

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

**Contribuição ao Estudo da Resistência ao Cisalhamento dos Argilitos da Formação
Rosário do Sul - RS**

Flávio Koff Coulon, Luiz Carlos Gusso
Pesquisas em Geociências, 8 (1): 43-58, Set./Dez., 1977.

Versão online disponível em:
<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21789>

Publicado por
Instituto de Geociências



Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - Set./Dez., 1977.
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO
DOS ARGILITOS DA FORMAÇÃO
ROSÁRIO DO SUL — RS

Flavio Koff Coulon *
Luiz Carlos Gusso **

SINOPSE

Resultados de ensaios de cisalhamento "in situ" levados a efeito na Barragem de Bom Retiro do Sul — RS, da PORTOBRÁS, em amostras moldadas em argilitos avermelhados da Formação Rosário do Sul levaram ao estabelecimento da equação de resistência $\tau = 1,869 + \sigma \operatorname{tg} 23^{\circ}$ (kg/cm²) para esse material.

ABSTRACT

The results of some "in situ" shearing tests on a red claystone of Rosario do Sul Formation in the Bom Retiro do Sul Dam — RS (PORTOBRÁS) have indicated $\tau = 1,869 + \sigma \operatorname{tg} 23^{\circ}$ (kg/cm²) for this material.

1. INTRODUÇÃO

A barragem de Bom Retiro do Sul situa-se no município de igual nome, no Estado do Rio Grande do Sul, e destina-se a tornar navegável um determinado trecho do rio Taquari.

Trata-se de uma obra executada para a PORTOBRÁS — Empresa de Portos do Brasil S.A. pela Brasilia Obras Públicas S.A., segundo projeto da Dolfim Engenharia Ltda.

Como uma boa parte da Barragem está diretamente assente sobre argilitos avermelhados pertencentes à Formação Rosário do Sul, a junta de Consultores da obra, composta pelos engenheiros Manuel Rocha, Victor de Mello e Barry Cook, solicitou que fossem executados ensaios de cisalhamento "in situ" nesse material de fundação, visando determinar suas características de resistência ao corte.

* Professor de Geotécnica e Geologia Aplicada na E. Engenharia UFRGS e de Mecânica dos Solos e Geologia para Engenheiros nos cursos de pós-graduação do IPH-CHA e EE — UFRGS, respectivamente. Consultor da TECNOSOLO S.A.

** Engenheiro da TECNOSOLO S.A.

Detalhes executivos e resultados alcançados nesses ensaios que foram efetuados pela Tecnosolo — Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais S.A. são a seguir apresentados.

2. ENSAIOS EXECUTADOS

Foram executados 14 ensaios de cisalhamento "in situ" conforme discriminados abaixo.

2.1. Iª etapa — Quatro ensaios em corpos de prova distintos, levados até observar-se a ruptura do material ensaiado (deformação controlada — ensaios nºs 1 a 4).

2.2. IIª etapa — Seis ensaios em corpos de prova distintos sendo os mesmos conduzidos até observar-se a ruptura do material ensaiado (deformação controlada — ensaios nºs 5 a 10).

2.3. IIIª etapa — Quatro ensaios em um único corpo de prova, sendo os ensaios conduzidos até as proximidades da ruptura, com exceção do último deles levado até o rompimento da amostra (ensaio com tensão controlada — ensaios 11.1 a 11.4).

Para a realização dos ensaios referidos em 2.1. foi aberto um poço com cerca de 2,00 x 2,50m a montante da barragem, entre os pilares 7 e 8, afastado cerca de 2,00m do parâmetro de montante (Figura 1).

Devido às dimensões do poço foram ensaiados corpos de prova moldados em profundidades crescentes, ou seja, em cotas — 4,60m, - 5,00m, - 5,80m e - 6,20m.

Para a realização dos ensaios referidos em 2.2 e 2.3 foi aberto um poço com cerca de 3,00 x 6,00m a jusante do pilar 9. (Figura 1).

Com o intuito de evitar o aprofundamento demasiado da escavação executaram-se esses ensaios em duas posições distintas em planta. (Figura 2).

Com este procedimento procurou-se evitar também que as últimas amostras ensaiadas pudessem diferir demasiadamente das primeiras devido à diferença de profundidade dos ensaios.

Na posição 1 foram ensaiados corpos de prova nas cotas -3,45m; -3,90m; -4,40m e -4,90m correspondendo aos ensaios números 5, 7, 9 e 11, respectivamente.

Na posição 2 foram ensaiados corpos de prova nas cotas - 3,85m; - 4,30m; e - 4,70m, correspondendo aos ensaios números 6, 8 e 10, respectivamente.

As cotas mencionadas acima referem-se ao plano de cisalhamento.

3. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E MONTAGEM DOS DISPOSITIVOS DE APLICAÇÃO DAS TENSÕES E MEDIDAS DAS DEFORMAÇÕES

As escavações foram executadas cuidadosamente de maneira a manter no seu interior um bloco do material a ensaiar com dimensões de aproximadamente 70 x 70cm com altura de 35cm. Procurou-se moldar os corpos de prova em condições de umidade tal que evitassem ressecamentos e conseqüente mudança das características geotécnicas "in situ" dos corpos de prova.

Cada corpo de prova foi envolvido por um quadro metálico, sendo que os espaços existentes entre as paredes da caixa e as faces dos corpos de prova foram preenchidos com argamassa de cimento e areia.

Sobre a superfície superior da amostra colocou-se um colchão de areia para regularizar, transmitir uniformemente as cargas verticais e atuar como superfície drenante. Sobre o colchão de areia colocou-se uma placa metálica para receber os esforços provenientes do macaco hidráulico.

O dispositivo de aplicação das tensões normais constitui-se de um macaco hidráulico reagindo contra tirantes chumbados na rocha.

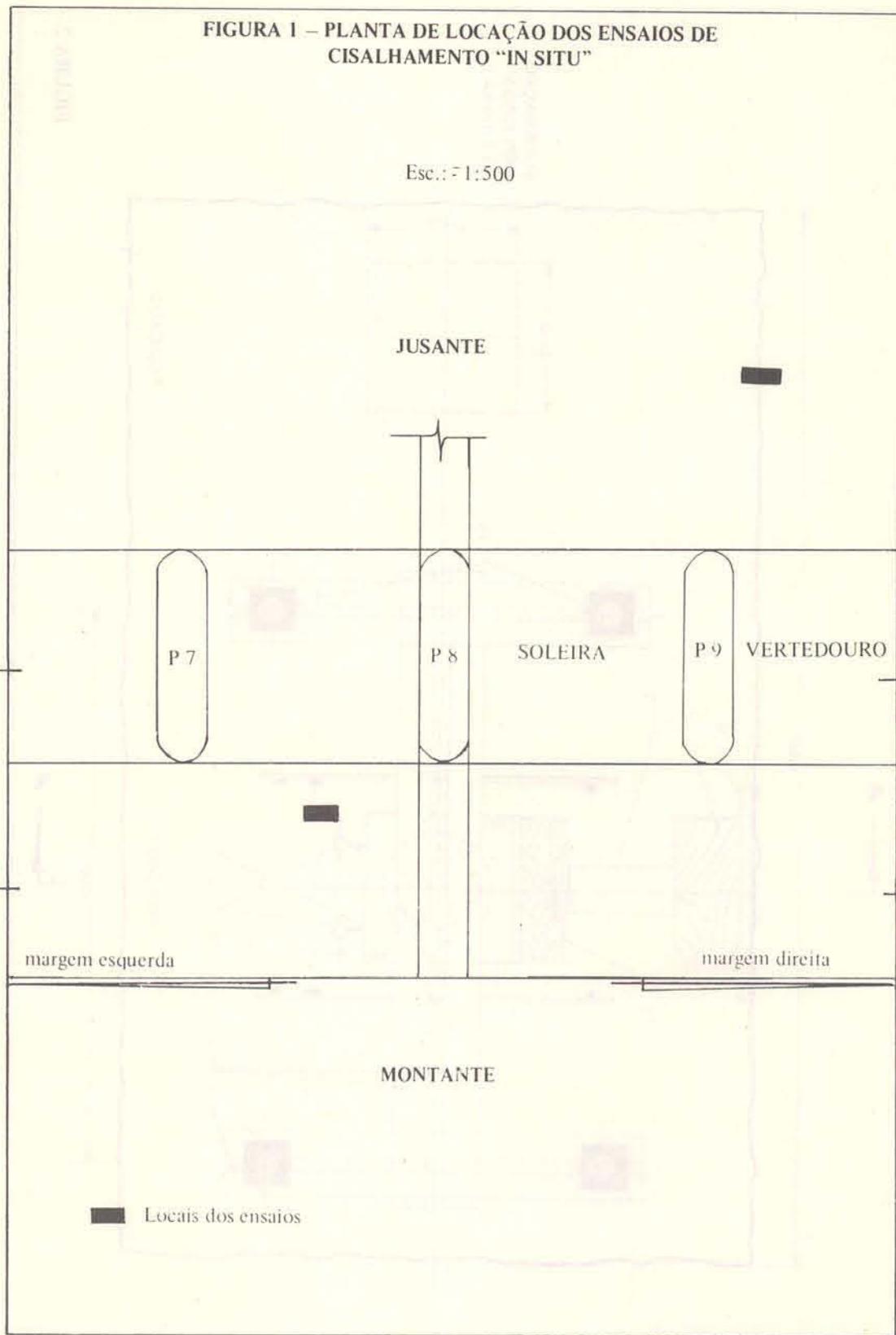
A aplicação das tensões cisalhantes foi feita no sentido montante — jusante através de um macaco hidráulico reagindo contra as paredes do poço de ensaio e calçado com cunhas de madeira e chapas de aço para prover-se uma inclinação de 15° do eixo do macaco em relação ao provável plano de cisalhamento.

Para a medida das deformações verticais foram utilizados dois deflectômetros diametralmente opostos e apoiados na face superior do corpo de prova.

Os deslocamentos horizontais foram medidos por dois deflectômetros apoiados na face de jusante do corpo de prova.

O esquema de reação dos esforços aplicados e medidas das deformações é indicado na Figura 3.

FIGURA 1 – PLANTA DE LOCAÇÃO DOS ENSAIOS DE CISALHAMENTO "IN SITU"



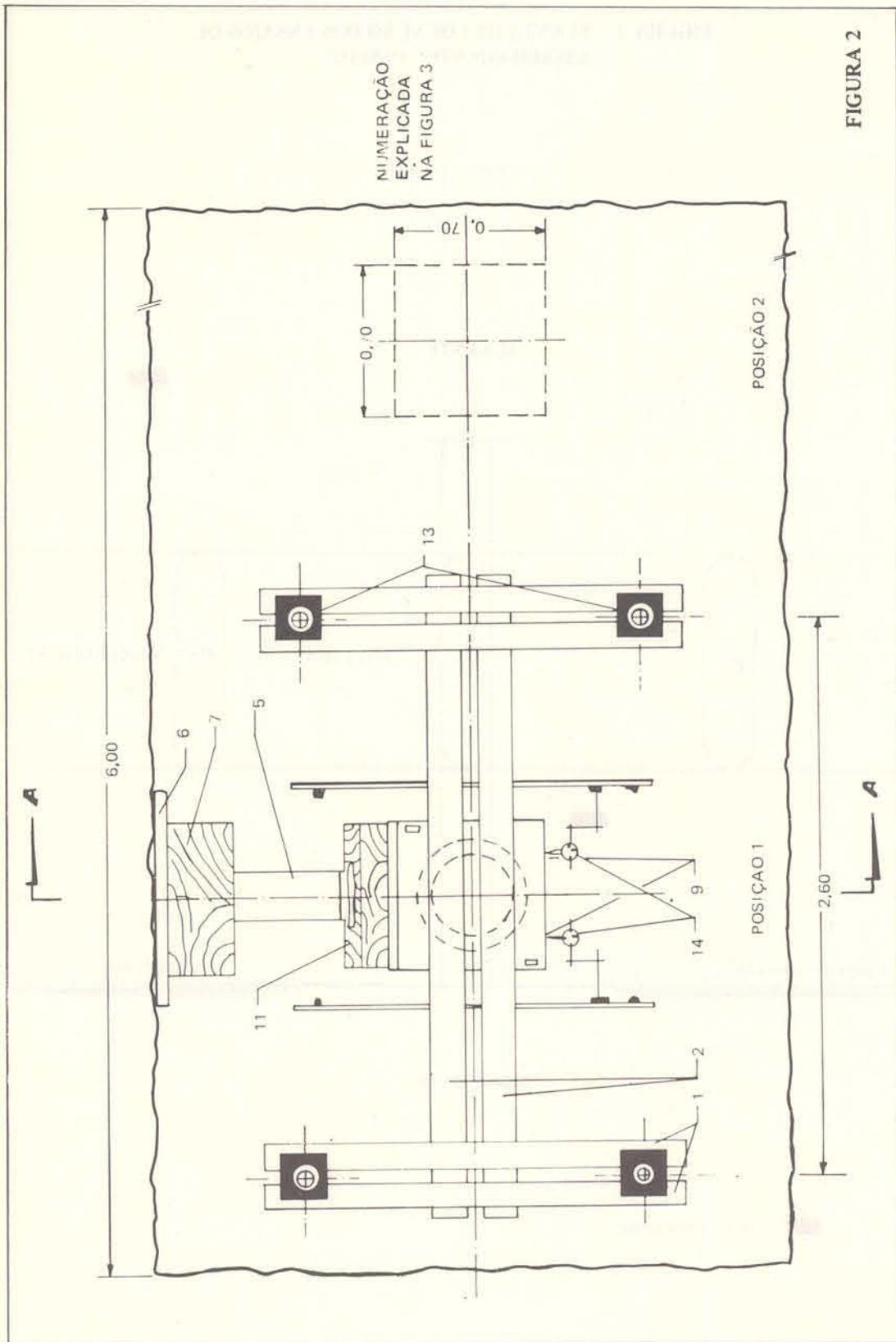


FIGURA 2

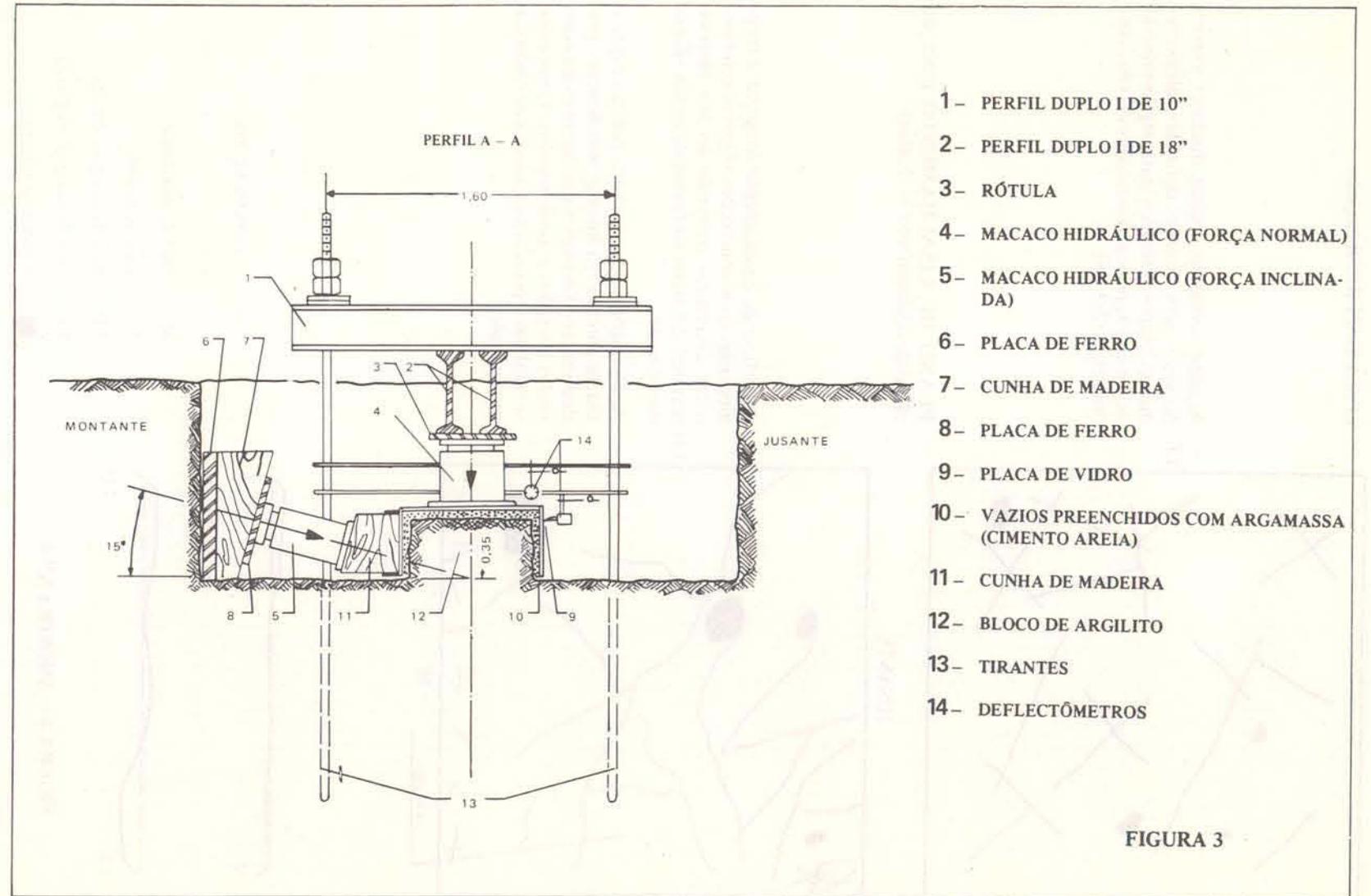
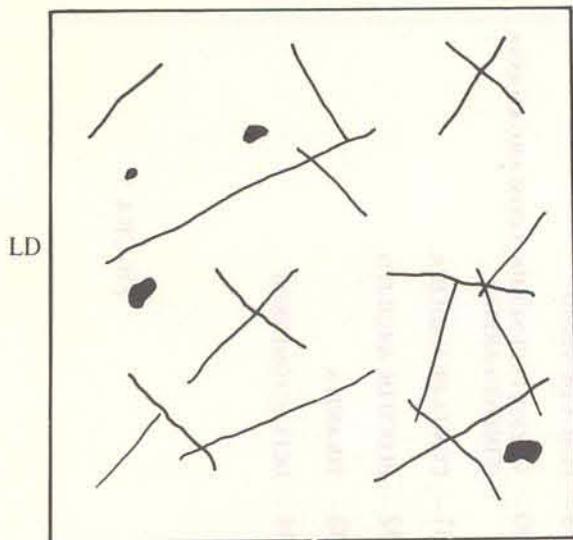


FIGURA 3

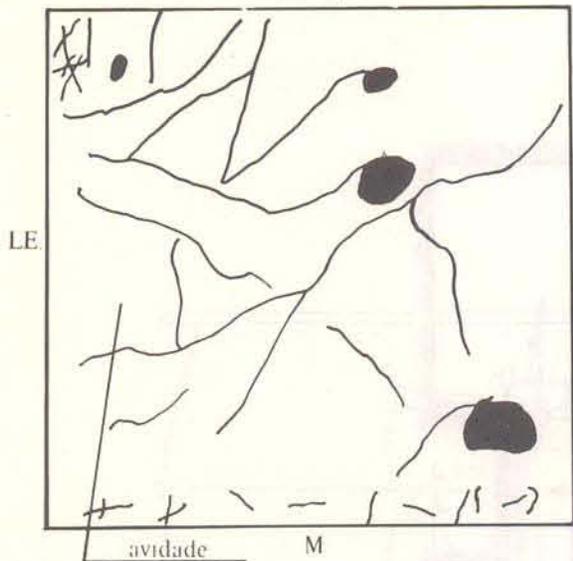
MONTANTE



VISTA SUPERIOR (topo)

LE Argilito vermelho, muitas diaclases visíveis dispostas sem direções definidas, aleatoriamente, planos alterados para argilo-mineral de cor cinza, poucas concreções visíveis, centimétricas (2-3 cm).

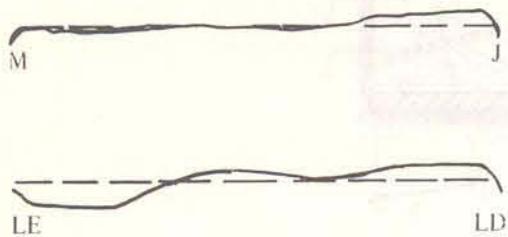
JUSANTE



PLANO DE CISALHAMENTO (cota do plano de cisalhamento = -3,45m)

Superfície de cisalhamento irregular e fragmentada, com concreções silicosas centimétricas cisalhadas contendo no seu interior LD material calcífero na forma de argila siltosa muito mole.

Após quebrar-se a amostra notou-se que o diaclasamento era intenso sem direções predominantes. Os planos das diaclases estavam muito alterados e ainda úmidos. Constatou-se também a presença de zonas com material muito mole.



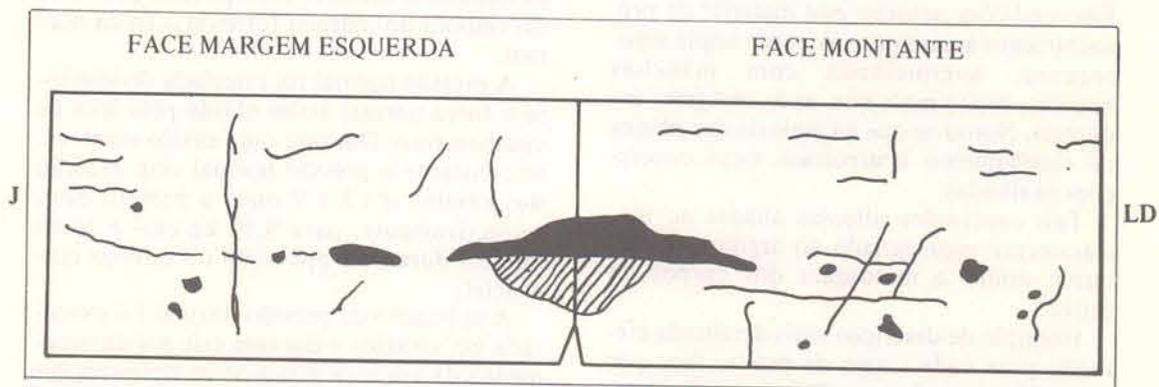
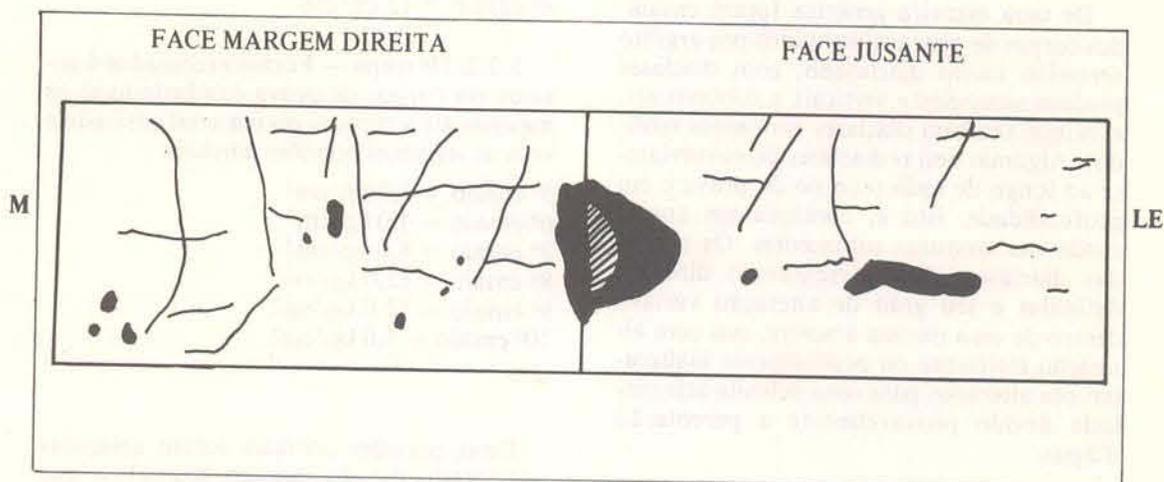
CONVENÇÃO

- M - face de montante
- J - face de jusante
- LD - face da margem direita
- LE - face da margem esquerda
- concreção silicosa

FIGURA 4 - AMOSTRA N.º 5

FACE MARGEM DIREITA: Argilito vermelho com concreções isoladas, muito diaclasado, diaclases denotando passagem d'água alteradas para cor cinza; diaclasamento horizontal e sub-horizontal presente. Concreções até 3 cm com exceção da do centro, com ± 10 cm.

FACE JUSANTE: Argilito vermelho, com concreções, muito diaclasado, diaclases com planos alterados para cor cinza, fraturas horizontais visíveis e sem continuidade. As diaclases visíveis se concentram na metade superior. Presença de material mole dentro de uma concreção.



FACE MARGEM ESQUERDA: Argilito vermelho, com concreções isoladas, muito diaclasado, diaclases isoladas, predominantemente verticais; diaclases horizontais existem mas são pouco visíveis; diaclases visíveis concentrando-se na metade superior da amostra e não se apresentando contínuas. Concreções grandes com material mole dentro.

FACE MONTANTE: Argilito vermelho, com concreções isoladas, com pouco diaclasamento vertical visível, com diaclases horizontais visíveis especialmente no topo da amostra, sem continuidade. Concreção com material mole dentro.

CONVENÇÃO

- - Concreção silicosa
- ▨ - Argila silto-arenosa, amarelada, com manchas brancas, muito mole.

FIGURA 5 - AMOSTRA N.º 5

4. DESCRIÇÃO GERAL DAS AMOSTRAS ENSAIADAS

De uma maneira genérica foram ensaiados corpos de prova constituídos por argilito vermelho muito diaclasado, com diaclases predominantemente verticais e subverticais, existindo também diaclases em outros sentidos. Algumas destas diaclases desenvolviam-se ao longo de todo o corpo de prova e em profundidade, isto é, continuavam aparecendo nas amostras subjacentes. Os planos das diaclases não apresentavam direções definidas e seu grau de alteração variava dentro de uma mesma amostra, ora com alteração incipiente ou praticamente inalteradas ora alteradas para uma película acinzentada devido provavelmente a percolação d'água.

Em todos os corpos de prova ensaiados a jusante da barragem notou-se a existência de concreções silicosas centimétricas (1 a 15cm) preenchidas por material argiloso, calcífero. Em condições naturais este material de preenchimento apresentava-se como argila silto-arenosa, avermelhada com manchas brancas, muito mole que, após secagem, endurecia. Notou-se que na maioria dos planos de cisalhamento apareceram estas concreções cisalhadas.

Tais concreções silicosas aliadas ao diaclasamento pronunciado do argilito dificultaram muito a moldagem dos corpos de prova.

Exemplo de descrição mais detalhada efetuada para cada corpo de prova, face por face, bem como da superfície de cisalhamento é apresentado nas Figuras 4 e 5.

5. EXECUÇÃO DO ENSAIO

Os ensaios foram do tipo rápido pré-adensado e consistiram, genericamente, na aplicação de forças normais e inclinadas em relação à superfície de cisalhamento e na medida das deformações correspondentes como a seguir será detalhado.

5.1 — Ensaios em amostras distintas (deformação controlada)

5.1.1. Iª etapa — Foram executados 4 ensaios em corpos de prova conduzindo-se os mesmos até a ruptura do material ensaiado e com as seguintes pressões normais:

- 1º ensaio = 2 kg/cm²
- 2º ensaio = 4 kg/cm²
- 3º ensaio = 8 kg/cm²
- 4º ensaio = 12 kg/cm²

5.2.2. IIª etapa — Foram executados 6 ensaios em corpos de prova conduzindo-se os mesmos até a ruptura do material ensaiado e com as seguintes pressões normais:

- 5º ensaio = 2,0 kg/cm²
- 6º ensaio = 4,0 kg/cm²
- 7º ensaio = 8,0 kg/cm²
- 8º ensaio = 12,0 kg/cm²
- 9º ensaio = 12,0 kg/cm²
- 10º ensaio = 5,0 kg/cm²

Estas pressões normais foram aplicadas por intermédio do macaco hidráulico que aparece na Figura 3 na posição vertical reagindo contra os perfis metálicos I. A pressão imprimida pelo macaco e lida no manômetro devidamente aferido, multiplicada pela área do êmbolo do macaco fornecia a força normal.

A pressão normal foi calculada dividindo-se a força normal assim obtida pela área de cisalhamento. Durante cada ensaio manteve-se constante a pressão normal com exceção dos ensaios n.ºs 8 e 9 onde a pressão caiu, respectivamente, para 9,90 kg/cm² e 10,40 kg/cm² durante a aplicação do esforço tangencial.

A aplicação da pressão normal foi executada em estágios e durante este pré-carregamento da amostra leram-se as deformações verticais nos deflectômetros apoiados na superfície superior do corpo de prova, só se passando para o estágio seguinte após a estabilização das deformações.

Após a aplicação da pressão normal total e depois da completa estabilização das deformações verticais, aplicou-se a força inclinada.

Esta força inclinada foi aplicada mantendo-se constante a pressão normal através do macaco hidráulico que aparece no esquema da Figura 3, reagindo contra a parede da escavação.

O valor desta força foi obtido multiplicando-se a pressão lida no manômetro devidamente aferido pela área do êmbolo do macaco. A componente horizontal desta força dividida pela área de cisalhamento fornecia, a cada instante, a tensão cisalhante.

A medida que se aumentava a força inclinada liam-se as deformações horizontais e verticais correspondentes até a ruptura do material. Os pontos de tensão de cisalhamento máxima ("peak point") para cada corpo de prova foram determinados traçando-se as curvas tensão — deformação específica respectivas.

Após o rompimento do corpo de prova aumentou-se a pressão normal e continuou-se o cisalhamento.

Com este procedimento procurou-se verificar se em algum corpo de prova a resistência não era devida somente ao deslizamento de diaclases.

As curvas deformação específica x tensão cisalhante obtidas nos ensaios da IIª etapa são apresentadas na Figura 6.

5.2. Ensaios em uma única amostra (tensão controlada)

IIIª etapa — Foram executados 4 ensaios em um único corpo de prova e com as seguintes pressões normais:

- Ensaio 11.1 = 2,0 kg/cm²
- ensaio 11.2 = 4,0 kg/cm²
- ensaio 11.3 = 6,0 kg/cm²
- ensaio 11.4 = 8,0 kg/cm²

As pressões normais foram aplicadas como descrito no item anterior e após a completa estabilização dos recalques (deformações verticais) iniciou-se o carregamento inclinado.

A força inclinada foi aplicada em estágios sendo que só se passava para o estágio seguinte após a estabilização das deformações prosseguindo-se até antes de se registrar a caída da curva tensão-deformação específica, a qual ia sendo traçada no decorrer do ensaio. Em seguida retiravam-se as forças inclinada e vertical atuantes e iniciava-se outro ensaio com a pressão normal maior. O último ensaio prosseguiu até a ruptura do corpo de prova.

Através das curvas tensão cisalhante — deformação específica estimou-se a tensão de cisalhamento máxima para cada ensaio.

6. RESULTADOS OBTIDOS

Para cada ensaio foram traçadas as curvas de ruptura usando-se em abscissas, a deformação específica ($\Delta L/L$) em porcentagem e em ordenadas, a tensão cisalhante (τ) em kg/cm².

Destas curvas obteve-se uma tensão de cisalhamento máxima ("peak point") para cada pressão normal (σ) correspondente (Figura 7).

Usando-se para abscissas os valores de σ e para ordenadas os valores de τ max correspondentes locaram-se os pontos obtidos e com eles interpolou-se a reta de Coulomb (Figura 8), a qual fornece as características de cisalhamento do material ensaiado, quais sejam:

coesão (c) = ordenada na origem

ângulo de atrito interno (ϕ) - ângulo formado pela reta com o eixo das abscissas (σ)

Os valores estimados graficamente através dos ensaios executados foram os seguintes:

a) Ensaio executado a montante dos pilares 7—8, (Iª etapa — deformação controlada).

ângulo de atrito interno (ϕ) $\approx 23^\circ$
coesão (c) $\approx 1,70$ kg/cm²

b) Ensaio executado a jusante do pilar 9 (IIª etapa — Deformação controlada)

ângulo de atrito interno (ϕ) $\approx 23^\circ 10'$
coesão (c) $\approx 1,80$ kg/cm²

c) Ensaio executado a jusante do pilar 9 (IIIª etapa — Tensão controlada).

ângulo de atrito interno (ϕ) $\approx 19^\circ$
coesão (c) $\approx 3,15$ kg/cm²

Resumindo-se todos os resultados obtidos e desprezando-se os resultados anômalos calculou-se através de um método analítico-estatístico (mínimos quadrados) a equação da reta que melhor se ajustava aos pontos obtidos chegando-se à equação:

$$\tau = 1,869 + 0,424 \sigma \pm 0,10 \text{ (hg/cm}^2\text{)}$$

a qual corresponde aos valores:

ângulo de atrito interno (ϕ) $\approx 22^\circ 59'$
coesão (c) $\approx 1,869$ kg/cm² (Fig. 9)

FIGURA 6 – CURVAS DE DEFORMAÇÃO ESPECÍFICAS
($\Delta L/L$) X TENSÃO CISALHANTE (τ)

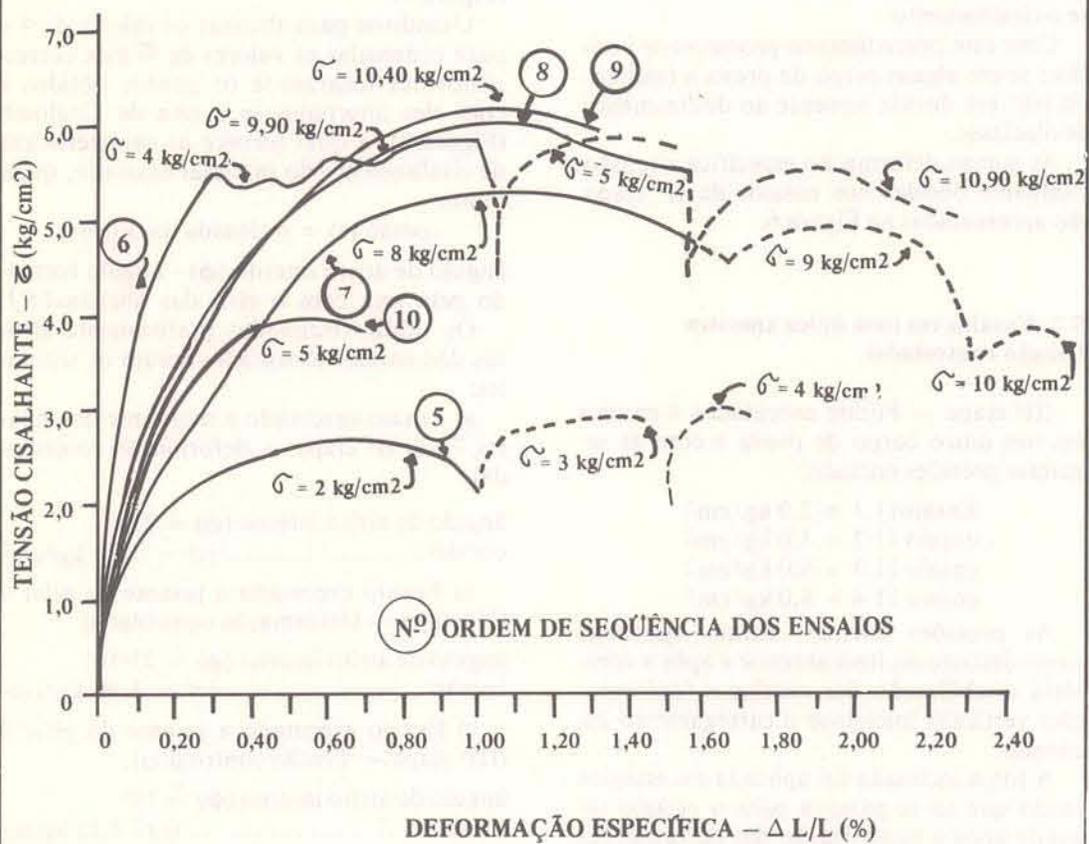


FIGURA 7 – ENSAIO DE CISALHAMENTO “IN SITU”
CURVAS $\Delta L/L - \tau$

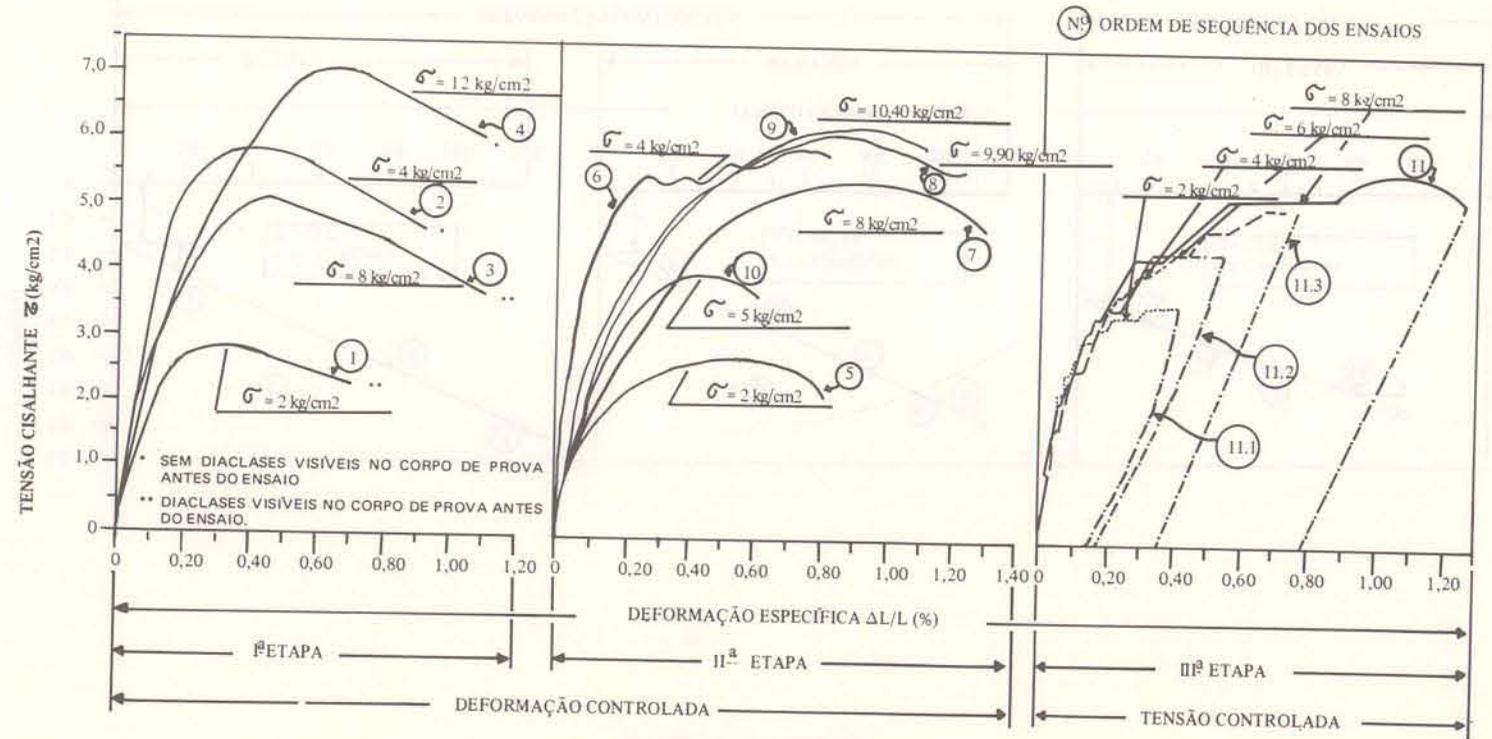


FIGURA 8 – ENSAIO DE CISALHAMENTO “IN SITU”
RETAS DE COULOMB

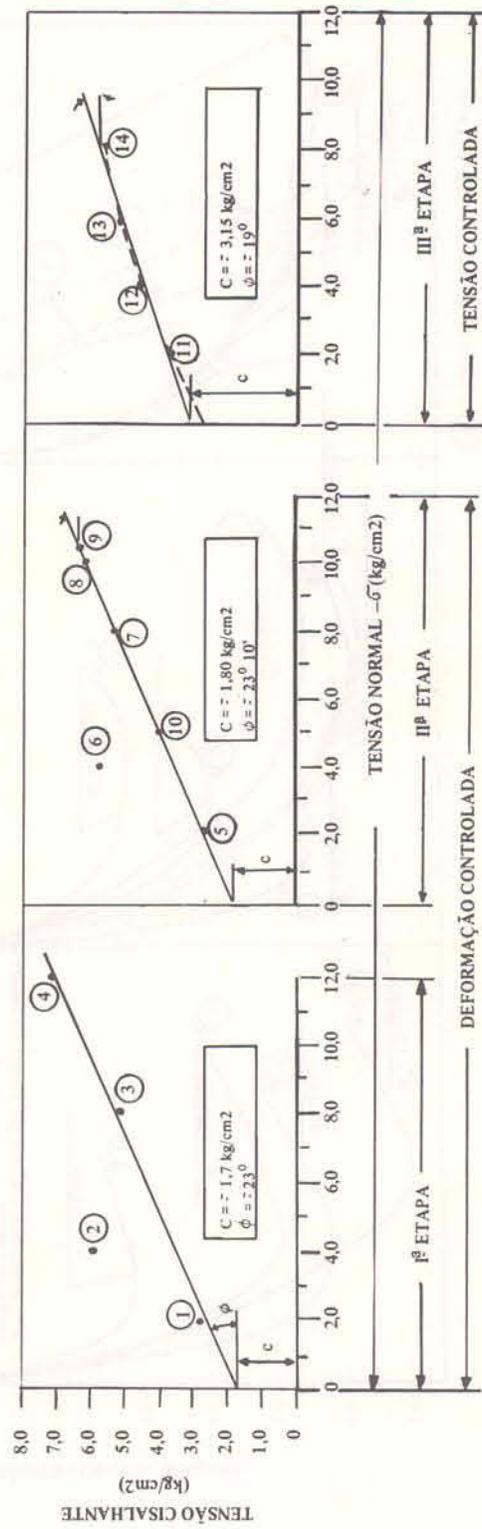
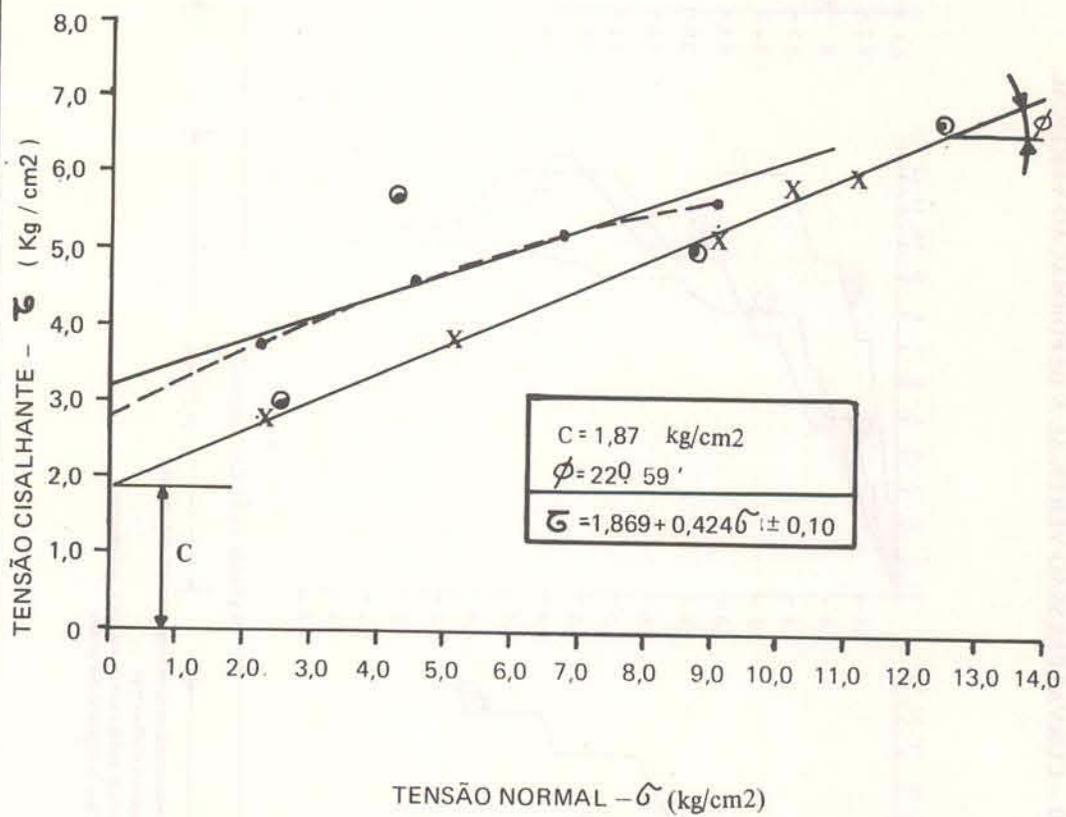
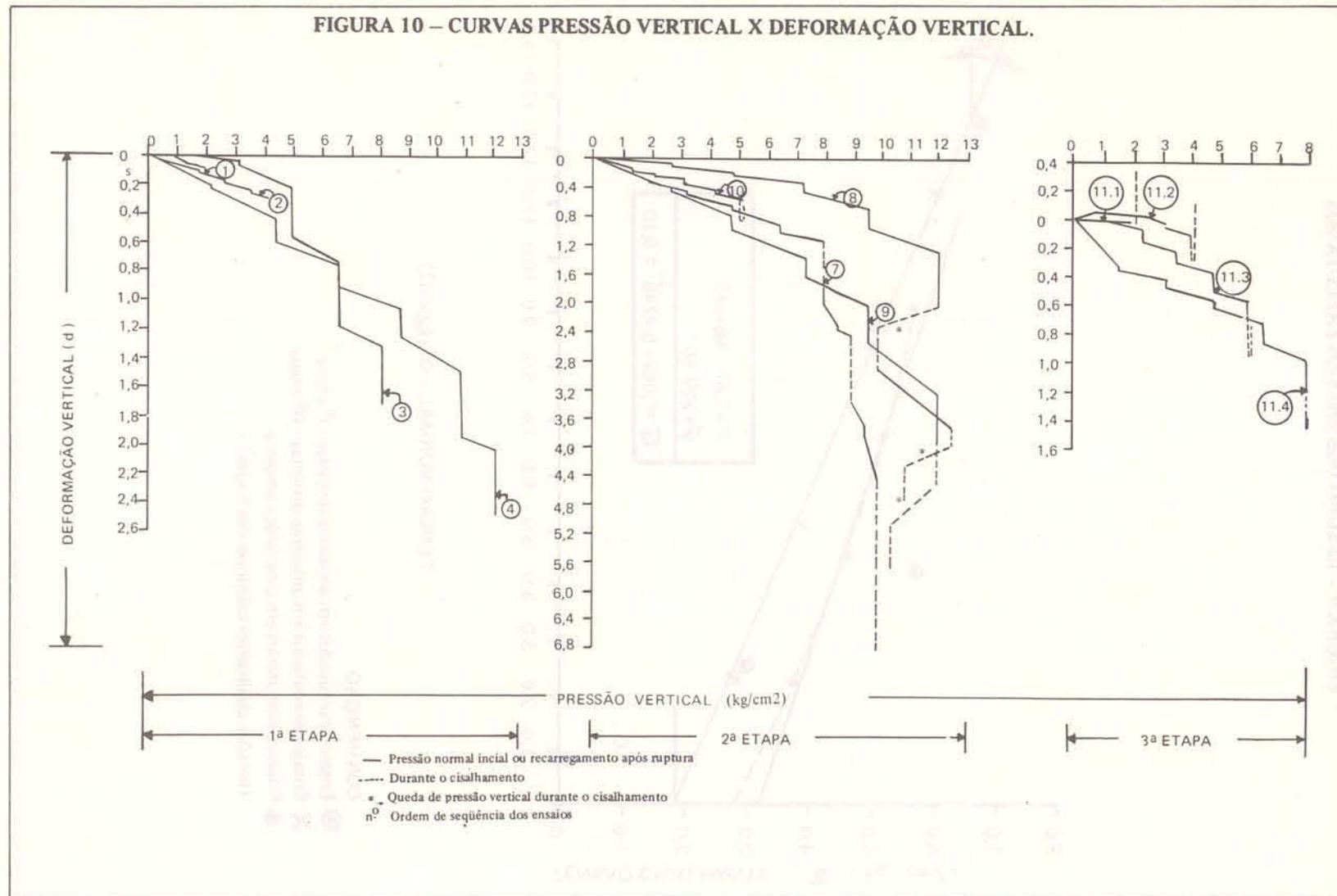


FIGURA 9 – RESUMO DOS ENSAIOS EXECUTADOS



- CONVENÇÃO
- ⊙ Ensaios executados em amostras distintas - I^a etapa
 - X Ensaios executados em amostras distintas - II^a etapa
 - Ensaios executados em uma única amostra
(tensões cisalhantes máximas estimadas)

FIGURA 10 – CURVAS PRESSÃO VERTICAL X DEFORMAÇÃO VERTICAL.



7. CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

Apresentam-se, na Figura 10, os gráficos pressão vertical x deformação vertical. Da análise do desenvolvimento dessas curvas resulta a constatação de que as deformações do argilito, para pressões da ordem dos 12 kg/cm², mantêm-se bastante discretas, por volta dos 2 a 3 mm, em um único caso atingindo os 4 mm. Esses resultados podem evidenciar que deformações da ordem do centímetro somente seriam atingidas com pressões de cerca de 20—25 kg/cm², muito superiores aos valores usualmente adotados para a pressão admissível de fundações nesse tipo de material rochoso de origem sedimentar.

Tal fato pode ser constatado através do cálculo analítico da capacidade de carga usando-se as fórmulas estáticas convencionais e utilizando-se as características geotécnicas obtidas no ensaio (ϕ e c).

As superfícies de ruptura dos blocos ensaiados apresentaram-se, via de regra, muito irregulares, fragmentadas, ora inclinadas ora praticamente horizontal situando-se nas proximidades (1 a 3 cm acima) do contato bloco-fundação (Fotos 1 e 2).

O corpo de prova do ensaio nº 2 (Iª etapa) carregado com $\sigma = 4,00$ kg/cm² apresentou um elevado $\tau = 5,90$ kg/cm². Esse bloco não apresentava diaclases visíveis antes do ensaio; depois da ruptura observou-se que as possuía, inclusive com delgadíssimo material argiloso esverdeado em seus planos.

Nos ensaios da IIª etapa, o de número 6 ($\sigma = 4,00$ kg/cm²) também apresentou um resultado discrepante; os ensaios com tensão controlada, da mesma forma, apresentaram valores que fugiram do andamento da reta-padrão. Tais discrepâncias podem ser devidas a:

- a) heterogeneidade entre os corpos de prova;
- b) superfícies de cisalhamento muito diferentes entre si com algumas se aprofundando abaixo do contato bloco-fundação, segundo a orientação do diaclasamento;
- c) presença de concreções silicosas na superfície de cisalhamento;
- d) diferença de comportamento devido a moldagem, muito dificultada pela presença de concreções silicosas com material mole aliado ao intenso diaclasamento das amostras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PORTOBRÁS, na pessoa do Eng^o Homero Telmo Molina, a autorização e o incentivo para publicação desse trabalho.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, Lisboa. 1968. *Indicações para a realização de ensaios de caracterização de rochas e maciços rochosos*. Relatório interno.
- MELLO, V.B. de. 1967. "Quod memorandum est" com respeito aos ensaios de cisalhamento "in situ" em emprego na mecânica das rochas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS, 3., Belo Horizonte, *Anais*, v.2.
- NUNES, A.J. da C. & BOGOSSIAN, F. 1970. Ensaio de cisalhamento "in situ" em aterro de barragem. *Tópicos de Geomecânica*, Rio de Janeiro, 1:1-9.
- & ———. 1971. Ensaio de cisalhamento de grandes dimensões em enrocamento para barragem. *Tópicos de Geomecânica*, Rio de Janeiro, 2: 1-11.
- RUIZ, M.D. & CAMARGO, F.P. de. 1966. A large-scale field shear test on rocks. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE MECÂNICA DAS ROCHAS, 1., Lisboa.



Foto 1 — Superfície de ruptura do corpo de prova nº 9 notando-se a cavidade formada.



Foto 2 — Superfície de ruptura do bloco nº 5 notando-se uma concreção silicosa cisalhada.