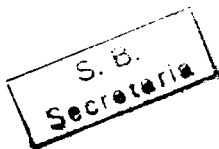


MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS  
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL



SERVIÇO DE BARRAGENS  
DIVISÃO DE FUNDAÇÕES E TÚNEIS

Proc. 45/1/2242

ESTUDO DAS FUNDAÇÕES DA BARRAGEM DE CABORA-BASSA

1º. RELATÓRIO

(Deformabilidade e fluência do maciço rochoso e das rochas  
constituíntes da fundação da barragem)

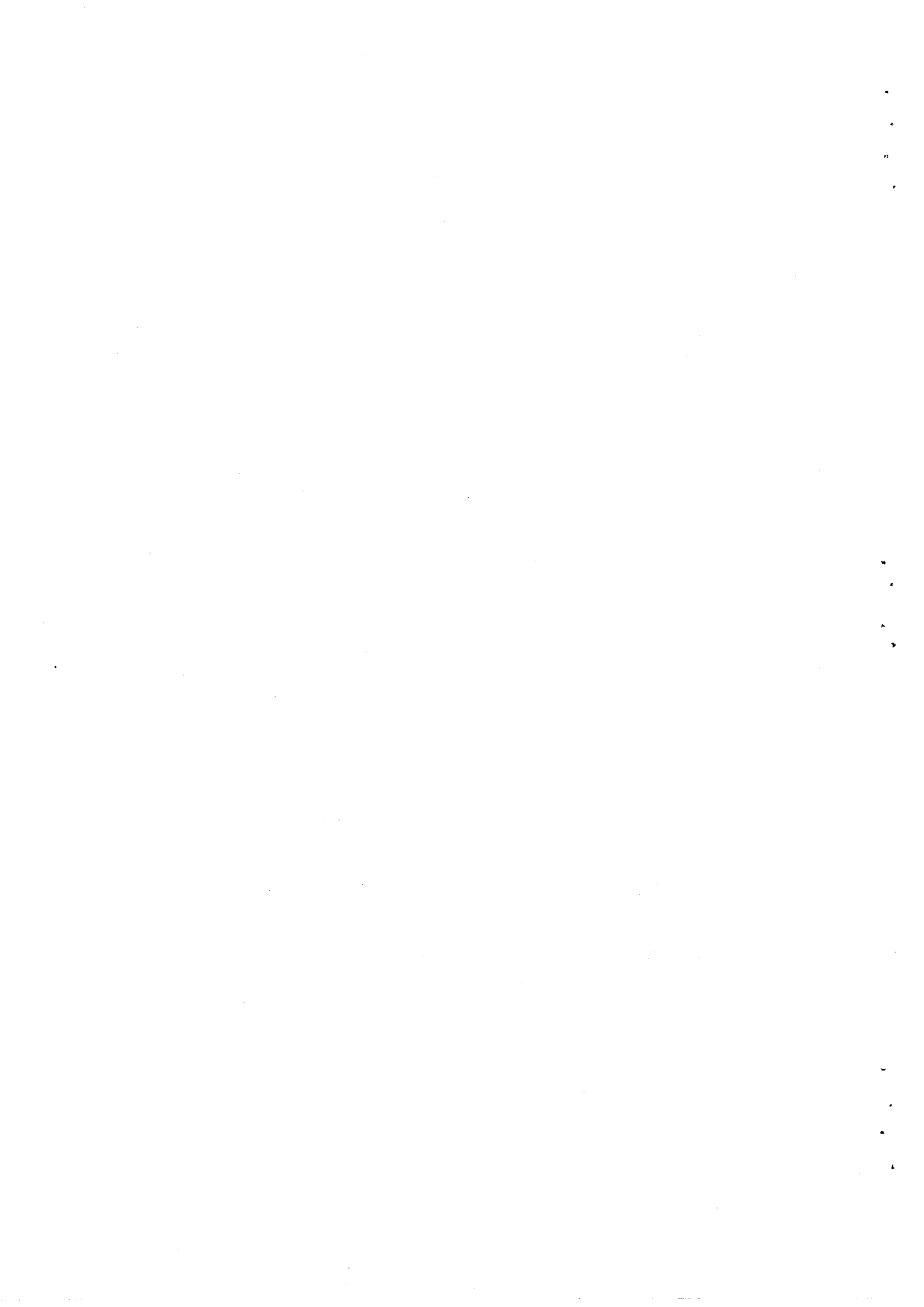
Trabalho realizado para o CONSELHO SUPERIOR  
DE FOMENTO ULTRAMARINO

Lisboa, Agosto de 1969



## ÍNDICE

	Pág.
1 - GENERALIDADES .....	1
2 - INTRODUÇÃO .....	2
3 - GEOLOGIA DO LOCAL PREVISTO PARA A FUNDAÇÃO .....	23
3.1 - Características morfológicas .....	23
3.2 - Características geológicas .....	25
3.3 - Características geotécnicas gerais .....	31
3.4 - Estabilidade das vertentes da albufeira .....	34
3.5 - Falha sob o leito do rio no local da construção da barragem .....	37
4 - ENSAIOS .....	38
4.1 - Ensaios de deformabilidade e de fluência "in situ" .....	38
4.2 - Ensaios de módulos de elasticidade e de tensões de rotura de tarolos de sondagem, em laboratório .....	46
4.3 - Estudo micropetrográfico de tarolos de sondagem .....	50
5 - CONCLUSÕES .....	74



## ÍNDICE DOS QUADROS

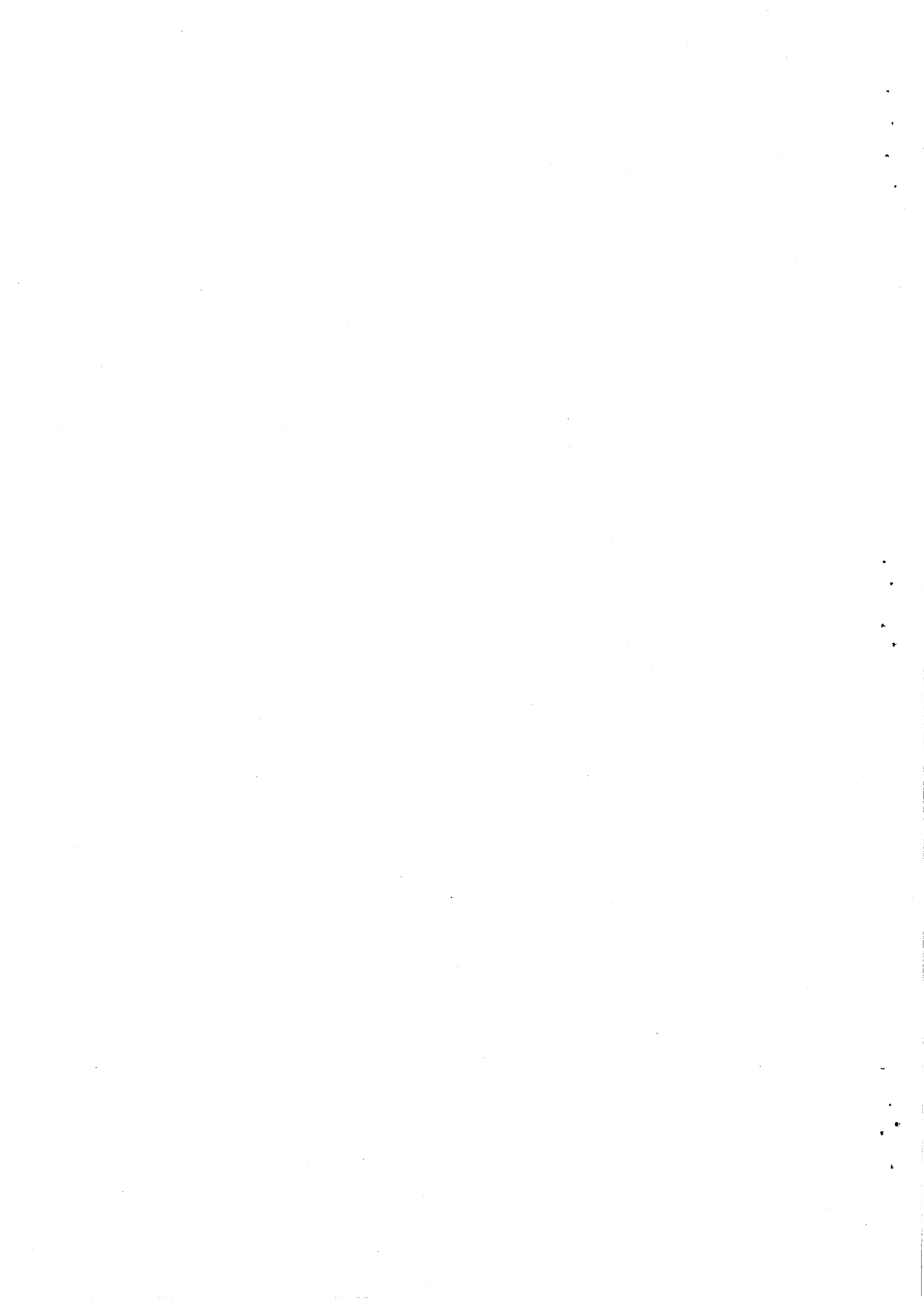
- QUADRO I - Características mecânicas do maciço rochoso
- QUADRO II - Características mecânicas dos provetes de sondagem
- QUADRO III - Índice micropetrográfico e características mecânicas de provetes de sondagem



## ÍNDICE DAS FIGURAS

FIG.

- 1 - Resultados dos ensaios "in situ"
- 2 - Curva de distribuição normal dos módulos de elasticidade da rocha gnaiss granitóide porfiroblástico esverdeado
- 3 - Diagrama envolvente de tensões-extensões para os provetes de rocha gnaiss granitóide ensaiados no laboratório
- 4 - Correlação do módulo de elasticidade com a tensão de rotura em provetes
- 5 - Correlação do índice de qualidade micropetrográfico (K) com o módulo de elasticidade (E)
- 6 - Correlação do índice de qualidade micropetrográfico (K) com a tensão de rotura ( $\sigma_r$ )
- 7 - Histogramas comparativos das rochas gnaissicas da sondagem H
- 8 - Histogramas comparativos das rochas gnaissicas regionais da sondagem B<sub>1</sub>
- 9 - Histogramas comparativos das rochas gnaissicas da sondagem B<sub>1</sub>





# ESTUDO DAS FUNDAÇÕES DA BARRAGEM DE CABORA-BASSA

## 1º. RELATÓRIO

(Deformabilidade e fluência do maciço rochoso e das rochas constituintes da fundação da barragem)

### 1 - GENERALIDADES

O presente relatório, o primeiro duma série de quatro, refere-se aos estudos de deformabilidade e fluência realizados no local de fundação futura da barragem de Cabora-Bassa, no Rio Zambeze, sensivelmente a 150 km a montante da cidade de Tete. Apresentam-se ainda os estudos efectuados em laboratório sobre amostras dos diversos tipos de rocha ocorrentes no local de fundação, e respeitantes a deformabilidade e análises micropetrográficas.

Como introdução, será apresentado neste primeiro relatório, dum maneira exaustiva, toda a correspondência trocada entre as entidades intervenientes no estudo, e que se considerou de interesse para o conhecimento da evolução das diversas fases e das vicissitudes por que passaram os trabalhos desde o seu início, Novembro de 1963, até à presente data.

Dada a extensão, quer no tempo quer na diversidade de estudos realizados, foi resolvido descrever em quatro relatórios toda a colaboração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, levado a cabo pelo Serviço de Barragens através da Divisão de Fundações e Túneis. Os estudos a tratar em cada um dos quatro relatórios previstos são os seguintes:

1º. relatório: estudo da deformabilidade e fluência do maciço rochoso e das rochas constituintes da fundação da barragem.

- 2º. relatório: estudo das características de corte e de deslizamento de diaclases. Anisotropia das rochas constituintes da fundação.
- 3º. relatório: estudo das tensões internas do maciço rochoso no local da futura Central-Sul.
- 4º. relatório: estudo do avanço de galerias e de furos de sondagem com vista a uma melhor caracterização mecânica do maciço rochoso.

## 2 - INTRODUÇÃO

No mês de Novembro de 1963 decorreu em Luanda uma reunião preliminar entre o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), o Laboratório de Ensaio de Materiais e Mecânica dos Solos (LEMMS) de Lourenço Marques e a Missão de Fomento e Povoamento do Zambeze (MFPZ) no sentido de se analisar a viabilidade de realização do estudo das propriedades mecânicas da rocha no local previsto para a construção da barragem de Cabora-Bassa, aventando-se a hipótese desse estudo vir a ser conduzido, simultaneamente, pelo LNEC e pelo LEMMS.

A 28 de Dezembro, a MFPZ enviou ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil o ofício nº. 1466/63/7 solicitando um eventual apoio no estudo das propriedades mecânicas da rocha de fundação da Cabora-Bassa, ficando a decisão final desse assunto dependente da resposta a um ofício enviado ao LEMMS de Lourenço Marques entidade que, em princípio, estaria mais indicada para a condução desses ensaios, embora com a colaboração do LNEC. Mais informava, que a empreitada de sondagens, inicialmente prevista para ser iniciada em Novembro de 1963, só deveria iniciar-se em Abril de 1964 levando, conseqüentemente, a atrasar os trabalhos de abertura de galerias destinadas a ensaios de rocha, razão porque estes não deveriam vir a poder realizar-se antes de Outubro de 1964. Jun

tamente com este ofício foi enviado ao LNEC, entre outros documentos, uma "nota relativa aos ensaios pretendidos e preconizados pela Hidrotécnica Portuguesa" (HP), entidade orientadora da MFPZ e responsável pela apresentação do Plano Geral, de que constava o anteprojecto do aproveitamento de Cabora-Bassa.

Em face deste ofício, julgou conveniente o LNEC solicitar uma reunião para troca de impressões que deveria decorrer até 13 de Fevereiro de 1964.

Posteriormente, a MFPZ no seu ofício nº. 952/64/Z datada de 24 de Outubro de 1964 dava conta das bases do "novo programa para a prospecção e conhecimento da rocha local". Esse programa, elaborado pelo Prog. Eng.º D.º Thadeu para a HP, preconizava entre outros trabalhos a "execução de 4 galerias de pesquisa perpendiculares à escarpa do vale em cada margem e às cotas 220, 310, 215 e 328, a abrir com os cuidados e dimensões exigidas para a execução de ensaios de comportamento da rocha". Mais adiante, nesse mesmo ofício, previa-se novo atraso na execução das galerias e sondagens por estarem dependentes da dotação de verba, pelo que "não se esperava iniciá-las antes de 1965".

A MFPZ no seu ofício nº. 352/65/7 de 8 de Agosto de 1965 pedia, finalmente, a "indicação das condições em que o LNEC poderia vir a encarregar-se dos ensaios de rocha "in situ".

O LNEC, tomando em consideração o ofício recebido e mediante pedido verbal formulado em 13 de Dezembro de 1965 elaborou um plano de trabalhos que enviou à MFPZ através do ofício nº. 7491 de 26 de Dezembro e de que se transcrevem os seguintes passos:

"A barragem será fundada num maciço terroso constituído por rochas cristalinas onde parecem predominar os granitos porfiróides de grão grosseiro, assinalando-se no local a existência de um filão aplítico (Estudo geológico do local de Cabora-Bassa, anteprojecto de J. Paula Santos, 1963)".

Referiam-se nesse relatório vários sistemas de fracturas cuja malha deveria ser bastante cerrada. Dos elementos colhidos e da troca de impressões havida concluía-se ser necessário estudar:

a) Características de deformabilidade, corte, anisotropia e índice de qualidade da rocha de fundação nas diferentes galerias e zonas de alteração;

b) Levantamento estatístico de diaclases ao longo das galerias para se julgar da compartimentação do maciço;

c) Determinação de tensões residuais devidas à grande inclinação das duas margens".

Pormenorizava em seguida o plano de trabalhos:

"Ensaaios "in situ" :

1) Ensaaios de deformabilidade em três tipos de rocha, com macacos, nas galerias, compreendendo estes ensaios a determinação da deformabilidade de segundo duas direcções perpendiculâres; seis caixas com quatro determinações;

2) Ensaaios de fluência feitos nos mesmos locais dos ensaios de deformabilidade, durante o tempo e a tensão julgados convenientes; seis caixas com quatro determinações;

3) Ensaaios de corte de rocha compreendendo cada ensaio a realização de carga até à rotura de três blocos de rocha distintos com secção de  $70 \times 70 \text{ cm}^2$ ; três locais com três blocos;

4) Ensaaios de deslizamento de diaclases compreendendo cada ensaio a realização de 3 ciclos de carga até ao deslocamento franco de um bloco da rocha com a secção de  $70 \times 70 \text{ cm}^2$ ; três locais com um bloco;

5) Levantamento estatístico de diaclases em todas as galerias, a fim de determinar os sistemas de diaclasamento do maciço;

6) Determinação das tensões residuais nas galerias GD1 e GE1 utilizando as técnicas recentemente desenvolvidas pelo LNEC".

"Ensaio no laboratório:

1) Ensaio de nove prismas para cada um dos três tipos de rocha a estudar, correspondendo cada um a uma direcção do espaço segundo a qual se pretende determinar a deformabilidade e a resistência à rotura, no total de 27 prismas;

2) Determinação sistemática dos índices de qualidade da rocha nas galerias, de forma a ter-se a variação desta propriedade, com colheitas de amostras em pontos separados nunca mais de um metro, num total de cem pontos;

3) Ensaio de deslizamento de diaclases no caso de se julgarem necessários".

Previa-se para duração dos trabalhos, em condições normais, 7 meses na realização dos ensaios e mais 3 meses na elaboração do relatório.

Sugeria-se ainda, nesse ofício, a pesquisa das condições mecânicas do maciço rochoso com vista à construção das obras subterrâneas pelo que se propunha uma reunião com a MFPZ e com a HP, com vista ao estabelecimento de um programa de trabalhos destinados à colheita de elementos que permitisse aos projectistas estudar as obras subterrâneas convenientemente.

Em resposta ao ofício do LNEC que se acaba de mencionar em parte, a MFPZ enviou o ofício nº. 29/65/Z, datado de 27 de Dezembro e do qual se extraíram os seguintes parágrafos:

"Tenho a honra de comunicar a V. Ex<sup>a</sup>. que por despacho de Sua Excelência o Sub-secretário de Estado de Fomento Ultramarino, de 21 do corrente mês, foi aprovada a encomenda, a esse Laboratório Nacional, dos ensaios correspondentes ao estudo das fundações da barragem de Cabora-Bas-

sa de acordo com o plano de trabalhos indicado no ofício referenciado em epígrafe e resultante das consultas efectuadas por esta Missão".

"Esclarece-se, em confirmação das indicações verbais do signatário na reunião havida em 13 de Dezembro de 1965, que o Governo Geral de Moçambique, através do ofício nº. 8056/134, de 26 de Novembro de 1965, dirigido pela Secretaria Provincial que superintende no Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo da Província, informou a Direcção-Geral de Obras Públicas e Comunicações que aquele Laboratório está em condições de colaborar na realização dos ensaios, dentro das suas possibilidades de pessoal e material".

Entretanto, o LNEC através do seu ofício nº. 7527 de 17 de Dezembro de 1965 informava o LEMMS sobre o tipo de ensaios a realizar e pedia indicações sobre o tipo de colaboração que o LEMMS estaria em condições de prestar.

Em resposta, o LEMMS enviou ao LNEC o ofício nº. 9/S datado de 3 de Janeiro de 1966 no qual definia essa colaboração.

Propunha-se nesse ofício, o LEMMS, ceder o equipamento que possuía, adquirindo aquele que fosse julgado necessário, bem como executar os trabalhos por parte de pessoal técnico superior e auxiliar, sob a orientação do pessoal do LNEC pelo tempo que se considerasse necessário.

O LNEC através do ofício nº. 640 datado de 29 de Janeiro respondeu ao LEMMS informando que "dada a proximidade do início dos trabalhos e os longos prazos de entrega do material necessário para a execução dos ensaios "in situ", não parecia viável que os ensaios viessem, pelo menos inicialmente, a ser realizados com material adquirido pelo Laboratório de Moçambique".

"O LNEC contaria com o apoio do pessoal do LEMMS, não só para reforço da sua equipa, como também para a formação de novas equipas, depois

de devidamente treinadas, se viesse a julgar-se necessária tal orientação".

A HP na carta com o nº. 11.9/160, datada de 1 de Fevereiro de 1966 enviou ao LNEC o relatório da autoria do Prof. Eng<sup>o</sup>. Décio Thadeu "Aproveitamento de Cabora-Bassa: Trabalhos para reconhecimento da fundação da barragem e das galerias de desvio".

Propunha nessa carta a HP, por sugestão do autor do relatório, que "a execução de ensaios para determinação de módulos de elasticidade seja efectuada imediatamente após a recolha do testemunho, bem como a determinação da composição modal da rocha dos testemunhos ensaiados, dado que a obra compreende a abertura de grandes escavações subterrâneas em rochas com textura orientada incipiente, quando não franca".

Em resposta, o LNEC enviou o ofício nº. 994 datado de 14 de Fevereiro no qual sugeriu uma alteração, propondo que "em vez de ensaios de determinação de módulos de elasticidade sobre os testemunhos se façam verificações de variação de dimensões longitudinal e transversal dos provetes, por meio de um sistema de deflectómetros, até à constância dos resultados". Pedia o LNEC nesse ofício para que fosse informado da data de início dos trabalhos, bem como do mapa dos mesmos, "com vista à preparação do material e deslocação de pessoal para o local da barragem a fim de se dar início aos ensaios em data conveniente".

A HP na sua carta nº. 11.9.0.4/265 datada de 16 de Fevereiro de 1966 enviou um exemplar do 1<sup>o</sup>. aditamento, de Fevereiro de 1966, ao Relatório "Trabalhos para reconhecimento da fundação da barragem e das galerias de desvios" do Prof. Eng<sup>o</sup>. Décio Thadeu.

Posteriormente a 12 de Março a HP na sua carta nº. 11.9.0.4/380 deu resposta ao ofício do LNEC nº. 994 informando aguardar a indicação, por parte da MFPZ, da data do início dos trabalhos de sondagem e abertura de

galerias para reconhecimento das fundações da barragem de Cabora-Bassa, informação que seria transmitida, sem perda de tempo, ao LNEC. Mais informava que, "no prosseguimento dos estudos que têm realizado, se deslocará ao local da barragem, nos primeiros dias de Abril, o Prof. Eng<sup>o</sup>. Décio Thadeu". A fim de obter uma conjugação mais eficiente no estabelecimento dos programas globais a estabelecer com os programas do LNEC para a realização dos ensaios mecânicos, parecia à HP do maior interesse uma troca de impressões entre o Prof. Eng<sup>o</sup>. Décio Thadeu e os técnicos do LNEC.

Decorreu uma reunião para troca de impressões em 17 de Março da qual resultou o ofício com o nº. 2023 datado de 1 de Abril e dirigido à MFPZ, no qual o LNEC expôs as operações mais importantes a realizar e do qual se transcrevem algumas passagens:

"a) Registo sistemático das quantidades de explosivo gasto por metro de avanço de galeria;"

"b) Determinações sistemáticas de velocidade de avanço de furos de sondagem e velocidades de perfuração dos martelos utilizados para a abertura de galerias;"

"c) Determinação de módulos de elasticidade ao longo dos furos de sondagem A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C, H e K'.

"Para tal, o diâmetro NX deverá manter-se pelo menos até às cotas indicadas: sondagem A, 150 m; B', 160 m; C, 225 m; H, 250 m; K, 175 m;

"d) Ensaios de injeção em furos de sondagem. Para isso estes devem ser convenientemente conservados;"

"e) Determinação de deformabilidades e tensões residuais ao longo dos quatro furos de sondagem previstos para o local da central subterrânea".



"Nestes furos de sondagem deve manter-se o diâmetro NX até à máxima profundidade possível".

Nesse ofício do LNEC referia-se ainda a deslocação a Cabora-Bassa, no dia 4 de Abril de 1966, do Prof. Eng<sup>o</sup>. Mello Mendes que, por parte do LNEC, iria fazer um primeiro reconhecimento do local, principalmente destinado à conveniente programação, de acordo com a MFPZ, das determinações a realizar.

A HP na carta com a ref<sup>a</sup>. 11.9.0.4/452 datada de 2 de Abril enviou ao LNEC o relatório "Aproveitamento de Cabora-Bassa. Trabalhos para reconhecimento da zona da Central Sul e respectivo circuito hidráulico. Março de 1964".

O LNEC enviou à MFPZ, em 25 de Abril um ofício com o n<sup>o</sup>. 2420 no qual se esclarecia pormenorizadamente os elementos que se julgavam convenientes serem enviados pela MFPZ ao LNEC e do qual se transcreve os seguintes parágrafos:

"A - Sondagens:

a) Alteração no que respeita ao emboquilhamento e à orientação de al guns dos furos:

Não se via inconveniente nas alterações sugeridas pelo Prof. Eng<sup>o</sup>. Décio Thadeu no Relatório de Março de 1964.

b) Diâmetro de furação a respeitar:

Prevendo a realização futura de ensaios de deformabilidade sugeria-se que o diâmetro NX fosse mantido por algumas sondagens até determinada cota.

c) Conservação de furos:

Todos os furos deverão ser convenientemente conservados, tendo em vista, não só a futura realização de ensaios de injeção, como também a realização de ensaios de deformabilidade.

d) Dados de implantação:

Respeitante a cada uma das sondagens, deverão ser fornecidos ao LNEC os dados definitivos da sua implantação:

- 1) Coordenadas da boca,
- 2) Direcção,
- 3) Inclinação,
- 4) Comprimento máximo furado,

e) Elementos sobre o trabalho de perfuração:

Respeitante a cada uma das sondagens, têm particular interesse os seguintes elementos:

- 1) Características da sonda utilizada nomeadamente no que respeita ao controle de avanço (manual ou hidráulico);
- 2) Diâmetro de furação e profundidade a que se procedeu a reduções de diâmetro, motivos dessas reduções;
- 3) Características e estado das coroas utilizadas ao longo do furo (bom, regular, mau);
- 4) Localização das zonas em que o furo foi cimentado, motivos que levaram à cimentação;
- 5) Gráfico de variação da recuperação do testemunho ao longo do furo, razões de eventuais recuperações anormalmente baixas;
- 6) Gráfico da variação de velocidade média de perfuração ao longo do furo, razões prováveis de eventuais velocidades médias anormalmente baixas;
- 7) Variações das velocidades reais de perfuração ao longo dos furos.

Em relação aos furos que forem abertos com sondas que disponham de controle hidráulico de pressão de avanço, é do maior interesse a medição sistemática das velocidades reais da penetração das coroas.

Para que a variação destas velocidades tenha significado, no que respeita à previsão do estado de fracturação do maciço, as determinações a realizar em cada furo deverão ser feitas mantendo sempre, durante elas, uma mesma pressão de avanço. Este deverá ser escolhido, para cada furo, consoante as características da sonda utilizada e do diâmetro de furação.

Sugere-se que seja feita, se possível, uma medição para cada metro de avanço da sonda. Os tempos de realização de cada uma das medições deverão ser atribuídas de acordo com as características da sonda utilizada e com as características prováveis da rocha a encontrar ao longo do furo, mas deverão ser sempre constantes, para cada furo, por cada diâmetro utilizado.

Na apresentação dos resultados deverão ser indicados, com o possível rigor, as profundidades correspondentes às várias medições; interessa também referir a pressão de avanço fixada e o período de tempo utilizado por cada medição.

Dado o interesse destas determinações, chama-se a atenção para a vantagem que haverá em realizar o maior número possível de furos com sondas de controle hidráulico de pressão de avanço.

g) Fracturação do testemunho:

Sugeria-se a realização de gráficos de variação, ao longo do furo, do número de pedaços de testemunho não só por metro furado como por metro de testemunho recuperado.

h) Ensaios de permeabilidade:

Interessa conhecer, além dos resultados, convenientemente relacionados com a profundidade, quaisquer pormenores constatados durante a sua realização.

i) Perfis geológicos:

Consideram-se indispensáveis, convindo que sejam detalhados na medida do possível. Há também toda a conveniência, que a informação geológica deles resultante seja, quando possível, completada com a de quaisquer cortes geológicos de pormenor que os Serviços de Geologia da Missão tenham elaborado visando esclarecer pontos de detalhe.

j) Determinação de expansibilidade dos testemunhos:

Sugeria-se a sua determinação sistemática para todos os furos de sondagem.

k) Colheita de tarolos para ensaios mecânicos de laboratório:

De cada sondagem deverá ser enviada ao LNEC, pelo menos um tarolo por cada 5 m de perfuração realizada. Se se verificarem, ao longo de um furo, variações macroscopicamente sensíveis do tipo de rocha ocorrente o número de tarolos a seleccionar para os ensaios mecânicos de laboratório deverá ser aumentado, de modo que todas as variações litológicas sejam convenientemente representadas.

l) Análises modais micropetrográficas:

Projecta-se efectua-las em relação aos tarolos sobre que incidem ensaios mecânicos de laboratório e determinação de expansibilidade.

B - Galerias.

a) Alterações no que respeita às cotas de emboquilhamento das galerias GD1 e GD2:

Não se encontrou qualquer inconveniente nas alterações das cotas de emboquilhamento propostas pelo Prof. Eng<sup>o</sup>. Décio Thadeu, devido às dificuldades práticas e ao tempo necessário para se conseguirem as cotas de emboquilhamento inicialmente previstas.

b) Secção das galerias e técnica de avanço :

A secção de  $1,8 \times 1,5 \text{ m}^2$  arbitrada para as galerias considera-se aceitável. Contudo, destinando-se as galerias, não só ao reconhecimento geológico do maciço, mas também ao estudo estatístico de diaclasamento e à realização em determinados pontos, de ensaios "in situ" de deformabilidade e corte, há que notar que a sua abertura deverá ser feita de maneira a perturbar o menos possível a rocha circunvizinha e a permitir que a superfície interior apresente, no que respeita a diaclasamento, características tanto quanto possível idênticas às do maciço virgem.

Isto obriga, no caso de avanço com explosivos, a cuidados especiais no que respeita à utilização destes".

Em seguida, chamava-se a atenção para o diagrama de fogo proposto pelo empreiteiro e sugeria-se que, para a abertura das galerias se atendessem principalmente à necessidade de o explosivo utilizado perturbar o menos possível a superfície e a rocha circunvizinha pelo que se sugeria a utilização dum explosivo com menor efeito de quebragem, a realização de pegas mais curtas e menores velocidades de avanço. Propunha-se, ainda que as galerias fossem providas de valeta lateral e inclinação limitada superiormente por  $5^{\circ}/\text{oo}$ .

c) Medições de velocidades de penetração dos martelos perfuradores pneumáticos:

"Considera-se vantajoso que se proceda a medições sistemáticas da velocidade de penetração dos martelos pneumáticos, ao longo do avanço de todas as galerias. Convém que seja realizada uma medição por cada pega de fogo.

As medições deverão ser realizadas num dos tiros de colo, e deverão ser feitas por cronometragem do tempo necessário para enterrar uma barre

na de 0,6 m. O martelo utilizado deverá ser sempre do mesmo tipo e encontrar-se sempre em boas condições, o cortante da barrena deverá estar sempre bem aguçado quando do início do furo.

Deverá proceder-se, quando de cada determinação, a várias medições da pressão de ar comprimido, junto ao martelo, para obtenção da pressão média durante a perfuração estudada.

Respeitante a cada determinação, deverão ser enviados ao LNEC os seguintes elementos:

- 1) Localização da pega;
  - 2) Velocidade medida;
  - 3) Pressão média do ar comprimido;
  - 4) Quaisquer particularidades verificadas durante a medição.
- d) Registo da variação do consumo de explosivos ao longo dos avanços:

Convirá enviar ao LNEC, por cada galeria, um mapa de que constem as localizações das sucessivas posições da frente e as quantidades e tipo dos explosivos utilizados em cada uma das pegas.

e) Dados de implantação:

Respeitantes a cada uma das galerias, deverão ser fornecidos ao LNEC dados definitivos da implantação:

- 1) Coordenadas de origem;
- 2) Cota do piso na origem;
- 3) Direcção.

A origem deverá ser convenientemente materializada por um marco ou estaca, situada no piso, exteriormente à boca, ou por uma escápula cravada no tecto, logo a seguir à boca.

Em qualquer dos casos, a materialização da origem deverá situar-se no eixo da galeria.

Todas as medições de distâncias e de desníveis dos vários pontos das galerias deverão, depois, ser feitas em relação às respectivas origens.

Convém que sejam enviadas ao LNEC as implantações das galerias e das respectivas origens, nas plantas topográficas mais actualizadas e detalhadas de que no momento se disponha.

f) Levantamentos geológicos das galêrias:

Considera-se vantajoso que este levantamento seja apresentado sob a forma de vistas separadas dos dois hasteais e, se necessário, do tecto. A escala respectiva deverá ser escolhida de modo a dar a devida representação aos pormenores que se considerem importantes.

É evidente que não se pretende neste levantamento geológico, uma representação exacta do diaclasamento, se este for intenso.

g) Elementos para o estudo estatístico do diaclasamento do maciço:

Deverá, permanentemente, proceder-se a uma amostragem do maciço, definindo, em cada uma das galerias, uma série de troços de 3 m, com os respectivos centros distanciados um dos outros de 6 m, em cada galeria, o primeiro troço deverá começar a cerca de 1 m da boca. Todos os troços deverão ser marcados nas plantas topográficas em que se representam as galerias e deverão ser referenciados por numeração apropriada, não repetida nas várias galerias.

Dentro de cada troço deverão ser observadas todas as diaclases existentes, registando-se em relação a cada uma os seguintes parâmetros:

- 1) Direcção;
- 2) Inclinação;

3) Características do enchimento, se o houver;

4) Espessura média, se os bordos estiverem afastados;

5) Comprimento médio das suas intersecções com as superfícies de observação, considerando estas intersecções mesmo para além do troço em estudo.

Para as medições das direcções e inclinações deverá proceder-se sempre com o maior rigor compatível com a precisão da aparelhagem de medição utilizada, mesmo que tal rigor pareça excessivo ou sem significado.

Os elementos assim colidos, em relação a cada troço da galeria, deverão ser enviados ao LNEC.

Oportunamente, quando os trabalhos em curso estiverem mais adiantados e já houver mais elementos de estudo disponíveis, serão programados os ensaios mecânicos a realizar in situ.

O officio acima transcrito resultou de uma reunião em Cabora-Bassa entre o Professor Mello Mendes colaborador do LNEC e os técnicos da MFPZ, pelo que não se previam dificuldades práticas quanto à obtenção dos dados pedidos.

A 5 de Maio de 1966 o LNEC, através do officio nº. 2642 endereçado à MFPZ anunciou a ida para Cabora-Bassa de um seu funcionário do pessoal técnico auxiliar, a fim de cooperar na obtenção dos dados constantes no officio nº. 2420.

A Direcção-Geral de Obras Públicas e Comunicações do Ministério do Ultramar no officio nº. 4115/484/SH datado de 25 de Julho de 1966 solicitou a participação, nos trabalhos em curso no LNEC respeitantes a Cabora-Bassa, de dois técnicos da MFPZ enquanto aguardavam embarque para a Província de Moçambique.

A 3 de Agosto a MFPZ no seu officio nº. 843/66 dirigido ao LNEC dava conta do andamento dos trabalhos de abertura de galerias, considerando a



galeria GD1 terminada e as GE1, GE2 , GD2 a terminar até 30 de Setembro. Solicitava ao LNEC a "localização das câmaras intermédias para aplicação de aparelhagem destinada aos ensaios a executar". O pedido desses dados segundo a MFPZ, era resultante da necessidade de efectuar trabalhos de sondagem no interior das galerias, as quais obrigavam à abertura de câmaras de certa dimensão para as manobras das sondas, exigindo o emprego de explosivos, os quais poderiam alterar as condições naturais da rocha nos locais onde o LNEC viesse a marcar as câmaras para ensaio.

Solicitava ainda a MFPZ informação sobre a data provável em que o LNEC teria na Província de Moçambique "o material necessário para ensaios de determinação das características mecânicas da rocha, a efectuar no interior das galerias, a fim de coordenar com outros o seu transporte da Beira para Tete".

Sobre a necessidade de localizar as câmaras de ensaio nas galerias enviou o LNEC à MFPZ em Tete um telegrama nº. 4944 datado de 31 de Agosto no qual noticiava a visita durante o mês de Setembro de técnicos do LNEC para observação directa do local e marcação das câmaras e informando ainda que se, entretanto, conviesse iniciar as sondagens interiores, esse facto não afectaria os ensaios pois as câmaras poderiam ser convenientemente afastadas desses locais.

Efectivamente, a visita dos referidos técnicos só se tornou possível a 18 de Outubro, uma vez que em Setembro decorreu no LNEC o 1º Congresso Internacional de Mecânica das Rochas no qual esses técnicos tiveram de prestar colaboração.

A 27 de Outubro efectuou-se uma reunião convocada pelo Grupo de Trabalhos para o Zambeze conjuntamente com o LNEC (como consultor) e com a HP (como projectista), 'para informação dos trabalhos em curso relaciona-

dos com os projectos do aproveitamento de Cabora-Bassa e para a definição da orientação mais conveniente a adoptar nos trabalhos futuros".

No capítulo "sondagens" considerado nessa reunião observaram-se as alíneas:

"1. Exame dos trabalhos já efectuados, grau de suficiência dos mesmos; zonas da barragem, da 1ª. central e galerias de desvio.

2. Referência aos trabalhos em curso e eventuais medidas de correcção ou de alteração: zonas da barragem, da 1ª. central e galerias de desvio.

3. Exame dos trabalhos já programados e eventuais medidas de melhoramento ou de alteração; zonas da barragem, da 1ª. central e galerias de desvio."

No tocante a galerias de estudo discutiram-se as alíneas seguintes:

"1. Exame dos trabalhos já efectuados e em curso; grau de suficiência dos mesmos; zona da barragem.

2. Exame dos trabalhos programado e eventuais medidas de ampliação ou de alteração; zona da barragem.

3.1 - Eventualidade de mais duas galerias na zona da barragem, de acordo com a referência ao assunto, feito pelo LNEC, quando da proposta de estudo.

3.2 - Eventual necessidade de galeria ou galerias de estudo na zona da 1ª. central, tendo em atenção a referência ao assunto, feito pelo LNEC quando da proposta do estudo das fundações da barragem.

3.3 - Exame dessa necessidade em face dos resultados das sondagens na zona da barragem.

3.4 - Exame da possibilidade da sua execução eventual de acordo com o traçado de uma das galerias previstas no próprio projecto".

Em Março de 1967 a MFPZ deu por concluída a abertura da galeria GE2 que havia sido iniciada em Dezembro do ano anterior.

O LNEC no seu officio nº. 2098, datado de 15 de Abril de 1967, dirigido à MFPZ definiu o plano de trabalhos a realizar na galeria de reconhecimento da Central Sul (GC1). Desse plano de trabalhos transcrevem-se os elementos seguintes:

Ensaaios "in situ" :

"Os ensaios a executar serão de dois tipos diferentes:

a) Determinação das tensões nas paredes da galeria de reconhecimento da central pelo método da almofada.

b) Para se reconhecerem as tensões existentes no interior do maciço rochoso utilizar-se-á o método do cilindro sensível, medindo o estado de tensão da rocha em pontos não afectados pela abertura da galeria de reconhecimento.

Far-se-ão ensaios em quatro pontos diferentes da galeria situados a proximadamente a 30,140,190 e 230 m da boca da galeria, utilizando-se o método da almofada. Nos pontos a 30 e 190 m determinar-se-ão as tensões no hasteal segundo quatro direcções diferentes (paralelas ao eixo da galeria, normal ao eixo e duas direcções a  $45^{\circ}$  com as anteriores) e nos pontos a 140 e 230 m da boca far-se-ão quatro determinações no hasteal e outras tantas no tecto ou na soleira da galeria.

No ponto a 140 m da boca repetir-se-ão os ensaios a 2 dias e a 7 dias, a fim de se verificar se as tensões instaladas variam ao longo do tempo. Caso se verifique variação, proceder-se-á de modo idêntico nos pontos a 190 e 230 m.

Nos locais indicados anteriormente em furos feitos na soleira (verticais ou inclinados até  $30^{\circ}$  com a vertical) far-se-ão os ensaios com o ci-

lindro sensível em pontos situados à profundidade de 5 e 10 m. Prevê-se a repetição destes ensaios depois de feita a escavação da central".

#### Ensaio no laboratório:

"Ensaio de 12 prismas para cada local a estudar, a fim de se determinar a anisotropia da rocha. O conhecimento deste servirá também para a aplicação mais correcta do método do cilindro sensível".

O prazo previsto para a execução destes trabalhos seria de 6 meses na realização dos ensaios e mais 2 meses na elaboração do relatório.

A 11 de Maio de 1967 iniciaram-se os primeiros ensaios mecânicos de deformabilidade e fluência nas galerias, cuja preparação das câmaras ha via sido iniciada em Julho de 1966. Dificuldades de obtenção de mão de obra eficiente, atrasos no transporte do material de ensaio para o local da obra e entre as diversas galerias, impossibilidade de efectuar a travessia do rio em determinadas épocas e a má ventilação das galerias congtituíram, sucessivamente, motivos de atraso na execução do trabalho programado, apesar de toda a boa vontade e diligência da MFPZ.

O LNEC, no ofício nº. 3851 datado de 21 de Julho de 1967 e como resultado de uma visita à obra dos seus técnicos, indicava à MFPZ a necessidade de serem assegurados a ventilação das galerias de ensaio durante determinadas operações e o transporte do pessoal entre as duas margens.

Quanto à localização dos ensaios de corte de diaclases com alteração definia-se uma diaclase a ensaiar localizada na galeria GD1 por se considerar ser aquela a mais indicada devido à sua extensão e permitir mais fácil montagem do material de ensaio.

Sugeria-se o envio para o LNEC, com a maior brevidade, das amostras de rocha para ensaio de corte e de anisotropia, bem como de tarolos de sondagem escolhidos para ensaios de laboratório.

A 14 de Setembro a MFPZ comunicou ao LNEC através do ofício nº. 1317/99/GCB/67 o despacho, por via marítima, das amostras de gnaiss granitóide para ensaios de corte e anisotropia, que haviam sido retiradas da galeria GD2.

A 31 de Outubro de 1967 o Conselho Superior de Fomento Ultramarino enviou ao LNEC um ofício com o nº. 933/67 solicitando o envio dos resultados parciais dos ensaios à medida que fossem sendo realizados dado o interesse de que eles se revestiam para o projecto em elaboração.

A HP na carta com referência 11.9.0.4/1517 datada de 15 de Novembro enviou ao LNEC o relatório "Trabalhos de reconhecimento geotécnico. Revisão do programa", bem como o "Anexo 2 do Processo de Concurso de Empreendimentos de Cabora-Bassa (Reconhecimento geotécnico)".

Na segunda quinzena de Novembro foram iniciados, pela MFPZ, os trabalhos de saneamento e remoção do depósito eluvionar com vista ao embocilhamento das galerias GE3 e GC1 (galeria da Central Sul).

A 17 de Novembro de 1967 realizou-se uma reunião entre o LNEC e a HP na qual se trataram diversos pontos referentes ao estudo das fundações da barragem de Cabora-Bassa (sondagens e abertura de galerias). Fez-se um exame dos resultados dos ensaios relativos à 1ª. fase e do programa de trabalhos correspondente à 2ª. fase tendo em vista as datas possíveis de realização dos ensaios e um exame da viabilidade de obtenção das conclusões em conjugação com as datas de execução.

Respondendo ao ofício nº. 933/67 do Conselho Superior de Fomento Ultramarino e atrás referido, enviou o LNEC no ofício nº. 6111 de 5 de Dezembro de 1967 os resultados provisórios dos ensaios que decorriam quer no laboratório quer no local de fundação da barragem.

Entretanto, até Dezembro de 1967 haviam sido concluídos os ensaios de deformabilidade e fluência nas galerias GE1, GE2 e GD1.

O Conselho Superior de Fomento Ultramarino no seu ofício com o nº. 9/68/Z630/2 datado de 3 de Janeiro de 1968 comunicou ao LNEC que havia sido autorizada a realização dos ensaios geotécnicos na galeria de reconhecimento da Central Sul.

A HP acompanhando a sua carta com a referência 11.9.04/83 de 10 de Janeiro enviou ao LNEC o relatório "Aproveitamento de Cabora-Bassa. Observação sobre o reconhecimento geotécnico" da autoria do Prof. Engº. Décio Thadeu.

Durante o mês de Maio concluíram-se os ensaios de corte na galeria GE1, na zona do granulito, cuja preparação havia sido iniciada em Outubro de 1967. Decorriam nessa altura os seguintes trabalhos:

GD1 - Encabeçamento de blocos para ensaio de deslizamento de diaclases;

GD2 - Encabeçamento dos blocos para ensaio de corte na zona do gnaisse granitóide.

A 5 de Abril a HP na sua carta nº. 11.9.0.4/884 enviou um relatório do Prof. Décio Thadeu relativo aos trabalhos de reconhecimento em curso em Cabora-Bassa.

No mês de Janeiro de 1969 terminaram os ensaios de deformabilidade e fluência na galeria GD2, enquanto na galeria GE3 se procedia à preparação de blocos para corte do lamprófiro. Nas galerias GE1, GE2 e GE3 decorria a extracção de blocos para ensaios no laboratório.

No mês de Maio foram dados por concluídos todos os ensaios de campo que constituíam o programa de trabalhos. Prosseguiam os ensaios em laboratório aguardando-se a chegada de Tete dos últimos provetes de rocha para finalizar os estudos de anisotropia e micropetrografia. Finalmente, a 8 de Julho enviou o Conselho Superior de Fomento Ultramarino uma "Nota sobre a falha encontrada sob o leito do rio no local da cons

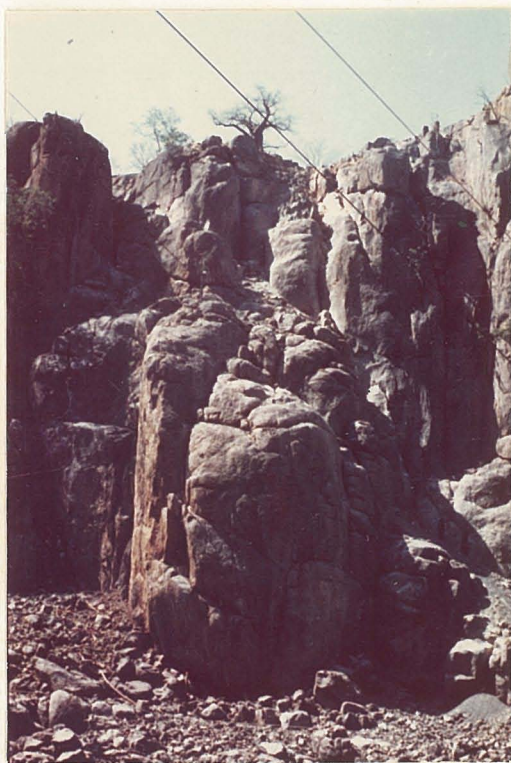
trução da barragem de Cabora-Bassa" da autoria dos geólogos da MFPZ, Drs. Ilídio Godinho e António Nazareth.

### 3 - GEOLOGIA DO LOCAL PREVISTO PARA A FUNDAÇÃO

Dos relatórios referentes ao reconhecimento geológico, realizado no local previsto para a implantação da barragem de Cabora-Bassa no rio Zambeze, da autoria do Prof. Eng<sup>o</sup>. Décio Thadeu, como colaborador da HP, extrairam-se por se terem considerado de interesse para este relatório os elementos e conclusões seguintes:

#### 3.1 - Características morfológicas (Relatório de Agosto de 1967):

"... A secção do rio, no local onde se erguerá a barragem é limitada por escarpas que se elevam verticalmente desde a cota 250 até à de 325 m, na vertente direita (fot. 1), e até 350 m, na vertente esquerda (fot. 2)..."



Fot. 1



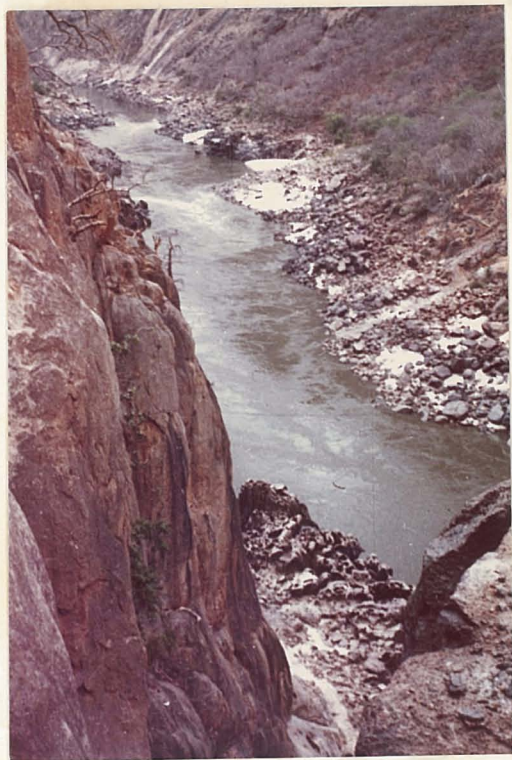
Fot. 2

"A ligação entre as referidas escarpas e o leito actual do rio faz-se por superfícies de declive acentuado nas quais se nota a presença de pequenas superfícies aplanadas com vestígios de marmitas (Fot. 3), por ve



Fot. 3

zes ainda com calhaus ro-  
lados, assinalando ante-  
riores posições do leito  
do rio." (Fot. 4 e 5)  
"A vertente esquer-  
da continua-se, acima da  
respectiva escarpa, por  
uma encosta bastante de-  
clivosa, que se liga à  
escarpa por um estreitís-  
simo patamar e se eleva até cerca de 800 m, altitude referenciada pela  
superfície de aplanação mais elevada que se distingue a norte do rio".



Fot. 4



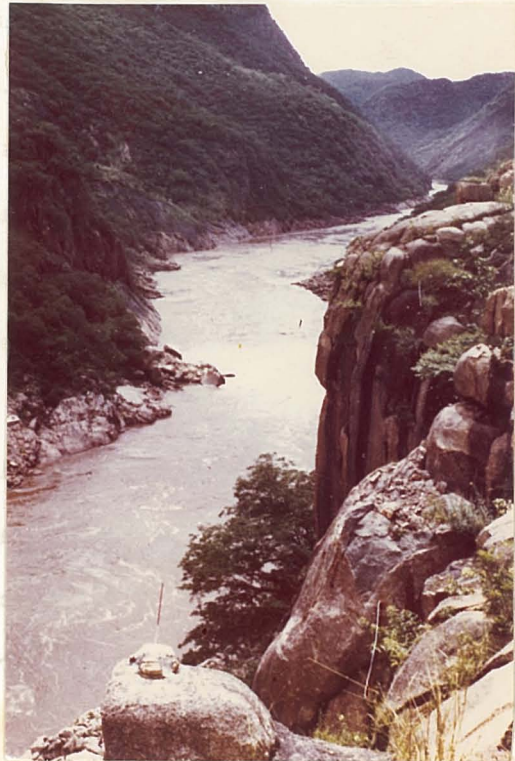
Fot. 5



"Na vertente direita verifica-se também a presença de um patamar limitando o topo da respectiva escarpa bastante mais largo que o assinalado para a vertente esquerda, a partir do qual a encosta sobe, com declive acusado para altitude de cerca de 1 000 m, também assinalada por uma aplanção (planalto do Songo) mas com morfologia mais caprichosa devido a profundo ravinamento da vertente"... (Fot. 6 e 7).



Fot. 6



Fot. 7

### 3.2 - Características geológicas (Relatório de Agosto de 1967)

#### 3.2.1 - Formações geológicas

"A zona interessada pelas obras do aproveitamento é, fundamentalmente, ocupada por gnaisse granitóide a que se associam diversas formações filonianas de modo muito subordinado".

"O citado gnaisse aflora, particularmente são, nas escarpas da garganta e só nas áreas menos declivosas se encontra coberto para um saibro argiloso, eluvial, que atinge alguma espessura em áreas restritas, mais planas"...

"É frequente encontrarem-se alguns níveis de gnaisse glandular no interior da rocha acabada de descrever, que se distinguem facilmente pelo contraste de cor que oferecem em relação ao gnaisse granitóide" ...

"A espessura dos níveis de gnaisse glandular é sempre reduzida, varia entre alguns decímetros e alguns metros, e a inclinação é fraca, próxima da horizontal. A passagem ao gnaisse granitóide charnoquítico (assim designado devido à presença da hiperstena, associada às restantes características destas rochas) é progressiva e a continuidade de tais níveis é fraca".

"O exame de campo leva a considerá-los resultantes de acções dinâmicas acompanhadas por acções metassomáticas que tiveram como resultado consolidar a rocha. No entanto, verifica-se que o gnaisse glandular resiste menos à meteorização que o gnaisse regional, aparece frequentemente associado a filões lamprofíricos de que constitui os encostos outras vezes surge em níveis independentes".

"Encaixados no gnaisse granitóide charnoquítico encontram-se numerosos filões e pequenas massas de uma rocha granulítica, de cor entre castanha amarelada pálida e vermelha pálida, passando por cor de cravo moderada"...

"Os encontros entre a rocha granulítica e o gnaisse encaixante paten-  
teiam tendência para uma certa degradação e as duas rochas encontram-se intimamente soldadas entre si"...

"Encontram-se alguns filões gábricos, de espessura reduzida, raramente ultrapassando 1,5 m, (Fot. 8), com excepção de um local na foz do



ribeiro do Guto (pouco a montante do local da baragem) e que parece terminar, aliás rapidamente, em cunha para Norte pois na base da vertente esquerda o respectivo afloramento mostra dimensões muito reduzidas".\*

Fot. 8 "Os contactos entre os filões gábricos e o gnaisse regional são bruscos e se as duas rochas se encontram, em regra, soldadas entre si (sobretudo no caso dos filões mais espessos) a ligação não é, no entanto, tão íntima como no caso dos filões granulíticos".

"Em associação com o grande filão da foz do ribeiro do Guto, encontra-se uma faixa de rocha diorítica, que a acompanha do lado do muro e atinge a largura de cerca de 20 a 30 m medida sob o afloramento. Esta rocha parece representar uma fácies de transição entre o gabro e o gnaisse granitóide"...

"Os filões lamprofíricos são os mais raros e, com excepção de um que se conhece pelo respectivo afloramento, todos são unicamente conhecidos mercê das sondagens executadas".

---

\* NOTA: Na realidade, sondagens posteriores efectuadas para conhecimento geotécnico da Central Norte vieram detectar a existência de filões gábricos a certa profundidade (sondagens 11A e 12A)

"Os encostos entre estes filões e a rocha encaixante, são sempre as sinalados por superfícies de descontinuidade, donde resulta que a separação entre as duas rochas é relativamente fácil e por vezes, mesmo bastante fácil. Como se disse, a rocha dos encostos é frequentemente constituída por gnaisse glandular. Merece referir-se que os filões lamprofíricos são sub-horizontais ou com inclinação muito fraca".

"O estudo petrográfico confirmou que se trata de lamprófiros, do tipo mineto, como tinham sido identificados no campo, e permitiu individualizar dois tipos"...

"Posteriormente, o estudo de mais amostras revelou a presença de ca - sos podendo ser considerados intermédios entre esses dois tipos"...

"Inclui-se sob a designação de formações de cobertura os depósitos de blocos e calhaus, mais ou menos rolados e boleados que se encontram ao longo das margens do rio e os blocos caídos das vertentes, por vezes de grandes dimensões, que tanto se encontram misturados com aqueles como em outros pontos das vertentes onde a morfologia facilitou a acumulação de depósitos de vertente". (Fot. 9)

"Além destes, considera-se ainda sob a mesma rúbrica a eluvião resultante da arenização interna do gnaisse granitóide e constituída por um saibro grosseiro, argiloso".

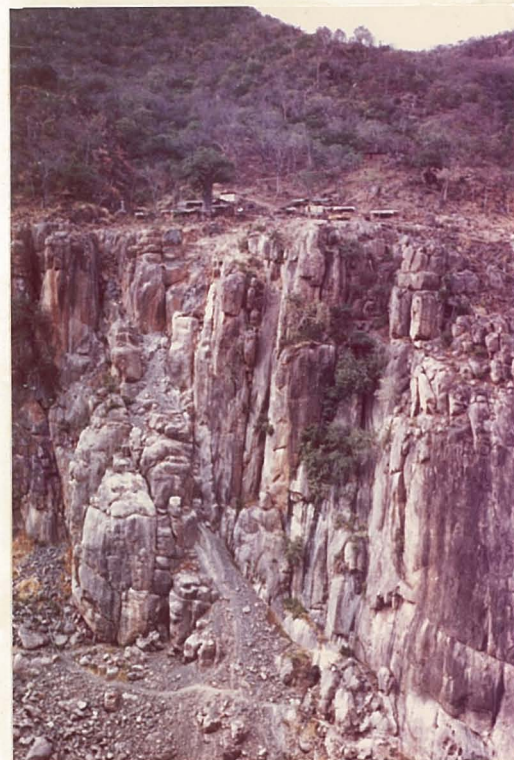
"A comparação do levantamento geológico com a morfologia permite verificar que as zonas arenizadas mais desenvolvidas correspondem a superfícies elevadas, situadas acima das grandes escarpas que delimitam a secção inferior do rio; encontram-se também na



Fot. 9

base destas escarpas e naqueles locais onde, registando-se quebra importante do declive, se originaram patamares de largura mais ou menos apreciável". (Fot. 10).

Referia-se ainda no relatório geológico a existência de filões pegmatíticos, relativamente numerosos "nas proximidades da foz do ribeiro do Guto e do lado de montante, a que se não prestou atenção especial por não interessarem às obras em estudo".



Fot. 10

### 3.2.2 - Características estruturais

"O gnaisse granitóide apresenta xistosidade orientada, sobretudo, WNW-ESE com pendor compreendido entre  $10^{\circ}$  e  $30^{\circ}$  para SSW embora localmente se encontrem outras orientações".

"O estudo estatístico da fracturação observada à superfície, efectuado segundo as normas preconizadas pelo LNEC, conduziu à definição de três sistemas principais:

- Sistema de orientação  $N40^{\circ}W$  com inclinação  $88^{\circ}$  para  $N50^{\circ}E$  (Fot.11)

- Sistema de orientação  $N14^{\circ}E$  com inclinação  $89^{\circ}$  para  $N76^{\circ}W$  (Fot.11)

- Sistema de orientação N-S com inclinação  $2^{\circ}$  para E"... (Fot.12)

"A fracturação apresenta "oscilações" de frequência ao longo dos furos, isto é, o número de diaclases por unidade de comprimento de sondagem apresenta vários máximos e mínimos, sendo semelhantes os sucessivos valores destes máximos e mínimos".



Fot. 11

"Este facto vem confirmar uma observação já realizada à superfície que consistia na tendência para as fracturas se reagruparem".  
"O estudo da fracturação nas sondagens permite ainda concluir que aquela têm tendência pa

ra se acentuar nas zonas de influência dos filões lamprofíricos e das faixas de gnaiss glandular"...



Fot. 12

"Os acidentes tectónicos, do tipo falha, referenciados são em número muito escasso. Na verdade, além de uma faixa laminada, com cerca de 3 a 4 m de espessura, encontrada na margem direita do rio Zambeze e cerca de 170 m para montante da foz do ribeiro do Guto, só se averiguou a existência de uma falha, na zona interessada pelas obras do aproveitamento, e pelos dados fornecidos pelas sondagens".

"Aquela primeira falha tem orientação NW e inclina cerca de  $80^{\circ}$  para NE; a caixa é constituída por gnaiss granitóide laminado e, por vezes, brechiado, num e noutro caso consolidado por silicificação".

### 3.2.3 - Evolução geológica

"Em face dos elementos obtidos, até ao presente, (Agosto de 1966) é-se levado a considerar o gnaisse granitóide como a rocha mais antiga, que teria resultado da transformação, por metamorfismo regional muito intenso, de uma formação granítica".

"Os filões e as pequenas massas granulíticas são, sem dúvida, posteriores àquele gnaisse (pois armam nele) e parecem corresponder a rochas aplíticas que, devido também a metamorfismo regional muito intenso, sofreram uma recristalização responsável pela sua granularidade particularmente grosseira para rochas aplíticas"...

"Os filões gábricos e lamprófíricos, pelo contrário, não evidenciam quaisquer fenómenos de metamorfismo. Os primeiros revelam um estado de frescura notável e os últimos denotam em maior ou menor escala vestígios de alteração; esta, porém, é de atribuir exclusivamente à meteorização, facto que nada tem de extraordinário se se tiver em atenção a facilidade com que este tipo de rochas se meteoriza".

"O gnaisse glandular põe problemas mais delicados quanto à sua cronologia".

"Este gnaisse julga-se que tenha resultado de um esmagamento do gnaisse granitóide a que passa de modo, mais ou menos, gradual"...

## 3.3 - Características geotécnicas gerais (Relatório de Agosto de 1967)

### 3.3.1 - Características geotécnicas dos maciços rochosos

"Sob o ponto de vista da homogeneidade, julga-se poder considerar os maciços rochosos, com excepção do referido para a galeria de desvio da margem direita, como homogéneos e, na pior das hipóteses, como de muito fraca heterogeneidade"...

"No gnaissse granitóide apercebe-se uma certa correlação entre os sistemas de fracturas mais importantes e a orientação da gnaissosidade e da lineação, que se mantêm dentro de limites discretos como era de esperar do facto de estas características estruturais não serem muito acusadas".

"O espaçamento entre fracturas é grande, no entanto, verifica-se tendência para que as fracturas do mesmo sistema se agrupem em pequenos feixes que, localmente, dão origem a faixas estreitas de rocha bastante fracturada. Esta tendência verificou-se também na fracturação referenciada ao longo dos furos de sondagem".

"O estilo de fracturação é, predominantemente, imbricado"...

"Deve-se, no entanto, notar que mesmo na zona de influência da superfície se verifica a presença de blocos rochosos muito pouco diaclasados".

"As fracturas à superfície, tendem para se apresentar abertas e lavadas de produtos de meteorização, o que se explica pelas condições energéticas de erosão".

"O enchimento das fracturas com meteorização é constituído por um saibro grosseiro e pouco argiloso".

"O granulito mostra uma fracturação ligeiramente mais densa e irregular que o gnaissse granitóide mas bastante menor do que seria de esperar de uma rocha de origem filoniana"...

"Deve esperar-se que os filões gábricos apresentem fracturação densa, do tipo imbricado, relativamente fechada e, como os filões conhecidos se encontram abaixo do nível hidrostático, limpas de produtos de meteorização. Esta maior densidade de fracturação que se atribui ao gabro deve-se à presença de diaclases de retracção"...

"Os filões lamprofíricos deverão, em princípio, apresentar fracturação de características semelhantes às referidas para as do gabro, porém o estado das fracturas apresentará, sem dúvida, maior complexidade devida



à grande facilidade com que aqueles filões se meteorizam, além de que tenderão para desaparecer por decomposição generalizada da rocha"...

"Na zona alcançada pelos efeitos da meteorização, a fracturação deve rá caracterizar-se pela presença de enchimentos argilosos, de formação muito fácil e, na maior parte meteorizada, a fracturação tenderá a esba-ter-se por efeito de uma argilização mais ou menos generalizada da rocha!..

"Citam-se as faixas de gnaïsse glandular porque, até certo ponto, o estado das fracturas deve apresentar semelhanças com o indicado para as do lamprófiro devido à relativa facilidade com que se meteorizam, embora menor que a daquela rocha biotítica. A natureza do enchimento, por outro lado, é a de um saibro grosseiro e pouco argiloso"...

"A importância que seria de atribuir à fracturação das rochas filo-nianas reduz-se consideravelmente perante a conveniência de considerar os filões, intersectados pelas obras, como constituindo superfícies de des-continuidades maiores, tratamento que justifica a reduzida espessura dos citados filões".

"Há, todavia, dois aspectos a ter em atenção e que estão relaciona-dos com a muito fácil meteorização do lamprófiro e fácil do gnaïsse glan-dular".

"Quanto ao lamprófiro, torna-se indispensável reconhecer, mediante a realização de alguns ensaios a sua adaptabilidade para receber injec-ções de cimentação nas zonas onde apresenta fracturas com produtos argi-losos"...

"Quanto ao gnaïsse glandular, supõe-se que a meteorização provoque uma degradação da fracturação, com desenvolvimento de um saibro grosseiro, facto que pode exigir uma execução particularmente cuidada de quaisquer injecções de consolidação e impermeabilização"...

..." julga-se que serão os filões de lamprófiro que exigirão ser tra

tados como descontinuidades maiores, bem como as faixas de gnaïsse glandular quando constituindo os encostos daqueles filões".

"Considera-se indispensável aquele tratamento para os filões que se encontram dentro da zona de influência da superfície, onde apresentam uma certa alteração que facilita a descolagem entre o lamprófiro e a rocha encaixante..."

"Para os filões lamprofíricos, que se situam abaixo daquela zona mesmo quando acompanhados por faixas de gnaïsse glandular, não se verifica qualquer concentração de meteorização ao longo das superfícies de contacto e, portanto, não se nota tendência para a separação fácil da rocha filoniana da rocha encaixante. Nestas condições é de admitir que a importância de tais descontinuidades se encontre, aí, consideravelmente diminuída".

"As faixas de gnaïsse glandular, quando isoladas, além de não ter sido possível atribuir-lhes grande continuidade, só na zona de mais directa influência da superfície mostram forte concentração de fracturas sensivelmente paralelas ao seu andamento, acompanhadas de uma acentuação da meteorização"...

#### 3.4 - Estabilidade das vertentes da albufeira

Posteriormente à publicação do relatório acima transcrito surgiram algumas dúvidas sobre a estabilidade das vertentes na futura albufeira de Cabora-Bassa.

O Professor Eng<sup>o</sup>. Décio Thadeu publicou a 10 de Janeiro de 1968 o relatório "Aproveitamento de Cabora-Bassa. Observações sobre o reconhecimento geotécnico", no qual entre outros aspectos refere o reconhecimento da albufeira - nomeadamente o estudo da estabilidade das vertentes - e de que se transcreveram os seguintes esclarecimentos:

"A albufeira, a criar com a construção da barragem, só pode originar problemas no troço compreendido entre esta e a foz do rio Nhancanzira e unicamente sob o ponto de vista da estabilidade das vertentes pois que, sob o ponto de vista da estanqueidade, as formações geológicas garantem o isolamento da albufeira".

"Na realidade, o referido troço está escavado em formações predominantemente gnaissicas, que tomam o aspecto de xistos quartzo-feldspáticos-horneblêndicos na área da foz do rio Nhancanzira"...

"O curso do rio, entre a foz dos rios Nhancanzira e Mucangádzi, parece ter resultado de influências estruturais que teriam facilitado o escavamento do leito, e, portanto, a sua fixação".

"A evolução das vertentes da garganta revela grande atraso, como é natural, em relação à evolução do leito do rio e, dada a natureza litológica daquelas e respectivas características de fraturação, a sua evolução processa-se por desmoronamentos progressivos mas limitados, que só em condições particulares conduzem a acumulação de depósitos de vertente",

"Devido àquele processo evolutivo, as vertentes estão geralmente talladas em rocha praticamente sã, com excepção das plataformas que se formaram pelo desenvolvimento da erosão lateral ao abrigo de heterogeneidades litológicas sub-horizontais, durante o aprofundamento do leito do rio, na zona onde se localizará a barragem".

"Sob aquelas plataformas, a rocha encontra-se meteorizada, até certa profundidade, devido à fracturação mais densa, em relação com a superfície, e à acumulação de água".

"Aquelas características genéricas fazem excepção os vales do ribeiro do Guto e do rio Mucangádzi".

"Aquele ribeiro apresenta um estado de evolução mais avançado, mesmo assim com uma quebra acusada de pendor acima da cota 600 m, que deve mar-

car o início da última fase de escavamento, responsável pela formação da garganta actual onde corre o rio Zambeze. O ribeiro do Guto serve uma área importante que justifica o estado evolutivo mais avançado e a formação, aqui, de uma capa de material meteorizado, por vezes, de certa importância".

"O rio Mucangádzi deve o estado muito adiantado de evolução não só ao facto de drenar uma área bastante considerável mas, ainda, às influências estruturais que fixaram o curso do rio Zambeze entre a foz do rio Nhancanzira e a daquele".

"As vertentes ao longo do referido troço em garganta, não apresentam indícios de instabilidade".

"Poder-se-ia suspeitar de algumas fracturas com inclinação média, no sentido do rio, que se notam numa e noutra vertente. No entanto, é fácil verificar que tais fracturas não só carecem de continuidade, no sentido do afloramento, como desaparecem rapidamente no sentido do interior do maciço rochoso".

"É-se tentado a atribuir tais fracturas à descompressão da rocha, talvez associada ao passado tectónico do maciço. Deve-se, ainda, mencionar que, em regra, tais fracturas são interrompidas pelas fracturas verticais, donde resulta que, por vezes, facilitam o destaque de alguns blocos superficiais mas que tal facto não se traduz por instabilidade das vertentes".

"Dado o estado de evolução muito adiantado, do vale do rio Zambeze a montante da foz do rio Nhancanzira, as vertentes dos relevos estão, em regra, cobertas por depósitos de vertente, aflorando o substrato ao longo do leito dos rios e na zona elevada dos relevos".

"Os referidos depósitos não apresentam características de instabilidade e conservam-se devido ao facto de os declives serem, aqui, muito me

nores. Poder-se-ão verificar alguns escorregamentos limitados, sobretudo em fase do esvaziamento da albufeira, na zona em questão, mas que não podem revestir-se de qualquer importância para o aproveitamento"...

### 3.5 - Falha sob o leito do rio no local da construção da barragem

Os geólogos da Brigada de Geologia e Prospeção Mineira da MFPZ, Drs. Ilídio Godinho e António Nazareth elaboraram, com a data de Dezembro de 1968, um relatório intitulado "Nota sobre a falha encontrada sob o leito do rio no local da construção da barragem de Cabora-Bassa" do qual se transcreveram os seguintes passos:

"As sondagens executadas para o estudo da zona seleccionada para a construção da barragem e respectivas obras acessórias revelaram a existência de uma zona tectonizada sob o leito do rio que em toda a sua extensão é acompanhada por um filão gábrico"...

"Do exame directo, "in situ", do local onde aflora a zona tectonizada da ressaltam os seguintes factos:

- a presença do filão gábrico, com 2 a 3 metros de possança, inclinando cerca de  $17^{\circ}$  para  $S40^{\circ}W$ ;
- a presença de gnaisse glandular, com meteorização mais ou menos acentuada, o tecto e o muro do filão gábrico, passando gradativamente à rocha regional;
- a presença de 2 filões pegmatíticos verticais cortando indiferentemente o gnaisse regional e registados por uma falha instalada no seio do filão gábrico, sendo o rejeito de cerca de 2 metros;
- a importância da descontinuidade, que resulte dos diferentes tipos litológicos presentes, acusada pela considerável erosão diferencial do gabro;

- as descontinuidades que apresentam os contactos bruscos entre gabbro e gnaisse glandular;
- a falha instalada no seio do filão gábrico, determinando uma zona bréichica e laminada com ligeira ondulação e por vezes ramificada, não tendo sido no entanto observados produtos argilosos."

Quanto às características geométricas da falha concretiza-se nesse relatório que em face do estudo das sondagens a "falha no seu conjunto, apresenta uma inclinação de  $18^{\circ}$  para  $S35^{\circ}W$  e ostenta suave ondulação".

Finalmente o Relatório conclui:

"As principais obras relativas ao projecto que vão ser afectadas por aquela descontinuidade litológica - estrutural são as saídas dos túneis de restituição de água sobretudo na margem esquerda do rio, e a parte mais inferior da escavação correspondente à Central Norte. No local das fundações da barragem o referido acidente geotectónico situa-se a cotas bastante profundas".

#### 4 - ENSAIOS

##### 4.1 - Ensaio de deformabilidade e de fluência "in situ"

###### 4.1.1 - Equipamento e técnicas de ensaio

Os ensaios de deformabilidade e de fluência "in situ" realizados situaram-se em locais das galerias de reconhecimento especialmente preparados para esse efeito. A preparação de cada um desses locais, denominados "caixas" consistiu na regularização com ferramentas manuais de superfícies de rocha paralelas (localizadas nos hasteais para os ensaios horizontais ou no tecto e chão para os ensaios verticais), com cerca de  $1,30 \times 1,30$  m<sup>2</sup>. O acabamento final destinado a assegurar uma distribuição da carga

tanto quanto possível, uniforme - à rocha foi conseguido com a utilização de uma ligeira camada de argamassa de 1 a 2 cm de espessura. Na Fot. 13



Fot. 13 mostra-se o local da galeria GD2 onde posteriormente se veio a localizar a caixa de ensaio. Consistiram os ensaios, essencialmente, na aplicação de cargas uniformemente distribuídos sobre os pares de superfícies atrás referidas, medindo-se os deslocamentos dos centros das zonas carregadas em relação a sistemas fixos de referência montados para o efeito. Para a aplicação de cargas, utilizou-se um conjunto de dois macacos hidráulicos de 300 toneladas cada, accionados por bombas, fazendo-se a medição das forças por intermédio de manómetros ligados às bombas de comando. A axialidade dos esforços foi conseguida com o recurso a rótulas metálicas de calotes esféricas de raios diferentes, interpostas entre os macacos e o sistema destinado a garantir a distribuição uniforme de pressões sobre a região carregada, constituído por um conjunto de vigas metálicas I Grey 20 reforçadas, malhais de madeira e almofadas de borracha. Mediram-se os deslocamentos, separadamente para cada uma das superfícies carregadas, com o auxílio de deflectómetros de 0,001 mm, montados em sistemas especiais de sustentação e alonga.

Nos ensaios de deformabilidade decidiu-se, tomando em consideração as características do maciço rochoso, sujeitar, numa primeira fase de ensaio, as superfícies de carga a uma série de ciclos de carga e descarga,

com pressões máximas crescentes. Efectuou-se um primeiro ciclo até 10 kg/cm<sup>2</sup>, um ciclo intermédio até 40 kg/cm<sup>2</sup> e, finalmente, três ciclos até 55 kg/cm<sup>2</sup>. Durante as cargas e as descargas, registaram-se os deslocamentos das superfícies carregadas em relação à posição inicial, para obtenção das curvas pressões-deslocamentos. Em todos os ciclos, terminado o respectivo ramo de carga ou ramo de descarga, manteve-se a pressão, registando-se os deslocamentos por fluência durante um período que oscilou entre 15 a 30 minutos, de forma que os deslocamentos se pudessem considerar estabilizados.

A segunda fase do ensaio - fluência - iniciou-se sempre após um período de repouso de, pelo menos, 24 horas contadas a partir do fim da última descarga efectuada nos ensaios de deformabilidade sob carga constante. Aplicaram-se às superfícies pressões de valor igual às atingidas nos últimos ciclos de carga dos ensaios anteriores, mantendo-as constantes durante um período que variou, de acordo com o decorrer do ensaio, entre 144 horas e 168 horas, registando-se, durante este período de fluência e a intervalos cada vez mais espaçados, os deslocamentos sofridos pelo maciço; também durante a subida inicial de carga e descarga final se mediram os deslocamentos correspondentes a intervalos de carga da ordem dos 10 kg/cm<sup>2</sup>. O período de descarga nunca foi, regra geral, inferior ao período de carga.

Para o cálculo dos módulos de deformabilidade, admitiu-se que a pressão das almofadas se distribua uniformemente sobre as áreas circulares de sólidos, em primeira aproximação, semi-indefinidos, considerados homogêneos, isotropos e elásticos, o que permitiu adoptar a fórmula da Teoria da Elasticidade:

$$E = \frac{2 \text{ pr } (1-\nu^2)}{\delta}$$



em que:

- E - módulo de elasticidade ( $\text{kg/cm}^2$ ),
- p - pressão exercida sobre a superfície de carga ( $\text{kg/cm}^2$ ),
- r - raio da superfície de carga (cm),
- $\nu$  - coeficiente de Poisson,
- $\delta$  - deslocamento do centro da superfície carregada (cm).

Os valores da resistência à tracção do maciço rochoso e a não existência de sistemas de diaclases de pequeno espaçamento, inferior a 1 metro, nos locais de ensaio levaram à necessidade de determinação de um coeficiente de correcção na fórmula atrás referida.

Este coeficiente computado em 0,78 foi deduzido por consideração da resistência à tracção das paredes da galeria de ensaio uma vez que se verificou que as tensões de tracção instaladas eram bastante inferiores à sua resistência à rotura por tracção que se computou em cerca de 1/12 da tensão de rotura por compressão. Pelo que a fórmula utilizada no cálculo dos módulos de deformabilidade foi a seguinte

$$E = \frac{1,56 \text{ pr } (1-\nu^2)}{\delta}$$

Quanto às condições de homogeneidade, isotropia e elasticidade para que as fórmulas foram estabelecidas, consideram-se os erros de reduzida importância, em face das características do maciço.

Na aplicação da última fórmula, utilizou-se para o coeficiente de Poisson, o valor de 0,20, valor que corresponde à média dos valores obtidos nos ensaios dos provetes ensaiados no laboratório. De notar, porém, que a variação do coeficiente de Poisson se traduz numa modificação insignificante do módulo de deformabilidade.

#### 4.1.2 - Localização dos ensaios

Os ensaios de deformabilidade e fluência realizados distribuíram-se por quatro galerias, duas na margem direita (GD1, GD2) e duas na margem esquerda (GE1, GE2).

Com estes ensaios pretendeu-se formar, tanto quanto possível, uma ideia sobre as características mecânicas do maciço de fundação da barragem, bem como a influência da sua anisotropia sobre essas características.

Em cada um dos locais designados por "caixas", foram, de um modo geral, realizados ensaios em duas direcções perpendiculares, sensivelmente uma vertical e a outra horizontal.

As galerias onde se processaram os ensaios têm a boca às cotas seguintes:

Galeria GE1 - 220 m,

" GE2 - 337 m,

" GD1 - 224 m,

" GD2 - 300 m.

O rio corre habitualmente à cota 200 m.

Os locais de ensaio, assinalados pelas respectivas caixas, encontram-se localizados na fig. 1.

#### 4.1.3 - Resultados

Apresentam-se em Anexo a este Relatório os resultados individuais dos ensaios de deformabilidade "in situ" efectuados. Assim, as fig. A.1 a A.20 referem-se aos diagramas pressões-deslocamentos, obtidos para cada uma das superfícies carregadas nos diversos ensaios, e incluem os valores dos módulos de deformabilidade calculados para os valores máximos das pressões aplicadas em cada ciclo de carga, tanto ao serem atingidas essas pressões

(instantâneos), como após a estabilização aparente das deformações (com fluência). Discriminam-se a seguir os diagramas obtidos por galerias e por caixas:

Galeria GD1, caixa nº. 1 - fig. A.1 a A.4

Galeria GD2, caixa nº. 1 - fig. A.5 a A.8

Galeria GE1: caixa nº. 1 - fig. A.9 a A.10

caixa nº. 2 - fig. A.11 a A.12

caixa nº. 3 - fig. A.13 a A.16

Galeria GE2, caixa nº. 1 - fig. A.17 a A.20

Os ensaios de fluência "in situ" foram realizados nos mesmos locais dos ensaios de deformabilidade. Os diagramas deslocamentos-tempos apresentam a fluência na carga e na descarga, e distinguem ainda cada uma das duas superfícies de ensaio. Apenas no ensaio de fluência vertical da galeria GD1, caixa 1, não foi possível essa distinção, tendo-se adoptado na representação para deslocamentos a média dos valores obtidos (fig.A.22).

Os diagramas relativos aos ensaios de fluência são apresentados em Anexo nas fig. A.21 a A.30.

Discriminam-se, a seguir, as figuras por galerias e por caixas:

Galeria GD1, caixa nº. 1 - fig. A.21 e A.22,

Galeria GD2, caixa nº. 1 - fig. A.23 e A.24,

Galeria GE1: caixa nº. 1 - fig. A.25,

caixa nº. 2 - fig. A.26,

caixa nº. 3 - fig. A.27 e A.28,

Galeria GE2, caixa nº. 1 - fig. A.29 e A.30.

Com vista ao conhecimento do comportamento reológico do maciço, esta<sub>u</sub>beleceram-se os diagramas deslocamentos-tempos, referentes aos ensaios de

fluência referidos, em cuja representação se utilizaram escalas especiais para deslocamentos e tempos. Como tal, admitiu-se para equação reológica a lei definida pela seguinte expressão analítica:

$$\delta_t = \delta_0 + (\delta_\infty - \delta_0) e^{-\frac{k}{\sqrt[3]{t}}}$$

em que:

- $\delta_t$  - deslocamento total ao fim de  $t$  horas de aplicação da carga,
- $\delta_0$  - deslocamento no tempo  $t = 0$ , isto é, no início da fluência,
- $\delta_\infty$  - deslocamento total para  $t = \infty$ ,
- $k$  - constante dependente das características do maciço rochoso no local de ensaio e da direcção considerada.

As abcissas, graduadas em tempos, dos diagramas insertos nas fig. A.31 a A.40, correspondem a  $\sqrt[3]{t}$  e as ordenadas, graduadas em deslocamentos, a  $\log \delta$  sendo  $\delta = \delta_t - \delta_0$ . Deste modo, os pontos obtidos experimentalmente, permitram definir o comportamento reológico do maciço na vizinhança de cada local ensaiado, representado pela recta mais provável. Apenas na galeria GD2, caixa nº. 1, ensaio vertical, não se representa a recta reológica de fluência vertical inferior de equação  $\delta_t = 0$ , por não se ter verificado qualquer deslocamento com o tempo e o eixo dos deslocamentos começar em  $10^{-3}$  mm.

Descriminam-se a seguir as figuras por galerias e por caixas:

- Galeria GD1, caixa nº. 1 - fig. A.31 e A.32,
- Galeria GD2, caixa nº. 1 - fig. A.33 e A.34,
- Galeria GE1: caixa nº. 1 - fig. A.35,
- caixa nº. 2 - fig. A.36,
- caixa nº. 3 - fig. A.37 e A.38,
- Galeria GE2, caixa nº. 1 - fig. A.39 e A.40.

No Quadro I apresentam-se os valores dos módulos de deformabilidade instantâneos ( $E_0$ ) e ao fim de 30 minutos ( $E_{30}$ ), que foram obtidos pela média das médias dos valores obtidos nas diversas pressões nos ensaios de deformabilidade, com exclusão do valor obtido com a pressão de  $10 \text{ kg/cm}^2$ , por se considerar que esta correspondia a uma adaptação das zonas a ensaiar às condições de carga. No mesmo Quadro I indicam-se, a seguir, os módulos de deformabilidade determinados no ensaio de fluência ao fim de 3 dias de carga ( $E_{3d}$ ) e por extrapolação a partir das rectas reológicas, ao fim de um tempo infinito ( $E_\infty$ ).

As quatro colunas seguintes, contêm os valores das percentagens:

$$\frac{E_0 - E_{30}}{E_{30}} \times 100 \quad ; \quad \frac{E_{30} - E_{3d}}{E_{30}} \times 100 \quad ; \quad \frac{E_{30} - E_\infty}{E_{30}} \times 100 \quad ; \quad \frac{E_\infty}{E_{30}} \times 100$$

Na fig. 1, junto de cada "caixa" de ensaio, encontram-se inscritos os valores dos módulos de deformabilidade  $E_{30}$  expressos em  $\text{kg/cm}^2$  e também os valores das percentagens  $\frac{E_0 - E_{30}}{E_{30}} \times 100$  e  $\frac{E_\infty}{E_{30}} \times 100$ .

#### 4.1.4 - Análise dos resultados

A análise global dos valores dos módulos de deformabilidade do maciço rochoso obtidos nos ensaios "in situ" mostra que estes valores são, sistematicamente, superiores ao valor do módulo de elasticidade do betão considerado no projecto.

Dos dois tipos de rocha ensaiados o granulito apresenta os valores de módulo de deformabilidade mais baixos, o que parece ser devido a apresentar uma fracturação mais densa e irregular que o gnaisse granitóide, conforme o dito no Relatório Geológico do Prof. Décio Thadeu.

A diminuição dos módulos de deformabilidade devida à fluência não ultrapassa para tempo infinito 30% do valor instantâneo, apresentando na

maior parte dos casos uma redução de cerca de 10%.

Todas estas constatações estão de acordo com o elevado módulo de de formabilidade do maciço, seu fraco diaclasamento e ausência de zonas de alteração.

#### 4.2 - Ensaaios de módulos de elasticidade e de tensões de rotura de tarolos de sondagem, no laboratório

##### 4.2.1 - Equipamentos e técnicas de ensaio

Dos tarolos da primeira fase de sondagens foram preparados 90 provetes para determinação do módulo de elasticidade.

Desses 90 provetes foram levados à rotura 52 tendo sido determinada a respectiva tensão de rotura.

Em 18 dos 90 provetes foi determinado o coeficiente de Poisson tendo-se feito para alguns deles, devido à gnaissosidade que apresentavam, a sua determinação em dois planos ortogonais.

Cada provete cilíndrico, foi cortado com altura duas a três vezes o diâmetro e os seus topos rectificadas, com pasta de cimento de presa rápida.

A medição das extensões em duas geratrizes opostas foi efectuada, mediante a utilização duma gaiola metálica equipada com um deflectómetro Stopani de milésimos de milímetro. Nos pontos dos provetes onde se fixou a gaiola foram previamente coladas pequenas chapas de cobre de forma evitar possíveis erros de leitura devidos ao deslocamento das peças de fixação.

Utilizou-se para os ensaios uma máquina de compressão. Para garantir a axialidade da carga foi montada uma rótula entre o topo superior do provete e o prato da máquina.

Para a determinação do módulo de elasticidade da rocha constituinte dos provetes, realizaram-se três ciclos de carga e descarga em que se fizeram leituras das extensões a diferentes níveis de carga. Para a determinação da tensão de rotura por compressão da rocha, aplicou-se ao provete uma força continuamente crescente, até à rotura franca.

Para medir as extensões transversais dos provetes a fim de determinar o coeficiente de Poisson utilizaram-se extensómetros eléctricos de resistência.

#### 4.2.2 - Localização dos tarolos ensaiados

Os 90 provetes localizam-se em 20 sondagens diferentes que cobrem numa primeira aproximação toda a zona interessada no aproveitamento de Cabora-Bassa.

A localização dos tarolos de sondagem ensaiados figura no Quadro II.

Os diagramas individuais tensões-extensões vêm em Anexo nas fig.

A.41 a A.129.

#### 4.2.3 - Resultados

No Quadro II estão indicados, também, os valores dos módulos de elasticidade e das tensões de rotura por compressão obtidos nos ensaios, relativamente a cada um dos provetes, que se identificaram pela sondagem, número de ordem e comprimento do furo desde a boca.

Indicam-se ainda neste Quadro, o tipo de coroa utilizada - classificação de 'Core Drill Manufacturers Association' (U.S.A.) - no local do provete ensaiado e o tipo de rocha.

Com base nos resultados obtidos em 58 provetes de gnaíse granitóide porfirobástico esverdeado procurou-se definir um valor característico de módulo de elasticidade ( $E^*$ ) correspondente a 95% de ocorrência de valor superior. Embora

os valores obtidos levassem a uma assimetria para a curva de distribuição probabilística optou-se por uma curva de distribuição normal com o mesmo valor médio e um coeficiente de dispersão igual ao obtido (fig. 2).

A amostragem efectuada será, praticamente, representativa do gnaisse granitóide existente no maciço por este se apresentar pouco diaclasado e sem zonas de alterações significativas, interessando as sondagens estudadas à quase totalidade da zona de fundação da barragem. Neste caso, o valor de  $E^*$  determinado poderá considerar-se significativo das características da rocha gnaisse granitóide porfiroblástico esverdeado ensaiado.

Determinaram-se os diagramas envolventes das curvas tensões-extensões nos domínios correspondentes aos ensaios de determinação do módulo de elasticidade e das tensões de rotura (fig. 3).

Nos diagramas envolventes indicam-se, ainda, as percentagens de módulos de elasticidade ocorrentes em faixas equiangulares e a curva envolvente mais provável dos pontos correspondentes às tensões de rotura para os quais as extensões de rotura foram calculadas por extrapolação das curvas respectivas.

#### 4.2.4 - Análise dos resultados

Os tarolos ensaiados corresponderam aos diferentes tipos de rocha existentes no local de fundação.

O gnaisse granitóide porfiroblástico foi o único que se submeteu a tratamento estatístico por ser o mais representativo da fundação e, como tal, ter sido ensaiado um maior número de provetes. Apresenta um valor médio de módulo de elasticidade de 722 000 kg/cm<sup>2</sup> e um módulo de elasticidade característico atrás definido de valor 430 000 kg/cm<sup>2</sup>.

O coeficiente de dispersão dos valores obtidos é de 0,23.

Na fig. 3 verifica-se que cerca de 70% dos provetes ensaiados apre



sentam módulo de elasticidade superior a 600 000 kg/cm<sup>2</sup>.

Ainda para o gnaisse granitóide procurou-se relacionar, através do cálculo da recta mais provável, os módulos de elasticidade com as tensões de rotura por compressão. Na determinação da recta mais provável utilizaram-se apenas os valores médios das tensões de rotura para faixas de intervalos iguais a 100 000 kg/cm<sup>2</sup> de variação de módulo de elasticidade. A dispersão de pontos obtida deve atribuir-se ao facto de a maior parte dos provetes ensaiados terem secções reduzidas, cerca de 8 cm<sup>2</sup>, resultando deste facto uma maior dispersão de resultados. A prática tem mostrado, e estes resultados confirmam, que a dispersão dos valores dum dada característica aumenta quando diminui a grandeza dos provetes ensaiados, devido à maior influência relativa das heterogeneidades do material.

A equação da recta média obtida é:

$$\sigma_r = 1020 + 0,504 E$$

com

$$\sigma_r \text{ (kg/cm}^2\text{),}$$

$$E \text{ (10}^3\text{kg/cm}^2\text{),}$$

$$E \in (300 ; 1400)$$

tendo sido obtido um desvio padrão em relação aos valores médios de cada faixa de  $\pm 110,7$  kg/cm<sup>2</sup> para a tensão de rotura por compressão e um índice de correlação de  $\pm 0,805$ . O valor médio da tensão de rotura do gnaisse obtido em 58 provetes foi de 1 330 kg/cm<sup>2</sup>.

O cálculo da correlação entre a tensão de rotura e a extensão de rotura apoiou-se na relação  $\sigma_r = f(E)$  e  $\sigma = E \epsilon$ , atrás escrita, e originou para a curva mais provável a hipérbole de equação

$$\sigma_r \cdot \epsilon_r - 1020 \epsilon_r - 0,504 \cdot 10^3 \sigma_r = 0$$

com,

$\sigma_r$  - tensão de rotura ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\epsilon_r$  - extensão de rotura ( $10^{-6}$ )

$\sigma_r \in (1228 ; 1844)$

Para as restantes rochas constituintes da fundação encontram-se os seguintes valores médios de módulo de elasticidade  $E_m$  e da tensão de rotura  $\sigma_{rm}$  :

granulito,  $E_m = 573\ 200\ \text{kg/cm}^2$  (6) ;  $\sigma_{rm} = 1\ 770\ \text{kg/cm}^2$  (5)

gabro,  $E_m = 1\ 202\ 400\ \text{kg/cm}^2$  (4) ;  $\sigma_{rm} = 1\ 990\ \text{kg/cm}^2$  (3)

lamprófiro,  $E_m = 392\ 900\ \text{kg/cm}^2$  (6) ;  $\sigma_{rm} = 1\ 040\ \text{kg/cm}^2$  (6)

brecha,  $E_m = 864\ 400\ \text{kg/cm}^2$  (9) ;  $\sigma_{rm} = 1\ 830\ \text{kg/cm}^2$  (9)

Indica-se entre parentesis o número de provetes ensaiados de cada tipo de rocha.

Pode-se afirmar que todos os provetes ensaiados apresentam módulos de elasticidade superiores ao valor do módulo de elasticidade do betão geralmente utilizado no cálculo da estrutura barragem fundação. A tensão de rotura por compressão pode considerar-se elevada mesmo no caso do lamprófiro.

#### 4.3 - Estudo micropetrográfico de tarolos de sondagem\*

O estudo micropetrográfico de 26 lâminas delgadas de rochas extraídas de tarolos de sondagem do local de implantação da barragem de Cabora-Bassa, tem a finalidade de caracterizar, do ponto de vista micropetrográfico, os principais tipos de rochas do local da barragem, tentando-se obter valores modais correlacionáveis com as características mecânicas des-

---

\* Este estudo foi realizado, na Divisão de Prospeção do Serviço de Geotecnica, pelo Prof. Aires-Barros do IST, colaborador do LNEC.

sas mesmas rochas.

#### 4.3.1 - Caracterização micropetrográfica dos principais tipos de rocha

A região de Cabora-Bassa que interessa directamente ao estudo em questão, é formada, na sua maior parte, por rochas granito-gnaissicas a que se deve juntar pequena mancha de rochas gabrodioríticas e também alguns filões, quer granitóides, quer gabrodioríticos. Assinalam-se ainda rochas de fácies granulítico-aplítica (leptinitos). Em certo número de sondagens foram intersectados filões, lamprófíricos, bem como rochas evoluídas de fácies epidiorítica.

A análise de grande número de testemunhos de sondagens permitiu caracterizar os tipos litológicos acima mencionados, tendo-se escolhido, para estudo pormenorizado micropetrográfico, 25 amostras cujas proveniências figuram no Quadro III, onde se referem, ainda, outras características destas rochas.

Embora se apresente em 4.3.1.6 a descrição pormenorizada de cada lâmina delgada estudada, referem-se, desde já, as características gerais de cada um dos tipos litológicos definidos.

##### 4.3.1.1 - Gnaisse granitóide regional e suas diferenciações

Trata-se de rochas de textura granoblástica grosseira a porfiroblástica com evidentes sinais de terem sofrido acções dinamometamórficas (extinção ondulante, fissuração fina e deformação do elipsóide de elasticidade do quartzo) e metassomáticas (presença de intercrescimentos mirmequíticos, de pertite, de cortejos de gotículas de quartzo nos feldspatos, de sulcos deixados pela passagem de fluidos deutéricos). São, pois, rochas que sofreram vicissitudes de ordem metamórfica.

As rochas granito-gnáissicas regionalmente predominantes, são rochas de tom verdeengo, fechadas, cuja orientação não é nítida em amostra de mão.

Estas rochas apresentam diversificações dignas de menção e de interesse relevante, uma vez que manifestam valores de módulo de elasticidade, de tensão de rotura e de índice de qualidade micropetrográfico, no geral, bastante inferiores aos correspondentes à rocha regionalmente dominante.

Assim, assinalaram-se além do gnaiss-granítico regional, verdeengo, dois tipos singulares de gnaisses graníticos: um de tom claro, outro róseo.

O "gnaisse granítico claro", exhibe textura de granularidade menos porfiroblástica do que o gnaiss-granítico regional. A sua mineralogia é idêntica à daquelas rochas, sendo mais patentes os fenómenos de índole metassomática.

Maior relevância deve ser dada aos "gnaises-graníticos róseos", de aspecto "glandular", cuja análise micropetrográfica permite realçar os seguintes factos:

- a) fenómenos intensos de transformação deutérica e metassomática, actuando sobre os feldspatos (albitização e intercrescimentos mirmequíticos);
- b) duas gerações de quartzo: uma representada pelas plagas desenvolvidas, outra por quartzo de menor dimensão e de neoformação;
- c) ferruginização dos feldspatos, observando-se finos conjuntos arborescentes vincados por óxidos de ferro (responsável pelo tom róseo destes minerais na rocha);
- d) ausência de piroxenas de tipo hipersténico;
- e) indícios de fenómenos de esmagamento, devidos a intensas acções

cataclásticas (dinâmicas).

#### 4.3.1.2 - Rochas de fácies aplito-leptinitica (granulitos)

Foram estudadas algumas lâminas delgadas de rochas de fácies aplitica. São rochas de textura equigranular fina a média, quartzo-feldspáticas, com sensível igual quantidade de quartzo e de feldspatos, predominando contudo estes. São rochas muito pobres de minerais ferromagnesianos.

Em nenhuma das lâminas delgadas se diagnosticou a presença de granada; são, contudo, comuns fenômenos que supõem actividade metassomática (orlas mirmequíticas).

Tais factos vêm a favor das observações de campo que sugerem que estas rochas, inicialmente aplitos, devem ter evoluído para leptinitos.

#### 4.3.1.3 - Rochas gabróicas e filões lamprofíricos

Além das rochas granito-gnássicas regionalmente predominantes e suas diversificações, bem como as rochas quartzo-feldspáticas granulíticas, ainda se analisaram outras rochas de ocorrência mais particular, mas de certa relevância como é o caso dos filões lamprofíricos.

Apenas se estudou micropetrográficamente uma rocha gabróica, sã, fechada, com biotite e olivina.

Há um bom número de sondagens que cortou rochas lamprofíricas, filões que merecem estudo cuidado dada a especial incidência que podem ter no contexto geral do comportamento das rochas da região em estudo.

O exame microscópico destas rochas levou à sua caracterização específica como minetos, pois que são lamprófiros alcalinos particularmente ricos em biotite. Além da biotite, estas rochas são portadoras de augite-diopsídica e alguma anfíbola.

#### 4.3.1.4 - Rochas brechóides e epidioríticas

Tivemos ensejo de estudar rochas brechóides, no geral brechas de formações gnássico-graníticas quer do tipo regional, quer da diversificação deste, ou seja do gnaiss granítico róseo glandular.

Assim, as amostras das sondagens 6A, aos 72,45 m; 7, aos 70,12 m e 8A, aos 85,33 m, são deste tipo.

Há contudo outro tipo de rochas com aspecto macroscópico que sugere uma formação de tipo brechóide, mas que o exame mais atento, sobretudo microscópico, não confirma. Trata-se de epidioritos; é o caso da amostra da sondagem 8A, aos 89,94 m. Efectivamente é uma rocha filoniana, gabróica, muito evoluída, com textura ocelar sem sinais evidentes de transformações dinâmicas incidentes, mas sim com sinais patentes de acções de transformação química por deuterismo.

#### 4.3.1.5 - Análise modal. Correlação entre o índice de qualidade micropetrográfico e o módulo de elasticidade e a tensão de rotura

A partir dos testemunhos de sondagem disponíveis no laboratório, escolheram-se 26 procurando que fossem representativos dos principais tipos de rochas e suas singularidades relevantes.

A partir desses testemunhos de sondagem elaboraram-se lâminas delgadas que foram estudadas ao microscópio polarizante, de modo a se fazer a caracterização micropetrográfica qualitativa das rochas, de que apresentámos as linhas gerais no capítulo anterior. Além disso procurou-se fazer a caracterização quantitativa das mesmas rochas, por meio de cálculo modal.

Para o cálculo do modo (composição real da rocha, expressa em percentagem volumétrica dos minerais que efectivamente ocorrem) usou-se uma

platina integradora que se sobrepõe à platina do microscópio polarizante. Com ela realizaram-se séries de trajectos paralelos e equidistantes sobre as lâminas delgadas em estudo. No decurso destes trajectos foram-se somando os comprimentos dos segmentos de recta pertencentes aos diferentes minerais. Tal análise é uma estimativa correcta das áreas nas quais se fazem os trajectos. A relação área-volume é dada por

$$V = \int_c^d A(Z) dZ$$

em que A é a área tomada perpendicularmente ao eixo ao longo do qual se mede Z.

A relação de Delerse ou de área-volume que está na base do cálculo modal petrográfico, diz-nos que a razão entre a área ocupada por um mineral a (Aa) e a área ocupada por todos os minerais (área total At) é uma estimativa consistente da percentagem em volume do mineral a (Va) na rocha (Vt).

Deste modo a medição das áreas terá a mesma relação para os volumes que a das linhas paralelas escolhidas ao acaso, para as áreas.

No Quadro III apresentam-se os valores modais referentes às rochas estudadas microscòpicamente.

Agruparam-se os minerais da maneira que pareceu mais conveniente para a determinação do índice de qualidade micropetrográfico - K - realçando-se:

- a) A percentagem de quartzo e de outros minerais "sãos" como feldspatos e ferromagnesianos;
- b) As percentagens de minerais de alteração derivados dos feldspatos e dos ferromagnesianos;

c) A quantidade e tipo de fissuras.

Sob a rúbrica "Outros" incluem-se os minerais acessórios menores, sempre presentes, mas em quantidade diminuta. Nas rochas granito-gnais-sóides trata-se, no geral, de apatite, zircão e grânulos de magnetite.

Com base nos valores modais, define-se índice de qualidade micrope- trográfico pela expressão

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n p_i X_i}{\sum_{j=1}^m p_j Y_j}$$

em que os  $n$  valores de  $X_i$  são as percentagens dos minerais são, com in- cidência favorável no comportamento mecânico das rochas, e em que os  $m$  valores de  $Y_j$  são as percentagens dos minerais alterados e microfissu- ras com desfavorável incidência no comportamento mecânico das rochas.

No caso presente aquela expressão será dada por:

$$K = \frac{\% \text{ Quartzo} + \% \text{ Feldspato são} + \% \text{ Min. FeMg são} + \% \text{ Outros}}{\% \text{ Feldsp.alterados} + \% \text{ Min. FeMg alter.} + \% \text{ Microfissuras}}$$

No Quadro III além dos valores modais das diversas rochas analisa- das, inclui-se o correspondente valor do índice de qualidade micropetro- gráfico (K), bem como os valores dos módulos de elasticidade (E) e de ten- são de rotura ( $\sigma_r$ ) determinados sobre os provetes de que provêm as lâmi- nas delgadas estudadas ao microscópio.

Nas fig. 5 e 6, procura-se mostrar a correlação entre K e E e entre K e  $\sigma_r$  respectivamente. Estas representações mostram que, no geral, os pontos representativos das rochas analisadas caem dentro de uma faixa bem definida (caso da fig. 5) que permite a aplicação de K como índice aferidor do tipo de rocha do ponto de vista mecânico.

Quanto à fig. 6, há que fazer breves considerações.



Em seguida tecem-se alguns comentários resultantes da análise das figuras aresentadas, tendo em atenção os vários tipos de rochas estudadas.

Distinguiram-se três tipos de rochas granito-gnáissicas, aliás de acordo com os elementos fornecidos pela geologia de campo e pelo estudo micropetrográfico. Assim, o gnaiss granítico regional, predominante no local de implantação da barragem, é uma rocha "fechada", verdoenga, muitas vezes ocelar e, nem sempre, com orientação patente à escala mesoscópica. O gnaiss granítico róseo exhibe sinais evidentes de transformações dinâmicas e de alteração meteórica. O gnaiss granítico claro, afim do anterior, não ostenta o tom róseo (ferruginização fina) daquele.

Como se salientou oportunamente, os gnaisses graníticos róseo e claro são singularidades do gnaiss granítico regional verde-oliva. Demos particular relevo às transformações que estes gnaisses graníticos (róseo e claro) ostentam, pois elas vão repercutir-se, de modo sensível, no índice de qualidade micropetrográfico e, também, no seu comportamento mecânico (vejam-se os valores respectivos no Quadro III). No entanto para realçar estes factos elaboraram-se as representações das fig. 7, 8 e 9.

Na fig. 7 associaram-se rochas gnáissicas provenientes da mesma sondagem (sondagem H), de profundidades diferentes e correspondendo a diversificações do gnaiss granítico "são", regionalmente predominante, outra do gnaiss granítico róseo e outra do gnaiss granítico claro.

As variações de E e K são nítidas e no mesmo sentido, mostrando estreita correlação. O estudo microscópico havia salientado, como se apontou atrás, o aspecto singular destas diversificações da rocha dominante na região e que devem ser tomadas em consideração.

Na fig. 8, relativa à sondagem B<sub>1</sub>, representam-se rochas gnáissicas regionais todas elas macroscopicamente idênticas do ponto de vista textu

ral e igualmente "sãs". No entanto a análise dos valores do Quadro III mostra que, aos 143,90 m a rocha se apresenta em bom estado quanto à alteração e fissuração, e as duas restantes evidenciam variações desfavoráveis no que respeita àqueles factores. Assim, a rocha da mesma sondagem, aos 117,03 m, embora a fissuração seja irrelevante, ostenta certo peso de feldspatos caulinizados que lhe baixam sensivelmente o valor de  $\sigma_r$ , mas notoriamente o valor de E, no que é acompanhado por sensível baixa no valor de K.

Quanto à amostra da mesma sondagem, aos 29,80 m, deve referir-se que toma relevância, não só o grau de alteração, mas a razoável presença de microfissuras colmatadas.

Na fig. 9 representam-se rochas gnáissicas graníticas de diversos tipos da mesma sondagem B<sub>1</sub>, pelos correspondentes valores de E,  $\sigma_r$  e K.

Verifica-se que há melhor variação correlativa entre as representações  $\sigma_r$  e K do que entre E e K, uma vez que, para o gnáisse róseo se obtém um E superior ao E do gnáisse claro, enquanto que os índices de qualidade têm variação inversa, tal como sucede para a variação da tensão de rotura. Tenha-se em atenção que, para a representação da fig. 8 se afigurasse a variação de  $\sigma_r$ , em vez da de E, também se verificaria melhor acerto entre K -  $\sigma_r$  do que entre K-E. A explicação é a que agora se apresenta, para as amostras da sondagem B<sub>1</sub>.

Efectivamente, da análise dos valores do Quadro III, verifica-se que a amostra da sondagem B<sub>1</sub>, aos 47,59 m, tem não só maior quantidade de minerais alterados, como também mais quantidade de microfissuras do que a amostra da mesma sondagem, aos 58,83 m. Tal facto explica bem o contraste entre o índice de qualidade micropetrográfico K e o valor de  $\sigma_r$  para as duas amostras. Este contraste não foi posto em evidência pelo E, praticamente idêntico nas duas rochas. A explicação para o caso referido

atrás (fig. 8) é a mesma. Aí a diferença da alteração é relevante (maior na amostra do gnaiss granítico dos 29,80 m), mas mais importante é a variação da microfissuração que é cerca de 4 vezes superior no gnaiss granítico considerado em relação à rocha dos 143,90 m .

Ao se elaborarem os diagramas das fig. 5 e 6, verificou-se quanto aos granulitos que:

a) para o diagrama E-K (fig. 5), os pontos representativos das rochas ensaiadas e analisadas micropetrográficamente se arrumam razoavelmente, no todo, de modo que, para o conjunto das rochas deste local de implantação das fundações de uma barragem, não se torna necessário elaborar mais do que uma curva de correlação E-K;

b) em contrapartida, na construção do diagrama  $\sigma_r - K$ , tal facto não sucede. Acontece que há um cortejo de pontos que se afastam nidiamente da generalidade e que pertencem, na quase totalidade, aos granulitos.

Em resumo, quanto ao módulo de elasticidade, as diferentes rochas estudadas (vários tipos de gnaisses, granulitos e alguns lamprófiros) permitem a elaboração de uma só representação diagramática que correlaciona E com o índice de qualidade micropetrográfico. No que diz respeito à figuração  $\sigma_r - K$ , além da representação para a generalidade das rochas gnáissicas (e lamprofíricas), é-se obrigado a construir uma curva distinta para a maioria dos granulitos (fig.6 ).

Interessará atentar um pouco sobre este facto, para se apontar uma justificação plausível. Aliás é lógico que as curvas  $\sigma_r - K$  e E - K sejam distintas consotante os tipos de rochas a que se referem. É o que se passa com os granulitos, quando comparados com os gnaisses, para a figuração  $\sigma_r - K$ .

A análise do Quadro III mostrou que os granulitos têm valores de módulo de elasticidade dentro dos domínios dos números que se referem às

restantes rochas. No entanto estas rochas apresentam tensões de rotura bastante elevadas. É bem possível que a textura deste tipo de rochas esteja na base da explicação deste facto. Na realidade, os granulitos são rochas quartzo-feldspáticas de tendência equigranular fina a média. Deste modo, as grandezas elásticas podem ser do mesmo valor do das rochas de granularidade grosseira e com esboços de orientação. Pode acontecer que se dê certa acomodação dos cristais que engrenam e enchavetam entre si facilmente dada a textura de tendência xenomórfica equigranular.

No entanto, se a resposta ao ensaio mecânico do módulo de elasticidade forneceu valores até inferiores, nitidamente, aos correspondentes para os gnaisses, o mesmo não sucede quanto à carga de rotura. Neste caso, parece lógico que a rotura seja mais difícil numa rocha desprovida de minerais marcando qualquer orientação e onde os minerais se arrumam fortemente dando uma maior densidade de empilhamento e que torna difícil o rompimento.

Quer dizer, os grânulos equidimensionais, no ensaio para a determinação do módulo de elasticidade responderam rearrumando-se melhor (maior densidade de empilhamento). No ensaio de rotura, essa equigranularidade de um conjunto quartzo-feldspático torna-se mais difícil de romper do que um conjunto inequigranular e com minerais marcando orientações preferenciais, mesmo muito gerais e só observáveis à escala mesoscópica.

No que se refere aos lamprófiros, os problemas que a existência destas singularidades filonianas podem trazer para a fundação de uma barragem são de duas naturezas:

a) De ordem física, ligados à presença de uma rocha particularmente rica de biotite. Esta mica constitui cerca de 30% da rocha e da

das as suas débeis características mecânicas e o seu hábito lamelar, pode funcionar de autêntico fluido favorecendo deslocamentos.

c) De ordem química, ligados à presença dos minerais ferromagnesianos. São rochas em que cerca de 45 a 50% dos constituintes são minerais ferromagnesianos, em que avulta uma piroxena ( e ainda, em menor quantidade anfíbolos). Estes minerais, com a biotite que é, todavia, o menos alterável dos minerais ferromagnesianos presentes, podem conferir à rocha elevado grau de alterabilidade.

Quanto ao grau de alteração e às características mecânicas de - terminadas em laboratório, os lamprófiros apresentam-se sem qualquer particularidade digna de nota. Este facto deve-se, sem dúvida, a que as amostras analisadas provêm de sondagens e de certa profundidade. Este facto realça a afirmação de que o principal cuidado a ter advirá da possível taxa de alteração com o tempo de uma rocha a que poderá vir a ser adulteradas as condições "in situ", promovendo-lhe o acesso dos agentes atmosféricos.

#### 4.3.1.6 - Descrições micropetrográficas

##### a) Sondagem B<sub>1</sub>

a.a. Aos 29,80 m.

É uma rocha de textura granoblástica grosseira a porfiroblástica, constituída por quartzo e abundantes feldspatos (microperthite, ortose e oligoclase-andesina). Dos minerais ferromagnesianos sobressai uma hornblenda verde e alguma quantidade de enstatite bastante alterada para produtos verdoengos clorítico-bastíticos. Há profusão de minério negro e de apatite.

São de salientar os intercrescimentos mirmequíticos, bem como as gotículas de quartzo no seio de desenvolvidas plagas de feldspato

e ainda marcas de corrosão, finas, alongadas, subparalelas.

A rocha mostra que o quartzo e os feldspatos, em plagas desenvolvidas, sofreram certos constrangimentos mecânicos o que é realçado pelos sistemas de microfissuras subparalelas que ocorrem nestes minerais. Muitas destas fissuras estão colmatadas por quartzo e micas, outras não. Dos gnaisses regionais é dos mais fissurados; o grau de alteração é normal.

a.b. - Aos 47,59 m

É uma rocha eminentemente quartzo-feldspática (microperthite, microclina-perthite, ortose, albite e oligoclase), com os feldspatos rosados, devido a muito fina hematitização.

Dos minerais ferromagnesianos há certa quantidade de uma hornblenda verde e clorites derivadas de biotite. Há minério negro bastante transformado em óxidos de ferro coloidais negro-acastanhados, nebulosos.

A rocha mostra os feldspatos bastante caulinizados, ferruginizados e mesmo com extinção ondulante, tal como o quartzo.

Acresce ainda que são bastante evidentes os fenômenos de substituição metassomática. Quanto à fissuração, verifica-se que há fissuras finas por onde a ferruginização avança sobre os feldspatos e há, ainda, fissuras que ganham vários minerais, mas que estão colmadados por quartzo,

a.c. - Aos 58,83 m

É uma rocha muito rica de quartzo em plagas conspícuas, bem como de feldspatos (microperthite, ortose, albite e oligoclase) um tanto caulinizados. Os minerais ferromagnesianos não são abundantes, no geral é a hiperstena.

É uma rocha com sinais evidentes de metassomatismo, bem como in

dícios de actuações dinâmicas. Exibe, nitidamente, menor grau de alteração do que a amostra anterior. Este facto e a ausência de biotite e produtos de alteração seus derivados, justificam o razoável comportamento mecânico deste provete.

a.d.- Aos 107,90 m

É uma rocha de tendência equigranular fina a média, eminentemente quartzo-feldspática, sendo raros os grânulos de minério negro e as palhetas de clorite.

Dos feldspatos há que referir micropertite, microclina-pertite, ortose, albite e oligoclase. O quartzo ostenta extinção ondulante e lamelação. Há manifestações metassomáticas.

Trata-se de uma rocha "sã", fechada; é um granulito (Fot.16).

a.e.- Aos 117,03 m

É uma rocha granito-gnaissóide, de fácies regional, com evidentes sinais de caulínização dos feldspatos, com certa microfissuração e patenteando importantes fenómenos de substituições metassomáticas. Dos minerais ferromagnesianos deve referir-se a enstatite.

a.f. - Aos 143,90 m

Trata-se de mais uma rocha granito-gnáissica, agora com textura porfiroblástica, de tendência ocelar, muito rica em quartzo e feldspatos (micropertite, microclina, oligoclase e oligoclase-andesina). De entre os minerais ferromagnesianos presentes, citaremos hornblenda, biotite, augite, hiperstena e enstatite.

É uma rocha bastante "sã" e fechada, a que corresponde o valor mais elevado do índice de qualidade micropetrográfico e, conseqüentemente, os valores de E e de  $\sigma_p$  (vidé Quadro III).

b. Sondagem E

b.a. - Aos 52,65 m

É uma rocha escura, rica de biotite, lamprofírica, constituída por profusão de secções de biotite e de augite-diopsídica, numa pasta ortosi-albítica, com grânulos esporádicos de quartzo.

Trata-se de uma rocha filoniana, alcalina, rica de biotite e augite diopsídica. De entre os lamprófiros é um mineto (lamprófiro alcalino).

c. - Sondagem F

c.a. - Aos 17,52 m

É uma rocha semelhante à que descrevemos atrás, da sondagem B<sub>1</sub>, aos 107,90 m. É também um granulito. É uma rocha equigranular fina a média, eminentemente quartzo-feldspática. Dos feldspatos, diagnosticaram-se ortose, microlina e micropertite.

c.b. - Aos 25,30 m

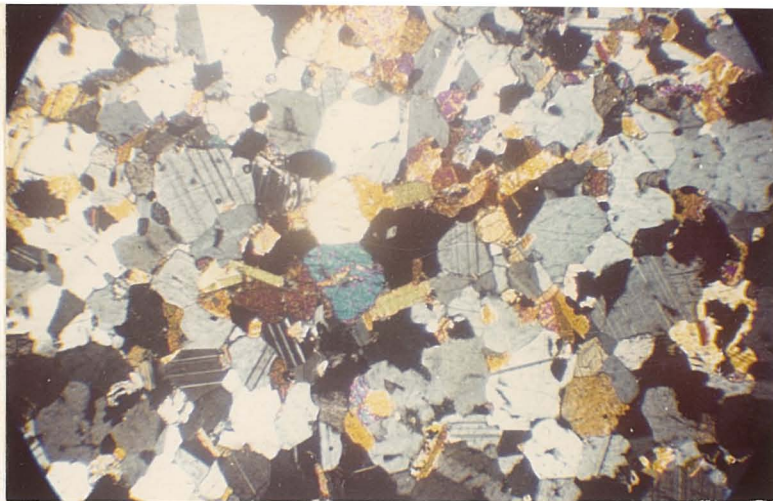
É uma rocha do mesmo tipo do da anterior, mais grosseira e ainda mais pobre em minerais ferromagnesianos, praticamente desprovida destes constituintes.

Acresce que, para além de granularidade mais grosseira, a presente rocha ostenta ligeiro maior grau de alteração do que a amostra precedente. Estes factos repercutem-se nos valores de K.

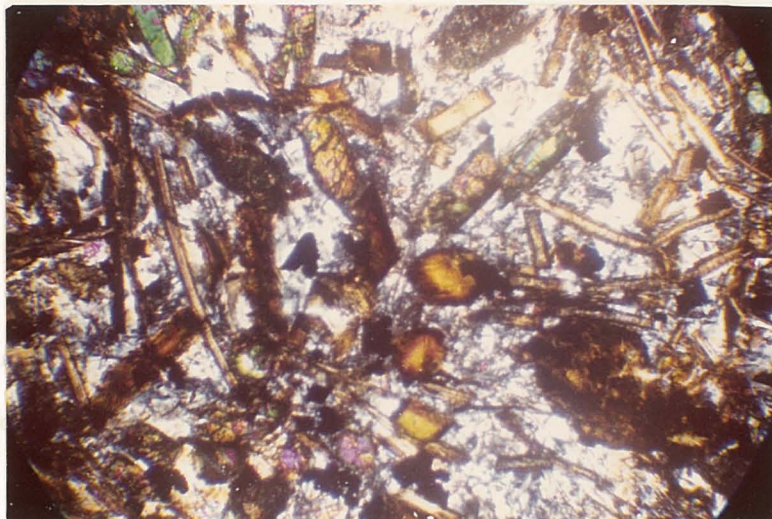
c.c. - Aos 51,95 m

Trata-se de mais um lamprófiro alcalino (mineto). A mineralogia da rocha é fundamentalmente constituída por profusão de biotite com os bordos avivados por acículas de rútilo e pontuações titano-magnetíticas, abundantes secções de augite diopsídica e em fundo ortosi-albítico. Há alguns grãos de quartzo, bem como "ninhos" tremolíticos (fot. 15).

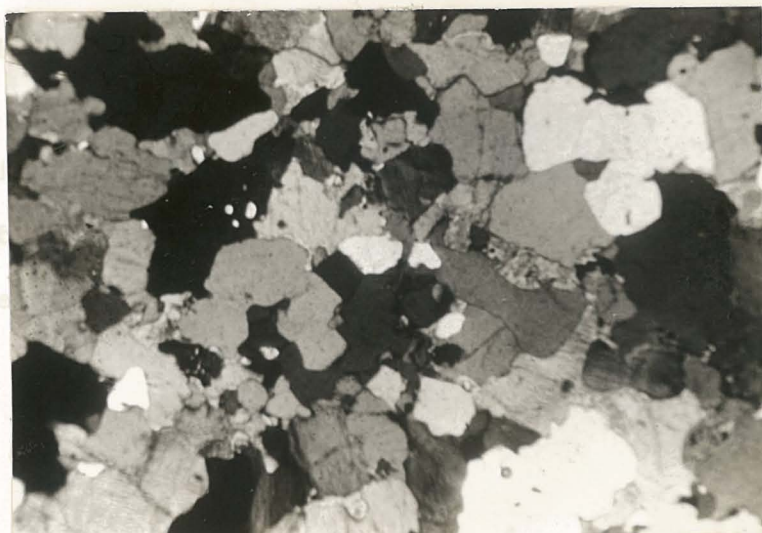




Fot. 14 - Sondagem Q, aos 30,00 m  
Aspecto geral do gabro norítico, biotítico com olivina  
(N+; x25)



Fot. 15 - Sondagem F, aos 51,95 m  
Aspecto geral do lamprófiro (N+; x25)



Fot. 16 - Sondagem B<sub>1</sub>, aos 107,90 m  
Aspecto geral do granulito (N+; x25)

c.d.- Aos 54,60 m

É uma rocha granítico-gnáissica de granularidade mais fina do que é habitual. É uma rocha bastante "sã" e fechada. Vejam-se os valores modais do Quadro III.

Quanto à mineralogia, é constituída por quartzo e feldspatos (ortose, micropertite e oligoclase); dos minerais ferromagnesianos deve citar-se hornblenda comum. Há algum minério negro e apatite.

d. - Sondagem G

d.a. - Aos 26,70 m

É uma rocha granito-gnáissica, clara, granoblástica, com manifestas evidências de acções metassomáticas.

Além de quartzo abundante, há profusão de feldspatos (ortose, microclina, micropertite, albite). A biotite é esparsa. A caulinização dos feldspatos é patente, mas não exagerada. Os megablastos mostram microfissuração soldada (1% na análise modal, vide Quadro III). (fot. 17).

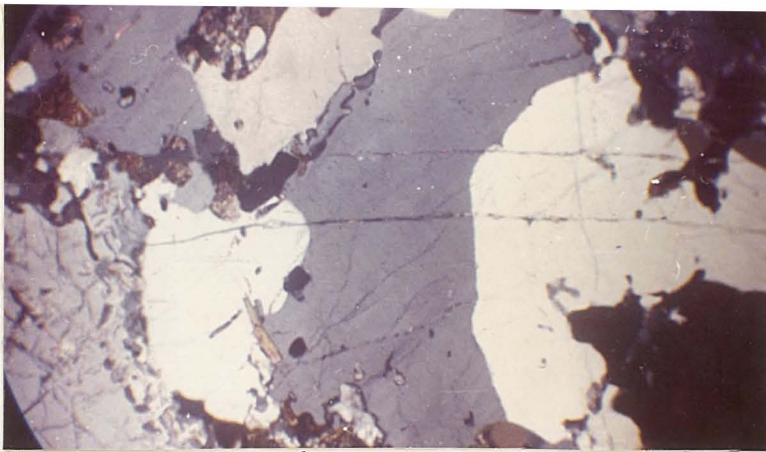
d.b. - Aos 51,70 m

Trata-se de mais uma rocha granítico-gnaissóide, de fácies regional. Em relação à amostra anterior, deve salientar-se que é de granularidade mais grosseira, tem grau de microfissuração comparável, mas as microfissuras têm disposição subparalela, prolongando-se por vários minerais, está mais alterada. Os factos apontados justificam um valor baixo para K e uma tensão de rotura, nitidamente inferior à da amostra anterior. (Fot. 18 e 19).

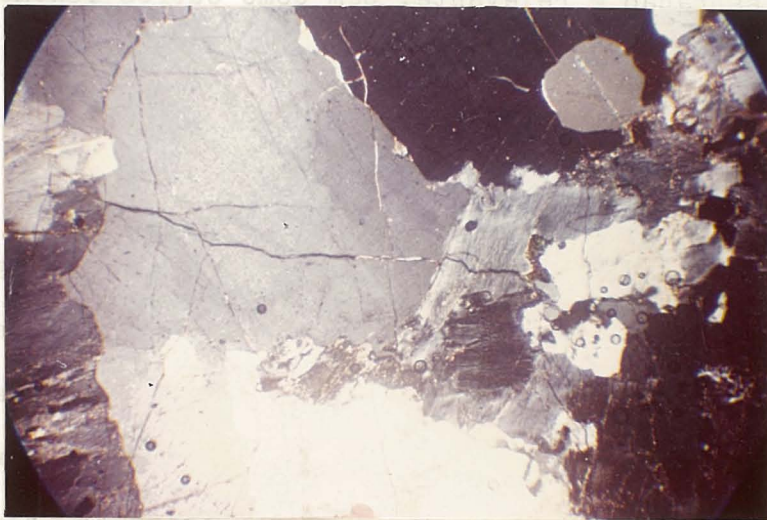
e. Sondagem H

e.a.- Aos 55,30 m

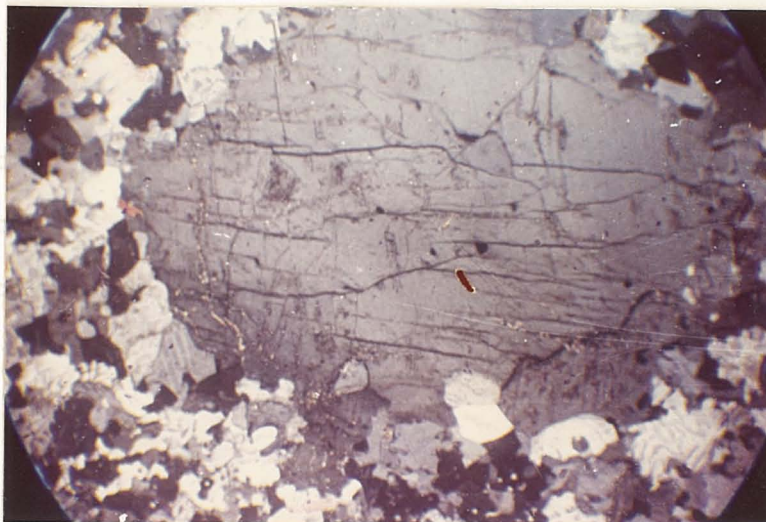
Trata-se de mais um gnaisse granítico glandular róseo, cujos



Fot. 17 - Sondagem G, aos 26,70  
Sistema de microfissuras subpararelas, interessando várias  
plagas de quartzo, Gnaiss granítico claro (N+; x25)



Fot. 18 - Sondagem G, aos 51,74 m  
Sistema de microfissuras, umas "grosso modo" ortogonais, ou-  
tras oblíquas, interessando várias plagas de quartzo e de  
feldspato. Gnaiss granítico regional (N+; x25)



Fot. 19 - Sondagem G, aos 51,74 m  
Microfissuração densa afectando uma secção de feldspato.  
Gnaiss granítico regional (N+; x25)

feldspatos foram sede de intensa e fina ferruginização.

O quartzo ostenta extinção ondulante e alguma microfissuração, por vezes, colmatada. Os feldspatos (microperthites, albite) abundam e denunciam fenómenos metassomáticos. A biotite aparece um pouco por toda a rocha, sem qualquer disposição preferencial, está lixi - viada.

O grau de fissuração é relevante, bem como outros fenómenos (extinção ondulante, lamelação do quartzo) denunciadores de acções dinâmicas actuantes sobre a rocha.

e.b. - Aos 57,73 m

Trata-se de uma rocha granito-gnáissica, granoblástica grosseira, quartzo feldspática, com biotite. É uma rocha bastante semelhante à anterior, quer quanto à mineralogia, quer quanto ao estado de alteração e grau de fissuração. Todavia é uma rocha clara e não rósea como a precedente, pois está isenta da ferruginização (hematitização) dos feldspatos, fenómeno relevante na rocha anterior.

e.c. - Aos 107,69 m

É um gnaiss-granítico, de tom verdoengo, bastante "são" e "fechado". Trata-se de mais uma boa amostra representante do gnaiss esverdeado regionalmente dominante.

É pois uma rocha rica de quartzo e feldspatos (porfiroblastos de microclina-pertite, e pertite que também aparecem em grânulos, e albite). A quantidade de minerais ferromagnesianos é de interesse (hiperstena, hornblenda verde e biotite).

f. Sondagem K

f.a. - Aos 57,80 m

É mais um gnaiss-granítico regional, verdoengo, rico de quartzo

e feldspatos alcalinos (predominando as pertites), com evidentes sinais de substituições metassomáticas. Há alguma horneblenda e biotite, bem como grânulos de apatite e de minério negro.

g. Sondagem M

g.a. - Aos 0,70 m

É uma rocha de tendência equigranular fina a média, branco-rosada, eminentemente quartzo-feldspática.

É constituída, fundamentalmente por quartzo com extinção ondulante patente, por feldspatos (micropertite, ortose, albite e albite-oligoclase). Os minerais ferromagnesianos são escassos.

É uma rocha com certo grau de ferruginização e com os feldspatos "tocados" pela caulínização o que se compreende, pois é uma amostra proveniente de muito pouca profundidade.

h. Sondagem N

h.a. - Aos 35,00 m

É uma boa amostra representativa das rochas granito-gnáissicas de fácies charnoquítica, regionalmente predominantes na região de Cabora-Bassa.

Efectivamente é uma rocha rica de quartzo, com extinção ondulante, e de feldspatos. Dos feldspatos devem citar-se megablastos de pertite e de albite-oligoclase envolvidos por uma matriz quartzo-feldspático-ferromagnesianiana. Nesta rocha a percentagem de hiperstena é relevante atingindo os 12,5% na composição modal. Associada a esta piroxena, que confere fácies charnoquítica à rocha, há horneblenda.

É uma rocha "sã", com elevado K, E e  $\sigma_r$ .

h.h. - Aos 49,00 m

É uma rocha, no geral, semelhante à anterior. Tem, contudo, me -

nor quantidade de minerais ferromagnesianos, quer no que diz respeito à hiperstena, quer à hornblenda. Por outro lado, mostra-se mais alterada e microfissurada. Estes factos explicam os mais baixos valores de K, E e  $\sigma_r$ , em relação aos valores correspondentes da amostra anterior. Contudo aquelas grandezas são ainda elevadas.

i. Sondagem P

i.a. - Aos 10,90 m

Trata-se de mais um gnaisse granitóide regional. Em relação ao seu estado, verifica-se que embora o estado de "frescura" seja bom, ostenta alguma fissuração, fissuras estas, no geral colmatadas.

i.b. - Aos 60,00 m

É uma rocha gnáissica, de tom claro, do tipo da amostra da sondagem H, aos 57,73 m, no entanto com melhor comportamento mecânico.

É uma rocha quartzo-feldspática, com alguma hornblenda verde e biotite. Dos feldspatos, devem citar-se microclina, microclina-per<sup>ti</sup>te, ortose e albite.

j. Sondagem Q

j.a. - Aos 30,00 m

É uma rocha holocristalina, meso-melanocrática, de grão fino (hipautomórfica granular fina), "fechada", sem fissuras e muito "sã".

É constituída fundamentalmente por abundante plagioclase do domínio do labrador (60% de moles de anortite), por hiperstena, biotite e olivina. Dos minerais ferromagnesianos presentes, a olivina é o mais subsidiário e o único que evidencia indícios de alteração (serpentinização).

Trata-se de um gabro norítico, biotítico com olivina. (Fot. 14)

l. - Sondagem R

l.a. - Aos 11,70 m

É mais uma rocha granulítica, rósea, de granularidade fina a média, quartzo-feldspática, praticamente desprovida de minerais ferro-magnesianos.

É uma rocha "fechada", com bom índice de qualidade micropetrográfico.

m. Sondagem S

m.a. - Aos 1,80 m

É uma rocha praticamente holoquartzo-feldspática, de tendência equigranular fina a média, ligeiramente rósea a acastanhada, devido a forte impregnação ferruginosa dos feldspatos.

A rocha exhibe certa microfissuração, no geral colmatada por hidróxidos de ferro férrico, de que resulta um valor baixo de K para este tipo de rocha. Aliás, deve ter-se em atenção que a amostra estudada provém de pouca profundidade.

m.b. - Aos 25,00 m

É um gnaiss granitóide regional, esverdeado, com hiperstena marcando certa listragem na rocha.

É mais uma rocha gnaissóide de tipo regional.

n. Sondagem 6A

n.a. - Aos 72,45 m

É uma rocha de fáceis brechóide, em que os elementos são de tipo gnáissico (provenientes do gnaiss verdeo regional), cimentados por um conjunto clorito-anfibólico-epidótico.

Trata-se de material proveniente de uma zona tectonizada que interessou a rocha gnáissica regionalmente dominante.

O. - Sondagem 7

O.a. - Aos 70,12 m

É mais uma rocha de fácies brechóide, com clastos grosseiros, quartzo-feldspáticos. Os feldspatos estão fortemente hematitizados, caulinizados, evoluídos, Ainda mais transformados estão os materiais de origem piroxénia.

Aglutinando este conjunto há um incipiente cimento clorítico e finas vénulas clorítico-calcítico-quartzonas.

Trata-se de uma brecha tectónica, quartzo-feldspática (de material gnaissóide róseo, de tipo glandular).

p. - Sondagem 8A

p.a. - Aos 85,33 m

Esta amostra, tal como a anteriormente descrita (sondagem 7, aos 70,12 m) é mais uma fácies brechóide do gnaisse glandular róseo.

Ostenta o quartzo lamelado, fracturado, com extinção ondulante, os feldspatos densamente ferruginizados e caulinizados. O débil cimento é clorítico.

p.b. - Aos 89,94 m

É uma amostra granular fina a média, verdoenga cujo estudo microscópico mostra ser constituída, fundamentalmente, por plagioclases e minerais ferromagnesianos.

As plagioclases mostram evolução de tipo saussurítico (alteração com formação de minerais cálcicos do grupo do epídoto e concomitante perda em moléculas de anortite). Deste modo a plagioclase é do domínio da andesina a andesina-labrador.

Os minerais ferromagnesianos, mostram também avançada evolução, em especial as piroxenas que se transformam em uralite perifèricamente. A biotite, embora se cloritize, guarda maior frescura que as piroxenas.



Este tipo de rocha, de fácies básica, filoniana transformada deutericamente (saussuritização das plagioclases, uralitização das piroxenas e cloritização das anfíbolas e biotites) é um epidiorito.

#### 4.3.1.7 - Classificação petrográfica das amostras estudadas micropetrográficamente

Apresentam-se, seguidamente, um resumo da classificação petrográfica das amostras estudadas micropetrográficamente.

Sondagem Bl aos: 29,80 m - Gnaisse granítico regional, verdoengo

47,59 m - Gnaisse granítico róseo, "glandular"

58,83 m - Gnaisse granítico claro

107,90 m - Granulito

117,03 m - Gnaisse granítico regional, verdoengo

143,90 m - Gnaisse granítico regional, verdoengo

Sondagem E aos : 52,65 m - Lamprófiro alcalino (mineto)

Sondagem F aos : 17,52 m - Granulito

25,30 m - Granulito

51,95 m - Lamprófiro (mineto)

54,60 m - Gnaisse granítico regional, verdoengo

Sondagem G aos : 26,70 m - Gnaisse granítico claro

51,74 m - Gnaisse granítico regional, verdoengo

Sondagem H aos : 55,30 m - Gnaisse granítico róseo, "glandular"

57,73 m - Gnaisse granítico claro

107,69 m - Gnaisse granítico regional, verdoengo

Sondagem K aos : 57,80 m - Gnaisse granítico regional, verdoengo

Sondagem M aos : 0,70 m - Granulito

Sondagem N aos : 35,00 m - Gnaisse granítico regional, verdoengo

49,00 m - Gnaisse granítico regional, verdoengo

Sondagem P aos : 10,90 m - Gnaisse granítico regional, verdoengo

60,00 m - Gnaisse granítico claro

Sondagem Q aos: 30,00 m - Gabro norítico, biotítico com olivina  
Sondagem R aos: 11,70 m - Granulito  
Sondagem S aos: 1,80 m - Granulito  
25,00 m - Gnaiss granítico regional, verdoengo  
Sondagem 6A aos: 72,45 m - Brecha de gnaiss granítico regional  
Sondagem 7 aos: 70,12 m - Brecha de gnaiss granítico róseo  
Sondagem 8A aos: 85,33 m - Brecha de gnaiss granítico róseo  
89,84 m - Epidiorito

## 5 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas análises efectuadas, correspondentes aos ensaios de deformabilidade e estudo micropetrográfico, foi possível enunciar algumas conclusões de ordem geral que se passam a enumerar:

a) Dada a pequena deformabilidade e fracturação do maciço rochoso no qual está prevista a implantação da obra, este está em condições de servir de fundação a uma barragem de qualquer tipo, nomeadamente barragem - cúpula desde que se tomem as necessárias precauções correspondentes a um saneamento da parte superficial do maciço que se encontre descomprimido;

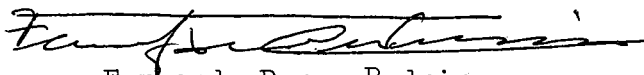
b) Os valores dos módulos de deformabilidade obtidos para os diversos tipos de rocha que constituem o maciço rochoso são, na sua quase totalidade, largamente superiores ao valor considerado para o betão e os valores das fluências determinadas bastante pequenos;

c) A análise conjunta dos valores da deformabilidade obtidos no campo e em laboratório levaram à conclusão de que o maciço rochoso possui uma resistência à tracção bastante superior ao normal, devida sobretudo à sua alta resistência à compressão e à sua diminuta fracturação.

d) De todos os tipos de rocha detectados no maciço rochoso apenas o lamprófiro, cuja ocorrência se verifica apenas em filões sub-horizontais de espessura não superior a um metro, deverá merecer um cuidado especial sobretudo de forma a evitar que fique sujeito à acção directa dos agentes atmosféricos, apesar do seu elevado módulo de deformabilidade.

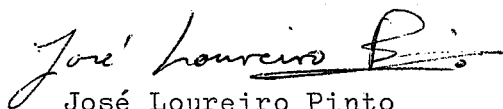
e) Foi possível estabelecer correlações entre os módulos de elasticidade, as tensões de rotura por compressão e os índices micropetrográficos com índices bastante elevados, o que confere a estas correlações uma estreita correspondência entre as propriedades estudadas.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Agosto de 1969



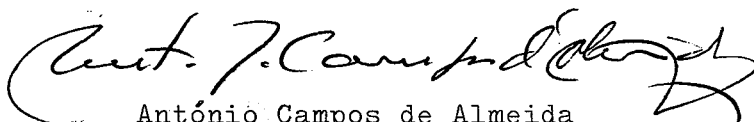
Fernando Peres Rodrigues

Engenheiro Especialista, Chefe da Divisão  
Fundações e Túneis



José Loureiro Pinto

Engenheiro Estagiário para Especialista

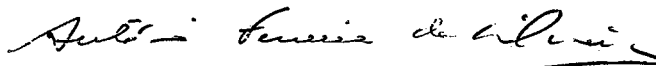


António Campos de Almeida

Engenheiro Estagiário para Especialista

VISTO

O Engenheiro Investigador, Chefe do Serviço de Barragens



António Ferreira da Silveira

VISTO

*Ed'* O Engenheiro Director



Manuel Rocha



**QUADRO I**  
**CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO MAÇÇO ROCHOSO**  
**ENSAIOS DE DEFORMABILIDADE E FLUÊNCIA "IN SITU"**

GALERIAS	CAIXA Nº	SUPERFÍCIE CARREGADA	MÓDULOS DE DEFORMABILIDADE (kg/cm <sup>2</sup> )				$\frac{E_0 - E_{30}}{E_{30}} \times 100$ (%)	$\frac{E_{30} - E_{3d}}{E_{30}} \times 100$ (%)	$\frac{E_{30} - E_{\infty}}{E_{30}} \times 100$ (%)	$\frac{E_{\infty}}{E_{30}} \times 100$ (%)
			INSTANTÂNEO (E <sub>0</sub> )	FIM DE FLUÊNCIA DE 30min. (E <sub>30</sub> )	FIM DE FLUÊNCIA DE 3 dias (E <sub>3d</sub> )	MÍNIMO (E <sub>∞</sub> )				
GD 1	1 (GNAISSE)	HE	665 000	656 800	593 800	536 300	1,3	9,6	18,4	8 2
		HD	327 100	322 500	301 400	292 600	1,4	6,5	9,3	9 1
		VS	554 200	529 700	439 100	382 800	4,6	17,1	27,8	7 3
		VI	604 400	563 600	469 600	407 900	7,2	16,7	27,6	7 4
GD 2	2 (GNAISSE)	HE	925 700	859 800	858 800	843 500	7,7	0,2	1,9	9 8
		HD	938 300	910 000	721 200	681 700	3,1	4,1	25,1	7 5
		VS	936 200	895 400	873 100	802 600	4,6	2,5	10,4	9 0
		VI	737 200	714 100	714 100	714 100	3,2	0,0	0,0	100
GE 1	1 (GNAISSE)	HE	1074 100	1074 100	1009 400	999 300	0,0	6,0	7,0	9 3
		HD	1161 500	1161 500	1086 500	1074 800	0,0	6,5	7,5	9 3
	2 (GNAISSE)	VS	1098 000	990 500	933 700	786 200	10,9	5,7	20,6	7 9
		VI	675 500	633 900	536 800	497 600	6,6	15,3	21,5	7 8
	3 (GRANULITO)	HE	428 800	422 700	391 600	381 400	1,4	7,4	9,8	9 0
		HD	276 800	277 200	254 100	251 300	1,0	7,3	8,3	9 2
		VS	353 300	325 700	236 000	210 000	8,5	27,5	35,2	6 5
		VI	406 800	393 000	373 300	364 000	3,5	5,0	7,4	9 3
GE 2	1 (GNAISSE)	HE	618 000	581 900	562 300	542 600	6,2	3,4	6,7	9 3
		HD	663 900	625 800	615 100	604 700	6,1	1,7	3,4	9 7
		VS	577 400	573 300	443 500	426 000	0,7	22,6	25,7	7 4
		VI	498 300	490 500	415 000	394 000	1,6	15,4	19,7	8 0

HE-Carga horizontal, superfície esquerda

VS-Carga vertical, superfície superior

HD- " " " direita

VI- " " " inferior

**QUADRO II**  
**CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS PROVETES DE SONDAGEM**

SONDAGEM	Nº DO PROVETE	DISTÂNCIA Á BOCA DO FURO (m)	TIPO DE COROA	TIPO DE ROCHA	MÓDULO DE ELASTICIDADE E kg/cm <sup>2</sup>	TENSÃO DE ROTURA $\sigma_r$ kg/cm <sup>2</sup>	COEFIC. DE POISSON $\nu$
A 2	1-A2	48,88	NX	GABRO	721 800	1 960	—
B 1	70	69,80	NX	GNAISSE GRANITÓIDE PORFIROBLÁSTICO ESVERDEADO	501 200	1 150	{ 0,08 0,10
B 1	55	29,80	NX	" " " "	643 600	1 500	—
B 1	56	47,50	NX	GNAISSE GLANDULAR RÓSEO	666 200	800	—
B 1	57	58,83	NX	" GRANITÓIDE PORFIROBLÁSTICO ESVERDEADO	649 600	1 450	—
B 1	58	107,90	NX	GRANULITO RÓSEO	471 500	1 700	—
B 1	59	117,00	NX	GNAISSE OCELAR	556 600	1 810	—
B 1	72	130,30	NX	GNAISSE GRANITÓIDE PORFIROBLÁSTICO ESVERDEADO	418 300	1 600	—
B 1	60	143,90	NX	" " " "	1 353 000	1 640	—
D	1-D	48,08	AX	LAMPRÓFIRO	636 000	1 230	—
E	2-E	52,27	NX	"	319 200	1 140	—
E	1-E	52,65	NX	"	324 500	800	{ 0,10
F	61	17,52	NX	GRANULITO	640 100	2 100	—
F	62	25,30	BX	"	646 400	2 060	—
F	63	51,95	BX	LAMPRÓFIRO	584 100	1 300	—
F	64	54,60	BX	GNAISSE GRANITÓIDE PORFIROBLÁSTICO ESVERDEADO	790 200	1 440	—
G	65	26,70	NX	" " " "	371 900	1 060	—
G	66	51,74	BX	" " " "	540 100	1 430	—
G	71	58,00	BX	" " " "	539 100	950	{ 0,08 0,10
H	1A	5,70	NX	" " " "	—	—	—
H	1B	11,10	NX	" " " " ALTERADO	—	—	—
H	1	40,00	NX	GNAISSE GRANITÓIDE PORFIROBLÁSTICO ESVERDEADO	852 600	1 200	—
H	2	47,35	BX	" " " " ALTERADO	434 100	810	—
H	3	50,93	BX	" " " " "	367 200	970	—
H	4	55,30	BX	" " " " "	467 500	1 050	0,18
H	5	57,73	BX	" " " " "	417 400	1 270	0,14
H	5A	65,00	BX	" " " " "	—	—	—
H	6	79,71	BX	GNAISSE GRANITÓIDE PORFIROBLÁSTICO ESVERDEADO	750 200	1 530	—
H	7	87,24	BX	" " " "	368 900	1 330	—
H	8	93,16	BX	" " " "	789 800	970	—
H	9	100,00	BX	" " " "	905 200	1 420	—
H	10	107,69	AX	" " " "	933 000	1 600	0,22
H	11	110,00	AX	" " " "	946 500	1 300	—
H	12	120,00	AX	" " " "	864 500	1 610	—
H	13	125,00	AX	" " " "	734 700	1 400	—
H	14	130,00	AX	GNAISSE GLANDULAR RÓSEO	704 900	710	—
J	1-J	36,20	AX	" " " "	405 200	1 990	—
K	14A	10,00	NX	" " " "	—	—	—
K	15	25,00	NX	GNAISSE GRANITÓIDE PORFIROBLÁSTICO ESVERDEADO	765 300	1 700	—
K	1-K	34,80	NX	LAMPRÓFIRO	299 000	1 000	—
K	16	42,20	NX	GRANULITO	404 400	1 350	—
K	17	47,50	NX	GNAISSE GLANDULAR RÓSEO	445 200	900	0,12
K	18	52,60	NX	GNAISSE GRANITÓIDE PORFIROBLÁSTICO ESVERDEADO	597 600	1 470	—
K	19	57,80	BX	GNAISSE GLANDULAR RÓSEO	594 000	1 450	0,20
K	20	60,00	AX	GNAISSE GRANITÓIDE PORFIROBLÁSTICO ESVERDEADO	1 070 600	1 780	—
K	20A	70,00	AX	" " " "	—	—	—
M	67	0,70	BX	" " " "	453 100	1 260	—
N	68	35,00	BX	" " " "	915 600	1 700	—
N	69	49,00	BX	" " " "	784 300	1 630	—

QUADRO II CONTINUAÇÃO

SONDAGEM	Nº DO PROVETE	DISTÂNCIA À BOCA DO FURO (m)	TIPO DE COROA	TIPO DE ROCHA				MÓDULO DE	TENSÃO	COEFIC. DE
								ELASTICIDADE	DE ROTURA	POISSON
								E	G <sub>r</sub>	ν
								Kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
P	21	0,70	B X	GNAISSE	GRANITÓIDE	PORFIROBLÁSTICO	ESVERDEADO	785 900	810	—
P	22	5,90	B X	"	"	"	"	848 000	870	—
P	23	10,90	B X	"	"	"	"	827 000	1360	0,25
P	23A	15,00	B X	"	"	"	"	—	—	—
P	24	20,00	B X	"	"	"	"	802 800	870	—
P	25	30,00	B X	"	"	"	"	864 500	1120	—
P	26	40,00	A X	"	"	"	"	731 000	1390	—
P	27	51,00	A X	"	"	"	"	765 400	1510	—
P	28	60,00	A X	"	"	"	"	531 800	1500	0,15
P	28A	65,00	A X	"	"	"	"	—	—	—
Q	29	25,00	B X	GABRO				1 314 700	—	—
Q	30	30,00	B X	GNAISSE	GRANITÓIDE	PORFIROBLÁSTICO	ESVERDEADO	1 012 800	1650	0,29
Q	31	35,00	B X	GABRO				1 279 900	1340	—
R	32	1,75	N X	GNAISSE	GRANITÓIDE	PORFIROBLÁSTICO	ESVERDEADO	849 200	1330	—
R	33	5,30	N X	"	"	"	"	747 700	1170	—
R	33A	10,00	N X	"	"	"	"	—	—	—
R	34	11,70	N X	GRANULITO				638 800	1650	0,19
R	35	15,00	N X	GNAISSE	GRANITÓIDE	PORFIROBLÁSTICO	ESVERDEADO	701 600	980	—
R	36	20,00	B X	"	"	"	"	417 600	1420	—
R	37	30,00	B X	"	"	"	"	519 300	1040	—
R	38	35,00	B X	"	"	"	"	673 200	1540	—
R	39	40,75	B X	"	"	"	"	820 100	1150	0,29
R	40	45,00	B X	"	"	"	"	793 700	1160	—
R	41	52,45	A X	GRANULITO				638 000	—	—
R	42	60,00	A X	GNAISSE	GRANITÓIDE	PORFIROBLÁSTICO	ESVERDEADO	699 400	1160	—
R	42A	70,00	A X	"	"	"	"	—	—	—
S	43	1,80	B X	"	"	"	"	521 800	1510	0,17
S	44	5,00	B X	"	"	"	"	840 100	1140	—
S	45	10,00	B X	"	"	"	"	880 200	1500	—
S	46	14,80	B X	"	"	"	"	825 100	1600	—
S	47	20,10	B X	"	"	"	"	889 700	1130	—
S	48	25,00	B X	"	"	"	"	833 300	1650	0,20
S	49	30,05	B X	"	"	"	"	884 600	990	—
S	50	45,00	A X	"	"	"	"	825 200	960	—
S	51	50,00	A X	GNAISSE	GLANDULAR	RÓSEO		541 100	1350	0,09
S	52	55,10	A X	GNAISSE	GRANITÓIDE	PORFIROBLÁSTICO	ESVERDEADO	792 200	1700	—
S	53	60,00	A X	"	"	"	"	682 700	1860	—
S	54	65,00	A X	"	"	"	"	502 400	1830	—
2	1-2	153,88	A X	LAMPRÓFIRO				194 300	790	—
6A	3-6A	22,45	B X	GNAISSE	GRANITÓIDE	PORFIROBLÁSTICO	ESVERDEADO	770 600	2090	—
6A	1-6A	70,60	B X	MICROBRECHA				1065 900	1900	—
6A	2-6A	72,25	B X	"				763 200	1600	—
7	1-7	65,05	B X	GABRO				1093 200	2670	—
7	2-7	66,44	B X	MICROBRECHA				880 000	2080	—
7	3-7	68,32	B X	BRECHA				842 800	1500	—
7	4-7	69,05	B X	"				756 500	1540	—
7	5-7	70,12	B X	"				944 500	2680	{ 0,40 0,31
7	6-7	70,27	B X	"				803 700	2030	—
8A	3-8A	89,84	B X	"				889 000	1600	{ 0,28 0,26
8A	2-8A	90,42	B X	MICROBRECHA				834 100	1540	—

## QUADRO III

## INDICE MICROPETROGRAFICO (K) E CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE PROVETES DE SONDA GEM

Localização da amostra	Classificação da amostra	Quarzo	Feldspatos		Minerais ferromagnesianos				Outros minerais	Fissuras		K	E (10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>r</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )
			Sãos	Alterados	Micas	Piroxenas	Anfibolas	Alterados		Vazias	Colmatadas			
Sond. B <sub>1</sub> (29,80m)	Gnaiss granítico regional	20,44	58,06	7,93	-	1,36	7,01	0,54	2,20	0,27	2,19	8,14	644	800
" B <sub>1</sub> (47,59m)	Gnaiss granítico róseo	25,20	55,81	10,27	-	-	2,74	3,34	1,23	-	1,41	5,65	666	800
" B <sub>1</sub> (58,83m)	Gnaiss granítico claro	45,83	41,32	6,82	-	4,35	-	0,36	0,71	-	0,61	11,83	650	1450
" B <sub>1</sub> (107,90m)	Granulito	39,13	49,65	9,97	-	-	-	-	0,56	-	0,69	8,38	471	1700
" B <sub>1</sub> (117,03m)	Gnaiss granítico regional	33,81	49,19	6,16	-	7,59	-	1,04	1,82	-	0,39	12,17	557	1810
" B <sub>1</sub> (143,90m)	Gnaiss granítico regional	35,02	49,70	1,47	1,72	7,19	0,56	0,17	*3,65	-	0,52	45,29	1353	1640
" E (52,65m)	Lamprófiro (mineto)	1,94	36,61	8,20	31,41	11,04	-	3,92	*6,88	-	-	7,25	334	800
" F (17,52m)	Granulito	41,84	51,04	4,58	-	0,74	-	0,52	0,51	-	0,77	16,03	640	2100
" F (25,30m)	Granulito	48,60	44,13	5,97	-	-	-	0,25	0,55	-	0,50	13,88	646	2060
" F (51,95m)	Lamprófiro (mineto)	2,79	38,75	5,68	29,19	13,95	-	2,42	**7,22	-	-	11,34	584	1300
" F (54,60m)	Gnaiss granítico regional	33,02	57,47	1,25	-	-	4,13	2,72	1,41	-	-	24,18	790	1450
" G (26,70m)	Gnaiss granítico claro	38,74	49,64	6,14	1,82	-	-	1,57	1,04	-	1,05	10,41	372	1060
" G (51,70m)	Gnaiss granítico regional	40,73	38,90	13,10	-	-	-	5,22	1,01	-	*1,04	4,16	540	1430
" H (55,30m)	Gnaiss granítico róseo	26,16	62,45	6,23	1,56	-	-	0,40	1,40	1,20	0,60	9,01	467	1050
" H (57,73m)	Gnaiss granítico claro	41,95	45,49	7,19	1,46	-	-	0,69	1,46	0,80	0,96	8,01	417	1270
" H (107,69m)	Gnaiss granítico regional	28,00	64,00	2,50	1,00	2,50	1,00	-	0,50	-	0,50	24,00	933	1600
" K (57,80m)	Gnaiss granítico regional	42,50	45,00	4,75	2,50	2,50	-	1,25	0,50	-	1,00	9,52	594	1450
" M (0,70m)	Granulito	38,71	53,15	6,57	-	-	-	-	0,52	-	1,05	12,12	439	-
" N (35,00m)	Gnaiss granítico regional	32,31	49,48	1,89	-	12,52	4,12	1,06	0,51	-	-	32,90	916	1700
" N (49,00m)	Gnaiss granítico regional	29,64	59,01	3,32	-	5,31	1,21	0,31	0,10	-	1,10	20,14	784	1630
" P (10,90m)	Gnaiss granítico regional	24,40	62,45	3,00	-	6,15	-	1,50	1,00	-	1,50	15,66	827	1360
" P (60,00m)	Gnaiss granítico claro	33,33	55,72	4,16	0,52	-	3,90	0,85	0,75	-	0,77	14,87	532	1500
" Q (30,00m)	Gabro biotítico c/olivina	-	65,10	-	9,16	+18,28	-	2,54	*4,92	-	-	38,37	1013	1650
" R (11,70m)	Granulito	48,48	46,03	4,50	-	-	-	-	0,50	-	0,49	21,22	643	1650
" S (1,80m)	Granulito	45,19	38,96	12,59	-	-	-	-	1,19	-	2,07	5,82	522	1510
" S (25,00m)	Gnaiss granítico regional	42,32	52,65	0,86	-	3,35	-	-	0,56	-	0,26	21,30	833	1650

\* - em grande parte minério negro (magnetite-ilmenite)

\*\* - deste total, 6,45% refere-se a minério negro

x - microfissuras colmatadas subparalelas

+ - incluindo olivina



# FUNDAÇÃO DA BARRAGEM DE CABORA BASSA

## RESULTADOS DOS ENSAIOS "IN SITU"

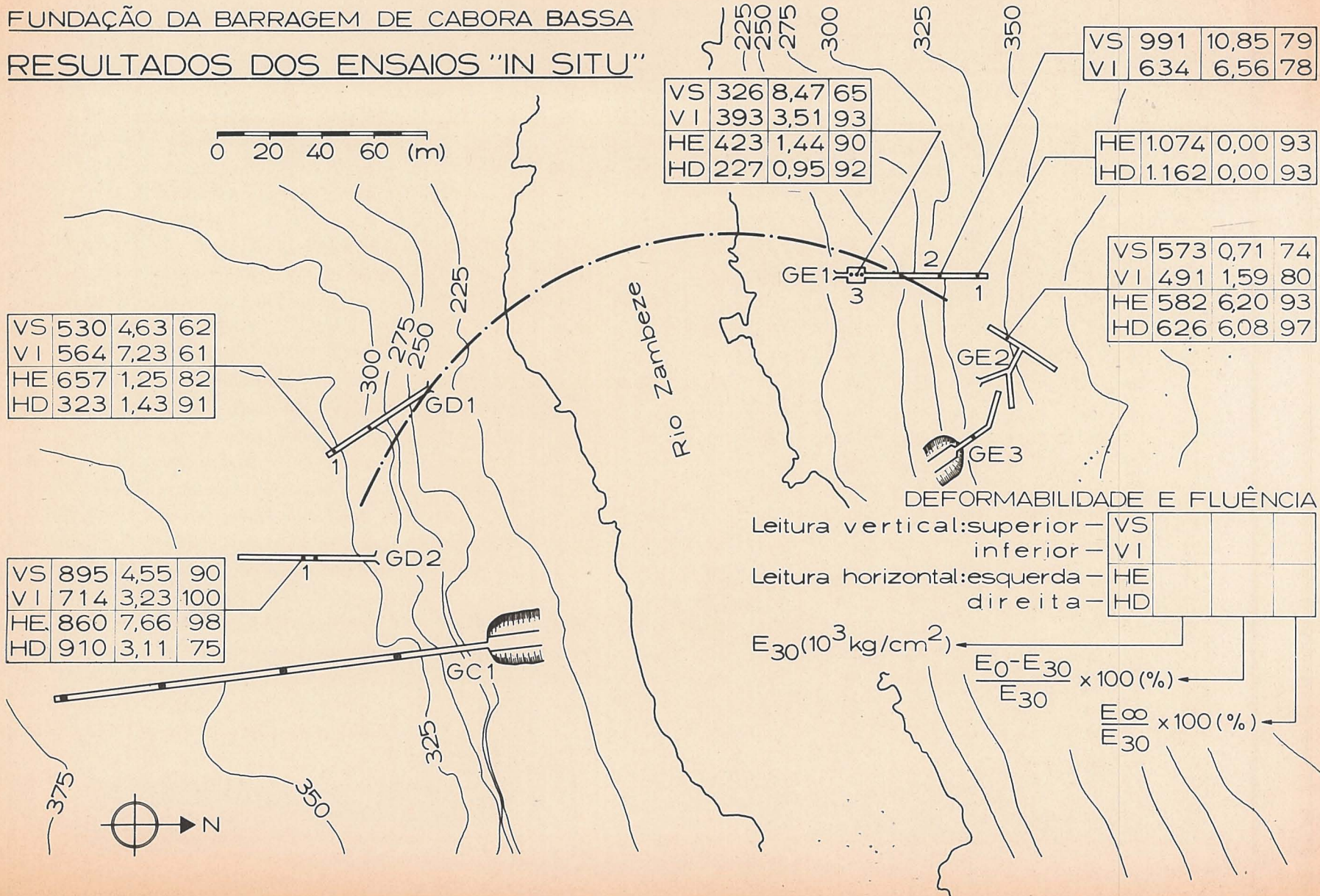
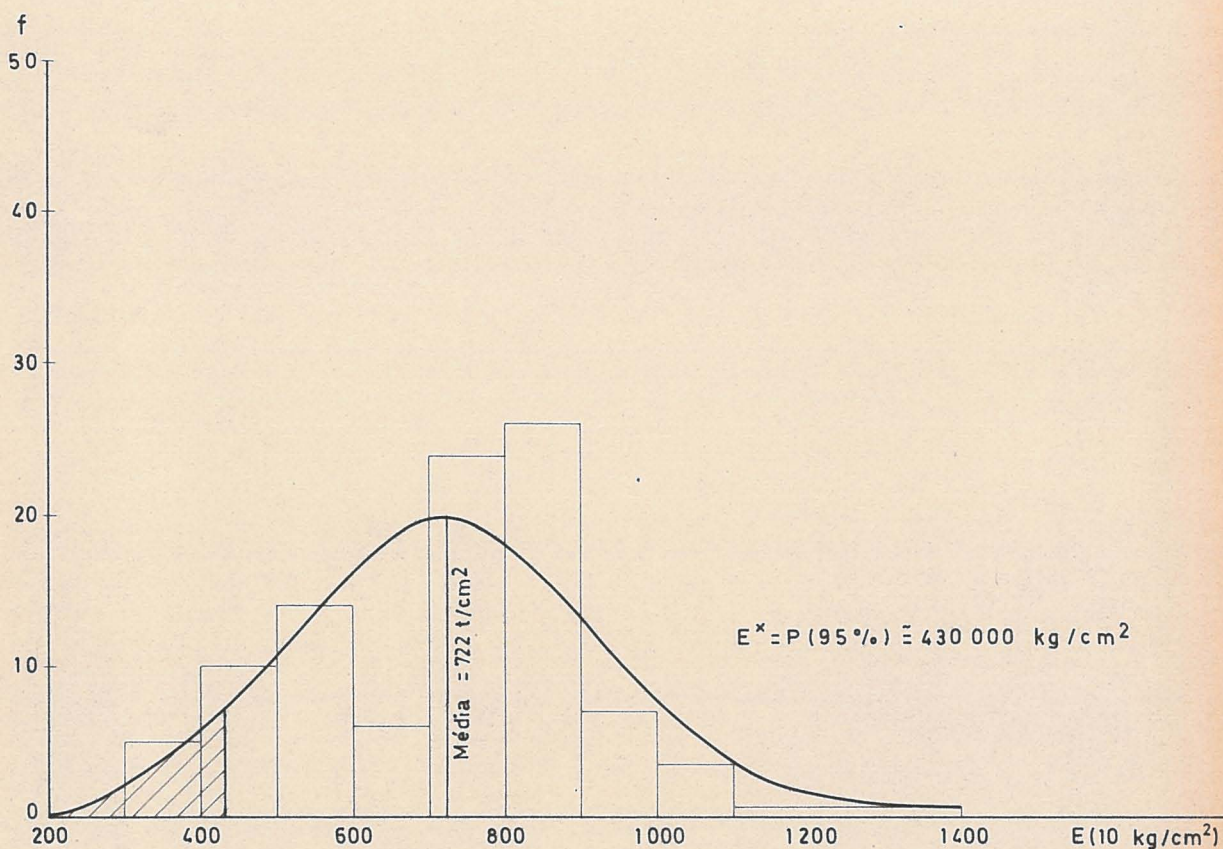


Fig. 1

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE  
DA ROCHA GNAISSE GRANITÓIDE PORFIROBLÁSTICO ESVERDEADO



LEGENDA:

Nº de tarolos ensaiados - 57

Média - 722 000 kg/cm<sup>2</sup>

Coefficiente de dispersão - 0,3

f - frequência de ocorrência - (%)

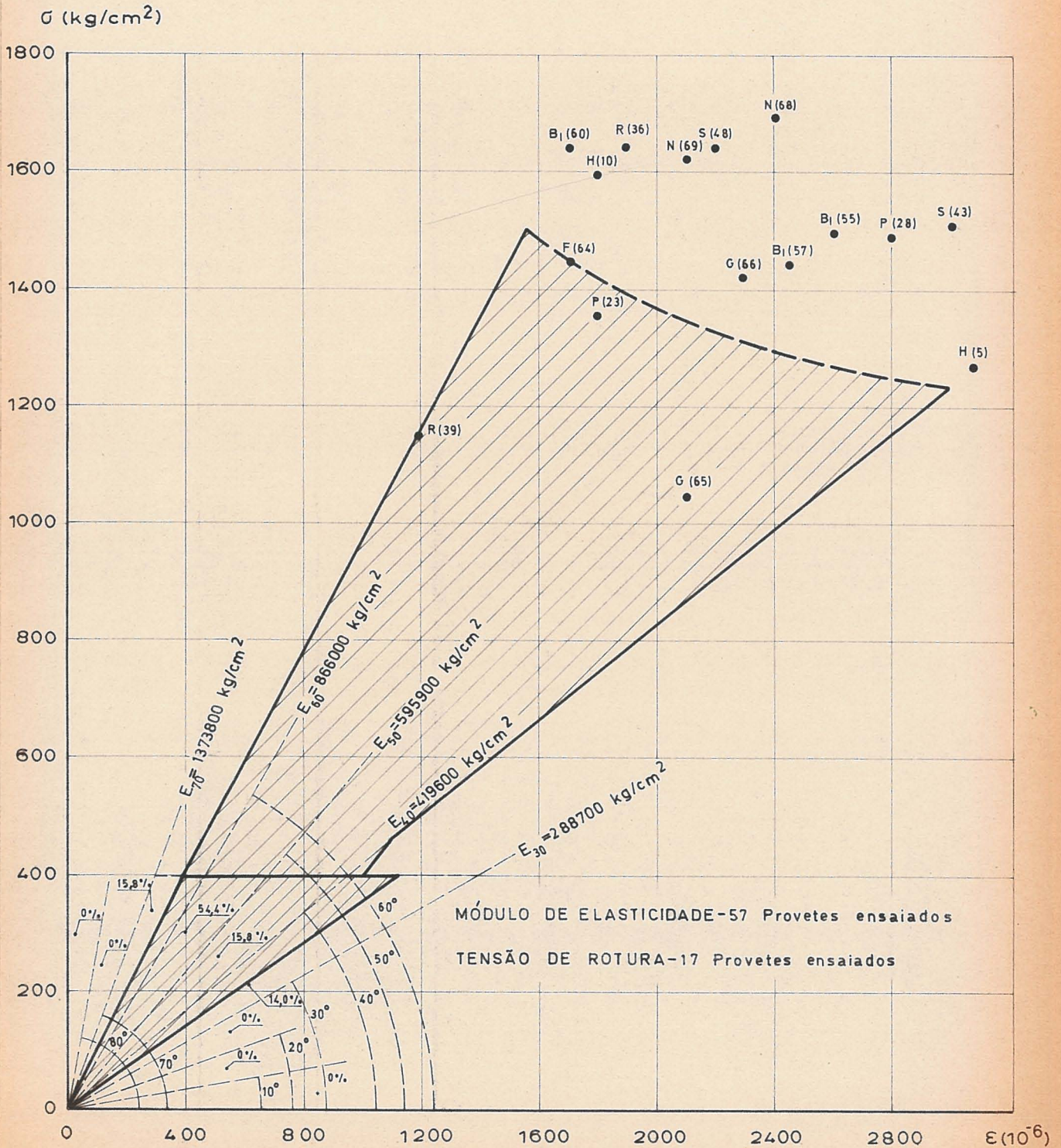
E - módulo de elasticidade

$E^x$  - valor característico de E correspondente a uma probabilidade de ocorrência 0,95 e com valor 430 000 kg/cm<sup>2</sup>

— histograma

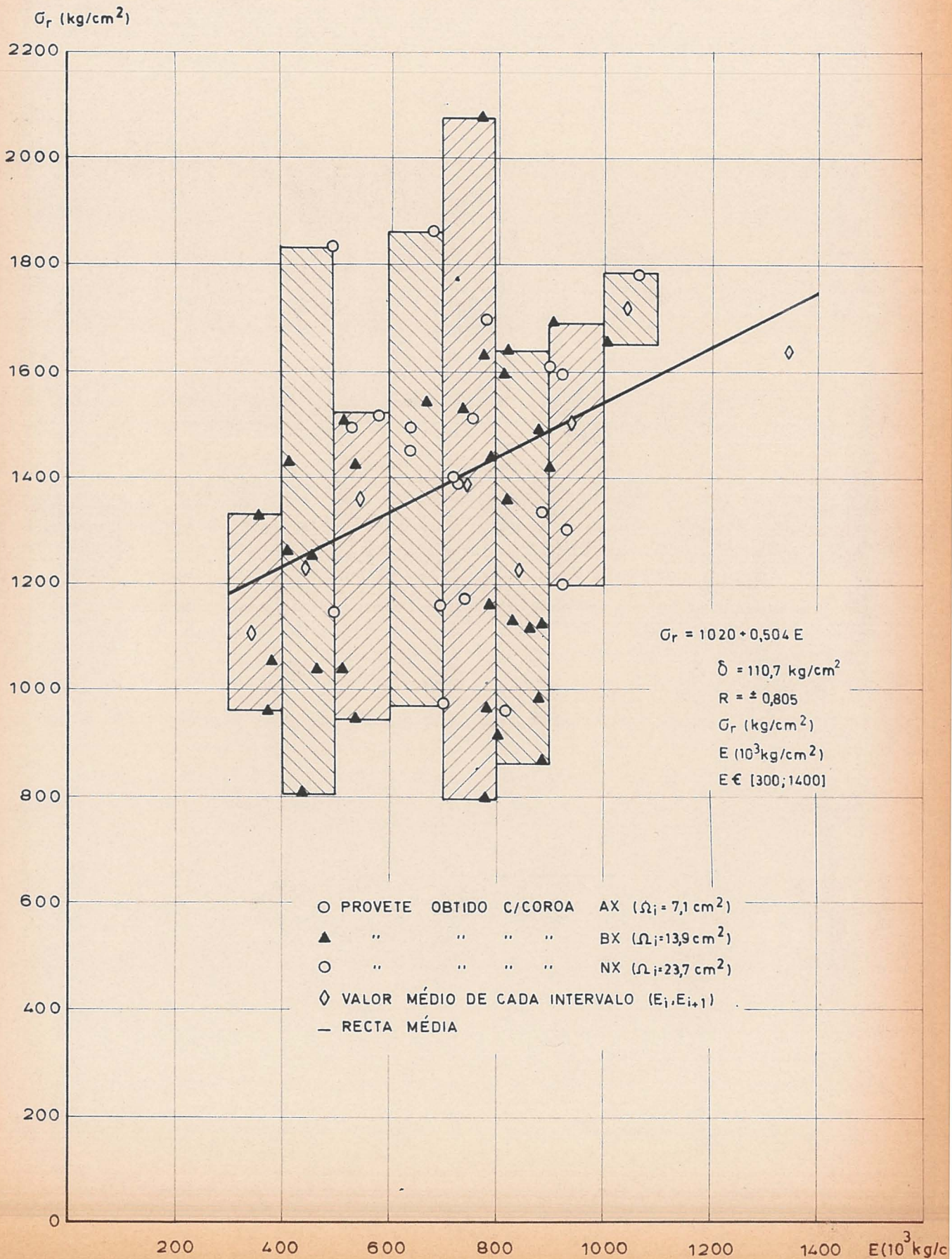
— curva de distribuição

DIAGRAMA ENVOLVENTE DE TENSÕES-EXTENSÕES PARA OS  
 PROVETES DE ROCHA GNAISSE GRANITOIDE ENSAIADOS  
 NO LABORATÓRIO



# CORRELAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE COM A TENSÃO DE ROTURA EM PROVETE

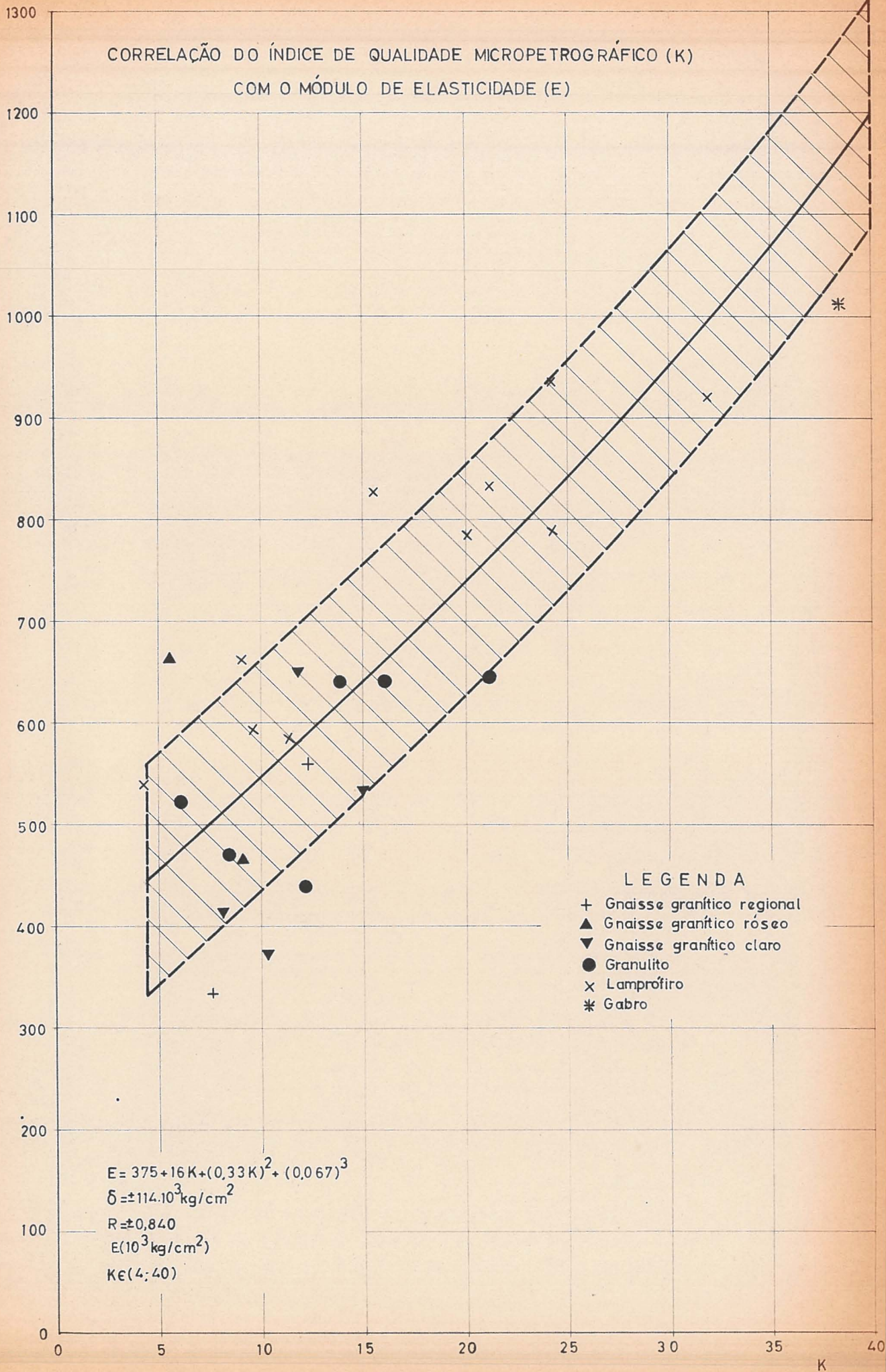
TIPO DE ROCHA: GNAISSE GRANITOIDE

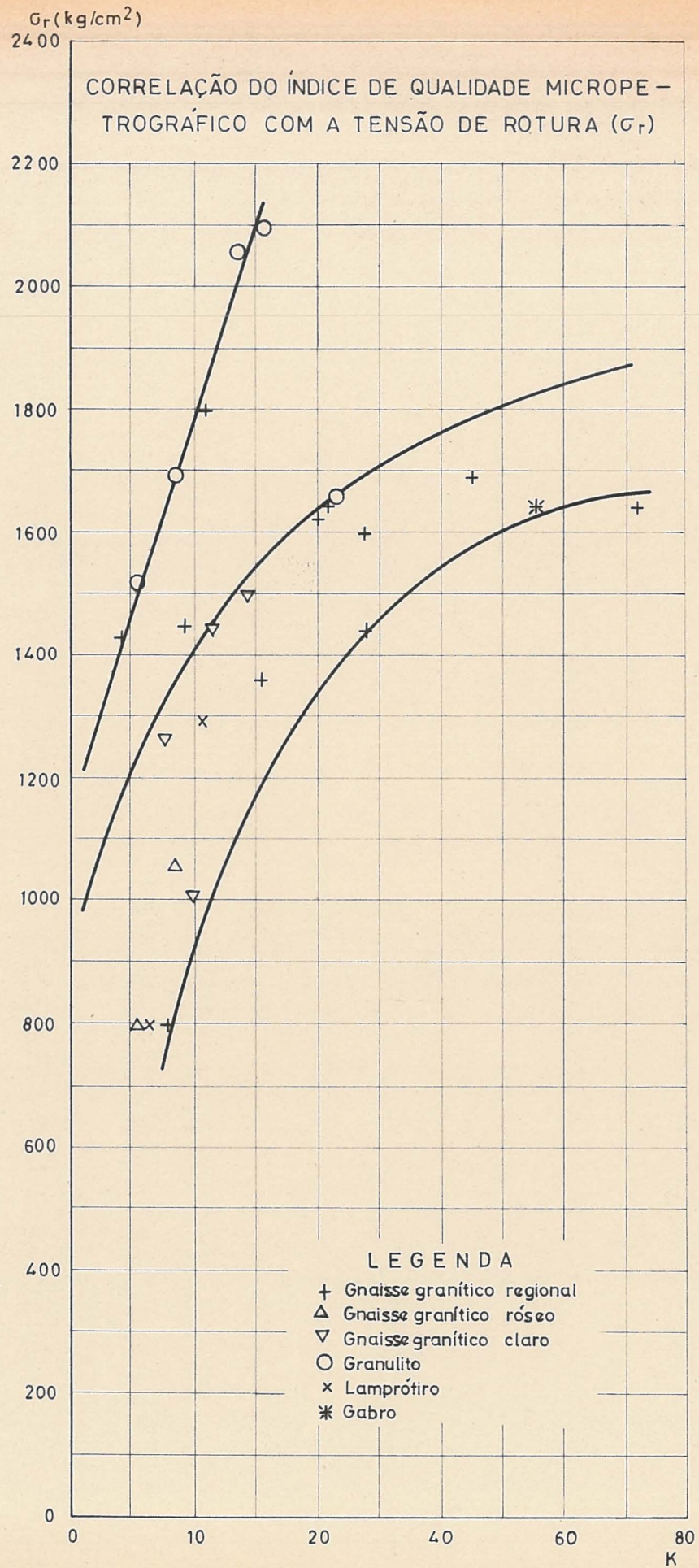


E(10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup>)

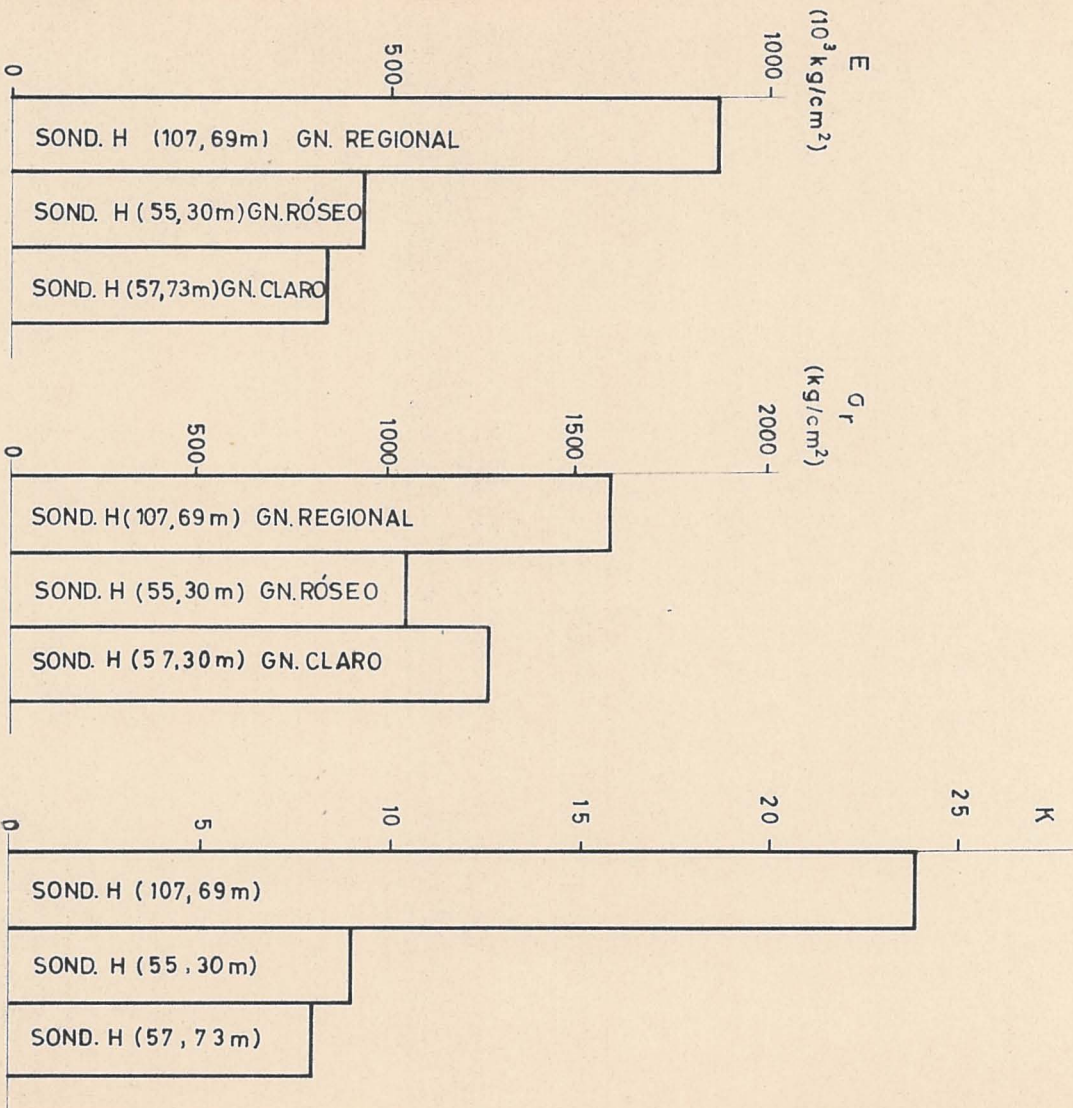
FIG. 5

CORRELAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE MICROPETROGRÁFICO (K)  
COM O MÓDULO DE ELASTICIDADE (E)

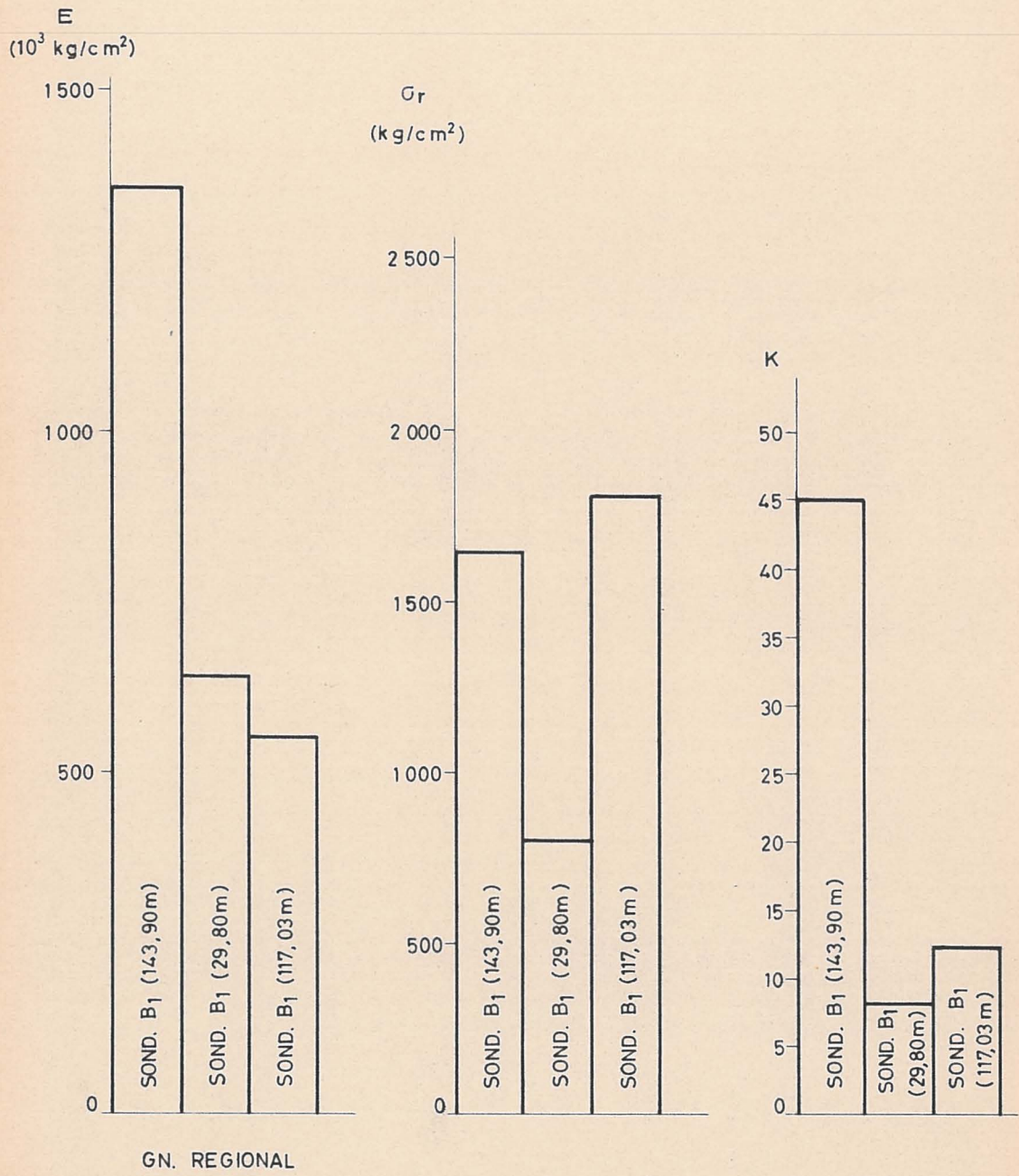




# HISTOGRAMAS COMPARATIVOS DAS ROCHAS GNAISSICAS DA SONDAGEM H



### HISTOGRAMAS COMPARATIVOS DAS ROCHAS GNAISSICAS REGIONAIS DA SONDAGEM B<sub>1</sub>





HISTOGRAMAS COMPARATIVOS DAS ROCHAS GNAISSICAS  
DA SONDAGEM B<sub>1</sub>

