

# ALGUMAS APLICAÇÕES DO NOVO MÉTODO DE AMOSTRAGEM INTEGRAL DE MACIÇOS ROCHOSOS \*

por

MANUEL ROCHA\*\*

MANUEL BARROSO\*\*\*

RESUMO – São apresentadas aplicações típicas do novo método de amostragem integral, o qual permite obter amostras representativas de todas as feições dos maciços rochosos.

SYNOPSIS – The authors present typical applications of the new integral-sampling method, which yields samples representative of all features in rock masses.

## 1 – INTRODUÇÃO

No presente trabalho são apresentadas aplicações do método de amostragem integral recentemente desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Rocha, 1970; 1971\*\*\*\*). Esse método permite obter amostras orientadas representativas de todas as feições dos maciços rochosos, tais como diaclases, falhas e outras fracturas, e mesmo os seus enchimentos. Além disso, essas amostras podem ser ensaiadas com vista à determinação de propriedades do maciço, incluídas as das diaclases e outras feições, em especial de propriedades mecânicas.

Para pôr em evidência o interesse da amostragem integral, nota-se que com o fulgurante desenvolvimento da mecânica das rochas se tem acentuado cada vez mais a precaridade dos métodos de amostragem de que se tem disposto. Na verdade,

---

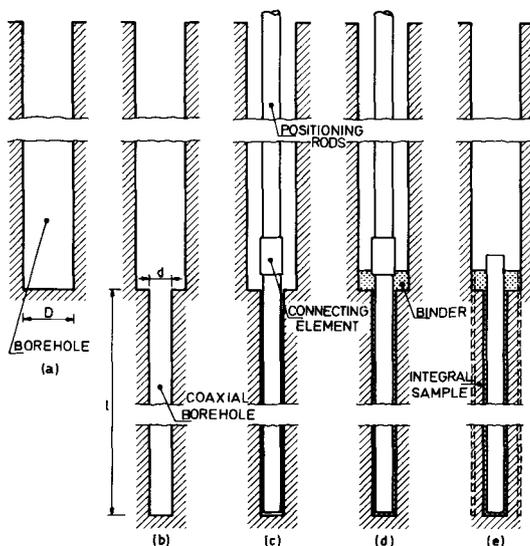
\* Trabalho apresentado no Simpósio da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, Nancy, 1971

\*\* Director do LNEC; Professor Catedrático do I.S.T.

\*\*\* Especialista do LNEC; Professor Auxiliar do I.S.T.

\*\*\*\* Ver referências bibliográficas no final do texto

existe actualmente um vasto corpo de conhecimentos e de teorias sobre o comportamento dos maciços rochosos mas a sua aplicação à solução de problemas concretos tem topado com a dificuldade de se conseguir adequada informação sobre o maciço em jogo, especialmente sobre a geometria e as propriedades das diaclases e outras superfícies de menor resistência que influenciam em regra de maneira decisiva a deformabilidade, a resistência e a permeabilidade. Uma vez reconhecidas as feições de um maciço o passo seguinte a dar consiste no estabelecimento do modelo geométrico das famílias de diaclases. A nosso ver, a definição do modelo adequado a cada problema a resolver constitui talvez hoje a mais importante dificuldade a vencer para o florescimento da mecânica das rochas.



*Fig. 1 – Fases de execução da amostragem integral*

O método de amostragem desenvolvido consiste essencialmente em obter uma amostragem do maciço rochoso previamente reforçada com um varão que assegura a integridade do material amostrado. Para isso, após execução de furo de sondagem de diâmetro  $D$  até à profundidade onde interesse extrair amostra integral, Fig. 1-a, é aberto o furo coaxial de diâmetro  $d$  e comprimento  $l$  igual ao da amostra a obter, Fig. 1-b, destinado a alojar um varão de reforço cujo azimuth é definido por meio de hastes de posicionamento, Fig. 1-c, que na fase seguinte permitem a introdução de um ligante para solidarização do varão com o maciço

rochoso, Fig. 1-d. Após endurecimento do ligante prossegue a abertura do furo com o diâmetro  $D$ , com a técnica habitual, assim se obtendo a amostra integral, Fig. 1-e.

Têm sido obtidas amostras extraídas de furos com diâmetro  $D$  desde 7,6 cm a 17,0 cm, não se prevendo qualquer dificuldade em extrair amostras com maior diâmetro. Quanto ao limite inferior, ele depende do valor de  $d$  pois não convém que a espessura da rocha que envolve o varão seja inferior a cerca de 1,0 cm. Os valores de  $d$  usados têm variado desde 2,0 cm a 3,7 cm.

Na maior parte dos casos tem-se adoptado  $D = 7,6$  cm,  $d = 2,6$  cm e  $l$  desde 1,5 m a 2,5 m, sendo o varão de reforço de aço e a ligação obtida por meio de calda de cimento. A adopção de furos com 7,6 cm visa a possibilidade de esses mesmos furos serem utilizados para ensaios com dilatômetro, os quais estamos fazendo sistematicamente na fase de reconhecimento dos maciços rochosos (Rocha et al., 1970).

O novo método de amostragem tem sido aplicado com pleno sucesso a formações constituídas por rochas de natureza muito diversa e com graus de alteração variáveis, mesmo já próximas da condição de solo residual. No que se refere a enchimentos argilosos de diaclases e falhas já se teve a oportunidade de colher amostras perfeitamente intactas com a espessura de cerca de 15 cm, em amostras colhidas em furos com o diâmetro de 7,6 cm.

Segue-se a apresentação de quatro aplicações típicas da amostragem integral.

## 2 - VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO DE BARRAGEM JÁ CONSTRUÍDA

Após conclusão da construção da barragem de contrafortes do rio Caia, Fig. 2, obra que faz parte do plano de irrigação do Alentejo, foi reconhecida a necessidade de apreciação complementar das condições de fundação da estrutura. O maciço de fundação, situado numa zona de contacto, é essencialmente constituído por xistos cristalinos e corneanas com fracturação muito densa.

Em primeiro lugar foram abertos furos de sondagem tradicionais com o diâmetro de 7,6 cm e colhidas amostras, com amostrador de parede dupla, que confirmaram a ocorrência de denso diaclasamento, e permitiram a realização de ensaios de corte das diaclases. Os 75 ensaios realizados, sobre amostras com dimensões de 30 cm<sup>2</sup> a 150 cm<sup>2</sup> revelaram ângulos de atrito  $\Phi$  muito baixos, com a distribuição indicada na Fig. 3. O ângulo de atrito médio era  $\Phi_m = 29^\circ$ ,

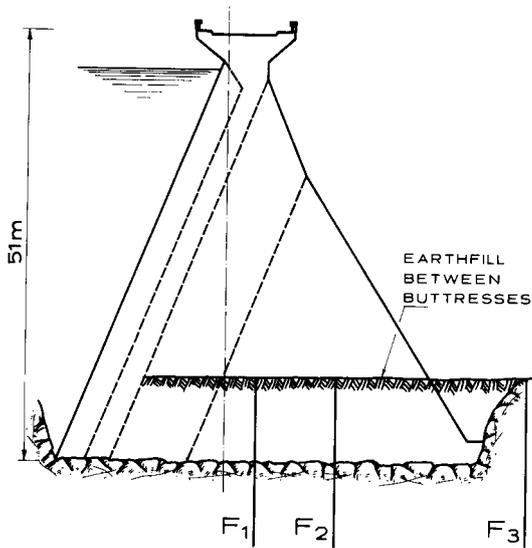


Fig. 2 – Barragem de contrafortes do rio Caia

tendo chegado a observar-se valores de  $11^\circ$ . A apreciação das condições de segurança da fundação topava porém, como tem sido habitual, com a dificuldade da amostragem tradicional não fornecer a necessária informação sobre a abertura, a continuidade e a atitude das diaclases.

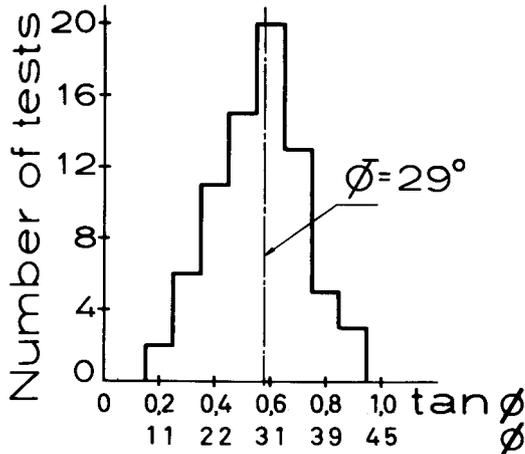
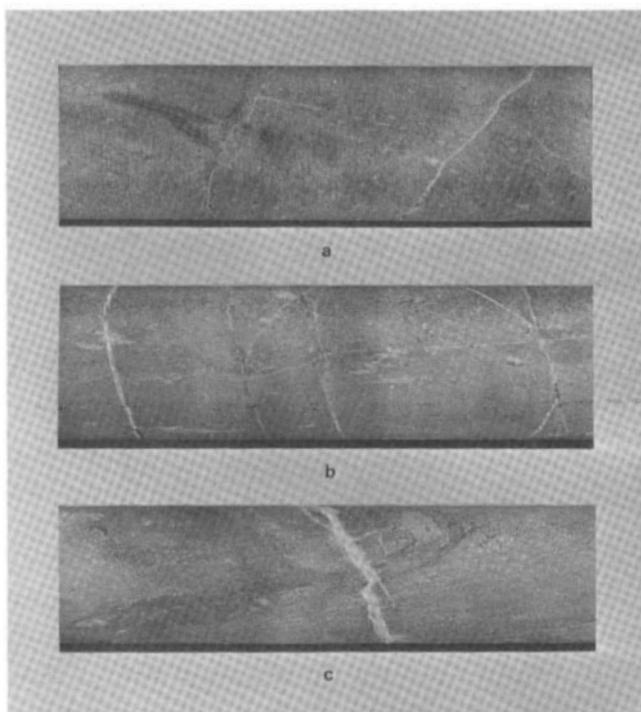


Fig. 3 – Distribuição dos ângulos de atrito de diaclases

Recorreu-se pois ao método de amostragem integral, que acabava de ser desenvolvido, o qual permitiu concluir que o maciço de fundação apresentava adequada segurança. Foram abertos três furos verticais com o diâmetro de 7,6 cm e comprimento de cerca de 20 m, Fig. 2, na zona considerada mais desfavorável e na vizinhança de alguns dos furos anteriormente referidos. Foi colhido um comprimento total de amostras integrais de cerca de 20,0 m, as quais foram consideradas representativas do maciço. É digno de nota o facto de terem sido obtidas amostras integrais em boas condições numa rocha tão difícil de amostrar como a corneana.

A atenta observação das amostras colhidas confirmou a fracturação intensa mas permitiu concluir que as diaclases se encontram fechadas ou preenchidas com calcite, sem continuidade – conclusão tirada a partir do confronto da fracturação observada nos furos abertos – e com a superfície irregular. Quanto a este último aspecto, nota-se que a amostragem tradicional também mostrou



*Fig. 4 – Amostras integrais de corneanas*

algumas rupturas irregulares mas não forneceu evidência que legitimasse a realização de ensaios de corte de superfícies irregulares. Na Fig. 4 apresentam-se trechos típicos das amostras obtidas, chamando-se a atenção para a irregularidade da superfície das diaclases, incluindo a da diaclase quase paralela ao eixo da amostra da Fig. 4-b.

A Fig. 5 mostra a representação equiárea das atitudes das fracturas observadas nas amostras colhidas. A partir de um dos raios do diagrama traçou-se o diagrama das inclinações das fracturas. Verifica-se que as diaclases apresentam direcções e inclinações muito variáveis, apresentando-se como mais frequentes as inclinações vizinhas de  $25^\circ$ . É importante notar que são muito pouco frequentes as inclinações inferiores a  $15^\circ$ , o que contribuirá para incremento substancial do ângulo de atrito, em relação a um eventual escorregamento por plano horizontal.

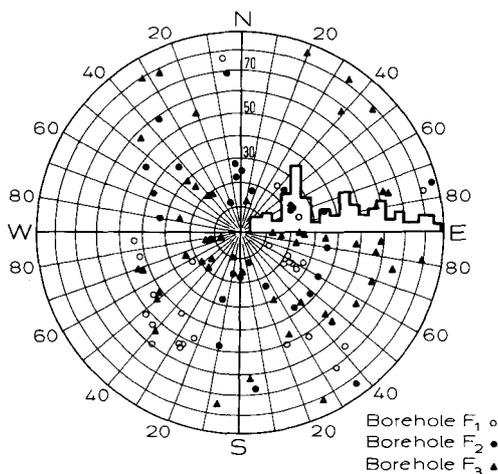


Fig. 5 – Distribuição das atitudes das fracturas observadas em amostras integrais

A campanha de amostragem integral realizada, apesar da sua reduzida extensão, permitiu um julgamento do maciço rochoso muito diferente, e mais favorável, daquele que resultava da observação dos tarolos tradicionais e do próprio maciço. Na verdade a amostragem integral está pondo em evidência que a observação visual dos maciços, em especial na superfície de galerias, conduz muitas vezes a uma apreciação desfavorável do maciço rochoso, em virtude da perturbação devida ao desmonte da rocha.

### 3 - FRACTURAÇÃO DO MACIÇO DE FUNDAÇÃO DE BARRAGEM ABÓBADA

A barragem abóbada de Albarellos, presentemente em construção no rio Ávia, Espanha, encontra-se fundada numa zona de contacto especialmente perturbada

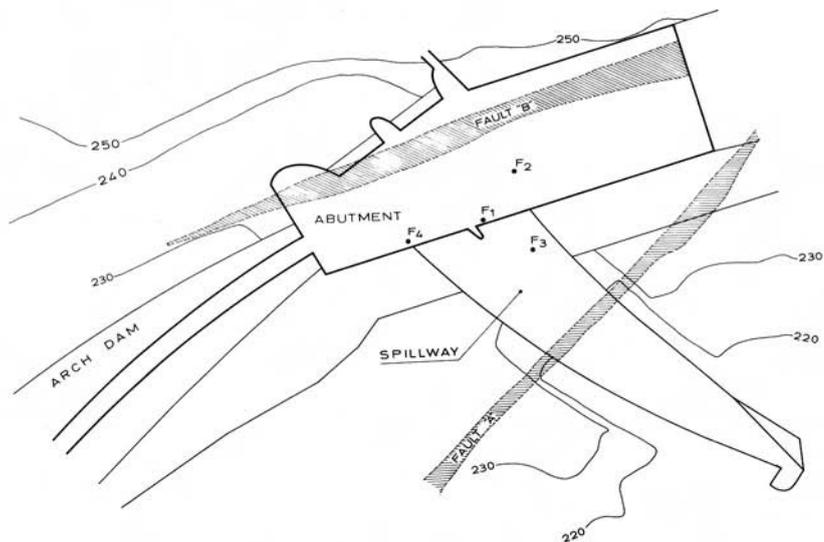


Fig. 6 - Encontro esquerdo da barragem abóbada de Albarellos



Fig. 7 - Maciço rochoso da zona do encontro esquerdo

na parte alta da margem esquerda, Fig. 6, onde ocorrem duas falhas importantes, apresentando-se o maciço granítico com intercalações de gnaiss intensamente fracturado, como se pode observar na Fig. 7, onde se indica a localização de



*Fig. 8 - Amostras integrais, cada uma com o comprimento de cerca de 1,5 m*



*Fig. 9 - Pormenor de amostra integral*

uma das falhas referidas. Como sobre essa zona perturbada se apoia um encontro gravidade importante, no qual está instalado o descarregador de cheias, foi reconhecida a necessidade de fazer estudo pormenorizado da fracturação do maciço, em especial de averiguar a existência de fracturas subhorizontais. Para isso foi feita a amostragem integral em quatro furos verticais com o diâmetro de 7,6 cm e o comprimento de 15 cm.

A amostragem integral confirmou a intensa fracturação, Figs. 8 e 9, mas revelou que as diaclases não apresentavam continuidade. De facto, apesar das reduzidas dimensões da secção das amostras, verificou-se com surpresa que mais de 50% das fracturas ocorrentes se apresentavam interrompidas, conforme se indica na

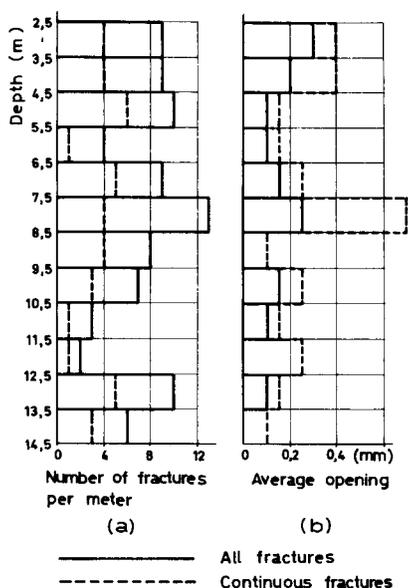


Fig. 10 – Distribuição em profundidade do número e da abertura das fracturas

Fig. 10-a, que diz respeito aos quatro furos de sondagem. Na Fig. 10-b apresenta-se a distribuição da abertura das fracturas. Como seria de esperar, a abertura decresce com a profundidade e as fracturas contínuas têm abertura superior à que se apresentam interrompidas. Na Fig. 11 indica-se, em projecção equiárea, a distribuição das atitudes das fracturas observadas nas amostras, com inclinação

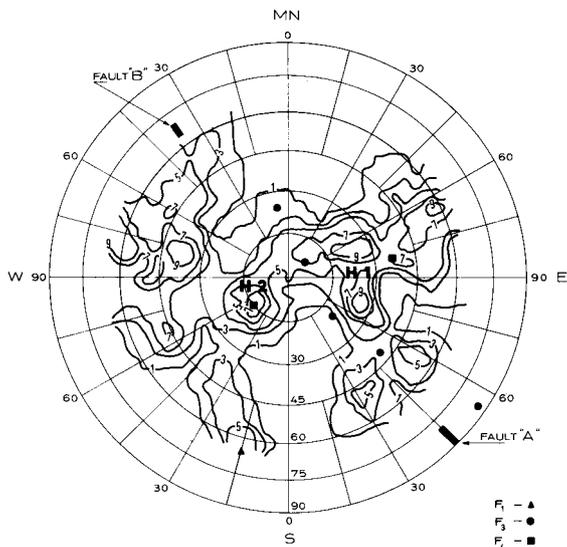


Fig. 11 - Distribuição das atitudes das fracturas

inferior a  $60^\circ$ . A abertura das fracturas era inferior a 5 mm, tendo-se marcado na projecção equiárea a atitude das fracturas com cobertura superior a 1 mm, a maior parte das quais ocorreu no furo  $F_3$  localizado na vizinhança da falha A, não se tendo observado alguma no furo  $F_2$ . Concluiu-se, a partir da consideração da profundidade e da atitude dessas fracturas, que elas não eram contínuas. A amostragem integral permitiu identificar duas famílias de fracturas subhorizontais,  $H_1$  e  $H_2$ , Fig. 11, notando-se, no entanto, que o ângulo formado com a horizontal é em média superior a  $15^\circ$ .

A amostragem integral deu contribuição decisiva para a apreciação da segurança no encontro, sendo em especial de destacar a informação fornecida sobre a não continuidade das fracturas, mesmo das que apresentavam maior abertura. Tal como no caso apresentado no art. 2, também no que se está considerando a observação da superfície do maciço rochoso fazia supor tratar-se de situação mais desfavorável.

#### 4 - ESTUDO DAS FUNDAÇÕES DA BARRAGEM DA AGUIEIRA

A barragem de abóbadas múltiplas da Aguieira, a construir no rio Mondego, Portugal, será fundada num complexo xisto-grauváquico, constituído por camadas

alternadas de grauvaques, xistos grauvacóides e filádios grafitosos, com intercalação frequente de lenticulas e filões de quartzo, intensamente dobrados mas sem metamorfismo acentuado.

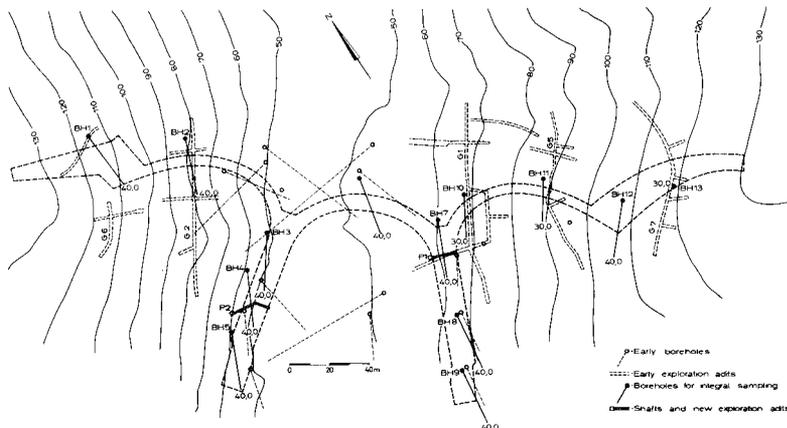


Fig. 12 – Programas de prospecção do maciço de fundação da barragem de Agueira

Trata-se de situação na qual está sendo possível apreciar o método da amostragem integral em face da tradicional amostragem com amostrador de parede dupla. Na verdade, de 1961 a 1964 foi empreendido vasto programa de sondagens e de ensaios «in situ», Fig. 12, que mostrou o interesse de implantar a barragem mais a jusante, a cerca de 50 m, estando presentemente em execução programa de sondagens com amostragem integral para estudo da nova implantação.

Nos trabalhos anteriores foram abertos 22 furos (Fig. 12) com o comprimento médio de 50 m, variando a percentagem média de tarolo de 40% a 100%.

A insuficiência da informação sobre a condição do maciço fornecida pelas sondagens levou, como tem sido habitual, à abertura de numerosas galerias, cujo comprimento total atingiu cerca de 750 m (Fig. 12), subsistindo dúvidas no respeitante à zona do maciço sob o leito do rio, onde não foram abertas galerias. Nas galerias foram realizados 84 ensaios de carga, sobre área de 1 m<sup>2</sup>, para a determinação da deformabilidade do maciço e 21 ensaios de corte, em secções com 0,7x0,7 m.

O programa de prospecção em curso consta da abertura de 13 furos com diâmetro de 7,6 cm e comprimento de 30 e 40 m (Fig. 12), procedendo-se à amos-

tragem integral a partir dos 10 m. Um dos furos é vertical e os outros têm a inclinação de 45°. Na Fig. 13 apresenta-se amostra integral de grauvaque, cuja fracturação é representativa do diaclasamento do maciço. As fracturas



*Fig. 13 – Amostra integral de grauvaque, extraída de furo com o diâmetro de 7,6 cm*

das amostras obtidas até agora apresentam-se com abertura em geral inferior a 0,25 mm, na maior parte dos casos mesmo fechadas. Das fracturas com maior abertura umas apresentam-se preenchidas com calcite e outras com material



*Fig. 14 – Amostra integral de caixa de falha*

argiloso. Na Fig. 14 vê-se zona de falha com veios de quartzo. Numa sondagem tradicional esta zona seria desfeita apesar de a amostra integral obtida evidenciar que a sua resistência mecânica não é muito baixa. Os furos estão sendo ensaiados com dilatômetro e submetidos a ensaio de absorção de água. Procura-se relacionar os resultados dos ensaios com as características das amostras integrais, em especial com a sua fracturação.

Para identificação de zona perturbada evidenciada pelo anterior programa de sondagens, está sendo considerada a abertura de duas galerias, a partir de dois poços  $P_1$  e  $P_2$ , Fig. 12, com profundidades de cerca de 18 m, mas espera-se que a amostragem integral permita evitar este dispendioso e demorado trabalho.

Vão ser abertos furos na vizinhança das zonas submetidas a ensaios «in situ», na anterior campanha de estudos, para serem colhidas amostras integrais e realizados ensaios com dilatômetro, a fim de estabelecer correlações que permitam a caracterização mecânica da zona agora em estudo do maciço a partir dos ensaios realizados.

## 5 – DETECÇÃO DE FRACTURAS DEVIDAS A LIBERTAÇÃO DE TENSÕES

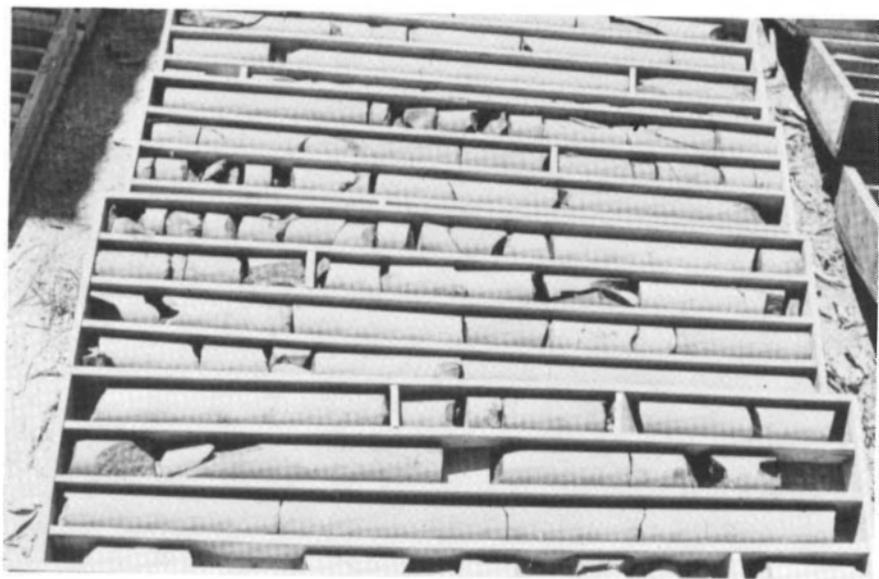
O trecho de betão da barragem de Volta Grande, em construção no rio Grande, Brasil, ficará fundado num maciço basáltico constituído pela sobreposição de sucessivos mantos. Verificou-se nalgumas zonas que a escavação das fundações era acompanhada do aparecimento de fendas subhorizontais, tais como as da Fig. 15. Essas fendas, cuja abertura podia atingir alguns centímetros, são atribuídas à libertação de tensões iniciais associada à escavação.

Deste modo se levantou o problema da averiguação da ocorrência de fendas abaixo da superfície de fundação que pudessem influenciar a segurança, o que levou à utilização da amostragem integral, que foi executada em furos verticais com o diâmetro de 10,0 cm.

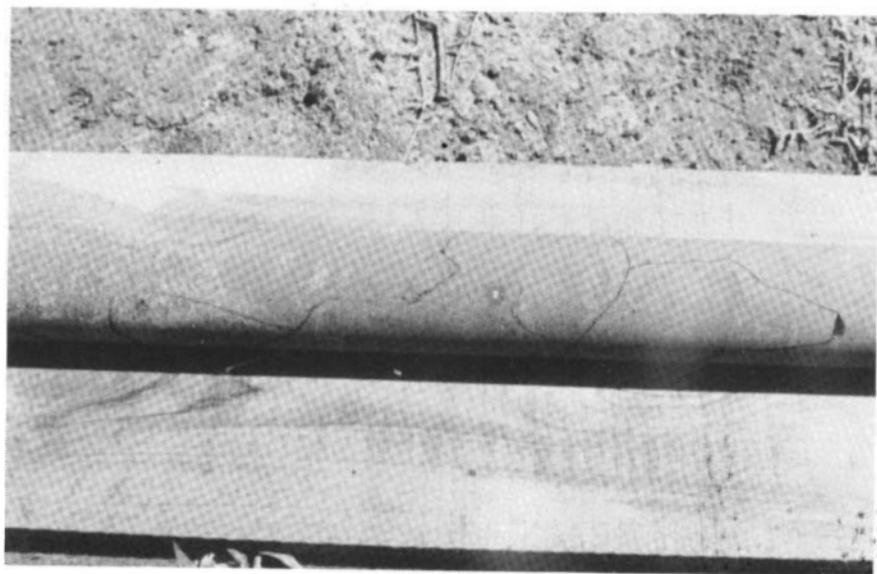


*Fig. 15 – Maciço basáltico com fendas devidas a libertação de tensões iniciais*

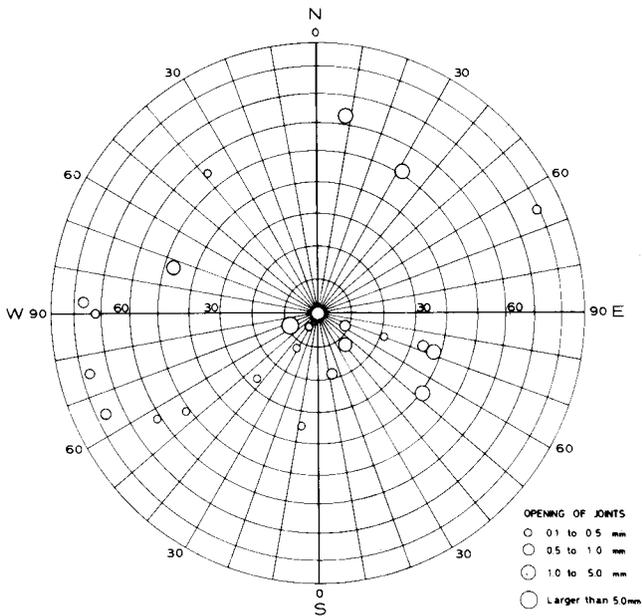
A rocha apresentava-se em geral sã mas muito fracturada, como se pode verificar na Fig. 16, que diz respeito a tarolos obtidos por amostragem



*Fig. 16 – Amostras tradicionais*



*Fig. 17 – Amostra integral*



*Fig. 18 – Atitudes das fracturas e sua abertura*

tradicional, e na amostra integral da Fig. 17. Na Fig. 18 apresentam-se as atitudes das aberturas das fracturas com abertura superior a 0,1 mm observadas nas amostras integrais colhidas num furo com o comprimento de cerca de 5 m, aberto numa superfície de fundação em apreciação. Como se vê, predominam as fracturas subhorizontais, tendo sido observada uma com a abertura de 7 mm, à profundidade de cerca de 1 m. A amostragem integral, que prossegue, está fornecendo informações com grande interesse para a apreciação das condições de fundação e para definição dos trabalhos de consolidação do maciço a executar.

## 6 – CONCLUSÃO

As aplicações que têm sido feitas do método de amostragem integral têm mostrado a sua aplicabilidade nas mais diversas condições, desde rochas muito duras e frágeis até rochas decompostas, e com obtenção de completa informação

sobre as fracturas e seus enchimentos. A observação dos tarolos permite a visualização de conjunto das reais condições do maciço rochoso, com o maior interesse para a apreciação do seu comportamento, em especial para o estabelecimento de modelo geométrico e físico do maciço adequado ao tratamento do problema em consideração. Da experiência colhida até agora depreende-se que em regra as condições oferecidas pelo maciço rochoso são melhores do que as que se podem inferir da observação de tarolos de tipo tradicional e da superfície de galerias de inspecção. Residirá aí a justificação para o comportamento satisfatório da maior parte das obras apesar das incertezas que em geral subsistem após os estudos dos maciços. Por outro lado, o melhor conhecimento dos maciços virá a permitir a melhor exploração das suas propriedades, em especial da sua resistência.

Pensamos que a amostragem integral deve ser utilizada sempre que se preveja ser relevante a influência de fracturação e de zonas de fraca resistência no comportamento dos maciços rochosos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração que diversas entidades prestaram no desenvolvimento do método de amostragem integral, em especial a Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos do Ministério das Obras Públicas e a Companhia Portuguesa de Electricidade, de Portugal, a CEMIG (Centrais Eléctricas de Minas Gerais) e Sondotécnica, do Brasil, e FENOSA (Fuerzas Eléctricas del Noroeste, S.A.), de Espanha.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ROCHA, M. - Discussion on theme 1, 2<sup>nd</sup> Congress of the Int. Soc. for Rock Mech., Belgrade, 1970.
- ROCHA, M. - «A method of integral sampling of rock masses», Rock Mechanics, Vol. II/1, 1971.
- ROCHA, M.; SILVEIRA, A.; RODRIGUES, F. P.; SILVÉRIO, A.; FERREIRA, A. - «Characterization of the deformability of rock masses by dilatometer tests», Paper 2-32, 2<sup>nd</sup> Congress of the Int. Soc. for Rock Mech., Belgrade, 1970.