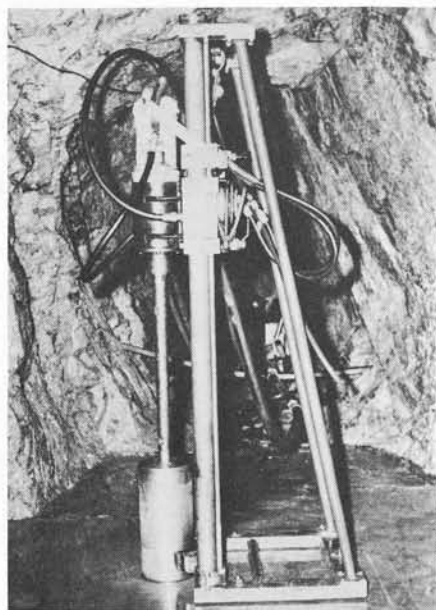


Fig. 8

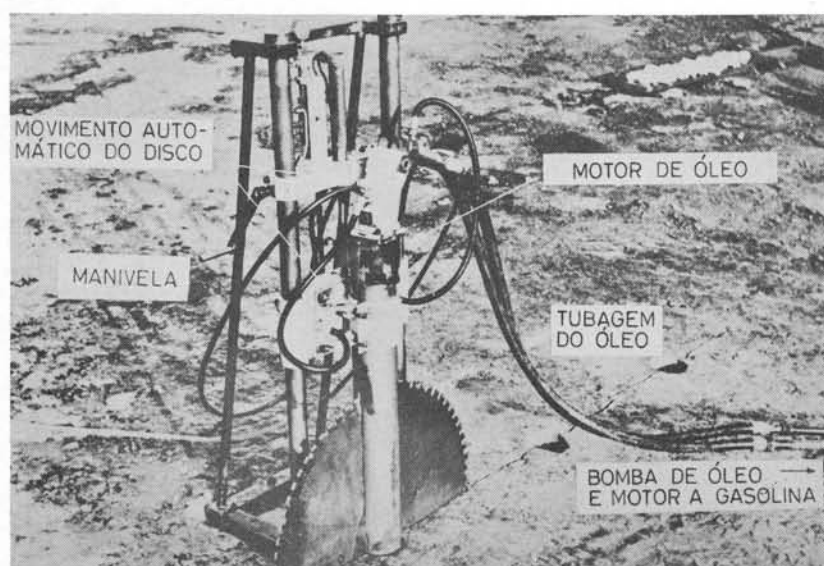


Fig. 9

central de 15 cm de diâmetro por onde passará a coluna de suporte do disco diamantado de 1 m de diâmetro que abrirá a fenda com a profundidade desejada (Fig. 8 e 9). Após a introdução de cada macaco plano o que resta do furo central será preenchido com argamassa de cimento de forma a reconstruir a superfície de aplicação da carga. A pressão aplicada ao maciço rochoso pelos macacos pode atingir o valor de 150 kg/cm² o que dá, por macaco, a força de 2100 t e por 3 macacos planos, número muitas vezes utilizado no ensaio, a força total de 6300 t.

Para a grande maioria dos maciços rochosos, o volume ensaiado pela utilização de 3 macacos planos é já considerado representativo do mesmo, tendo, assim, os resultados obtidos com este método, um significado bastante realista.

O estudo do estado de deformação do maciço rochoso de módulo de deformabilidade E e coeficiente de Poisson ν , submetido a um ensaio pelo método dos macacos planos, pode ser feito a partir do estudo dum espaço semi-infinito actuado por uma pressão aplicada pelos macacos planos na área definida pelo seu contorno, e tendo em consideração as fórmulas de Boussinesq, sendo válida, então, a expressão:

$$E = \frac{1 - \nu^2}{\delta} p k$$

em que δ é a deformação lida em cada defórmetro e k uma constante dependente da localização do ponto de medida, da forma da área carregada e da profundidade da fenda aberta no maciço rochoso pela pressão p aplicada pelos macacos planos. Existem tabelas, elaboradas no LNEC, que dão valores de k, para cada um dos quatro pontos de medida de um macaco plano, em função do número de macacos planos utilizados até ao máximo de quatro, e do número e posição dos macacos carregados (Fig. 10).

A anisotropia da deformabilidade de um maciço rochoso pode ser determinada, mediante a realização de ensaios pelo método dos macacos planos segundo planos criteriosamente orientados; o seu maior obstáculo reside no custo e tempo, mas haverá situações em que ao projectista se tornará muito conveniente uma tal determinação.

O método que se acaba de descrever comparado com o método dos macacos hidráulicos, utilizado pelo LNEC até há cerca de 20 anos, tem, entre outras as vantagens que se passam a indicar: poder aplicar ao maciço rochoso, se necessário, tensões duas vezes e meia superiores às do método dos macacos hidráulicos; interessar volumes do maciço rochoso largamente superiores, desde 1,4 a 5,6 vezes, consoante se utilize 1 ou 4 macacos planos, o que minimiza extraordinariamente o efeito de escala, tornando os módulos de deformabilidade medidos, praticamente coincidentes com os do maciço rochoso; actuar em superfícies do maciço rochoso praticamente virgens, isto é, sem se encontrarem perturbados por explosivos ou desmontes, o que não sucede, regra geral, relativamente às superfícies onde se realizam os ensaios com os macacos hidráulicos.

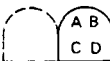
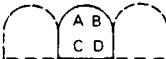
Caso	Profundidade da fenda (m)									
		0	0,2	0,5	1	1,5	1,7	2	3	∞
	AB	131,4	163,0	183,9	196,7			205,8		222,4
	CD	136,8	166,0	184,4	196,7			205,0		221,5
	AF	150,3	193,0	214,2	232,1	240,7		246,9		280,8
	BE	191,0	239,0	257,0	273,0	281,1		286,6		320,3
	CI	160,7	198,2	217,1	232,6	240,5		246,2		279,8
	DG	215,3	245,4	260,6	274,1	281,3		286,6		319,7
	A	151,5	175,2	187,3	196,7			205,8		222,4
	B	137,4	167,8	185,7	196,7			205,8		222,4
	C	164,8	179,4	188,8	196,7			205,0		221,5
	D	144,7	171,3	186,6	196,7			205,0		221,5
	AL	155,7	199,3	224,9	242,4	257,3		267,3		313,2
	BJ	202,8	255,5	277,8	292,2	307,6		316,8		361,9
	CN	167,7	206,2	228,4	243,5	257,5		266,9		312,2
	DM	231,7	264,9	282,6	296,0	308,2		316,8		361,3
	EF	216,9	273,9	296,0	312,2	325,0		333,8		378,6
	GI	249,7	284,4	301,2	314,2	325,6		333,9		378,0
	AF	141,1	178,7	198,2	213,4			224,0		254,9
	BE	159,7	192,8	209,7	223,8			233,9		264,1
	CI	149,5	183,3	200,3	213,7			223,5		253,8
	DG	176,0	198,7	212,2	224,2			234,3		263,1
	AB	159,8	182,9	190,4	196,7			205,8		222,4
	CD	176,1	187,8	192,3	196,7			205,0		221,5
	A	152,2	177,9	190,1	199,1			205,8		222,4
	B	137,9	171,3	187,2	199,0			205,8		222,4
	C	165,7	182,5	191,7	199,5			205,0		221,5
	D	145,1	175,3	188,6	199,3			205,0		221,5
	A	175,7	210,6	220,0	232,1	240,7		246,9		280,8
	B	200,7	247,0	258,7	273,0	281,1		286,6		320,3
	C	197,2	218,1	224,1	232,6	240,5		246,2		279,8
	D	228,6	255,3	263,2	274,1	281,2		286,6		319,7
	E	195,3	243,5	256,8	273,0	281,1		286,6		320,3
	F	152,2	197,1	213,5	232,1	240,7		246,9		280,8
	G	221,4	251,4	261,1	274,1	281,2		286,6		319,7
	I	163,3	203,4	217,0	232,6	240,5		246,2		279,8
	AP	157,5	199,4	225,5	250,0		268,9		288,1	335,7
	BO	206,2	258,6	284,3	306,4		323,6		341,5	388,5
	CR	170,5	209,1	231,1	252,6		269,3		287,2	334,6
	DQ	237,5	271,6	291,1	309,6		324,4		340,9	387,8
	EL	223,4	282,4	309,3	331,0		347,4		364,4	411,1
	FJ	228,8	291,6	319,4	341,1		357,2		373,8	420,3
	GN	259,9	296,8	316,6	334,1		348,2		363,8	410,4
	IM	267,9	306,8	326,9	344,3		358,0		373,3	419,7

Fig. 10

2.3 – Macacos hidráulicos

O método dos macacos hidráulicos, por ser por demais conhecido, irá ser referido duma maneira muito sucinta, traduzido num esquema onde se apresentam as principais peças da sua montagem (Fig. 11). Este método utiliza 2 macacos hidráulicos de 300 t cada, actuando em duas superfícies planas e paralelas, em geral de uma galeria, numa área de 1 m². Quando se pretende realizar este método a céu aberto, há necessidade de criar uma reacção que suporte a força aplicada; em geral recorre-se à aplicação de um pré-esforço ou a caixões cheios de um material adequado (Fig.1 2).

Percebe-se que a determinação da deformabilidade segundo direcções que se afastem da vertical, e que podem ir até à horizontal, seja bastante dificultada pela necessidade que existe de contraventar e assegurar o funcionamento normal do sistema sem a criação de atritos que introduzam erros significativos (Fig. 13).

Esta dificuldade torna muito mais difícil a determinação da anisotropia de deformabilidade, mas não impossível.

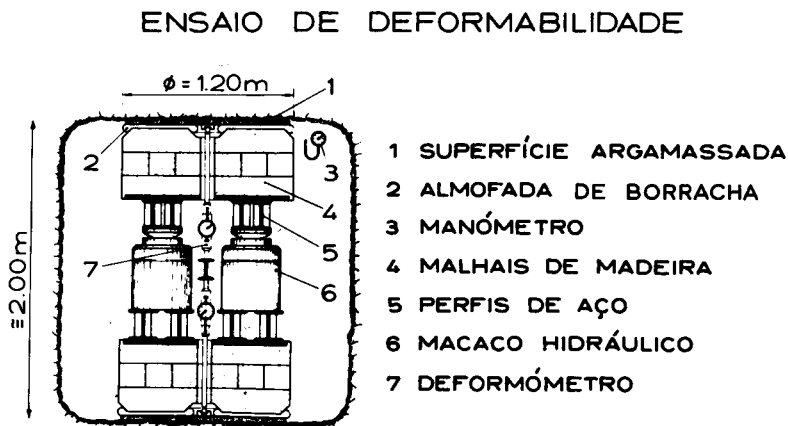


Fig. 11

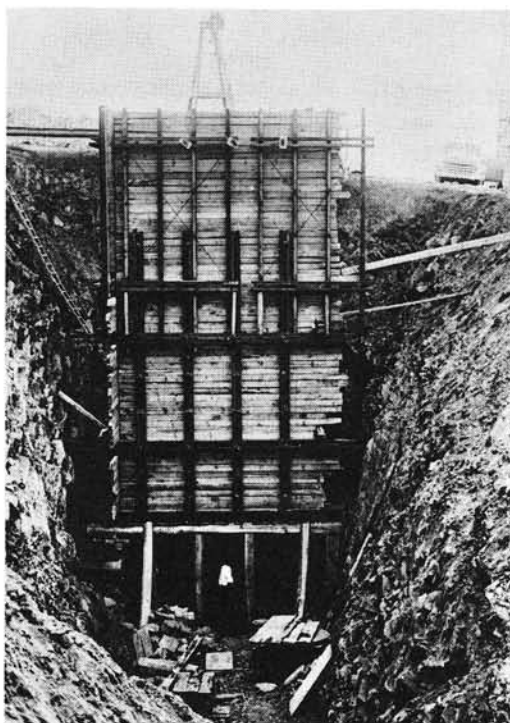


Fig. 12

3 — ENSAIOS DE RESISTÊNCIA

Na prática os maciços rochosos raramente atingirão a rotura por esmagamento ou tracção, sendo a maioria dos seus colapsos devidos a escorregamentos ao longo de superfícies, planas ou torsas, potencialmente mais fracas; entre estas podem-se citar as diaclases, as falhas e as superfícies de clivagem.

Hoje em dia começa a dar-se mais importância na caracterização dos maciços rochosos à resistência, às características de corte ou deslizamento das superfícies mais fracas, já indicadas, dado que os valores destas características, coesão e ângulo de atrito, são, regra geral, significativamente menores do que os valores idênticos da rocha que constitui o maciço rochoso. Assim o LNEC está hoje a realizar, sistematicamente, ensaios «in situ» de corte ou deslizamento sobre superfícies potencialmente mais fracas, com a área de $0,7 \times 0,7 \text{ m}^2$, aproximadamente (Fig. 14). O problema que se encontra aberto é o de saber qual a influência da área ensaiada sobre os valores

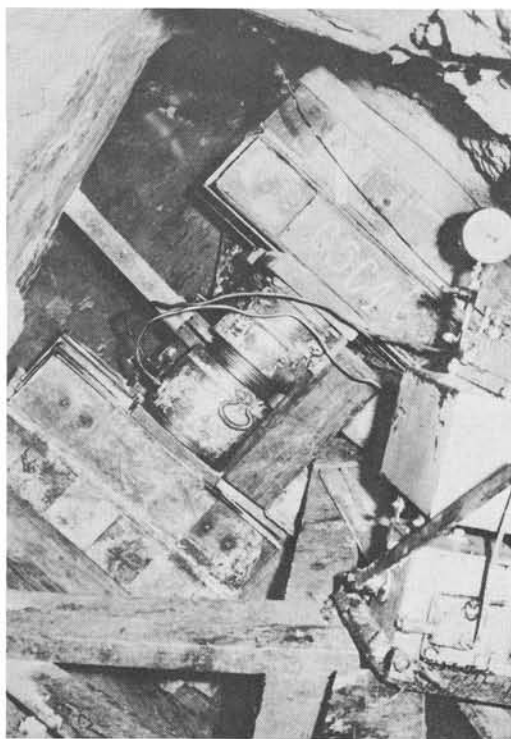


Fig. 13

das características a determinar, isto é, conhecer o seu efeito de escala. Este conhecimento é fundamental para se poder complementar, ou mesmo substituir, os ensaios «in situ» por ensaios em laboratório. Estes ensaios estão a ser efectuados sobre provetes extraídos do maciço rochoso ou de tarolos de sondagem; os parâmetros que se estudam actualmente são, entre outros, o enchimento das diaclases, o seu desaparecimento quer por lavagem quer por secagem, a existência ou não de ondulações de vários graus, a rugosidade e a variação de humidade.

A técnica de ensaio de corte ou deslizamento «in situ», seguida pelo LNEC, é a preconizada pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM), pelo que se dispensa a sua descrição. Deve, no entanto, pôr-se em evidência a maior dificuldade havida na preparação dos blocos para ensaios «in situ» de diaclases subverticais, de forma a não destruir os contactos e os enchimentos que porventura existam entre as duas superfícies de ensaio (Fig. 15 e 16).

Deve acentuar-se que as características de corte ou deslizamento, coesão e ângulo de atrito, podem apresentar acentuada anisotropia e terem, regra geral, valores diferentes para os dois sentidos de uma mesma direcção, pelo que o seu estudo se torna mais complexo que o da deformabilidade. Igualmente a heterogeneidade do maciço rochoso deve ser tomada em consideração nas características referidas, tornando ainda mais moroso e complexo o estudo completo da resistência ao corte ou ao deslizamento. Geralmente, simplifica-se o estudo, determinando somente a coesão e o ângulo de atrito das superfícies mais fracas que se aproximem do sentido dos maiores esforços transmitidos pela obra ao maciço rochoso.

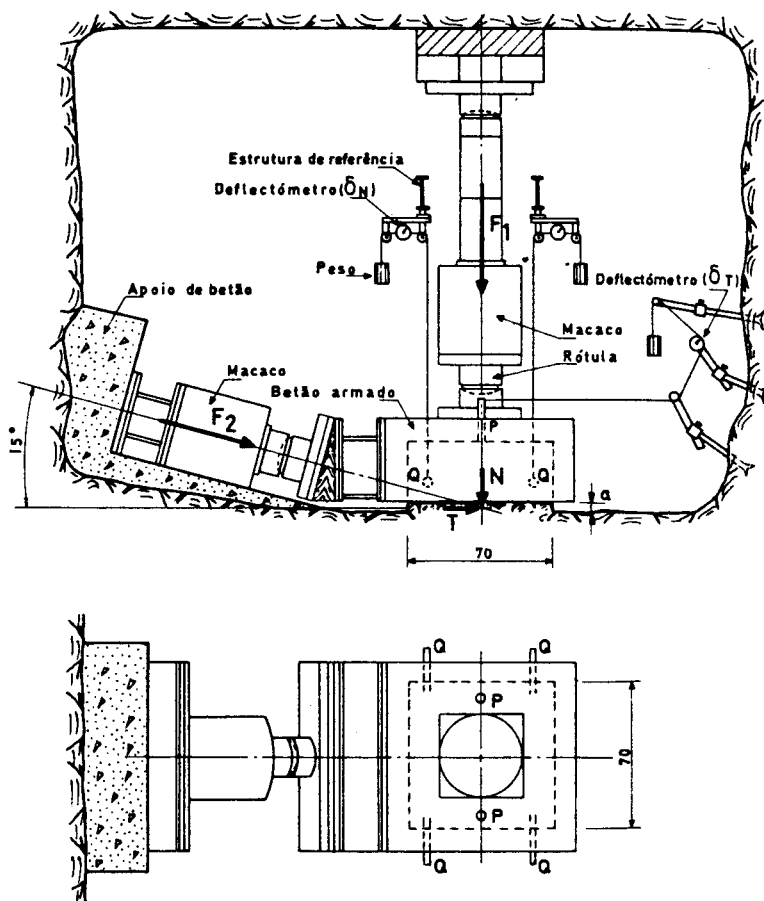


Fig. 14

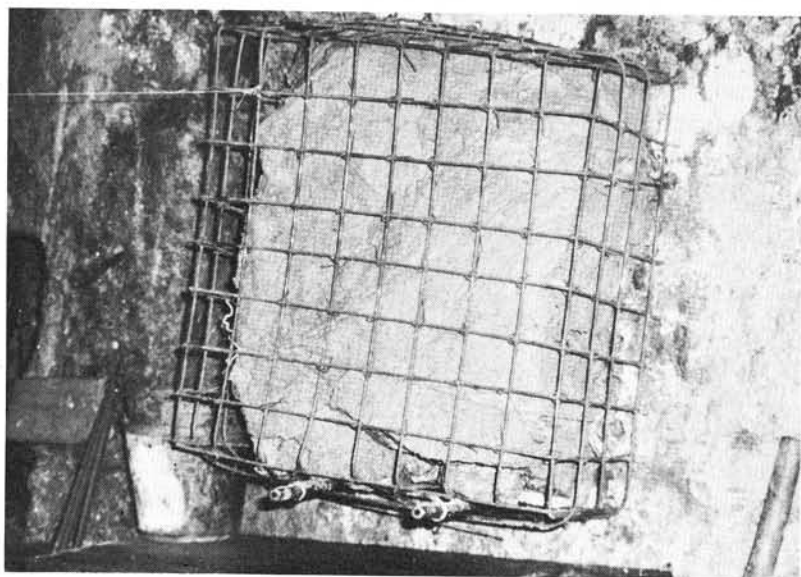


Fig. 15

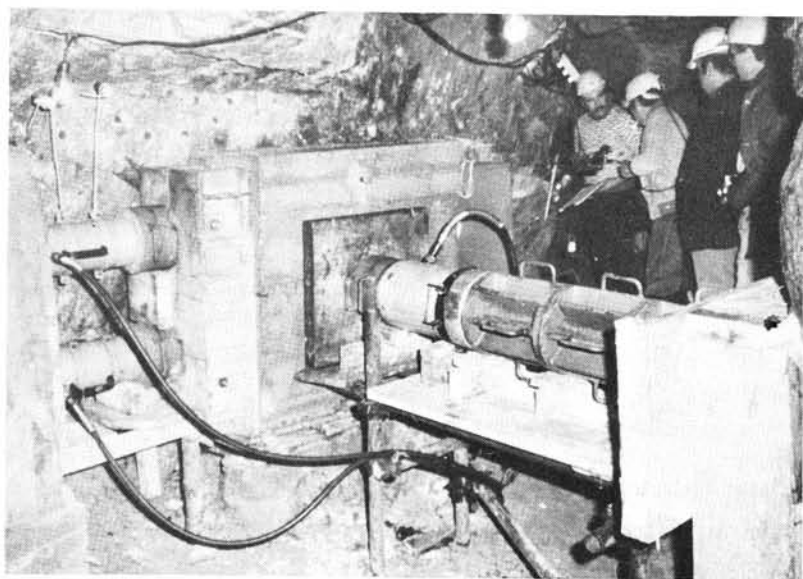


Fig. 16

4 – ENSAIOS DE COMPARTIMENTAÇÃO

O conhecimento das famílias de diaclases e das falhas é fundamental para um mais correcto conhecimento e caracterização dos maciços rochosos. Assim, no LNEC, é corrente determinarem-se, relativamente às diaclases existentes na zona do maciço rochoso a estudar, as atitudes médias e as dispersões das famílias de diaclases existentes, através de um processo estatístico em que a influência pessoal está minimizada. Determina-se, também, a influência relativa de cada família pela percentagem de diaclases que contém em relação ao número total de diaclases observadas; o seu espaçamento médio, a sua abertura média, a sua área média, e o tipo e características dos seus enchimentos.

Se as atitudes das diaclases pertencentes a uma dada família, se enquadram bem em distribuições bivariadas normais, como tem sido observado em numerosos estudos, o mesmo não sucede em relação ao espaçamento, abertura e área das mesmas diaclases, cujos estudos, ainda não conclusivos, apontam para distribuições ou log-normais ou exponenciais negativas.

No LNEC a comparticipação dos maciços rochosos é estudada por dois métodos, que podem ser aplicados independentemente ou em conjunto. Um dos métodos consiste em traçar em superfícies de galerias e seus ramais, geralmente nos hasteais, e em superfícies de trincheiras, círculos de 75 cm de raio afastados de uma distância constante, geralmente 3 a 5 m; em relação a cada círculo são medidas as características já referidas, obtendo-se assim, relativamente à zona do maciço em observação, em superfícies que se procura sejam representativas do maior número de famílias possíveis, valores característicos de uma quantidade apreciável de diaclases, da ordem das centenas, que possibilitam um tratamento estatístico adequado. O outro método desenvolvido no LNEC, denomina-se amostragem integral (ISM) e distingue-se da amostragem clássica por o tarolo a obter, geralmente de 86 mm de diâmetro, ser previamente armado, por meio de um varão metálico, a fim de se conseguir a extracção de praticamente todo o material da sondagem, e de este vir orientado relativamente à sua posição no maciço. Este método pode ser aplicado na totalidade de um furo de sondagem, ou só nos troços considerados necessários aos estudo em causa. A ordem das operações na amostragem integral encontra-se esquematizada na Fig. 17 que se apresenta.

Abre-se inicialmente um furo de sondagem, com a direcção desejada, até à profundidade a partir da qual se pretende fazer a amostragem integral e de diâmetro compreendido entre 76 e 86 mm. Coaxialmente com este furo abre-se um outro de diâmetro menor compreendido entre 26 e 36 mm e com o comprimento entre 2 a 3 m dependente da rigidez da sonda e da técnica de coaxialidade utilizada. Neste furo é introduzido e posicionado um varão metálico destinado a reforçar o maciço rochoso e ao qual se liga por meio duma calda de cimento ou de uma resina. Conseguida a

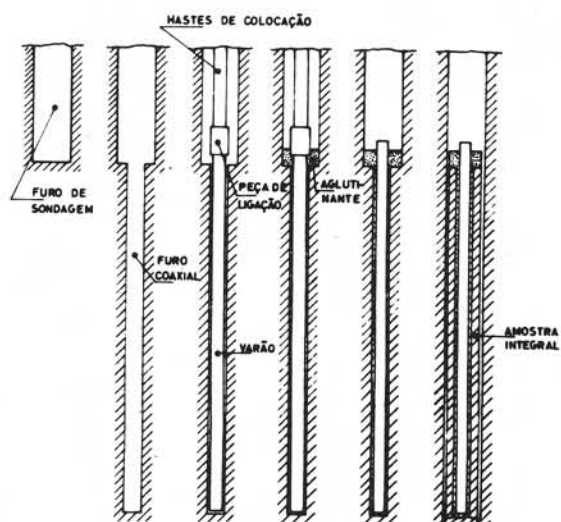


Fig. 17

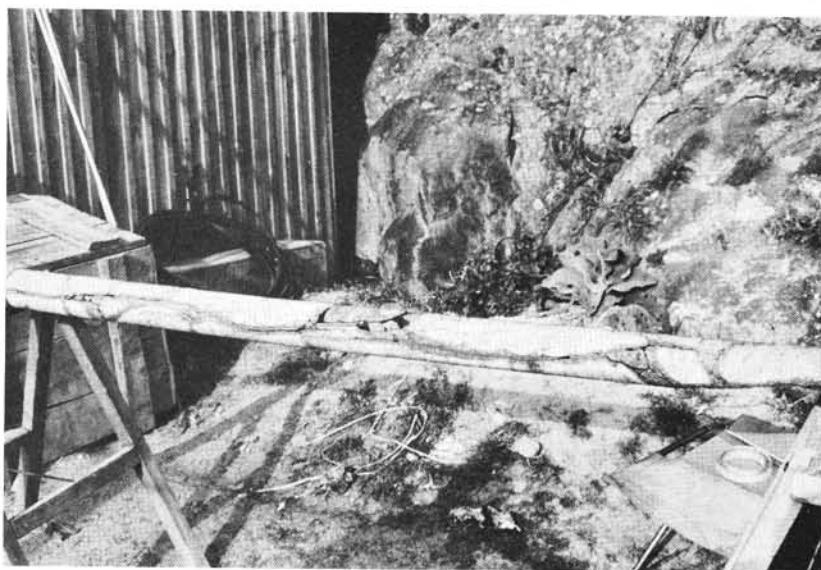


Fig 18

ligação entre o varão e as paredes do furo estreito, ao fim de 24 horas para a calda de cimento e de poucas horas para a resina, procede-se à continuação do furo largo até à extremidade do varão e à extracção do respectivo tarolo, cujas descontinuidades se encontram, como se disse, posicionadas. Esta operação, pode repetir-se por troços contínuos ou intercalados consoante o interesse do estudo em questão.

Acabada a amostragem integral, realizada em furos de sondagem com direcções convenientes de forma a representarem a zona do maciço rochoso em estudo, são analisadas todas as diaclases detectadas na amostragem, e feitas as necessárias medições, que só, ou em conjunto com as obtidas no primeiro método já descrito, permitem obter e caracterizar as famílias de diaclases existentes mediante a aplicação de métodos estatísticos adequados. Na Fig. 18, pode ver-se um tarolo de amostragem integral e na Fig. 19, as famílias de diaclases obtidas num dado estudo e representadas em projecção estereográfica, equi-áreas azimutal e cilíndrica.

Tal como a deformabilidade e a resistência, também a compartimentação pode apresentar anisotropia e heterogeneidade acentuadas, no que se refere às suas características atrás referidas.

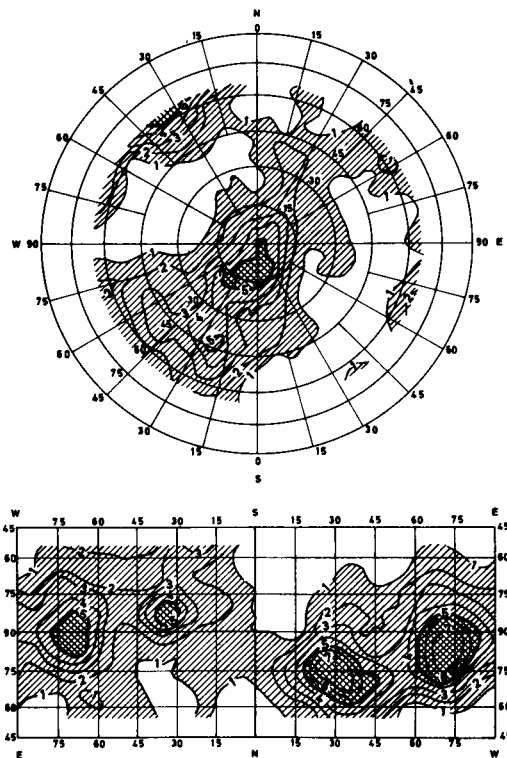


Fig. 19

5 – ENSAIOS DE TENSÕES INTERNAS

Uma outra característica que, cada vez mais, está a assumir um papel importante no estudo dos maciços rochosos, é o estado de tensão existente nos mesmos. O seu conhecimento, tão exacto quanto possível, é fundamental para a determinação dos estados finais de tensão que ocorrem nos maciços rochosos após a construção das obras que neles se apoiam ou os atravessam. A hipótese das tensões internas serem obtidas em cada ponto do maciço rochoso, apenas por consolidação do peso próprio e das constantes mecânicas, têm-se revelado, em numerosos casos, um fraco modelo da realidade.

Este facto levou a que diversos centros de investigação comesçassem a dedicar uma atenção especial à determinação de tais estados de tensão. O LNEC desenvolveu dois métodos para esse efeito, ambos baseados na libertação de tensões, um por meio de abertura de rasgos, o outro por sobrecarotagem da zona de medição; o primeiro designado por método dos macacos planos de pequena área (SFJ) e o segundo designado por método do defórmetro tridimensional (STT).

5.1 – *Macacos planos de pequena área (SFJ)*

Este método aplica-se em superfícies planas do maciço rochoso, previamente preparadas, à superfície ou em galerias, e mede directamente a grandeza a determinar, pelo que os pontos onde se pretende obter os estados de tensão têm de ser acessíveis.

A técnica do método pode ser descrita em poucas palavras como se segue. Aplana-se a superfície do maciço rochoso, onde se pretende determinar o estado de tensão, numa área aproximada de $2 \times 2 \text{ m}^2$, considerada suficiente para a abertura de 4 rasgos com uma serra de disco diamantado (Fig. 20), segundo o esquema que se apresenta (Fig. 21). Normalmente ao ponto médio de cada rasgo a abrir colocam-se, para um e outro lado, à mesma distância, pares de bases de medida; a abertura do rasgo com a profundidade julgada conveniente, liberta a tensão existente normal ao rasgo, que se supõe ser de compressão, aproximando as bases de medida previamente colocadas (Fig. 22); uma das limitações deste método é a sua impossibilidade de determinar tensões de tracção. Em seguida, introduz-se no rasgo aberto e de acordo com a sua profundidade um dos três macacos planos indicados na Fig. 23, com flechas de 12, 18 e 24 cm. Aplica-se, por meio de uma bomba hidráulica, pressão no macaco plano até obter a posição inicial das bases de medida; esta pressão, dita de cancelamento, é, à parte pequenos factores de correcção, a tensão normal existente na faceta correspondente ao rasgo aberto. Repetindo esta operação para os restantes rasgos é possível determinar os estado plano de tensão existente, e, conjugando os resultados obtidos sobre duas ou de preferência três superfícies vizinhas não complanares, o estado tridimensional de tensão reinante no maciço rochoso.

Este método relativamente simples de aplicar, tem a vantagem de medir directamente a grandeza a determinar e o inconveniente de apenas obter tensões de compressão, o que em certos casos pode tornar impossível a sua aplicação; necessita, por outro lado, de que o local onde se pretende realizar o ensaio geral seja acessível.

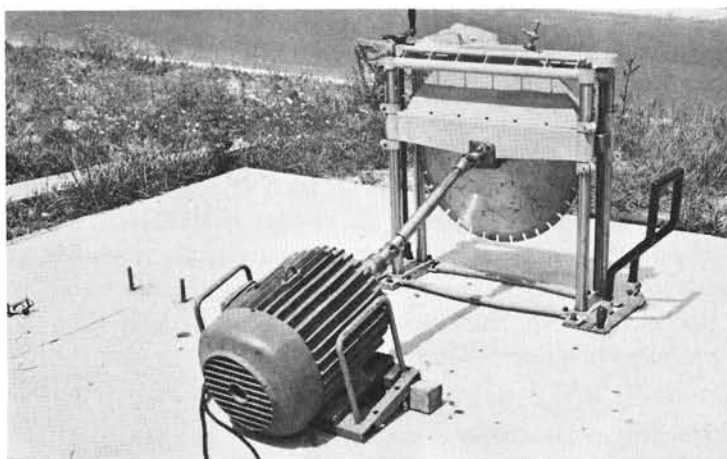


Fig. 20

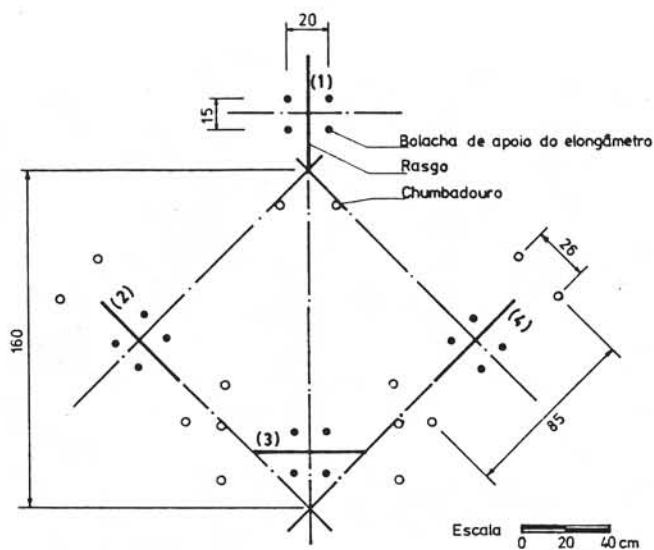


Fig. 21

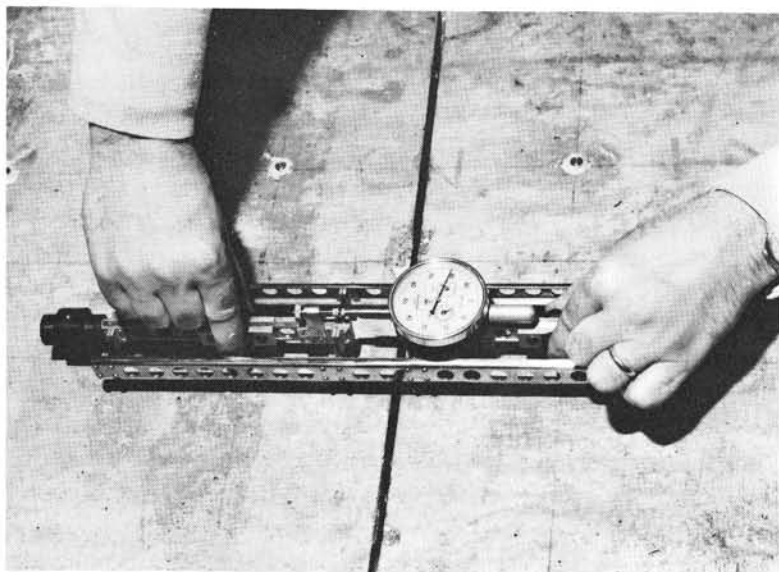


Fig. 22

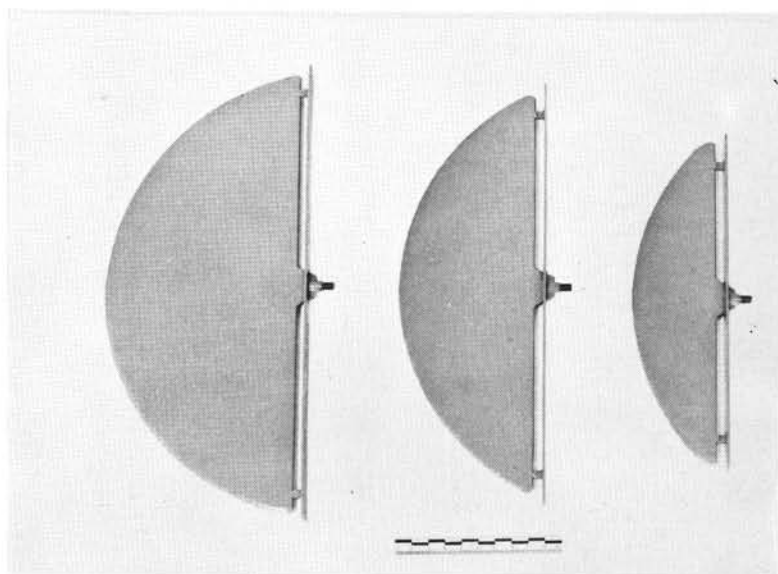


Fig. 23

5.2 – Defômetro tridimensional

Se o ponto onde se pretende determinar o estado de tensão for inacessível, o LNEC desenvolveu um método, denominado defômetro tridimensional (STT), que conhecidas as características mecânicas do maciço rochoso no ponto considerado, permite obter nesse ponto o estado tridimensional ou completo de tensão, independentemente da sua natureza. O método consiste, essencialmente, na sequência das fases que se apresentam na Fig. 24. Abertura de um furo de sondagem de diâmetro largo, 140 mm, com uma inclinação em relação à vertical não superior, em princípio, a 45° , até 40 cm acima do ponto onde se pretende determinar o estado de tensão; coaxialmente com este furo, um outro de diâmetro estreito, 37 mm, com um comprimento de 80 cm; colagem por meio de uma resina, que ao fim de 48 h apresente características mecânicas idênticas às do material que forma o defômetro tridimensional (Fig. 25), e que ficará assim ligado ao maciço rochoso na zona de furo estreito e convenientemente orientado; leitura inicial dos 9 extensômetros que o defômetro tridimensional contém; sobrecarotagem do tarolo contendo o defômetro até 40 cm além do ponto de medida de forma a garantir o alívio total das tensões internas a que está submetido; leitura final dos 9 extensômetros após estabilização dos seus valores; cálculo do estado completo de tensão com base nas leituras iniciais e finais e nas características mecânicas do maciço rochoso obtidas sempre que possível, em ensaio biaxial realizado sobre o tarolo que contém o defômetro.

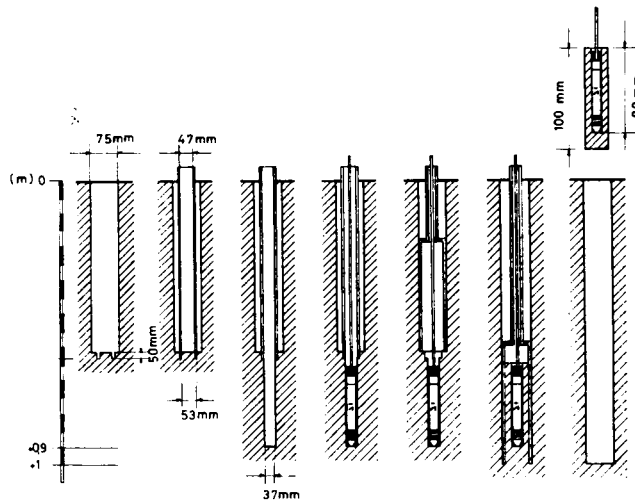


Fig. 24

Encontra-se presentemente em estudo no LNEC um defórmetro tridimensional mais curto, com número e localização diferentes dos extensómetros eléctricos e com um sistema de medida a distância, dispensando assim o cabo multifilar que liga os extensómetros ao aparelho de medida, facilitando, assim, enormemente, todas as operações de posicionamento e de sondagem feitas com varas. O encurtamento do defórmetro tridimensional vai permitir que seja menor a probabilidade de na sobreca-toragem o tarolo, contendo o defórmetro tridimensional, se quebre devido à existência de uma superfície de menor resistência que o atravesse.

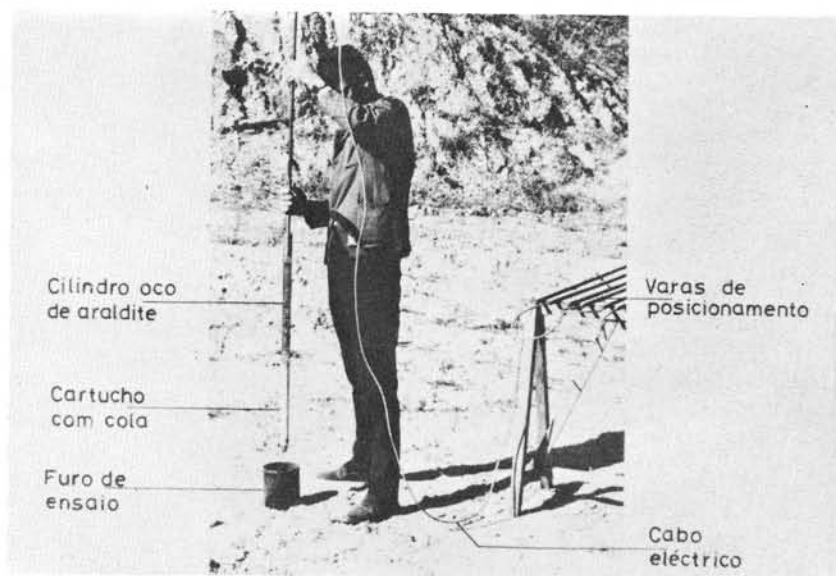


Fig. 25

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acaba de se apresentar, embora em termos muito genéricos, os métodos e técnicas de ensaios «in situ» que o LNEC utiliza na caracterização dos maciços rochosos onde se irão implantar obras de engenharia civil ou de minas, estando nestas obras incluídas as fundações de barragens, nomeadamente as de barragens de betão.

Estas técnicas e estes métodos de ensaios, cujo desenvolvimento no LNEC se devem, sobretudo, à capacidade e dinamismo do Saudoso Prof. Manuel Rocha, têm sido largamente utilizados, quer pelo LNEC quer por outros organismos de investigação, por esse mundo fora.

A melhor prova do seu interesse e mérito reside precisamente no largo espectro da sua utilização e na imposição que muitas vezes é feita, em cadernos de encargos, do seu emprego.

Procurou-se com esta exposição, divulgar entre os presentes estes métodos e técnicas de ensaio «in situ», de forma a que possam, quando necessário, melhor decidir sobre a elaboração de um dado plano de ensaios referente ao estudo de um maciço rochoso. Se este objectivo for conseguido, mesmo em parte, considera-se que não terá sido, de todo inútil, o tempo que vos fiz perder bem como a paciência de que deram provas em me ouvir até ao fim.