

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS

LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO DOS  
CONTRAFORTES DA BARRAGEM DO CAIA

Lisboa, Abril de 1966





MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS  
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

S. B.  
Secretaria

SERVIÇO DE BARRAGENS  
DIVISÃO DE FUNDAÇÕES E TÚNEIS

Proc. 45/1/2255

ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO DOS  
CONTRAFORTES DA BARRAGEM DO CAIA

Relatório

Lisboa, Abril de 1966



## ÍNDICE

	Pág.
1 - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - Objectivo do estudo .....	1
1.2 - Trabalhos realizados .....	3
1.3 - Objectivo do relatório .....	3
1.4 - Documentação consultada .....	4
1.5 - Terminologia utilizada .....	4
2 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DO MACIÇO .....	5
2.1 - Reconhecimento geológico .....	5
2.2 - Estudo da compartimentação do maciço .....	7
2.2.1 - Considerações gerais .....	7
2.2.2 - Estudo do conjunto do maciço e definição geral dos sistemas de diaclasamento .....	8
2.2.3 - Caracterização dos sistemas de diaclasamento .....	10
2.2.4 - Conclusões .....	11
2.3 - Estados de alteração do maciço e alterabilidade .....	11
3 - CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO MACIÇO .....	12
3.1 - Ensaaios "in situ" .....	12
3.1.1 - Critério de escolha dos locais de ensaio .....	12
3.1.2 - Critério de escolha das direcções de ensaio .....	12
3.1.3 - Ensaaios de deformabilidade .....	13
3.1.3.1 - Equipamento e técnica de ensaio .....	13
3.1.3.2 - Resultados dos ensaios .....	16
3.1.4 - Ensaaios de corte betão-rocha .....	18
3.1.4.1 - Equipamento e técnica de ensaio .....	18
3.1.4.2 - Resultados dos ensaios .....	19
3.1.5 - Interpretação dos resultados .....	20

3.1.5.1 - Características de deformabilidade do maciço .....	20
3.1.5.2 - Características de corte dos blocos de compartimentação do maciço .....	22
3.2 - Ensaiois laboratoriais .....	23
3.2.1 - Equipamento e técnica de ensaio .....	23
3.2.1.1 - Ensaiois de corte da rocha .....	23
3.2.1.2 - Ensaiois de deslizamento de diaclases .....	23
3.2.1.3 - Ensaiois de corte da ligação rocha-material injectado ..	24
3.2.2 - Resultados dos ensaiois .....	25
3.2.3 - Interpretação dos resultados .....	25
4 - CONCLUSÕES .....	26

## ÍNDICE DOS QUADROS

I - Orientação das diaclases

### Ensaio "in situ"

II - Ensaio de deformabilidade

III - Ensaio de corte betão-rocha

### Ensaio laboratorial

IV - Ensaio de corte de rocha

V - Ensaio de corte de rocha-material injectado

VI - Ensaio de deslizamento de diaclases

VII - Ensaio de deslizamento rocha-material injectado

VIII - Ensaio de deslizamento de diaclase artificial





## ÍNDICE DAS FIGURAS

FIG.

- 1 e 2 - Resultados dos ensaios "in situ"
- 3 - Estudo da compartimentação do maciço
- 4 - Determinação dos módulos de elasticidade

### Ensaio de deformabilidade "in situ"

- 5 a 16 - Diagramas pressões-deslocamentos (ensaios com cargas crescentes)
- 17 a 23 - Diagramas deslocamentos-tempos (fluência durante três dias em carga e igual tempo após descarga)
- 24 a 34 - Diagramas deslocamentos-tempos (gráficos de interpretação reológica)

### Ensaio de corte betão-rocha "in situ"

- 35 a 38 - Ensaio de corte betão-rocha

### Ensaio laboratoriais

- 39 - Ensaio de corte de rocha
- 40 - Ensaio de corte de rocha-material injectado
- 41 - Ensaio de deslizamento de diaclases naturais
- 42 - Ensaio de deslizamento de diaclases artificial
- 43 - Ensaio de deslizamento rocha-material injectado
- 44 - Ensaio de corte e deslizamento (rectas médias)



## 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 - Objectivo do estudo

Por ofício de 10 de Janeiro de 1964, solicitou a Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos (D.G.S.H.) a colaboração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (L.N.E.C.) para a avaliação das características mecânicas da rocha de fundação dos contrafortes da barragem do Caia e, em especial, nas zonas em que a alteração da rocha fosse significativa.

Após uma primeira visita efectuada a 5 de Fevereiro seguinte assentou-se, de comum acordo com representantes da D.G.S.H., em completar em profundidade o estudo geológico já realizado, antes de se proceder à escolha dos locais de ensaio e definir o número dos mesmos.

A observação de poços de reconhecimento mandados abrir em seguida e, sobretudo, os resultados do primeiro ensaio de carga, desde logo revelaram a impossibilidade de se poder fazer um plano de trabalhos, pelo que se decidiu realizar os ensaios que se fossem mostrando necessários no decorrer da efectivação da obra e a D.G.S.H. entendesse por bem realizar. Por esse motivo, o plano de trabalhos só foi elaborado definitivamente quando se tornou possível fazer uma previsão dos ensaios que faltavam.

O primeiro local a ser estudado foi o da fundação do contraforte nº 31, por interesse dos trabalhos em curso. Efectuada, pela Empresa de Sondagens Ródio a montagem do caixão de areia necessário como reacção aos macacos hidráulicos utilizados nos ensaios, só a 6/4/64 o pessoal do LNEC se deslocou para o local da barragem com carácter permanente. Feito em 17/4/64 o ensaio de deformabilidade à cota de fundação do projecto, deu-se a rotura do terreno, pelo que se aprofundou a escavação até se obter uma superfície de rocha que, à observação visual, pareceu mais sólida pa

ra se efectuar novo ensaio, que veio a ser realizado em 20/6/64.

Entretanto, na fundação do contraforte nº. 27 a empresa construtora SOMEC efectuou a montagem de outro caixão de areia que permitiu ao LNEC o início de um ensaio de deformabilidade e fluência à cota do projecto em 4/7/64.

Em 18/7/64, aproveitando o caixão de areia da Ródio que serviu para o segundo ensaio de deformabilidade e fluência na fundação do contraforte nº. 31, iniciou-se a montagem para o ensaio de corte betão-rocha.

Entretanto, na zona contraforte nº. 27 procedia-se ao rebaixamento da fundação para novo ensaio de deformabilidade e fluência.

Acabados estes trabalhos, entendeu a D.G.S.H. não realizar mais ensaios, por demasiado morosos, e pediu ao LNEC um plano de prospecção para a margem direita, onde os trabalhos de construção da obra não tinham ainda sido iniciados. Em 25/8/64 o LNEC enviou um officio contendo os resultados obtidos na margem esquerda, um parecer sobre o nível de fundação nessa margem e o plano de prospecção para a margem direita, tendo os trabalhos do LNEC ficado interrompidos, enquanto eram abertas as galerias pedidas.

Depois de observadas as galerias de reconhecimento, marcaram-se os locais de ensaio e deslocou-se, de novo, para o local da obra, em 28/1/65, pessoal do LNEC.

Após uma visita de representantes do LNEC e da D.G.S.H. ao local para completar o reconhecimento da margem direita, decidiu-se levar a efeito um plano de sondagens que o LNEC enviou em 5/2/65, ao mesmo tempo que se assentou num plano de trabalhos, que também englobaria os já efectuados na margem esquerda. Enviado esse plano em 9/2/65, foi aceite pela D.G.S.H. em 27/2/65.

Entretanto, em 17/2/65 iniciaram-se os ensaios de deformabilidade e fluência previstos para a margem direita, tendo terminado em 11/4/65.

Em 22/7/65 foi enviado à D.G.S.H. um ofício com os resultados obtidos na margem direita e os correspondentes comentários.

## 1.2 - Trabalhos realizados

Resumindo o que se disse em 1.1 sobre trabalhos realizados, tem-se o seguinte:

Realizaram-se no local quatro ensaios de deformabilidade e de fluência na direcção vertical, em valas de abertura das fundações dos contrafortes nºs 27 e 31 mediante a utilização de um caixão de areia como reacção aos macacos hidráulicos que efectuavam a carga no terreno; um ensaio de corte betão-rocha, utilizando o mesmo caixão de areia para reacção à carga normal, sobre três blocos de betão com 70 cm x 70 cm x 40 cm; dois ensaios de deformabilidade e fluência em duas galerias de reconhecimento da margem direita, em duas direcções perpendiculares entre si, sendo uma horizontal e outra vertical; no Laboratório procedeu-se a ensaios de provas de 10 cm x 10 cm x 15 cm de corte de rocha, diaclases e ligação rocha-material injectado.

No gabinete, fez-se uma apreciação de ordem geral, com base em relatórios existentes, das características geológicas do maciço da fundação bem como dos resultados das sondagens e ensaios de permeabilidade efectuados.

## 1.3 - Objectivo do relatório

O presente relatório tem por objectivo a apresentação das informações obtidas pelo LNEC sobre as condições de fundação dos contrafortes

da barragem do Caia, com base nos resultados dos trabalhos que foi possível realizar e das observações levadas a efeito. Deste modo, além da apresentação dos resultados obtidos, procurou-se fazer uma interpretação em função dos dados geológicos do local, por forma a ser possível definir as estruturas geotécnicas que integram o maciço de fundação.

#### 1.4 - Documentação consultada

(1) - Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos - Barragem do Caia - Condições Geológicas.

(2) - Sondagens Ródio, Lda. (1965) - Relatório das sondagens geológicas para estudo dos terrenos de fundação e plano final de execução dos trabalhos de injeções.

(3) - Sondagens Ródio, Lda. (1965) - Reconhecimento geológico adicional do terreno de fundação da margem direita.

#### 1.5 - Terminologia especial utilizada

Precisa-se a seguir o significado de alguns termos especiais utilizados no presente relatório:\*

Bloco - Elemento de volume do maciço de fundação determinado pela compartimentação do terreno.

Compartimentação - Divisão do maciço de fundação em blocos, por efeito da ocorrência de família de diaclases.

Diaclase - Fractura do terreno, sem ou com conhecimento, não mostrando sinais de movimentos de escorregamento dum dos seus lábios em re

---

\* - ROCHA, M.; SILVEIRA, A.F. e MENDES, F.M. (1963) - Estudo das fundações da barragem de Alcántara (1.º Relatório) - LNEC, LISBOA.

lação ao outro, e sem ser acompanhada de zonas marginais de terreno conturbado.

Estrutura geotécnica - Conjunto de blocos arrumados conforme as orientações das superfícies de compartimentação que os definem.

Falha - Toda a fractura macroscópica do terreno não abrangida pela designação "diacalse".

Inclinação (ou pendor)- Ângulo de diacalse ou falha com o plano horizontal. Caracteriza-se pelo símbolo do quadrante para o qual qualquer daqueles acidentes desce.

Superfície de compartimentação - Superfície de diacalse, contribuinto para definir uma estrutura geotécnica.

## 2 - CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DO MACIÇO

### 2.1 - Reconhecimento geológico

O reconhecimento geológico foi efectuado pela D.G.S.H. com base no levantamento da área interessada e de um estudo pormenorizado do local destinado à barragem. Esse estudo foi feito à base de sondagens, com um equipamento que não permitia a perfuração de furos com inclinações além de 30° com a vertical, e por sanjas e galerias em pontos mais duvidosos. Paralelamente, foram feitos ensaios de permeabilidade nas zonas onde os obturadores funcionaram.

Os dados e as conclusões resultantes constam do relatório (1) e são, resumidamente, os seguintes:

A barragem do Caia será fundada num maciço de complexo cristalofí-

lico, na sua maior extensão, cujas camadas subverticais têm a direcção N-NW, e num maciço granitóide, apenas na parte mais alta de gravidade da margem direita.

A rocha de fundação, ao nível de escavação previsto, será constituída por xistos cristalinos pouco alterados, onde predominam os xistos anfibólicos, sobre micaxistos e corneanas, elementos principais da zona que se segue em profundidade, de xistos cristalinos muito pouco alterados.

Sob o aspecto da compartimentação, pouco se refere em virtude de o estudo ser feito à base de sondagens e de poucas galerias e sanjas e os terrenos de cobertura esconderem a estrutura do maciço. No entanto são dadas as inclinações das diaclases, que apareciam em grande número nos tarolos de sondagem, com referências aos enchimentos observados, à base de óxidos de ferro, calcite, sericite e clorite, além das argilas que eram lavadas pelas águas de perfuração.

Sob o aspecto da permeabilidade, assinala-se o seu baixo valor nos furos ensaiados, apesar de em 22,6% dos ensaios se verificar um aumento anormal de permeabilidade, quer por lavagem, quer por abertura de diaclases ou conjuntamente pelos dois motivos, percentagem tanto mais significativa quanto em 33,3% dos casos não funcionaram os obturadores, possivelmente por efeitos semelhantes. Contudo, refere-se a deficiência das indicações obtidas, em virtude de os furos serem verticais a sub-verticais, e serem também verticais as camadas da rocha de fundação.

Posteriormente, foi solicitada a colaboração da Empresa de Sondagens Ródio para completar o estudo geológico do local. Nesse sentido fizeram-se oito furos de sondagem com extracção de carotes, sendo cinco inclinados a 100% e num plano a 45° com o eixo da barragem, e três verticais na



zona de contacto das corneanas com a rocha intrusiva.

De um modo geral, confirmaram-se as conclusões citadas, no que respeita à intensidade da fracturação, à permeabilidade e ao enchimento das fracturas. Relativamente à compartimentação do maciço, nos relatórios (2) e (3) apresentam-se elementos obtidos por estudos na superfície das escavações das fundações e nas galerias abertas na margem direita os quais estão, em parte, transcritos nas figs. 1 e 2. Referem-se em especial dois sistemas de diaclases, um horizontal a sub-horizontal com pendente para o vale e reconhecido nas duas margens, e um sistema NNW-SSE subvertical, com pendente para nascente, reconhecido apenas na margem esquerda, onde as escavações estavam mais adiantadas na ocasião do estudo em questão. Relativamente às falhas, além da falha vertical do leito do rio, que atravessa a fundação do contraforte nº. 18, como mais importantes, a que atravessa a zona do contraforte nº. 20, confirmada em parte por um furo de sondagem que revelou uma banda altamente conturbada, e as três falhas que se cruzam na fundação da cabeça do contraforte nº. 28. Reconhece-se contudo, como típico nesta fundação, que muitas vezes as fracturas superficiais desaparecem no contacto com rochas profundas mais duras.

Nas conclusões dos referidos relatórios (2) e (3) refere-se ainda que as corneanas inclinam para jusante, tendo as fracturas menos enchimento de argila que superficialmente, e que a permeabilidade em profundidade não deve ultrapassar dois lugeons.

Pela sua importância, tratou-se em seguida com mais pormenor a compartimentação do maciço.

## 2.2 - Estudo da compartimentação do maciço

### 2.2.1 - Considerações gerais

O estudo que se segue foi feito com base no levantamento de aciden-

tes geológicos efectuado pela Empresa de Sondagens Ródio e referido nas plantas dos relatórios (2) e (3). Supõe-se que os acidentes levantados são acidentes de vulto, isto é, falhas ou diaclases extensas e que as suas características de inclinação e direcção foram indicadas com fraca precisão, por não terem em vista tratamento de pormenor. Porém, a quantidade de elementos referidos possibilitou o estudo estatístico.

### 2.2.2 - Estudo do conjunto do maciço e definição geral dos sistemas de diaclasamento

Para este estudo, supuseram-se todas as diaclases e falhas deslocadas paralelamente a si próprias até ficarem tangentes à superfície duma semi-esfera, definindo assim, cada ponto de tangência uma diaclase. Para a representação plana equi-área da superfície dessa semi-esfera, incluindo os pontos figurativos das diaclases, utilizou-se uma projecção cilíndrica, esta com o fim de atenuar os erros de distorsão que ocorrem nas representações planas da esfera; ficaram incluídos no diagrama azimutal os pontos figurativos das diaclases com inclinações compreendidas entre  $0^{\circ}$  e  $60^{\circ}$  e no diagrama cilíndrico os correspondentes às diaclases entre  $60^{\circ}$  e  $90^{\circ}$ , conseguindo-se evitar distorsões principais superiores a 15,5%.

Sobre estes diagramas, colocou-se uma rede quadriculada e determinaram-se quais os números de pontos representativos de diaclases que caíam dentro de círculos com centros nos nós da quadrícula e áreas iguais a 1% da área total da semi-esfera. Obtiveram-se deste modo conjuntos de pontos cotados e, a partir desses pontos, construíram-se os diagramas correspondentes a curvas de igual cota.

Na graduação das curvas de igual cota utilizaram-se, não os valores a correspondentes às contagens acabadas de indicar, mas sim, "densidades

de diaclasamento", que se calcularam dividindo os valores a pelo número total A de diaclases observadas e afectando os quocientes obtidos do factor 200, escolhido por conveniência de escala. Conseguiu-se assim, com estas densidades de diaclasamento, definir os sistemas predominantes, in dependentemente do número de diaclases observadas, o que tornou possível a comparação de diagramas obtidos a partir de diferentes números totais de observações.

Apresenta-se, para o conjunto do maciço, a fig. 3 com os diagramas obtidos como se acaba de referir.

Com bases nestes diagramas, definiram-se os sistemas de diaclasamento indicados no Quadro junto.

Sistema de diaclasamento	Direcção predominante	Inclinação predominante	Densidade de diaclasamento $d$	Nº. total de acidentes de $d > 5$ (%)	Nº. total de falhas (%)
V <sub>A</sub>	N 52° W	89° SW	33	42,8	76,9
V <sub>B</sub>	N 42° 30' E	90°	14	21,0	7,7
I <sub>A</sub>	N 53° W	26° SW	14	8,9	7,7
I <sub>B</sub>	N 35° E	42° NW	10	8,2	-
I <sub>C</sub>	N 41 E	37° 30' SE	5	2,7	7,7
I <sub>D</sub>	N 49 W	37° 30' NE	4	-	-
				83,6	100,0

A definição dos sistemas de diaclasamento  $I_C$  e  $I_D$  pode parecer pouco fundamentada mas justifica-se pela sua consideração pela nitidez com que surgem em zonas dos diagramas com poucos pontos. A sua importância relativa terá que ter em conta a densidade do diaclasamento.

### 2.2.3 - Caracterização dos sistemas de diaclasamento

Pela análise das densidades do diaclasamento e pela própria observação dos diagramas obtidos se conclui da importância relativa dos sistemas definidos. Contudo, não aparece um sistema horizontal de fraturação, referido em (2) e (3), como evidente, por se ter utilizado apenas os elementos implantados nos desenhos atrás referidos.

Sistema  $V_A$  - Este sistema de diaclasamento, o mais importante dos definidos no maciço, cujo máximo se situa no ponto N  $53^\circ$ W- $89^\circ$  SW e tem uma densidade de diaclasamento de 33, apresenta uma amplitude de variação de direcção de  $60^\circ$  e apenas  $15^\circ$  de inclinação. Incluem-se neste sistema 76,9% das falhas reconhecidas, das quais se figuram os pontos representativos nos diagramas da fig. 3. Contém, além disso, 42,8% do total dos acidentes levantados correspondentes à zona superior à densidade de diaclasamento 5.

Sistema  $V_B$  - Este sistema de diaclasamento vertical orienta-se a cerca de  $90^\circ$  com o sistema  $V_A$  mas tem uma densidade de diaclasamento de, apenas, 14. A percentagem do total dos acidentes pertencentes a este sistema é de 21%. As amplitudes de variação, quer da inclinação quer da direcção, são semelhantes às do sistema  $V_A$ .

Sistemas  $I_A$  e  $I_B$  - Estes sistemas de diaclasamento são os mais importantes dos sistemas inclinados e, tal como os sistemas  $V_A$  e os  $V_B$ , orientam-se a cerca de  $90^\circ$  um do outro, embora com inclinações nítida-

mente diferentes. As densidades de diaclasamento são, respectivamente, de 10 e 14; as variações de características são reduzidas.

Sistemas  $I_C$  e  $I_D$  - Estes sistemas de diaclasamento, igualmente ao que acontecia com os anteriores pares considerados, situam-se a cerca de  $90^\circ$  um do outro e simetricamente a  $I_B$  e  $I_A$ , em inclinação.

#### 2.2.4 - Conclusões

Pela análise do Quadro anterior verifica-se que 83,6% dos acidentes reconhecidos se incluem nos sistemas definidos, bem assim como todas as falhas.

Desses sistemas o mais importante é, como se disse, o sistema  $V_A$ , mas, como também se referiu, deverá considerar-se o sistema sub-horizontal a horizontal que a bibliografia consultada refere como evidente.

#### 2.3 - Estados de alteração do maciço e alterabilidade

No perfil geológico apresentado no relatório (1) classificaram-se as rochas de fundação em quatro tipos distintos que caracterizam outras tantas zonas.

A zona principal, constituída por terrenos provàvelmente a sanear, a zona dos xistos cristalinos pouco alterados, a zona dos xistos cristalinos muito pouco alterados e a zona das rochas granitóides. Definiram-se assim, no complexo cristalofílico, várias zonas de alteração que permitiram antever o nível de saneamento a efectuar.

A experiência contudo veio revelar, a quando da escavação pròpria-mente dita das fundações, que a rocha do complexo cristalofílico se altera muito em contacto com o ar, sobretudo quando se apresentava já um pouco alterada.

Deste modo, os níveis de saneamento previstos, quer por este motivo, quer por deficiência da prospecção, tiveram de baixar até à zona dos xistos cristalinos muito pouco alterados.

### 3 - CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO MACIÇO

#### 3.1 - Ensaaios "in situ"

##### 3.1.1 - Critério de escolha dos locais de ensaio

A escolha dos locais de ensaio foi feita de comum acordo com a DGSH que, em princípio, indicava os locais de interesse mais imediato a serem estudados, visto, como já se referiu, a obra estar em curso. Por este motivo se escolheram, na margem esquerda, os locais dos contrafortes nºs. 31 e 27 que seriam dos primeiros a ser betonados e, além disso, estavam suficientemente afastados para se adquirirem ideias sobre as características mecânicas do maciço por extrapolação para outras zonas.

Na margem direita a escolha dos locais foi feita de modo a obterem-se indicações em dois pontos de duas galerias abertas na zona muito pouco alterada do complexo cristalofílico e no eixo da barragem.

Os ensaios de corte, por mais morosos de preparar, foram realizados apenas na margem esquerda, na fundação do contraforte nº. 31, onde surgiam mais dúvidas.

##### 3.1.2 - Critério de escolha das direcções de ensaio

A escolha das direcções de ensaio foi diferente para as duas margens do rio, por se tratar de tipos de ensaio diferentes. Na margem esquerda, onde os ensaios eram feitos em valas, a direcção obrigatória era a vertical, para os ensaios de deformabilidade. Na margem direita, onde os ensaios eram feitos em troços de galerias transversais ao eixo

da barragem, escolheram-se, para os ensaios de deformabilidade, as direcções horizontal e vertical.

Os ensaios de corte foram feitos na direcção montante-jusante, em plano horizontal, coincidente, pois, com a direcção dos esforços de corte aplicados pela obra sobre a fundação.

### 3.1.3 - Ensaaios de deformabilidade

#### 3.1.3.1 - Equipamento e técnica de ensaio

Os ensaios de deformabilidade "in situ", realizados em galerias de reconhecimento abertas na margem direita, consistiram fundamentalmente, na carga de pares de superfícies paralelas, talhadas sem auxílio de explosivos em locais designados por "caixas", escolhidos nas galerias de reconhecimento existentes, com cobertura de terreno não inferior a 15 m. Essas superfícies, após uma regularização final numa área com cerca de 1,30 m × 1,30 m por uma camada fina de argamassa, para melhor ajustamento da carga ao terreno, foram carregadas por meio de dois macacos hidráulicos de 300 toneladas de força cada um. A transmissão da carga ao terreno foi feita por meio de almofadas circulares de borracha de cerca de 1 m<sup>2</sup> de área assentes sobre uma placa de contraplacado. A axialidade dos esforços foi conseguida por intermédio de rótulas metálicas de calotes esféricas de raios ligeiramente diferentes, interpostas entre os macacos e o sistema distribuidor de esforços, constituído por vigas metálicas I, reforçadas, e malhais de madeira.

Mediram-se, separadamente, os deslocamentos dos centros das superfícies carregadas por meio de alongâmetros graduados em 0,01 mm, aplicados entre chumbadouros apropriados, sólidamente ligados à rocha. Como sistema de referência, montou-se uma viga I apoiada em pontos suficientemente a

fastados, para se poder desprezar o efeito das cargas sobre o terreno.

O controle das pressões a transmitir ao terreno foi feito por manómetros ligados às bombas accionadoras dos macacos hidráulicos.

Nos ensaios realizados na margem esquerda, nas valas de abertura das fundações dos contrafortes, nos quais a medição da deformabilidade se fez apenas no sentido vertical, a técnica seguida foi diferente no que respeita ao sistema de carga. A falta de terreno para suportar a reacção dos macacos hidráulicos, montou-se um caixão de areia cujo peso permitisse levar a pressão transmitida ao terreno a cerca de  $50 \text{ kgf/cm}^2$ . A técnica de montagem e medida dos deslocamentos e pressões foi semelhante à descrita atrás.

A norma utilizada nos ensaios de deformabilidade foi a habitualmente seguida pelo LNEC. Assim, numa primeira fase de ensaio, sujeitaram-se as superfícies de carga a uma série de ciclos de carga e descarga, com pressões máximas crescentes. Sempre que possível, efectuou-se um primeiro ciclo até  $5 \text{ kgf/cm}^2$  e os ciclos intermédios até  $15 \text{ kgf/cm}^2$  e  $35 \text{ kgf/cm}^2$  e, finalmente, três ciclos até  $50 \text{ kgf/cm}^2$ . Durante as cargas e descargas, registaram-se os deslocamentos das superfícies carregadas em relação à posição inicial, para obtenção das curvas pressões-deslocamentos. Em todos os ciclos, mantiveram-se as cargas, à pressão máxima, registando-se de 5 em 5 minutos as deformações da rocha por fluência, durante um período mínimo de 30 minutos, ou até que os deslocamentos se pudessem considerar estabilizados, isto é, não excedessem a menor divisão do deflectómetro durante um período de 10 minutos. Idênticamente, ao fim de cada descarga, procedeu-se ao registo dos deslocamentos recuperados, durante um período mínimo de 30 minutos, ou até que a estabilização se pudesse considerar atingida.

A segunda fase de ensaio iniciou-se sempre após um período de repou



so do maciço de, pelo menos, 24 horas, contadas a partir do fim da última descarga efectuada nos ensaios de deformabilidade sob cargas crescentes. Nesta fase aplicaram-se às superfícies de ensaio pressões de valor igual às atingidas nos últimos ciclos de carga dos ensaios anteriores, mantendo-se constantes durante 72 horas, registando-se durante este período de fluência e a intervaloscada vez mais espaçados os deslocamentos sofridos pelo maciço; também durante a subida inicial de carga se mediram os deslocamentos correspondentes a intervalos de carga de 5 kgf/cm<sup>2</sup>. Para completar este ensaio, mediram-se, segundo técnica idêntica, os deslocamentos na descarga durante um período não inferior ao da carga.

Para o cálculo dos módulos de elasticidade, admitiu-se que a carga se distribuía uniformemente sobre áreas circulares de sólidos semi-indefinidos, considerados homogêneos, isótropos e elásticos, o que permitiu adoptar a fórmula da Teoria da Elasticidade

$$E = \frac{2 p r (1 - \nu^2)}{d}$$

em que

E - módulo de elasticidade em kgf/cm<sup>2</sup>,

p - pressão exercida sobre a superfície de carga em kgf/cm<sup>2</sup>,

r - raio da superfície de carga, em cm,

$\nu$  - coeficiente de Poisson,

d - deslocamento do centro da superfície carregada, em cm.

Note-se que, ao considerar-se o maciço como um sólido semi-indefinido, a aproximação pode admitir-se satisfatória, uma vez que os ensaios se situam a certa profundidade e não há razão para pensar que a rocha, à escala das superfícies ensaiadas e por motivo da fracturação que apresenta, suporta tensões de tracção apreciáveis.

Mesmo no que respeita à correspondência do maciço às condições de

homogeneidade, isotropia e elasticidade, os erros daí resultantes podem considerar-se de reduzida importância, em face das heterogeneidades que se verificam de ponto para ponto.

Na aplicação da fórmula, utilizou-se, para o coeficiente de Poisson, o valor de 0,18, valor que se considera adaptar-se bem às condições do maciço. De notar, também, que a variação do coeficiente de Poisson se traduz numa modificação insignificante do valor do módulo de elasticidade. Na fig. 4 apresenta-se um diagrama tipo de pressões-deslocamentos assim como os diferentes valores, quer da pressão, quer dos deslocamentos, que se consideraram para a determinação dos valores dos módulos de elasticidade.

### 3.1.3.2 - Resultados dos ensaios

Apresentam-se nas figs. 5 a 34, e no Quadro II do presente Relatório os resultados individuais dos ensaios de deformabilidade "in situ" efetuados.

As figs. 5 a 16 referem-se aos diagramas pressões-deslocamentos obtidos por cada uma das superfícies carregadas nos diversos ensaios e incluem os valores dos módulos de elasticidade calculados para os valores máximos das pressões máximas aplicadas em cada ciclo de carga, tanto ao serem atingidas essas pressões ("instantâneos"), como após estabilização aparente das deformações ("fim de fluência"), conforme se exemplifica na fig. 4.

Do Quadro II constam, também em relação a cada uma das superfícies carregadas, os valores dos módulos de elasticidade que se designam por  $E_0$  (módulo de elasticidade instantâneo),  $E_{30}$  (módulo de elasticidade após estabilização aparente dos deslocamentos, que se obtêm como a fig. 4

mostra, fazendo a média entre os valores determinados para a pressão máxima dos ciclos simples e a média dos três valores determinados para a pressão máxima dos três ciclos repetidos. Desprezaram-se, para o efeito, os valores determinados para a pressão de 5 kgf/cm<sup>2</sup>, por se considerar que corresponderam a uma adaptação das zonas carregadas às condições de carga impostas. São os valores dos módulos de elasticidade E<sub>30</sub>, bem como as percentagens  $\frac{E_o - E_{30}}{E_{30}} \times 100$ , que se encontram referidos nas figs. 1 e 2.

As figs. 17 a 23 contêm os diagramas deslocamentos-tempos referentes aos ensaios de fluência de cerca de 72 horas em carga e tempo não inferior de descarga, correspondente aos vários locais de ensaio e diferentes direcções de carga, distinguindo-se ainda as curvas referentes a cada uma das superfícies carregadas. Os deslocamentos medidos para as várias superfícies carregadas, isto é, instantâneo ( $\delta_o$ ) e ao fim, sucessivamente, de 30 minutos ( $\delta_{30}$ ) e de 3 dias ( $\delta_{3d}$ ), durante a carga, bem como os correspondentes deslocamentos na descarga,  $\delta'_o$ ,  $\delta'_{30}$  e  $\delta'_{3d}$  são apresentados no Quadro II. Nesse mesmo quadro referem-se ainda os valores de  $\frac{\delta'_{30} - \delta'_o}{\delta'_{30}}$ ,  $\frac{\delta'_{3d} - \delta'_{30}}{\delta'_{30}}$ ,  $\frac{\delta_o}{\delta_{3d}}$  e  $\frac{\delta'_o}{\delta'_\infty}$ , bem assim como das relações  $\frac{E_o - E_{30}}{E_{30}}$  e  $\frac{E_{30} - E_{3d}}{E_{30}}$ .

Nas figs. 24 a 34 constam os diagramas deslocamentos-tempos, também referentes aos ensaios de fluência, em que se utilizam escalas especiais, tanto para o eixo dos deslocamentos como para o eixo dos tempos, com vista a obter-se uma interpretação do tipo reológico que corresponda às características de fluência da rocha.

Nas figuras referentes aos ensaios na fundação dos contrafortes nºs. 27 e 31, em paralelo com a curva deslocamentos-tempos, apresenta-se a curva temperatura-tempos.

### 3.1.4 - Ensaio de corte betão-rocha

#### 3.1.4.1 - Equipamento e técnica de ensaio

Os ensaios de corte "in situ" consistiram na carga até à rotura de uma série de três blocos de rocha com dimensões de cerca de 70 cm x 70 cm x 10 cm sobre os quais se moldou um bloco de betão de 70 cm x 70 cm x 30 cm.

Aplicou-se a cada conjunto betão-rocha, por meio de um macaco hidráulico de 300t, uma força  $F$ , normal e concentrada na base do bloco, utilizando para reacção ao macaco o mesmo caixão de areia que tinha servido nos ensaios de deformabilidade, e, por meio, de outro macaco igual, uma força  $F_i$ , inclinada de  $15^\circ$  em relação à base do bloco e passando pelo centro da fatia de rocha submetida ao corte. Pretendeu-se assim que as zonas de corte fossem, tanto quanto possível, apenas actuadas por um esforço normal e por um esforço de corte, sem intervenção de momentos flectores.

Sendo  $S$  a secção de um bloco assim ensaiado, as tensões normal  $\sigma$  e tangencial  $\tau$ , na base, são dadas por

$$\sigma = \frac{F_n + F_i \sin 15^\circ}{S}$$

$$\tau = \frac{F_i \cos 15^\circ}{S}$$

No local ensaiado levaram-se à rotura três blocos pela acção de forças  $F_n$  constantes para cada bloco, mas diferentes de bloco para bloco, e de forças  $F_i$  crescentes. A partir dos pares de valores  $(\sigma, \tau)$  obtidos nas roturas de cada um dos blocos, traçou-se a recta de Coulomb média,

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

que permitiu determinar os valores da coesão  $C$  e do ângulo de atrito in-

terno  $\emptyset$  correspondentes, nesse local, ao material da zona ensaiada e à direcção em que se aplicaram as forças.

O critério de rotura usado foi o da carga tangencial máxima no instante da rotura franca. No entanto, para uma melhor observação do decorrer do ensaio procedeu-se, à medição dos deslocamentos sofridos pelos blocos em duas direcções normais entre si: uma direcção foi perpendicular à superfície de corte ("deslocamentos normais"), fazendo-se as medições em quatro pontos, colocados lateralmente, dois no lado da aplicação da força de corte e dois no lado oposto, junto à superfície de corte (M. E., M.D., J.E., J.D.), a outra foi paralela àquela superfície ("deslocamentos tangenciais") medindo-se os deslocamentos em dois pontos colocados na base do bloco, no plano médio, um à esquerda e outro à direita (E. e D.).

#### 3.1.4.2 - Resultados dos ensaios

Os resultados do ensaio de corte "in situ" são apresentados no Quadro III e na fig. 35.

No Quadro III indicam-se as tensões normais e tangenciais de rotura obtidas para os vários blocos de rocha ensaiados, e também a coesão, o ângulo de atrito interno e a equação da recta de Coulomb correspondente.

A recta de Coulomb foi obtida, na fig. 35, a partir das implantações dos pontos correspondentes à rotura franca dos diversos blocos.

Nas figs. 36 a 38 representam-se os diagramas tensões tangenciais-deslocamentos verticais e horizontais que descrevem como decorreu o ensaio.

Os valores da coesão e do ângulo de atrito interno são, respectivamente, de  $2,5 \text{ kgf/cm}^2$  e  $43^\circ$  e  $30'$ .

### 3.1.5 - Interpretação dos resultados

#### 3.1.5.1 - Características de deformabilidade do maciço

O exame conjunto dos resultados dos ensaios de deformabilidade "in situ" mostra que, aos níveis da fundação ensaiados, os módulos de elasticidade obtidos diferem muito de uma margem para outra. Enquanto na margem esquerda os módulos de elasticidade descem a  $9 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ , na margem direita sobem a  $100 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ . Contudo, o andamento geral dos diagramas pressões-deslocamentos referentes às duas margens segue genêricamente dois tipos de diagramas, um que apresenta as curvas de carga convexas no sentido das pressões e outro cuja convexidade das mesmas curvas está no sentido dos deslocamentos. No primeiro caso, admite-se que durante a carga se dá a fractura de contactos sólidos ligeiros existentes nas fracturas, pelo que os enchimentos passam a ser interessados na transmissão de tensões. No segundo caso, admite-se a existência de fracturas abertas que vão sendo fechadas durante a carga pelo que a deformabilidade vai diminuindo sucessivamente. Pertencem ao primeiro tipo a generalidade dos diagramas obtidos e ao segundo os diagramas dos ensaios verticais da margem direita, nos quais se dá ainda a particularidade de existirem praticamente dois módulos de elasticidade conforme se trata de pressões inferiores ou superiores a cerca de  $15 \text{ kgf/cm}^2$ .

Em todos os casos se verificou a existência de deslocamentos residuais, que nos ensaios de fundação do contraforte nº. 27 chegaram a cerca de 2 mm.

Analisando estes resultados individualmente por locais, verifica -  
-se o seguinte:

##### a) Contraforte nº. 31

Como se disse, o primeiro ensaio à cota do projecto (208 m) provo-

cou a rotura da fundação, pelo que se aprofundou e se fez novo ensaio à cota 202 m que forneceu o módulo de elasticidade relativo ao fim da fluência de 30 minutos de  $28,5 \times 10^3$  kgf/cm<sup>2</sup>. Verificou-se, durante a escavação que a rotura da fundação no primeiro ensaio, tinha sido devida à existência de diaclases bastante abertas que convergiam no local.

b) Contraforte nº. 27

Neste contraforte, o primeiro ensaio, à cota 193,5m, deu um módulo de elasticidade relativo ao fim da fluência de 30 minutos de  $12 \times 10^3$  kgf/cm<sup>2</sup> e o segundo ensaio à cota 192,5 m,  $10 \times 10^3$  kgf/cm<sup>2</sup>. As diferenças verificadas, atendendo a que apenas um metro separava os dois ensaios, podem explicar-se pela heterogeneidade do maciço mas, como os módulos de elasticidade  $E_{3d}$  do primeiro ensaio e  $E_{30}$  do segundo têm valores próximos, essas diferenças podem resultar da compactação efectuada no primeiro ensaio que fez interessar enchimentos mais deformáveis que a rocha na transmissão de esforços.

c) Galerias I e II

Os módulos de elasticidade são superiores a  $100 \times 10^3$  kgf/cm<sup>2</sup> na generalidade dos ensaios, excepto no vertical superior da GII que é de  $46 \times 10^3$  kgf/cm<sup>2</sup>, valor que se admite ser devido à descompressão do terreno e que, portanto, pode ser eliminado por uma escavação apropriada.

Como já se disse, apresentam-se nas figs. 17 a 23 os diagramas deslocamentos-tempos referentes ao ensaio de fluência de cerca de três dias em carga e tempo não inferior, após descarga, sempre que possível. Paralelamente, apresenta-se, para os ensaios ao ar livre, a curva temperatura-tempo que aparece ligeiramente desfasada em relação aos deslocamentos obtidos, como seria de esperar. A curva de deslocamentos-tempo, neste caso, foi traçada considerando os pontos correspondentes às temperaturas mais baixas, medidas de manhã, que garantiam maior estabilidade.

Para esclarecimento da importância que possam assumir os deslocamentos de fluência correspondentes a tempos muito grandes, apresentam-se nas figs. 24 a 34 as extrapolações, para tempos praticamente infinitos, dos deslocamentos ocorridos naqueles ensaios de fluência, onde foi possível fazer essa extrapolação, isto é, onde foi possível encontrar uma recta traduzindo, de forma razoável, o andamento do fenómeno. Para tal, admitiu-se ser válida a lei, que a experiência tem demonstrado aplicar-se razoavelmente em casos análogos, definida pela expressão analítica

$$\delta = \delta_0 - (\delta_\infty - \delta_0) e^{-\frac{K}{\sqrt[3]{t}}}$$

em que  $\delta$  é o deslocamento total,  $t$  horas após o início da aplicação da carga,  $\delta_0$  o deslocamento no início da fluência,  $\delta_\infty$  o deslocamento total ao fim de um tempo infinito e  $K$  uma constante característica do maciço no local do ensaio e da direcção considerada. As ordenadas dos diagramas das figs. 24 a 34, graduadas em tempos  $t$ , correspondem a  $\frac{1}{\sqrt[3]{t}}$  e as abcissas, graduadas em deslocamentos  $(\delta - \delta_0)$ , a  $\log(\delta - \delta_0)$ .

A análise do Quadro II revela valores altos para a relação  $\frac{E_{30} - E_{3d}}{E_{30}}$  especialmente nas zonas menos deformáveis onde os deslocamentos são muito pequenos, atingindo-se contudo a estabilização, pelo que não se lhes atribui significado especial. Os valores  $\frac{\delta_0}{\delta_\infty}$  e  $\frac{\delta_\infty}{\delta_0}$  revelam uma boa recuperação do terreno, quer imediata, quer considerando deslocamentos ao fim de um tempo infinito. Exceptuam-se os casos em que a fracturação, possivelmente, deu lugar a deslocamentos residuais.

### 3.1.5.2 - Características de corte dos blocos de compartimentação do maciço

As características de corte do material constituinte dos blocos de



compartimentação, ao nível da fundação ensaiado, foram avaliadas, como se disse, a partir de um ensaio de corte "in situ". Os valores da coesão e do ângulo de atrito interno medidos, aconselharam o aprofundamento da fundação até ao nível das corneanas, cujas características de corte foram obtidas apenas laboratorialmente e se referem em seguida.

### 3.2 - Ensaios laboratoriais

#### 3.2.1 - Equipamento e técnica de ensaio

##### 3.2.1.1 - Ensaios de corte da rocha

Estes ensaios consistiram, fundamentalmente, na carga até à rotura franca, de prismas de rocha de dimensões aproximadas 10 cm x 10 cm x 15cm, talhados por disco diamantado a partir de tarolos de sondagem, de 32 cm de diâmetro, do local contraforte nº. 22. A máquina utilizada permite a aplicação de forças tangenciais até 50 toneladas e forças normais até 40 toneladas, com dispositivo de carga normal constante. Dum modo semelhante aos ensaios "in situ", aplicaram-se cargas tangenciais até à rotura, considerando cargas normais constantes em cada ensaio, mas variáveis de pro ve te para pro ve te. Para se estudar o efeito do momento flector e do volume do mate rial interessado nestes ensaios, dada a possibilidade de as cargas tangen ciais poderem tomar várias posições em altura, fixaram-se como espessuras da fatia de rocha a submeter a ensaio 0,5 cm e 1,5 cm.

A partir dos pares de valores das tensões normais e tangenciais de rotura na superfície de corte obtidos, foi possível calcular as rectas de Coulomb pelo método dos mínimos quadrados.

##### 3.2.1.2 - Ensaios de deslizamento de diaclases

O equipamento utilizado nestes ensaios foi o mesmo dos ensaios de

corde.

Sobre provetes de cerca de 15 cm x 15 cm x 15 cm talhados nos tarolos de sondagem de 32 cm de diâmetro do local do contraforte nº. 22, com a diaclase na posição intermédia, procedeu-se à determinação das características de deslizamento das superfícies em contacto, segundo uma técnica que se mostrou eficaz e que consiste em ensaiar repetidamente um mesmo provete, com várias tensões normais, consideradas constantes em cada caso, e determinar as tensões tangenciais correspondentes que levam a um deslocamento franco de uma parte do provete em relação à outra. Foi assim possível determinar uma recta de Coulomb para cada diaclase ensaiada.

### 3.2.1.3 - Ensaaios de corte da ligação rocha-material injectado

A partir de tarolos da sondagem de 32 cm de diâmetro efectuada na fundação injectada do contraforte nº. 22, cortaram-se na máquina de disco diamantado prismas de 10 cm x 10 cm x 15 cm, com a parte injectada na posição intermédia. Alguns dos prismas separaram-se ao serem cortados, outros não. Os provetes assim talhados foram ensaiados na máquina já referida tendo-se dado sempre a rotura pela ligação entre a rocha e o material injectado. Assim, em alguns casos, ensaiou-se a superfície assim formada como se se tratasse de uma diaclase. Ainda para aproveitar ao máximo os provetes, alguns prismas foram ensaiados duas vezes ao corte, para o que se efectuou a colagem da primeira superfície formada, e se colocou na posição de corte a outra superfície de ligação rocha-material injectado e se ensaiou em seguida.

Foi deste modo possível definir as características de corte da ligação rocha-material injectado e as características de deslizamento das mesmas superfícies.

### 3.2.2 - Resultados dos ensaios

Apresentam-se nas figs. 39 a 44 e nos Quadros IV a VIII os resultados individuais dos ensaios laboratoriais efectuados.

Na fig. 39 representam-se os resultados dos ensaios de corte da rocha, dizendo respeito as duas rectas de Coulomb apresentadas às duas alturas da fatia de rocha submetida a ensaio.

Os resultados dos ensaios de corte da ligação rocha-material injectado e correspondente recta de Coulomb apresentam-se na fig. 40. Os prismas cujos números estão afectados de asterisco foram ensaiados duas vezes pela técnica já descrita. Nas figs. 41 e 42 apresentam-se respectivamente os resultados dos ensaios repetidos em três diaclases naturais e em uma diaclase artificial plana talhada com disco diamantado, para a determinação dos valores mínimos de deslizamento.

As características de deslizamento da superfície de ligação rocha-material injectado são apresentadas na fig. 43.

Os resultados comparativos apresentam-se na fig. 44, apenas com as rectas de Coulomb, calculadas pelo método dos mínimos quadrados.

Nos Quadros IV a VIII referem-se os valores das tensões de rotura correspondentes aos vários ensaios, assim como as equações das rectas de Coulomb definidas em cada caso.

### 3.2.3 - Interpretação dos resultados

Relativamente aos ensaios de corte de rocha, fig. 39 e Quadro IV, verificou-se, como seria de esperar, que os valores da coesão e do ângulo de atrito são bastante altos. Provou-se ser diminuta a influência da altura da fatia de rocha submetida a ensaio, apenas se reflectindo no ângulo de atrito cujos valores de  $57^{\circ}$  e  $53^{\circ}$  correspondem respectivamente a

0,5 cm e 1,5 cm, enquanto a coesão se manteve em cerca de  $120 \text{ kg/cm}^2$ .

Os ensaios de deslizamento de diaclases, fig. 41 e Quadro VI, efectuados em três provetes revelaram características de corte semelhantes às obtidas com uma diaclase artificial plana, fig. 42 e Quadro VIII. Esta aparente anomalia explica-se pelo facto de as superfícies das diaclases se encontrarem revestidas por um material, sólidamente aderente à rocha, cujas características de deslizamento são muito inferiores às da rocha sem essa película. A lavagem, efectuada por ácido clorídrico diluído, só parcialmente removeu esse revestimento, pelo que a repetição dos ensaios deu resultados semelhantes aos obtidos que, no entanto, não se apresentam.

A resistência ao corte da ligação rocha-material injectado, fig. 40 e Quadro V, apesar de baixa, devido à dificuldade de efectuar uma lavagem perfeita que permitisse não só uma ligação física mas também química, revelou contudo um ângulo de atrito superior às das diaclases, mantendo-se o valor da coesão. Os ensaios de deslizamento deram resultados intermédios, como seria de esperar.

O conjunto dos resultados laboratoriais, referidos na fig. 44, revela a gradação de resistência ao corte, desde a diaclase artificial que, na ausência de enchimento, corresponde ao valor mínimo que se pode obter, passando pelas diaclases naturais, junta rocha-material injectado, ligação rocha-material injectado até à rocha. Com excepção dos ensaios de corte de rocha, as coesões revelaram-se, praticamente, nulas.

#### 4 - CONCLUSÕES

Por ofícios enviados oportunamente, o LNEC. informou a DGSH. dos resultados dos ensaios efectuados "in situ" e o que de momento se lhe ofe-

receu dizer sobre os mesmos. Numa pormenorização do que então se concluiu e acrescentando-lhe o que não foi possível dizer, pode referir-se o seguinte:

- As duas fases de ensaios "in situ", a primeira realizada na margem esquerda e a segunda na margem direita, incidiram sobre rocha nitidamente diferente, quer sob o aspecto da constituição, quer sob o aspecto do comportamento mecânico. Enquanto na margem esquerda as áreas de ensaio se situaram na zona dos xistos cristalinos alterados a pouco alterados, na margem direita a zona ensaiada era nitidamente dos xistos cristalinos muito pouco alterados. Os módulos de elasticidade obtidos referem-se no Quadro seguinte.

LOCAIS		SUPERFÍCIES CARREGADAS	MÓDULOS DE ELASTICIDADE $E_0$ ( $10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )	MÓDULOS DE ELASTICIDADE $E_{30}$ ( $10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )	$\frac{E_0 - E_{30}}{E_{30}} \times 100$
Contraforte nº. 31	1º.ensaio	horizontal	5,0	4,7	6,4
	2º.ensaio	horizontal	30,1	28,5	5,6
Contraforte nº. 27	1º.ensaio	horizontal	13,5	12,4	8,9
	2º.ensaio	horizontal	10,9	10,1	7,9
GALERIA I		H E	618	583	6,0
		H D	693	653	6,1
		V S	283	278	1,8
		V I	143	137	4,4
GALERIA II		H E	413	376	9,8
		H D	163	154	5,8
		V S	48	46	4,3
		V I	126	114	10,5

Concluiu-se, quando dos ensaios da 1ª. fase, pelos resultados, quer dos ensaios de deformabilidade, quer do ensaio de corte, que as fundações da obra se deveriam situar ao nível das corneanas, zona dos xistos cristalinos muito pouco alterados. Não foi possível, contudo, ensaiar essa zona indicada como fundação mas, a avaliar pelos resultados obtidos no segundo ensaio de deformabilidade da fundação do contraforte nº. 31 e pela observação visual, tudo pareceu indicar não se estar longe de um nível de fundação satisfatório. As sondagens então efectuadas pela Empresa de Sondagens Ródio permitiram definir melhor esse nível de fundação, mas a grande fracturação revelada nas corneanas, devido à sua fragilidade, e os correspondentes enchimentos argilosos detectados, à mistura com outros indicados como produtos da fricção dos bordos das fracturas, sugerem um carácter aleatório para o comportamento desta zona da fundação.

Os ensaios da 2ª. fase revelaram, sob o aspecto de deformabilidade, como oportunamente se concluiu, que não havia preocupação, à parte uma zona ensaiada superficial mais deformável, mas removível na escavação das fundações. Referiu-se também que, sob o aspecto de resistência ao corte, seriam de esperar valores elevados, apesar do estado de fracturação local.

Relativamente à compartimentação, chama-se a atenção para as conclusões expressas em 2.2.4. Se se atender a que, quanto mais fracturado estiver um maciço mais a sua resistência ao corte se aproxima dos valores que se obtêm para as diaclases, e a que o maciço em questão é muito fracturado e com fracturas extensas, apesar de os principais sistemas de fracturação definidos não terem orientações muito desfavoráveis, com excepção do horizontal, são de considerar com todo o interesse os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais. É, nomeadamente, de frizar que a injeccção pode ter melhorado as características de resistência ao corte, no que res

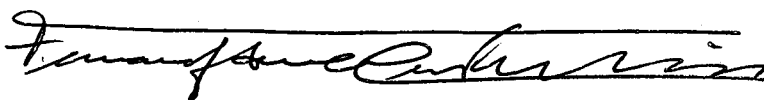
peita ao ângulo de atrito e para tensões não muito superiores às do ensaio, apesar da sua fraca ligação à rocha expressa pela coesão.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Abril de 1966.



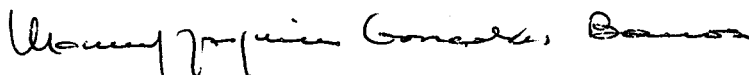
António Ferreira da Silveira

Engenheiro Investigador, Chefe do Serviço de Barragens



Fernando da Costa Peres Rodrigues

Engenheiro Especialista de 1ª. classe,  
Chefe da Divisão de Fundações e Túneis



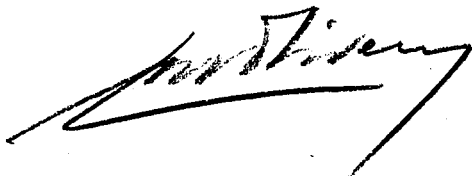
Manuel Joaquim Gonçalves Barroso

Engenheiro Estagiário para Especialista

 VISTO

O Engenheiro Director, Interino

Manuel Rocha







ORIENTAÇÃO DAS DIACLASES

Nº DE ORDEM	DIREÇÃO EM RELAÇÃO AO NORTE MAGNÉTICO ( ° )	INCLINAÇÃO EM RELAÇÃO AO PLANO HORIZONTAL ( ° )
-------------	---	---

GALERIA III

1	24	85 W
2	58	90
3	109	85 E
4	147	90

GALERIA II

5	328	90
6	329	90
7	62	90
8	72	45 S
9	65	90
10	59	45 S
11	100	90
12	167	90
13	101	85 S

GALERIA I

14	150	90
15	103	90
16	49	90
17	105	90
18	81	90
19	31	0-10 E
20	100	90
21	108	90
22	78	90
23	133	30 E
24	8	90

CONTRAFORTE -18,19,20

25	351	90
26	177	90
27	32	80 N
28	31	70 S
29	128	0-45 W
30	139	90
31	105	45 S
32	91	90
33	300	90
34	118	90
35	73	90
36	80	90

Nº DE ORDEM	DIREÇÃO EM RELAÇÃO AO NORTE MAGNÉTICO ( ° )	INCLINAÇÃO EM RELAÇÃO AO PLANO HORIZONTAL ( ° )
-------------	---	---

37	119	90
38	120	90
39	137	85-90 W
40	154	80 W
41	40	45 S
42	124	90
43	127	30-45 W
44	121	90 *
45	156	90 *
46	137	90 *
47	117	90 *
48	136	90 *
49	38	30 S

CONTRAFORTE 21

50	310	70 W
51	310	70-80 W
52	314	90
53	315	90
54	316	90
55	293	90
56	66	90
57	84	45-70 N
58	129	90 *

CONTRAFORTE 22

59	40	30 S *
60	42	80 N
61	80	90
62	127	90
63	125	90
64	5	90
65	67	45 N
66	126	85-90 S
67	132	70 S
68	34	45 N

CONTRAFORTE 23

69	112	90 *
70	41	45 S
71	40	45 N
72	20	80 S
73	118	85 S

Nº DE ORDEM	DIREÇÃO EM RELAÇÃO AO NORTE MAGNÉTICO ( ° )	INCLINAÇÃO EM RELAÇÃO AO PLANO HORIZONTAL ( ° )
-------------	---	---

74	120	20-80 S
75	127	0-40- S
76	130	30 S
77	81	90
78	37	90
79	173	90
80	40	45 N
81	85	90
82	42	90
83	137	90

CONTRAFORTE 26

84	135	30 E
85	125	10-30 S
86	127	90
87	126	10 W
88	38	85 N
89	45	90
90	92	90
91	16	45 W
92	43	80-90
93	145	90

CONTRAFORTE 27

94	33	45 N
95	33	10-30 N
96	37	90
97	34	45 N
98	140	90
99	130	10-30-S
100	114	90
101	126	90

CONTRAFORTE 28

102	14	45 W
103	14	45 E
104	15	90
105	40	80-90 S
106	28	45 N
107	103	90
108	120	90
109	140	90
110	128	10-30 W

Nº DE ORDEM	DIREÇÃO EM RELAÇÃO AO NORTE MAGNÉTICO ( ° )	INCLINAÇÃO EM RELAÇÃO AO PLANO HORIZONTAL ( ° )
-------------	---	---

111	123	90
112	109	90
113	64	90
114	71	85 N
115	146	90 *
116	130	90 *
117	126	90 *

CONTRAFORTE 29

118	41	10-45-N
119	171	85 W
120	126	10-30-W
121	126	10-45-W
122	122	90
123	124	90
124	55	90
125	54	45 N
126	106	90
127	143	90

CONTRAFORTE 30

128	166	85 W
129	14	45 W
130	40	30-45-W
131	43	90
132	132	90
133	134	90
134	128	10-45-W
135	131	80 W
136	132	45 E
137	16	45 W
138	72	85 N
139	130	30 W

CONTRAFORTE-31,32

140	40	90
141	96	90
142	129	45 W
143	128	85 W
144	145	70-90-W
145	54	85 N
146	66	90 *

\* Falha

## QUADRO II

### ENSAIOS DE DEFORMABILIDADE "IN SITU"

LOCAIS	SUPERFÍCIES CARREGADAS	MÓDULOS DE ELASTICIDADE ( $10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )			$\frac{E_0 - E_{30}}{E_{30}}$	$\frac{E_{30} - E_{3d}}{E_{30}}$	DESLOCAMENTOS NOS ENSAIOS DE FLUÊNCIA ( $10^{-2}$ mm)								$\frac{\delta'_{30} - \delta'_0}{\delta'_{30}}$	$\frac{\delta'_{3d} - \delta'_{30}}{\delta'_{30}}$	$\frac{\delta'_0}{\delta_{3d}}$	$\frac{\delta'_\infty}{\delta_\infty}$
							CARGA				DESCARGA							
		$E_0$	$E_{30}$	$E_{3d}$	%	%	$\delta_0$	$\delta_{30}$	$\delta_{3d}$	$\delta_\infty$	$\delta'_0$	$\delta'_{30}$	$\delta'_{3d}$	$\delta'_\infty$	%	%	%	%
		G <sub>1</sub>	HE	618	583	466	6,0	20,0	8,6	10,0	11,2	12,0	8,6	9,2	10,7	11,9	6,5	16,3
HD	693		653	443	6,1	32,2	8,4	10,0	11,8	13,8	9,8	10,4	11,2	—	5,8	7,7	83,1	—
VS	283		278	253	1,8	9,0	19,0	19,5	20,6	22,0	19,0	20,0	20,6	22,0	5,0	3,0	92,2	100
VI	143		137	125	4,4	8,8	38,2	39,5	41,8	50,2	32,0	35,5	41,8	49,0	9,9	17,7	76,6	98
G <sub>2</sub>	HE	413	376	278	9,8	26,1	13,0	13,5	18,8	23,0	8,0	8,0	9,5	11,7	0	18,7	42,6	51
	HD	163	154	130	5,8	15,6	31,4	33,5	40,2	61,4	21,5	30,0	34,0	29,9	28,3	13,3	53,5	49
	VS	48	46	—	4,3	—	90,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	VI	126	114	111	10,5	2,6	35,6	—	47,2	51,6	28,0	32,0	37,0	44,0	12,5	15,6	61,0	85
C <sub>31</sub>	1º ENSAIO VI	5,0	4,7	—	6,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2º ENSAIO VI	30,1	28,5	24,5	5,6	14,0	92	95	118	136	81	86	91	—	5,8	5,8	68,6	—
C <sub>27</sub>	1º ENSAIO VI	13,5	12,4	9,2	8,9	25,8	530	540	601	670	420	430	450	474	2,3	4,7	69,9	71
	2º ENSAIO VI	10,9	10,1	9,9	7,9	2,0	485	490	528	575	385	400	436	473	3,8	9,0	72,9	82

ENSAIOS DE CORTE "IN SITU"

### QUADRO III

#### ENSAIOS DE CORTE "IN SITU"

LOCAL	COTA APROXIMADA	ORIENTAÇÃO DOS CORTES	TENSÕES DE ROTURA NAS SUPERFÍCIES DE CORTE		COESÃO $c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	ÂNGULO DE ATRITO $\phi$	RECTA DE COULOMB $\tau = c + \sigma \text{tg} \phi$
			NORMAL (kgf/cm <sup>2</sup> )	TANGENCIAL (kgf/cm <sup>2</sup> )			
C <sub>31</sub>	202	De montante para jusante em superfícies horizontais	1,9	3,5	C = 2,5	43° 30'	$\tau = 2,5 + 0,95\sigma$
			15,6	21,0			
			26,6	25,2			

QUADRO IV  
ENSAIOS DE CORTE DE ROCHA  
EM LABORATÓRIO

Nº DO ENSAIO	ALTURA LIVRE DO BLOCO (cm)	TENSÕES DE ROTURA		COESÃO <u>C</u> (kgf/cm <sup>2</sup> )	ANGULO DE ATRITO	RECTA DE COULOMB	RECTA DE COULOMB (MÉDIA)
		NORMAL (kgf/cm <sup>2</sup> )	TANGENCIAL (kgf/cm <sup>2</sup> )				
1	0,5	67,3	251,3	117,3	57°	$\tau = 1,5\sigma + 117,3$	
2		107,9	365,2				
3		88,6	255,9				
4		100,8	264,3				
5		119,7	260,1				
6		178,9	406,5				
7		160,7	375,8				
8		116,6	285,9				
9		191,2	415,1				
10		—	—				
11	1,5	54,2	202,4	118,9	52° 30'	$\tau = 1,3\sigma + 118,9$	$\tau = 1,33\sigma + 125,4$
12		103,9	313,0				
13		102,9	234,7				
14		141,9	305,8				
15		141,1	228,2				
16		213,5	423,7				
17		62,1	231,9				
18		161,1	302,5				
19		224,6	390,3				
20		193,5	386,4				
21		112,5	290,2				
22		168,0	329,0				
23		193,2	388,9				
24		44,7	129,4				

## QUADRO V

ENSAIOS DE CORTE DE ROCHA—MATERIAL INJECTADO  
EM LABORATÓRIO

Nº DO ENSAIO	TENSÕES DE ROTURA		COESÃO $\underline{C}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	ÂNGULO DE ATRITO	RECTA DE COULOMB
	NORMAL (kgf/cm <sup>2</sup> )	TANGENCIAL (kgf/cm <sup>2</sup> )			
1	21,4	20,9	4,6	43°	$\tau = 0,94\sigma + 4,6$
2	28,1	30,2			
2 *	5,2	8,2			
3	1,1	4,3			
3 *	36,6	39,6			
4	14,3	24,9			

ENSAIO DE DESLIZAMENTO EM LABORATÓRIO

## QUADRO VI

### ENSAIOS DE DESLIZAMENTO DE DIACLASES

EM LABORATÓRIO

Nº DO ENSAIO	Nº DO BLOCO	TENSÕES DE ROTURA		COESÃO $\underline{C}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	ÂNGULO DE ATRITO	RECTA DE COULOMB	RECTA DE COULOMB (MÉDIA)
		NORMAL (kgf/cm <sup>2</sup> )	TANGENCIAL (kgf/cm <sup>2</sup> )				
1	1 B	13,1	11,5	1,84	32°30'	$\tau = 0,63 \sigma + 1,8$	
2		18,7	13,9				
3		24,8	18,0				
4		30,4	20,1				
5		6,2	4,4				
1	2 B	5,1	4,8	3,76	25°00'	$\tau = 0,47 \sigma + 3,8$	$\tau = 0,65 \sigma + 2,1$
2		12,4	9,1				
3		18,5	13,2				
4		24,2	15,6				
5		30,0	18,5				
1	4 B	6,5	5,7	1,72	33°00'	$\tau = 0,64 \sigma + 1,7$	
2		12,7	10,0				
3		18,7	13,8				
4		24,7	17,6				
5		30,7	21,2				

## QUADRO VII

### ENSAIOS DE DESLIZAMENTO DE ROCHA - MATERIAL INJECTADO EM LABORATÓRIO

Nº DO ENSAIO	Nº DO BLOCO	TENSÕES DE ROTURA		COESÃO $\underline{C}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	ÂNGULO DE ATRITO	RECTA DE COULOMB	RECTA DE COULOMB (MÉDIA)
		NORMAL (kgf/cm <sup>2</sup> )	TANGENCIAL (kgf/cm <sup>2</sup> )				
1	2 A	13,3	12,2	1,4	38°	$\tau = 0,78 \sigma + 1,4$	
2		6,6	5,9				
3		19,8	17,9				
4		25,4	20,3				
1	3 A	6,4	5,4	2,1	34°	$\tau = 0,68 \sigma + 2,1$	
2		13,4	12,6				
3		19,1	15,4				
4		24,9	18,3				
1	4 A	18,6	13,4	1,9	31°	$\tau = 0,6 \sigma + 1,9$	
2		6,2	4,6				
3		12,9	10,9				
4		24,2	15,6				
1	1	2,6	2,1	0,8	25°	$\tau = 0,47 \sigma + 0,8$	
2		9,8	6,8				
3		17,4	9,1				
4		22,9	10,9				
1	2	4,1	4,2	1,2	35°	$\tau = 0,69 \sigma + 1,2$	
2		13,2	12,1				
3		18,8	14,3				
4		24,7	17,7				
5		6,1	4,0				
1	4	3,6	2,5	0,0	35°	$\tau = 0,69 \sigma$	
2		3,8	2,6				
3		8,0	5,5				
4		16,0	11,0				
5		18,4	12,7				

$\tau = 0,69 \sigma + 0,9$

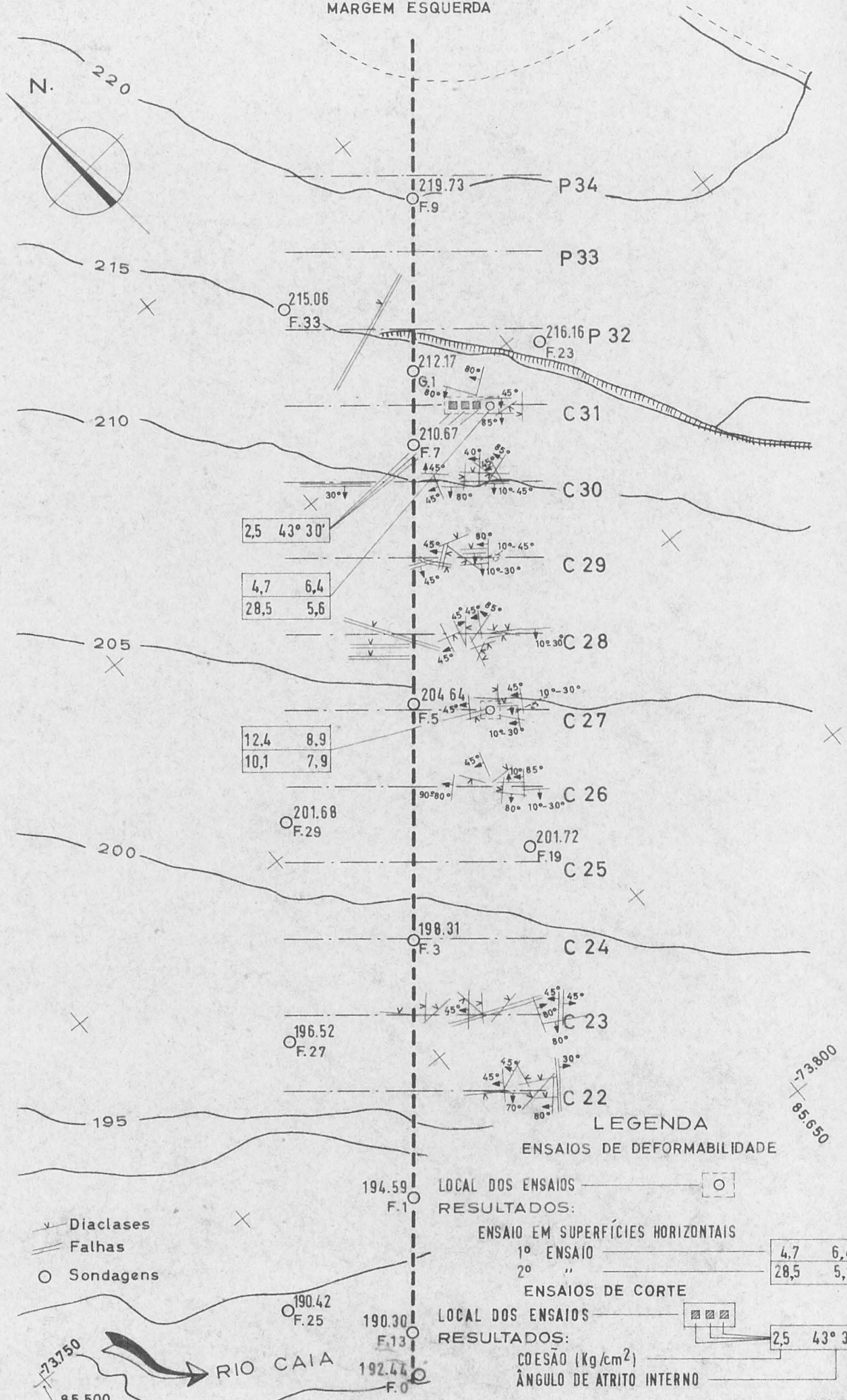
## QUADRO VIII

### ENSAIOS DE DESLIZAMENTO DE DIACLASE ARTIFICIAL EM LABORATÓRIO

Nº DO ENSAIO	TENSÕES DE ROTURA		COESÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )	ÂNGULO DE ATRITO	RECTA DE COULOMB
	NORMAL (kgf/cm <sup>2</sup> )	TANGENCIAL (kgf/cm <sup>2</sup> )			
1	6,3	5,0	1,6	30°	$\tau = 0,58\sigma + 1,6$
2	12,4	9,1			
3	18,3	12,4			
4	24,2	15,6			
5	30,0	18,8			



BARRAGEM DO CAIA  
 RESULTADOS DOS ENSAIOS "IN SITU"  
 MARGEM ESQUERDA



- Diaclases
- Falhas
- Sondagens

LEGENDA  
 ENSAIOS DE DEFORMABILIDADE

LOCAL DOS ENSAIOS

RESULTADOS:

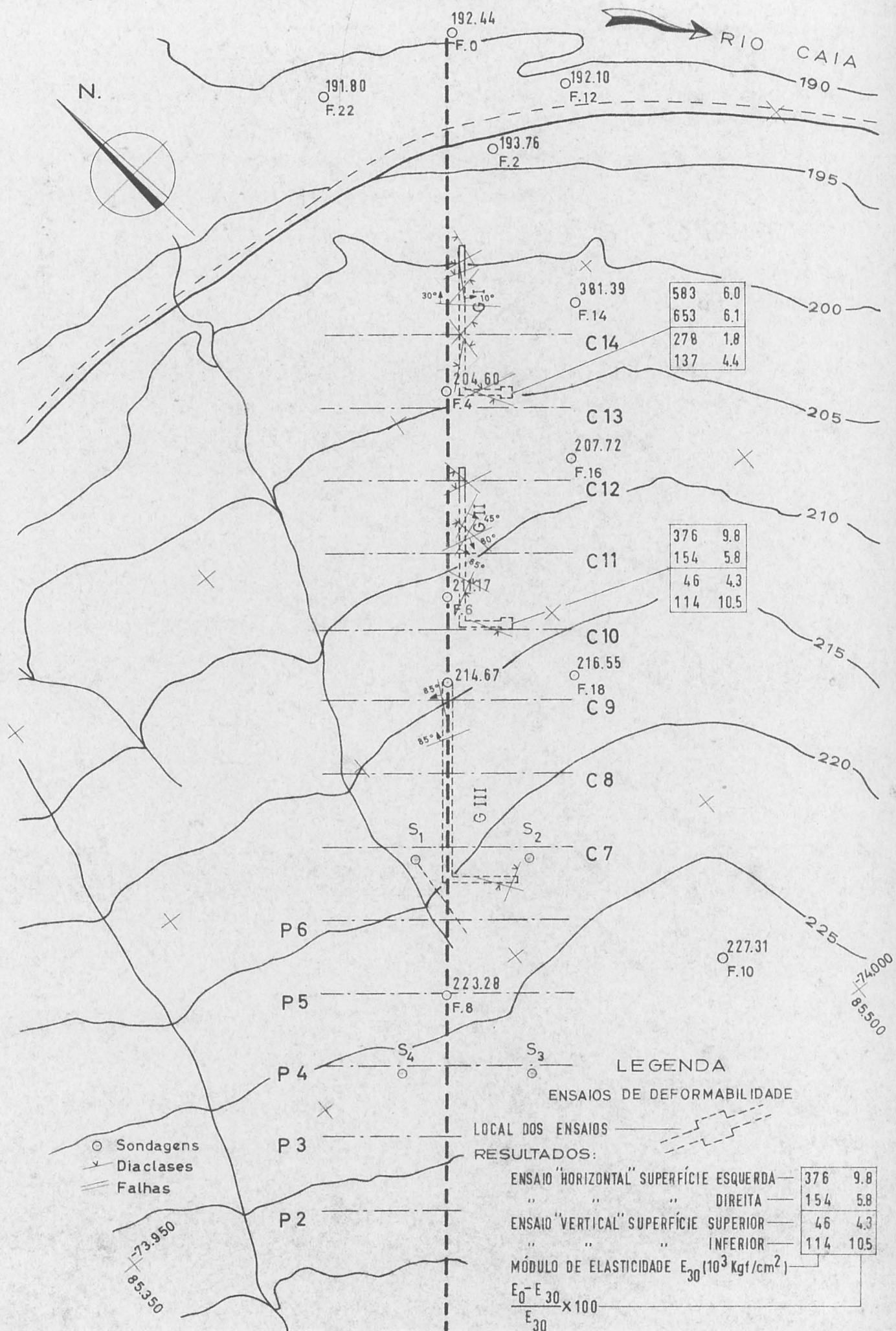
ENSAIO EM SUPERFÍCIES HORIZONTAIS	
1º ENSAIO	4,7    6,4
2º "	28,5    5,6
ENSAIOS DE CORTE	
LOCAL DOS ENSAIOS	
RESULTADOS:	2,5    43° 30'
COESÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )	
ÂNGULO DE ATRITO INTERNO	

73750  
 85.500  
 RIO CAIA

73.800  
 85.500

RESULTADOS DOS ENSAIOS "IN SITU"

MARGEM DIREITA



583	6.0
653	6.1
278	1.8
137	4.4

376	9.8
154	5.8
46	4.3
114	10.5

LEGENDA

ENSAIOS DE DEFORMABILIDADE

LOCAL DOS ENSAIOS

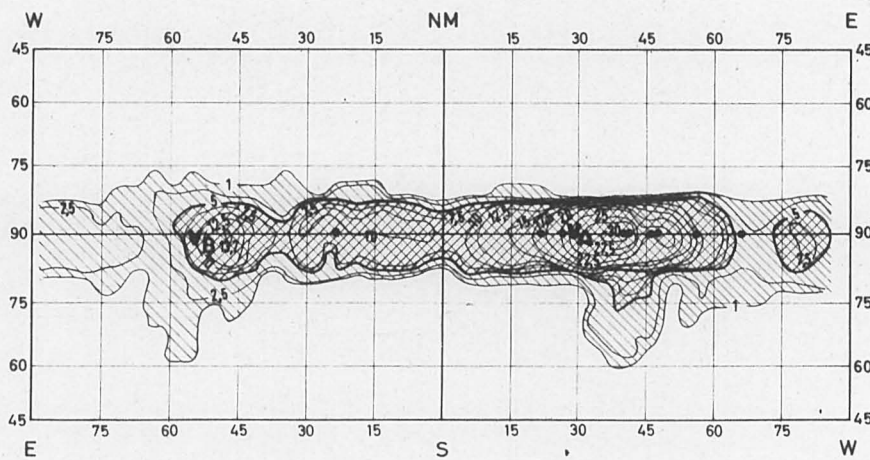
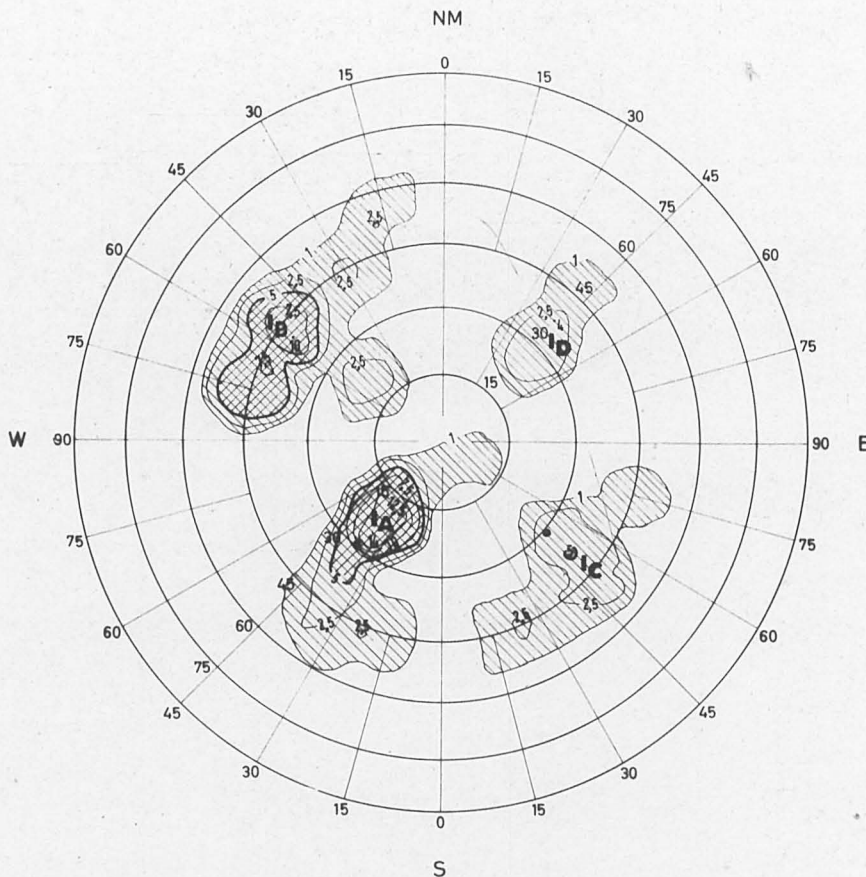
RESULTADOS:

ENSAIO "HORIZONTAL" SUPERFÍCIE ESQUERDA	376	9.8
" " " DIREITA	154	5.8
ENSAIO "VERTICAL" SUPERFÍCIE SUPERIOR	46	4.3
" " " INFERIOR	114	10.5
MÓDULO DE ELASTICIDADE $E_{30}$ ( $10^3 \text{ Kgf/cm}^2$ )		
$\frac{E_0 - E_{30}}{E_{30}} \times 100$		

- Sondagens
- ∨ Diaclases
- Falhas

FUNDAÇÃO DA BARRAGEM DO CAIA

ESTUDO DA COMPARTIMENTAÇÃO DO MACIÇO



Número total de diaclases observadas:  $\Delta = 146$

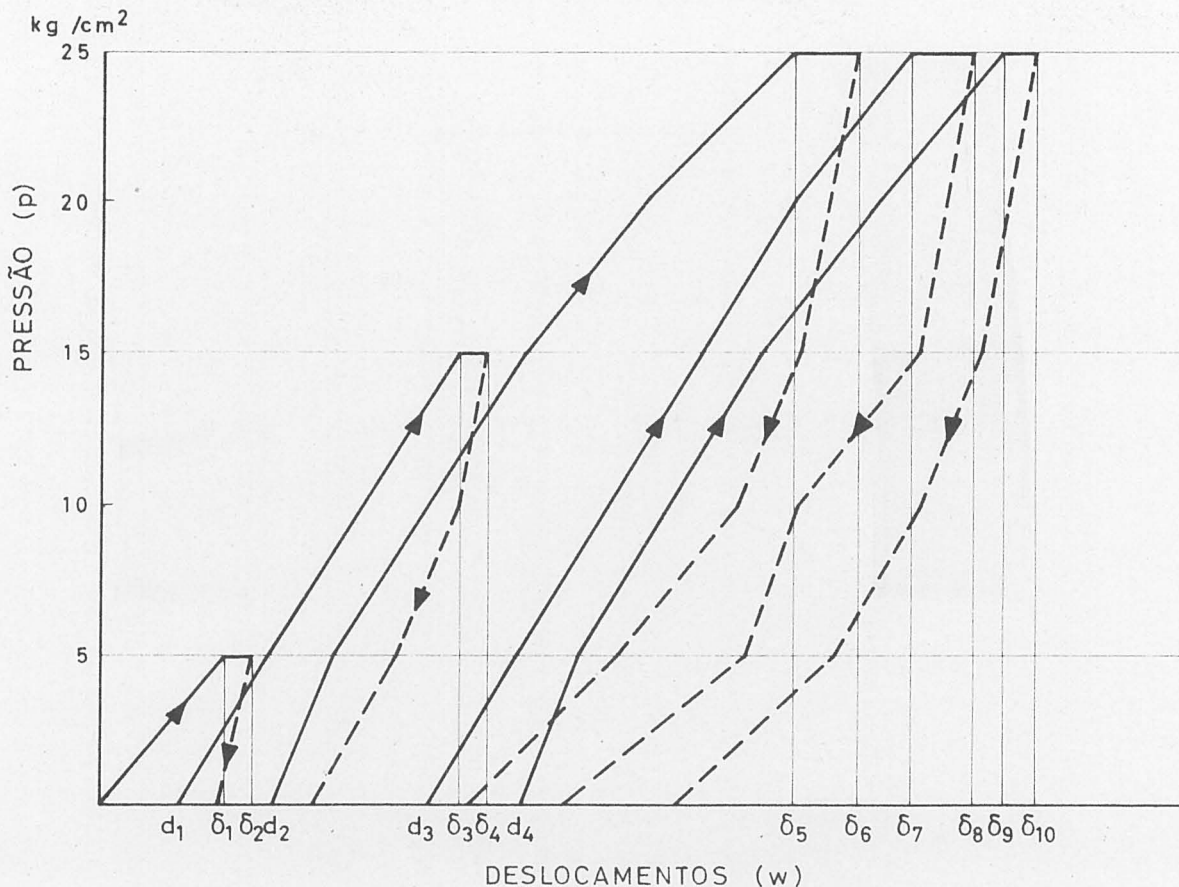
Número de diaclases observadas, cuja orientação difere duma orientação dada não mais que uma distância angular de  $8^{\circ} 6' 35''$  (1% do total de orientações possíveis):  $\Delta$

Unidade de densidade de diaclasamento utilizada:  $200 \frac{\Delta}{A} = 1,37a$

SISTEMAS DE COMPARTIMENTAÇÃO DETECTADOS	DIRECÇÃO PREDOMINANTE	INCLINAÇÃO PREDOMINANTE
$V_A$	N $52^{\circ}$ W	$89^{\circ}$ SW
$V_B$	N $42^{\circ} 30'$ E	$90^{\circ}$
$I_A$	N $53^{\circ}$ W	$26^{\circ}$ SW
$I_B$	N $35^{\circ}$ E	$42^{\circ}$ NW
$I_C$	N $41^{\circ}$ E	$37^{\circ} 30'$ SE
$I_D$	N $49^{\circ}$ W	$37^{\circ} 30'$ NE

ENSAIOS DE DEFORMABILIDADE "IN SITU"

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE



p (kg/cm <sup>2</sup> )	w	E
5	δ <sub>1</sub>	A
5	δ <sub>2</sub>	B
15	δ <sub>3</sub> - d <sub>1</sub>	C
15	δ <sub>4</sub> - d <sub>1</sub>	D
25	δ <sub>5</sub> - d <sub>2</sub>	F
25	δ <sub>6</sub> - d <sub>2</sub>	G
25	δ <sub>7</sub> - d <sub>3</sub>	H
25	δ <sub>8</sub> - d <sub>3</sub>	I
25	δ <sub>9</sub> - d <sub>4</sub>	J
25	δ <sub>10</sub> - d <sub>4</sub>	K

TENSÕES kg/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA (30 min)
5	A	B
15	C	D
25	F	G
25	H	I
25	J	K

- E MÓDULO DE ELASTICIDADE
- p PRESSÃO EXERCIDA SOBRE A ÁREA CIRCULAR
- r RAIO DA ÁREA CIRCULAR
- v COEFICIENTE DE POISSON
- w DESLOCAMENTO DO CENTRO DA ÁREA CIRCULAR
- w<sub>nd</sub> DESLOCAMENTO AO FIM DE n DIAS DE FLUÊNCIA
- w<sub>∞</sub> " " " " UM TEMPO INFINITO

$$E = \frac{2pr(1-v^2)}{w}$$

$$E_0 = \frac{C + \frac{F+H+J}{3}}{2}$$

$$E_{30} = \frac{D + \frac{G+I+K}{3}}{2}$$

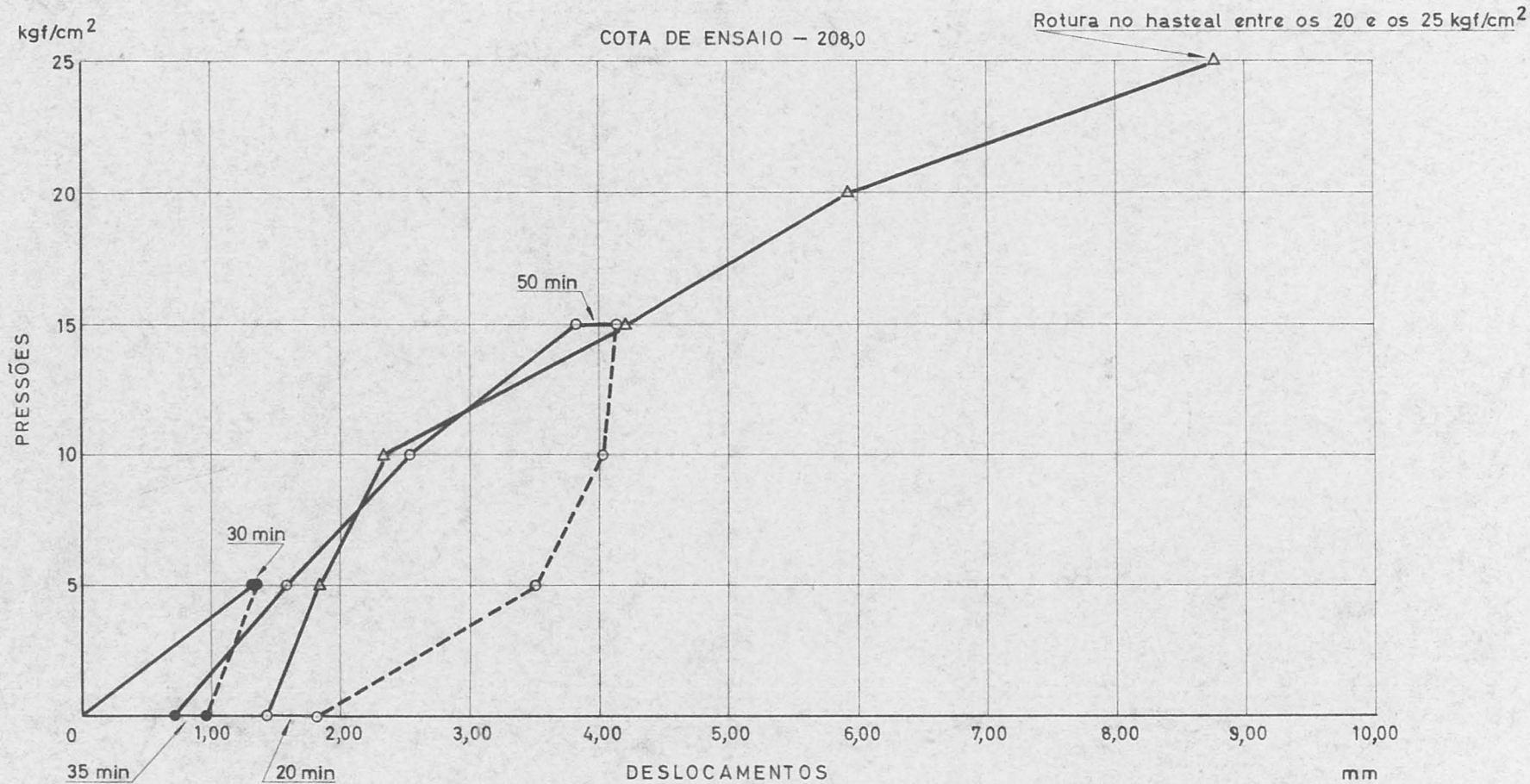
$$E_{nd} = \frac{2pr(1-v^2)}{w_{nd}}$$

$$E_{\infty} = \frac{2pr(1-v^2)}{w_{\infty}}$$

# CONTRAFORTE Nº 31

## ENSAIO VERTICAL

COTA DE ENSAIO - 208,0



TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA (minutos)	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	4 420	4 340	30	35
○ 15	5 570	5 060	50	20

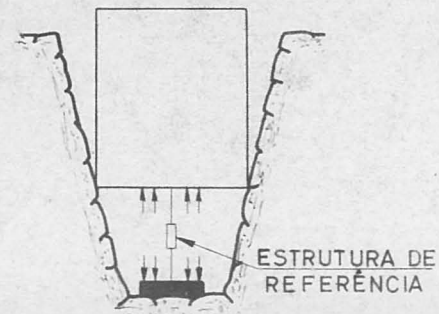


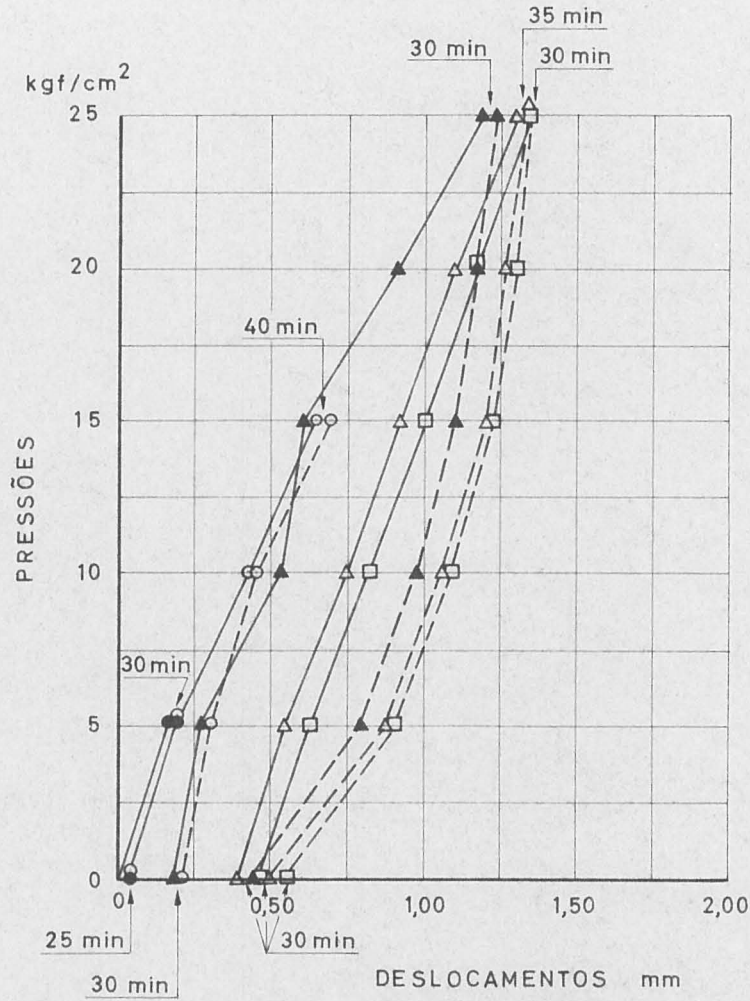
FIG. 5

115/10/140

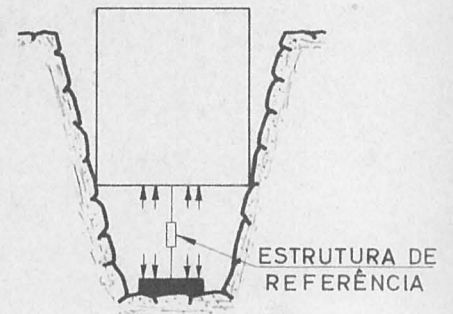
CONTRAFORTE Nº 31

ENSAIO VERTICAL

COTA DE ENSAIO 202,0



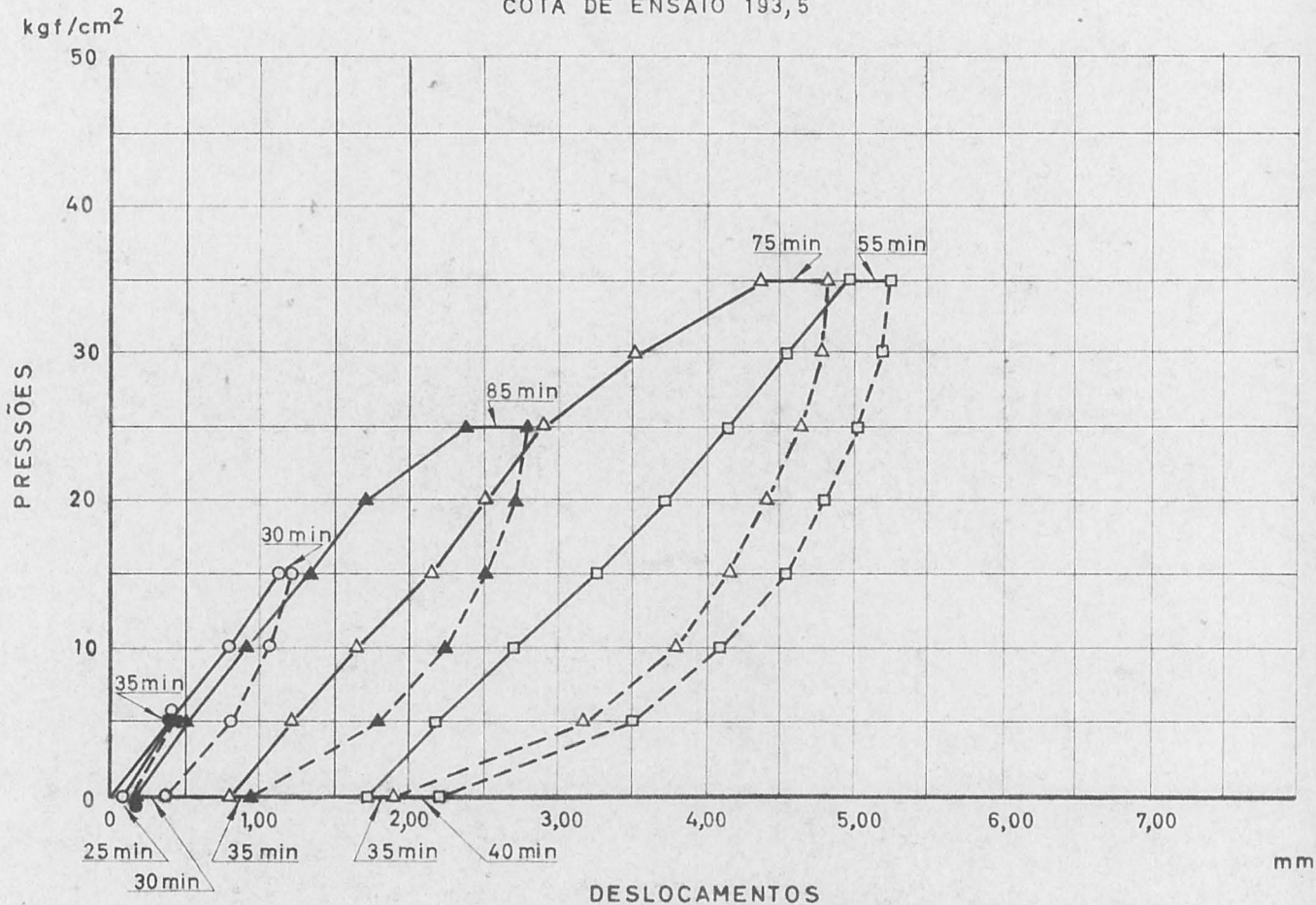
TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA (minutos)	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	34940	30690	30	25
○ 15	28860	26650	40	30
▲ 25	29140	27700	30	30
△ 25	31870	30590	35	30
□ 25	33140	32510	30	30



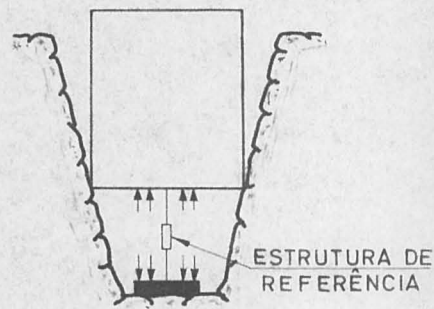
CONTRAFORTE Nº 27

ENSAIO VERTICAL

COTA DE ENSAIO 193,5



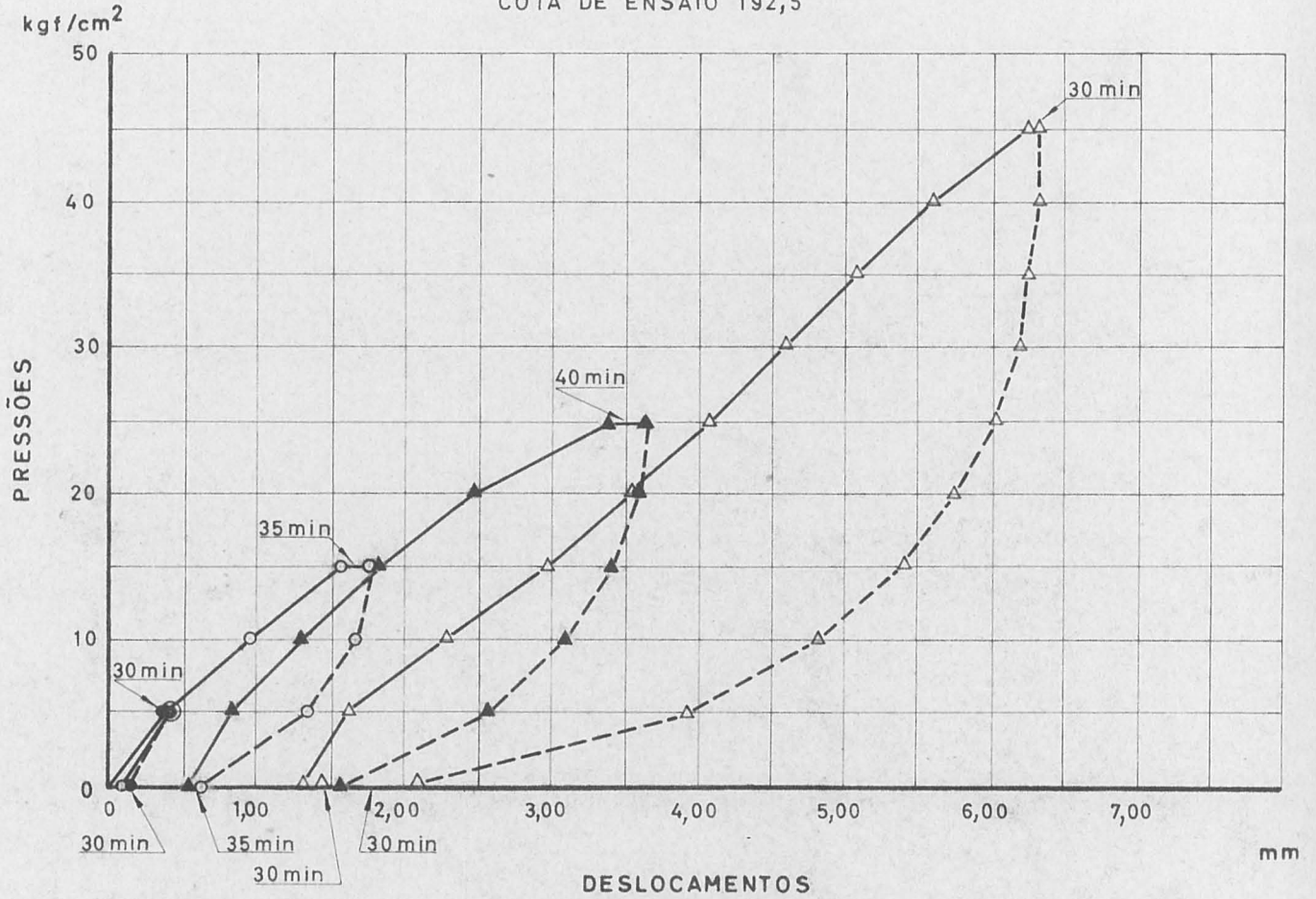
TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA (minutos)	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	15 930	14 280	35	25
○ 15	16 380	15 510	30	30
▲ 25	13 000	10 910	85	35
△ 35	10 450	10 000	75	35
□ 35	12 060	11 430	55	40



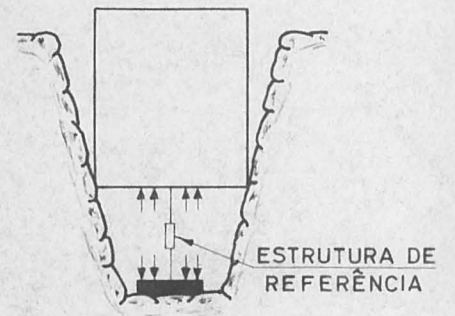
CONTRAFORTE Nº 27

ENSAIO VERTICAL

COTA DE ENSAIO 192,5



TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA (minutos)	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	14 870	13 970	30	30
○ 15	11 930	10 560	35	35
▲ 25	10 210	9 300	40	30
△ 45	10 620	10 450	30	30

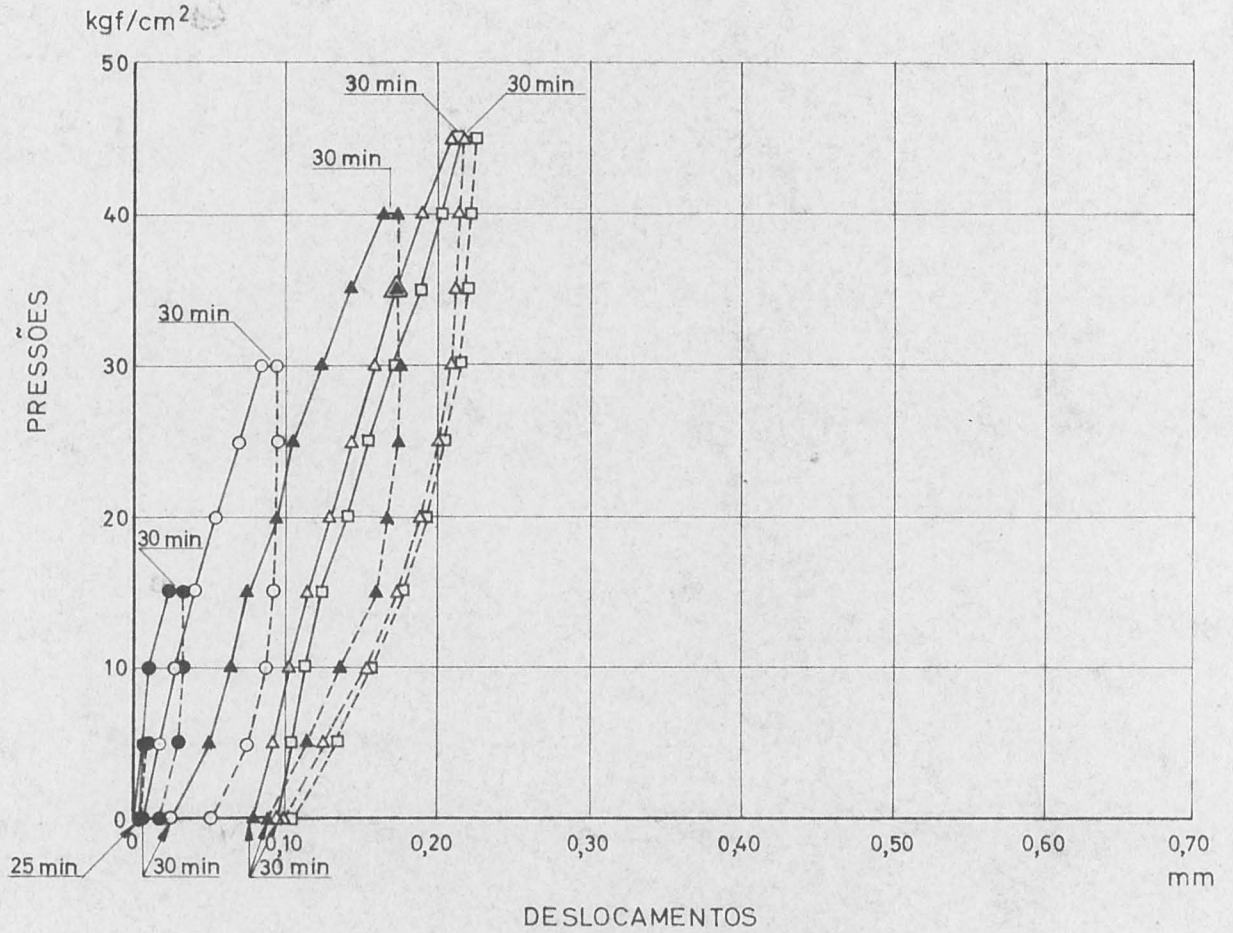




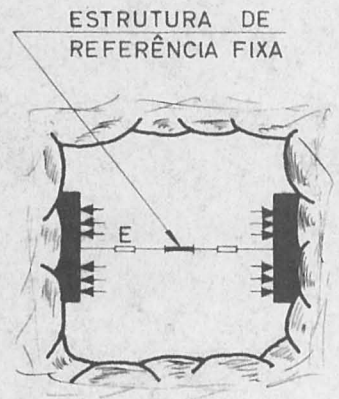
GALERIA II - CAIXA Nº 1

ENSAIO HORIZONTAL

DESLOCAMENTOS ESQUERDOS



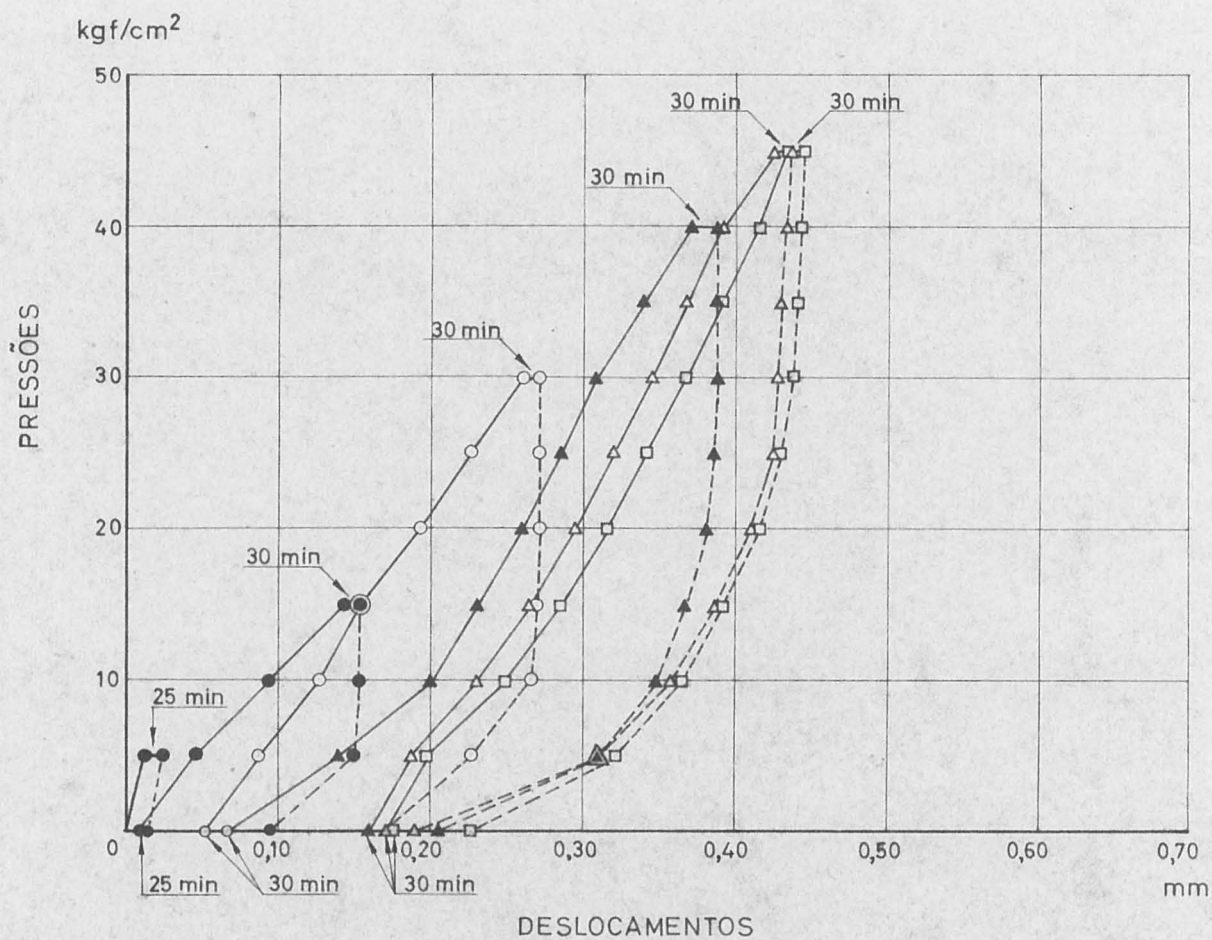
TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA min	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	966 700	725 000	25	30
● 15	870 000	621 400	30	30
○ 30	483 300	424 400	30	30
▲ 40	336 200	309 300	30	30
△ 45	401 500	378 300	30	25
□ 45	435 000	407 800	30	30



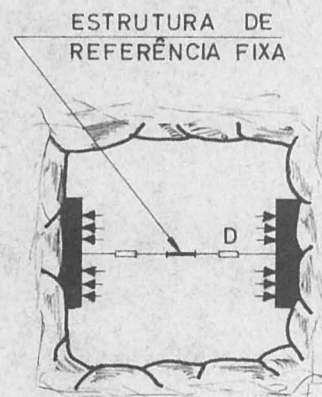
GALERIA II — CAIXA Nº 1

ENSAIO HORIZONTAL

DESLOCAMENTOS DIREITOS



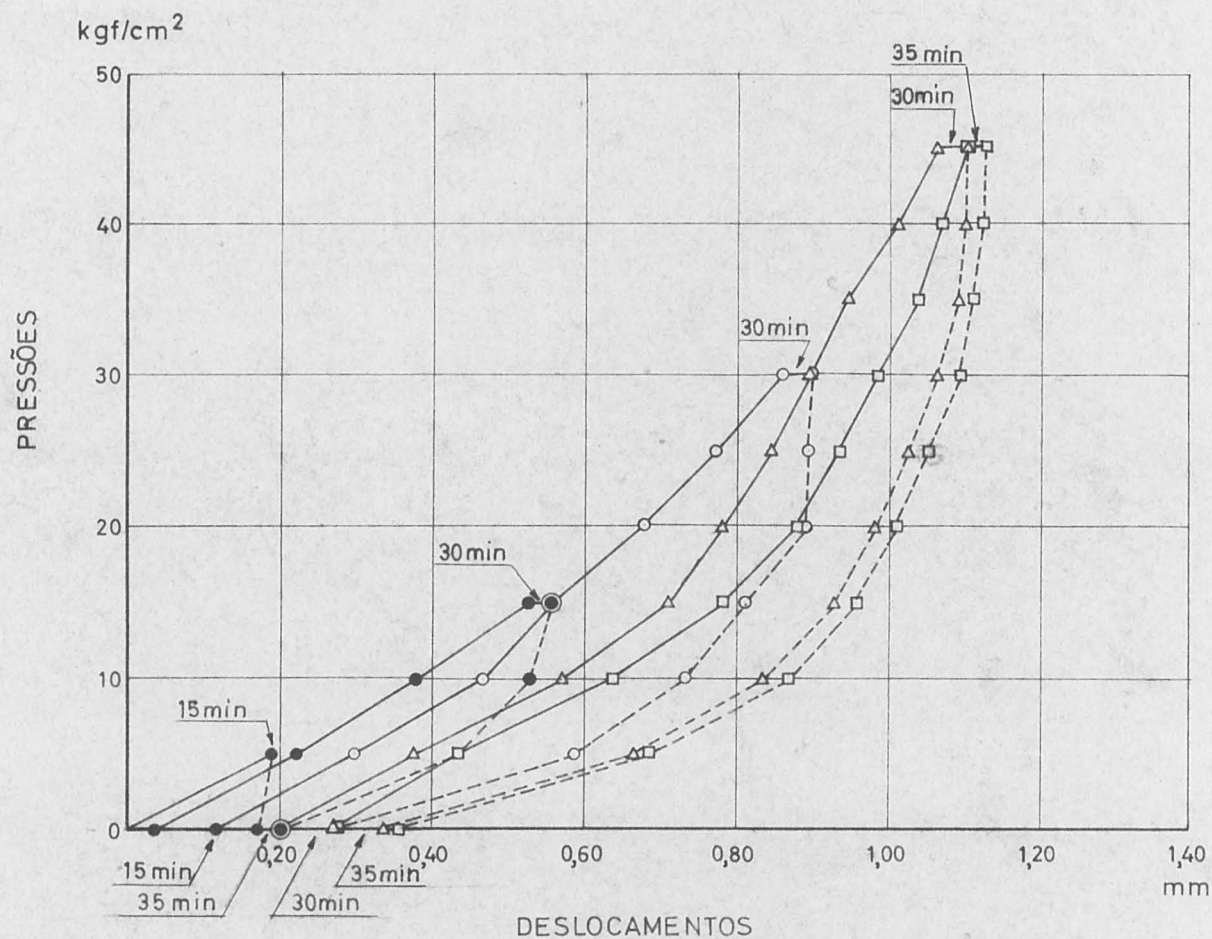
TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA min	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	483 300	241 700	25	30
● 15	133 300	122 500	30	30
○ 30	167 300	159 600	30	30
▲ 40	153 600	145 000	30	30
△ 45	197 700	189 100	30	25
□ 45	196 200	190 500	30	30



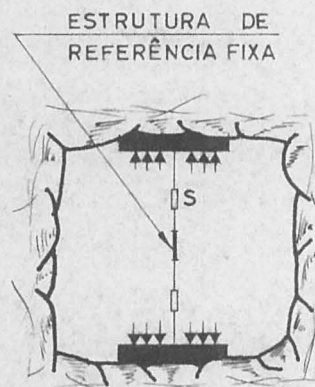
GALERIA II — CAIXA Nº 1

ENSAIO VERTICAL

DESLOCAMENTOS SUPERIORES



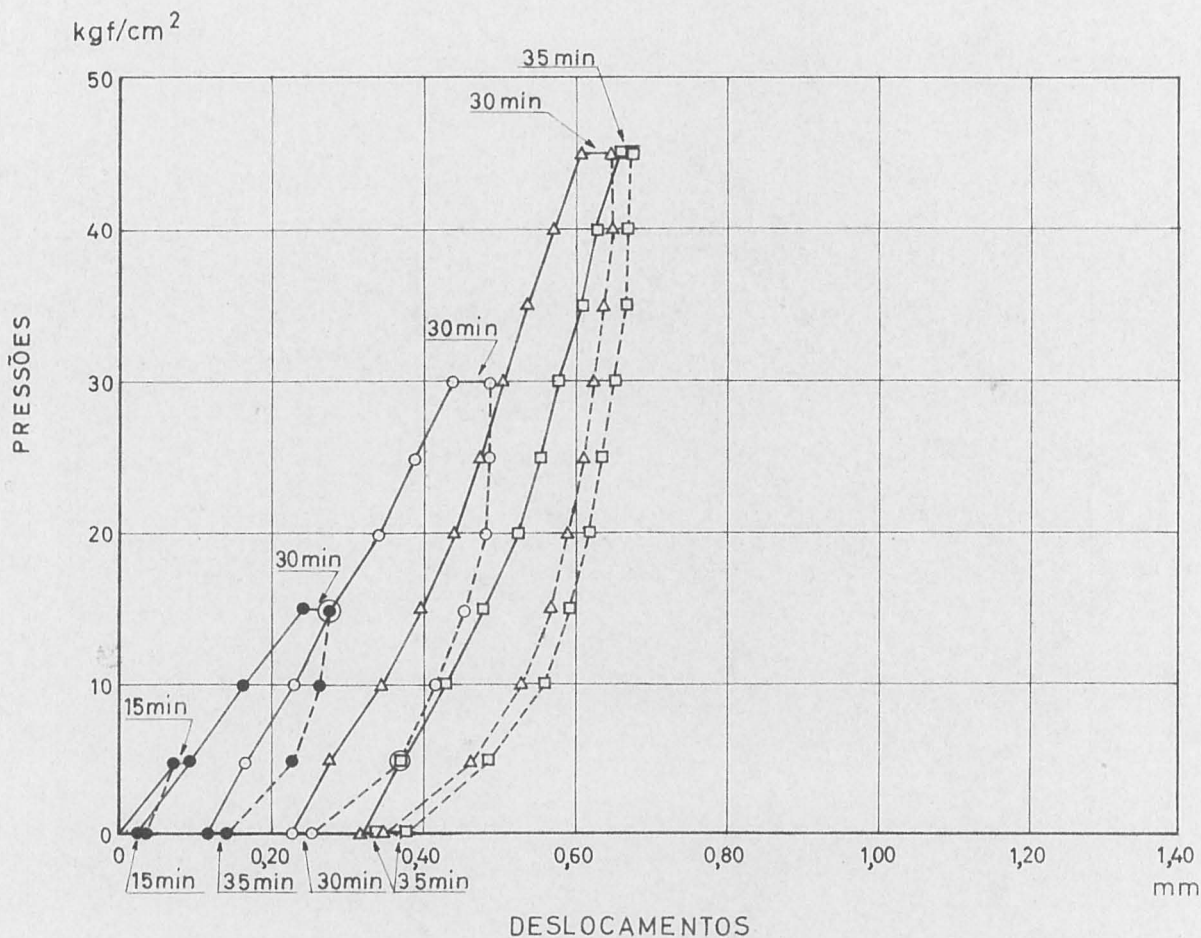
TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA min	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	29 900	29 600	15	15
● 15	35 400	33 200	30	35
○ 30	47 000	44 800	30	30
△ 45	60 300	58 000	30	35
□ 45	62 000	60 700	35	35
—	—	—	—	—



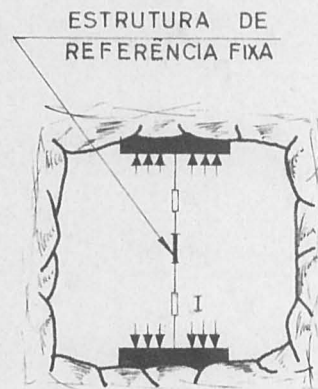
GALERIA II — CAIXA N<sup>o</sup>1

ENSAIO VERTICAL

DESLOCAMENTOS INFERIORES



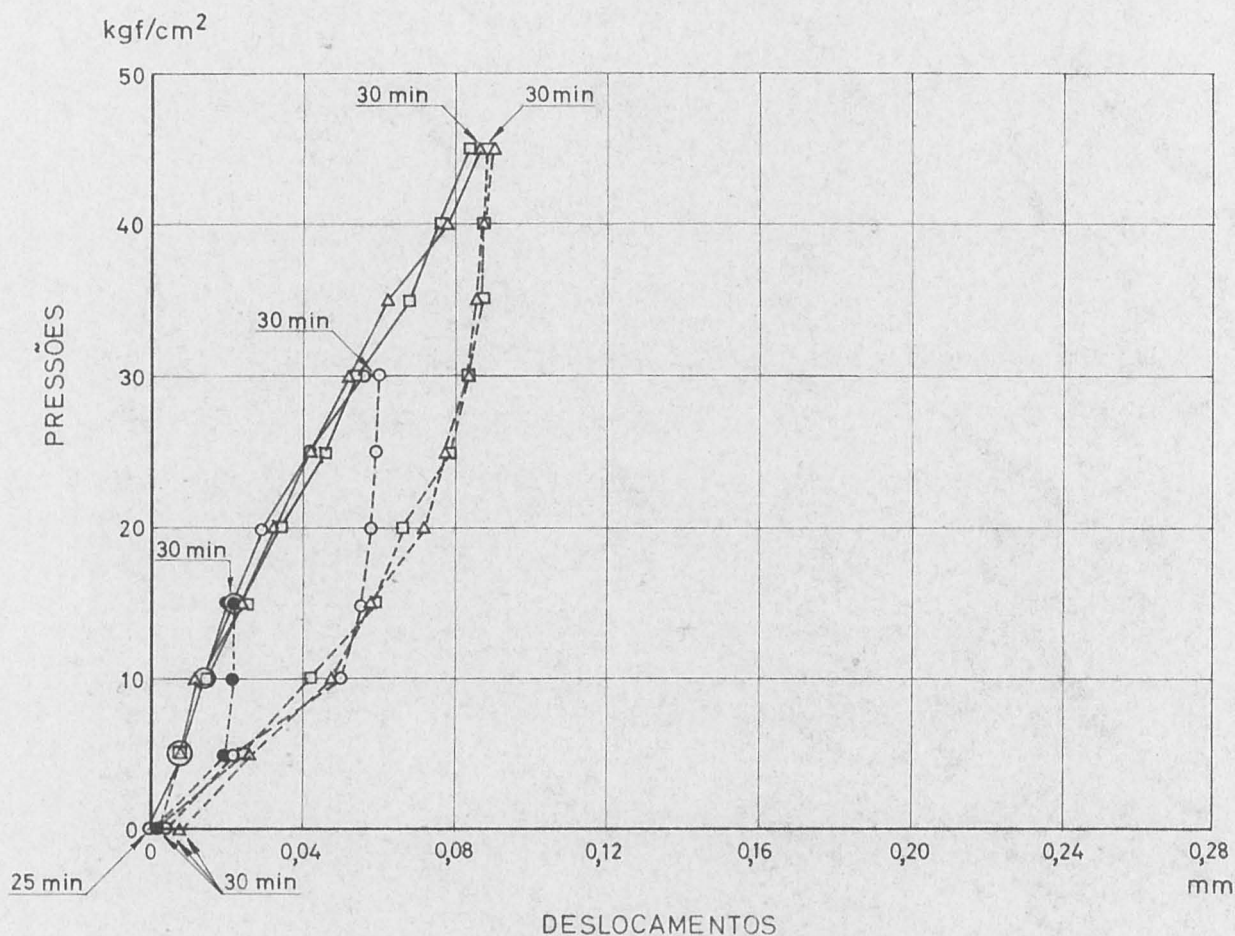
TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA min	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	47 800	74 400	15	15
● 15	80 600	68 500	30	35
○ 30	107 400	93 500	30	30
△ 45	135 900	124 300	30	35
□ 45	154 400	145 800	35	35
—	—	—	—	—



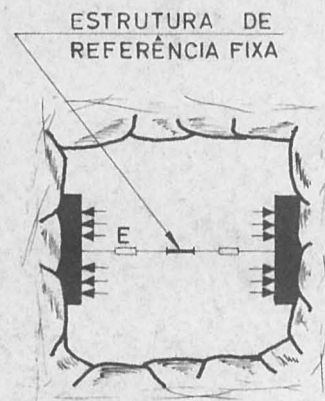
GALERIA I - CAIXA Nº 1

ENSAIO HORIZONTAL

DESLOCAMENTOS ESQUERDOS



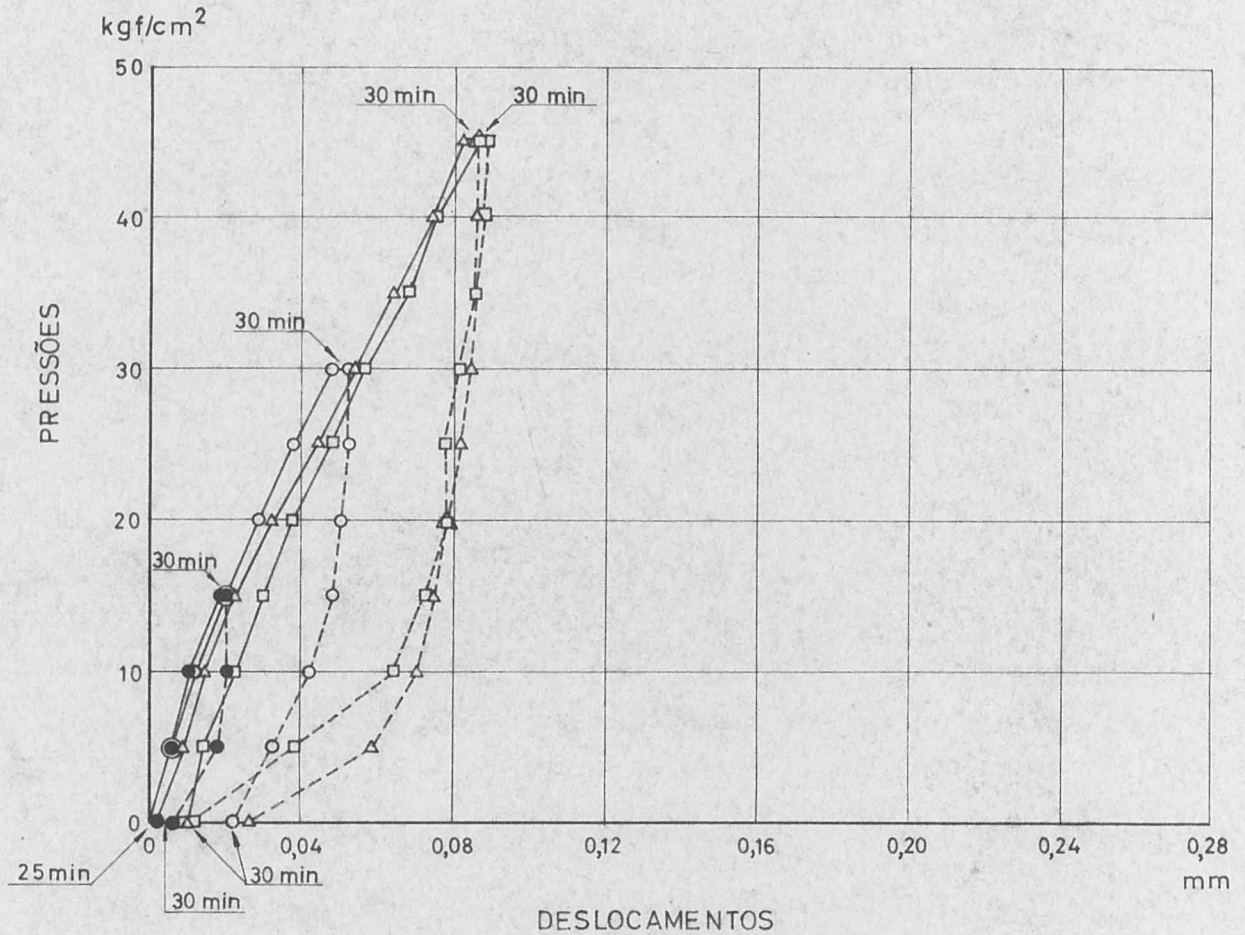
TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MODULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA min	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	725 000	—	—	5
● 15	870 000	790 900	30	25
○ 30	621 400	580 000	30	30
△ 45	607 000	580 000	30	30
□ 45	621 400	593 200	30	30
—	—	—	—	—



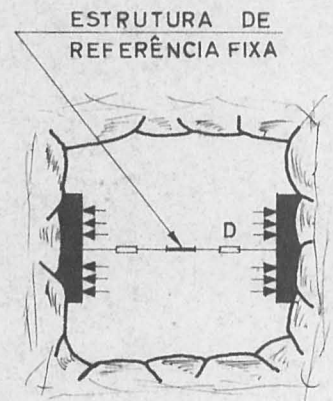
GALERIA I — CAIXA Nº 1

ENSAIO HORIZONTAL

DESLOCAMENTOS DIREITOS



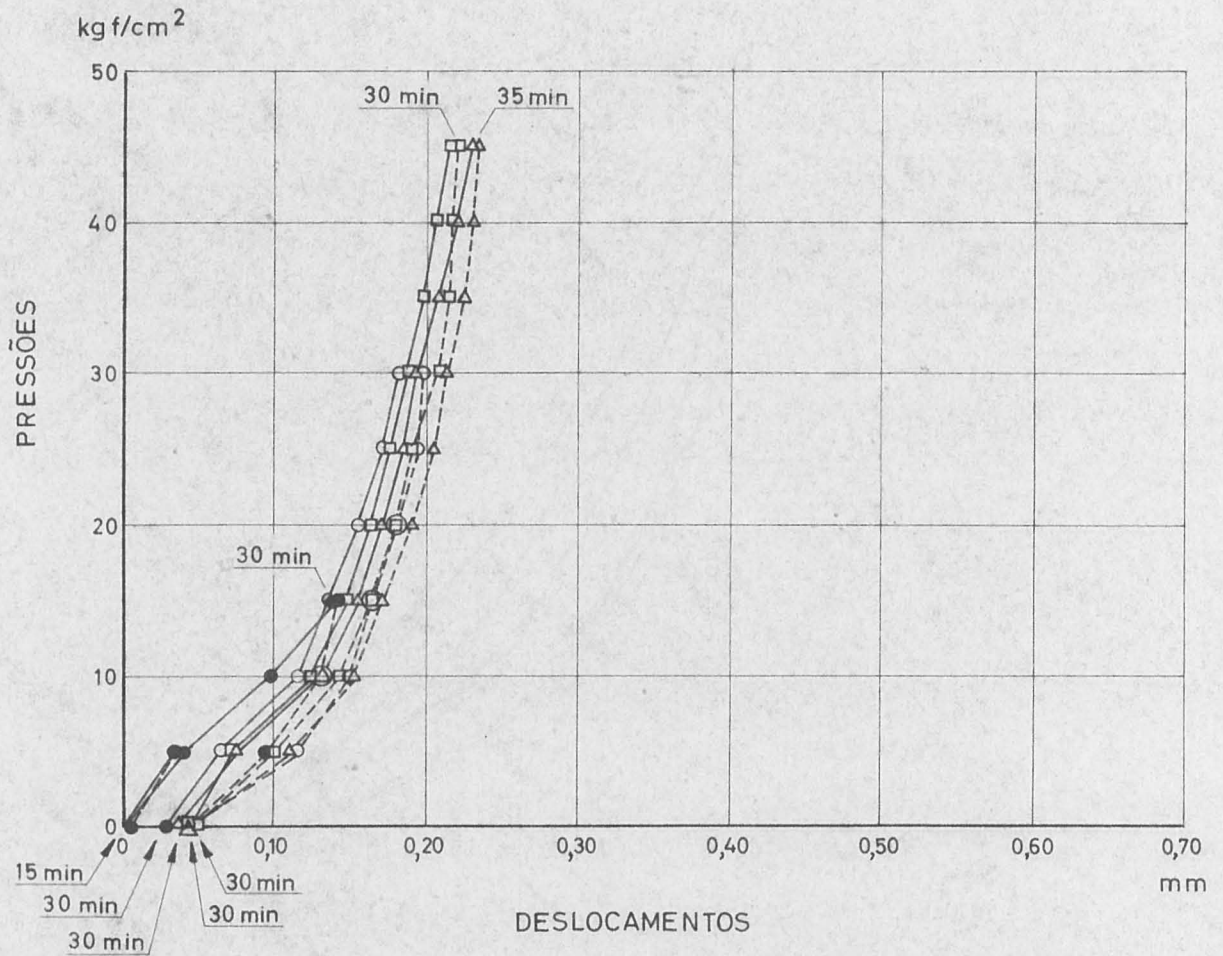
TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA min	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	966 700	—	—	5
● 15	966 700	870 000	30	25
○ 30	725 000	669 200	30	30
△ 45	652 500	621 400	30	30
□ 45	669 200	652 500	30	30
—	—	—	—	—



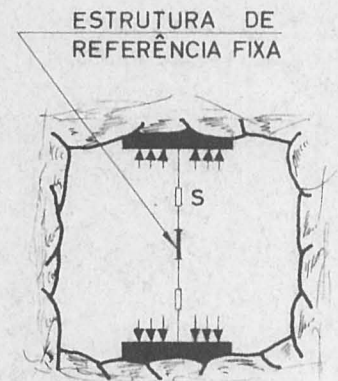
GALERIA I — CAIXA Nº 1

ENSAIO VERTICAL

DESLOCAMENTOS SUPERIORES



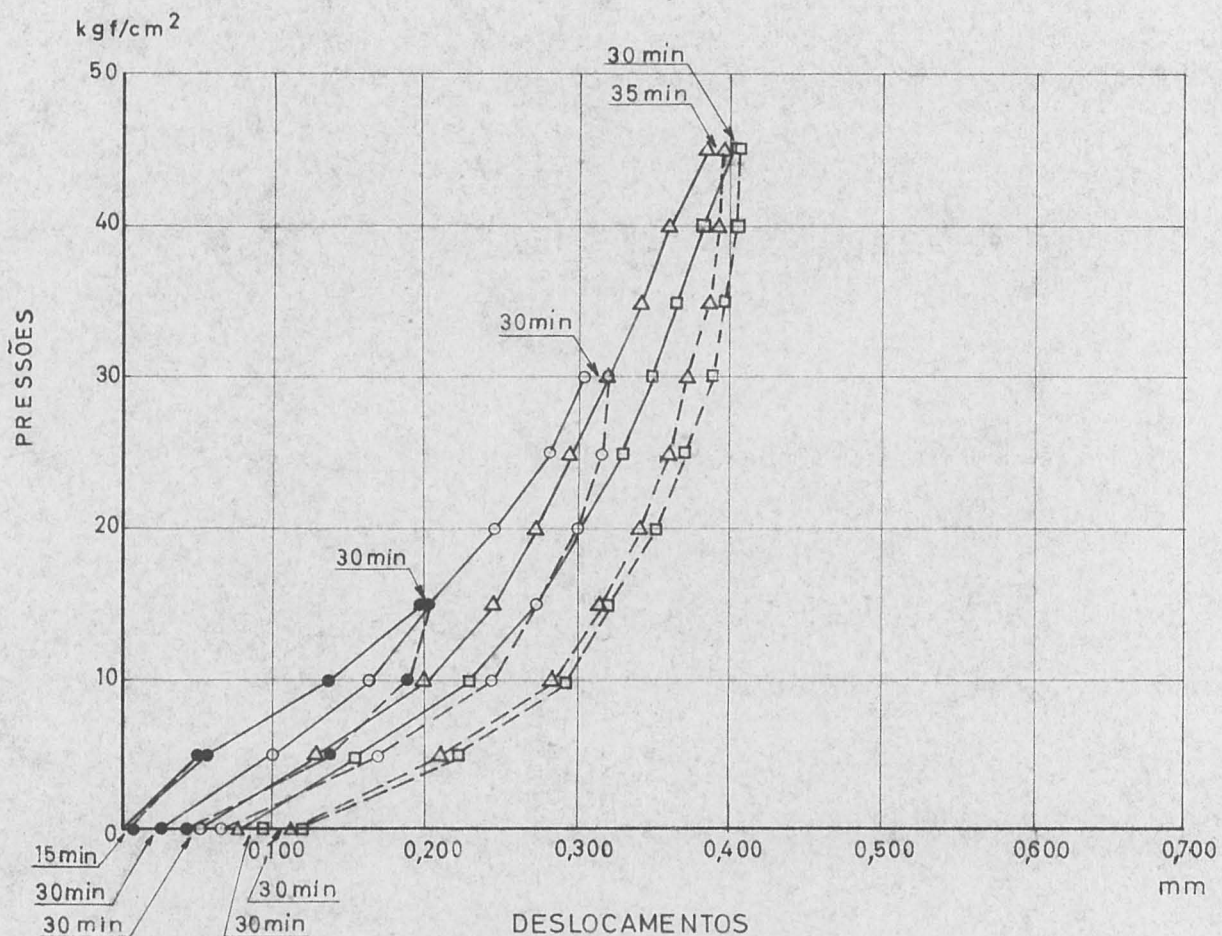
TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA min	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
● 5	161 100	—	—	15
● 15	127 900	126 100	30	30
○ 30	226 000	207 100	30	30
△ 45	271 900	269 100	35	30
□ 45	293 300	286 800	30	30
—	—	—	—	—



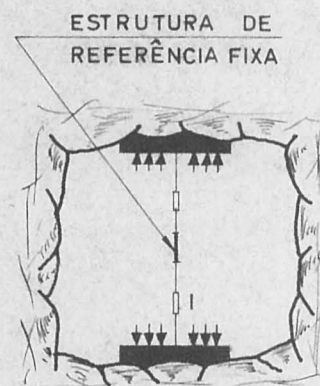
GALERIA I — CAIXA N° 1

ENSAIO VERTICAL

DESLOCAMENTOS INFERIORES



TENSÕES kgf/cm <sup>2</sup>	MÓDULOS DE ELASTICIDADE kgf/cm <sup>2</sup>		TEMPOS DE FLUÊNCIA min	
	INSTANTÂNEO	FIM DE FLUÊNCIA	À TENSÃO MÁXIMA	NA DESCARGA
• 5	111 500	—	—	15
• 15	87 900	85 300	30	30
○ 30	126 100	119 200	30	30
△ 45	156 300	151 700	35	30
□ 45	162 100	159 100	30	30
—	—	—	—	—





CONTRAFORTE Nº 31  
 ENSAIO VERTICAL  
 COTA 202,0

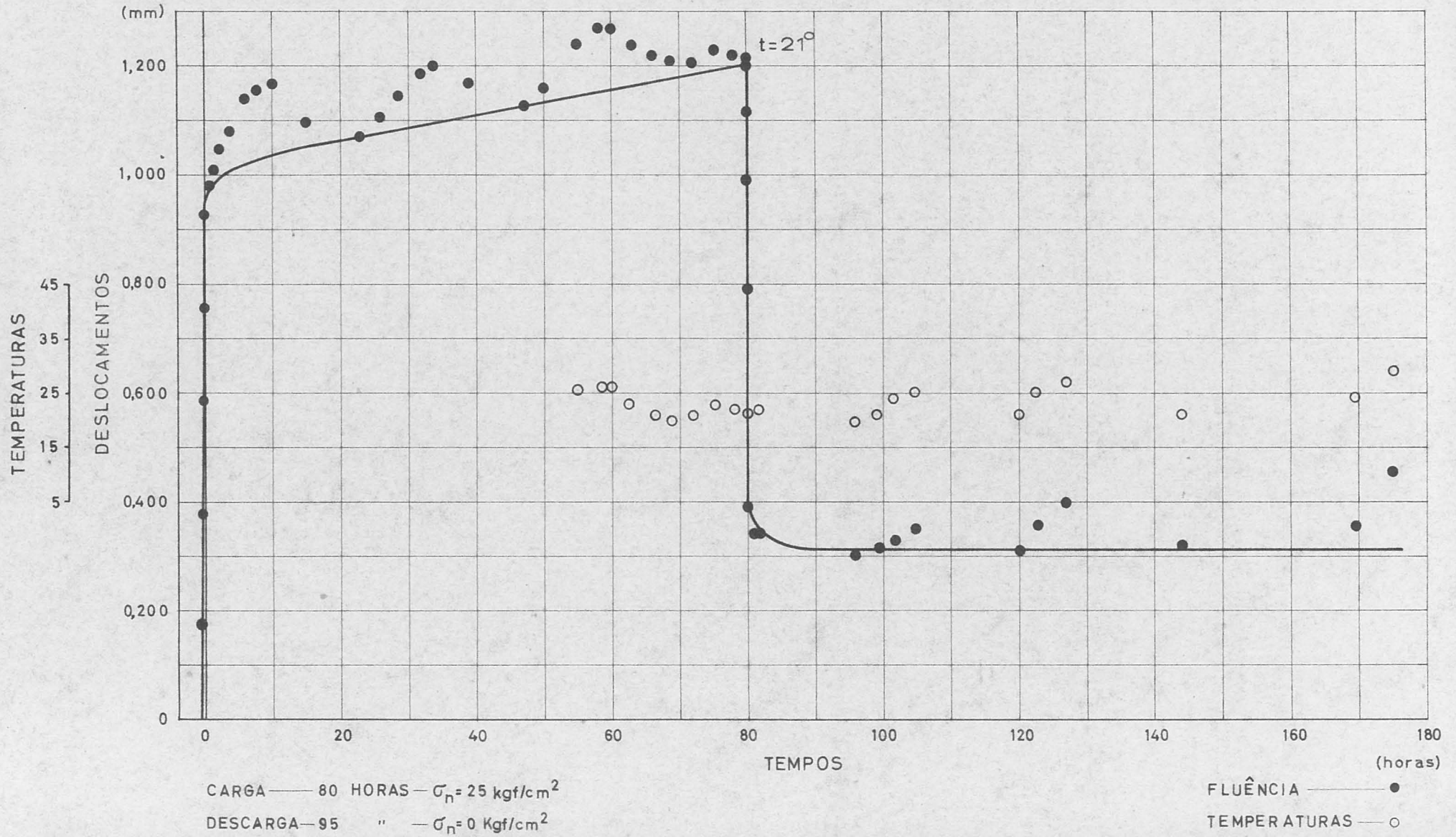
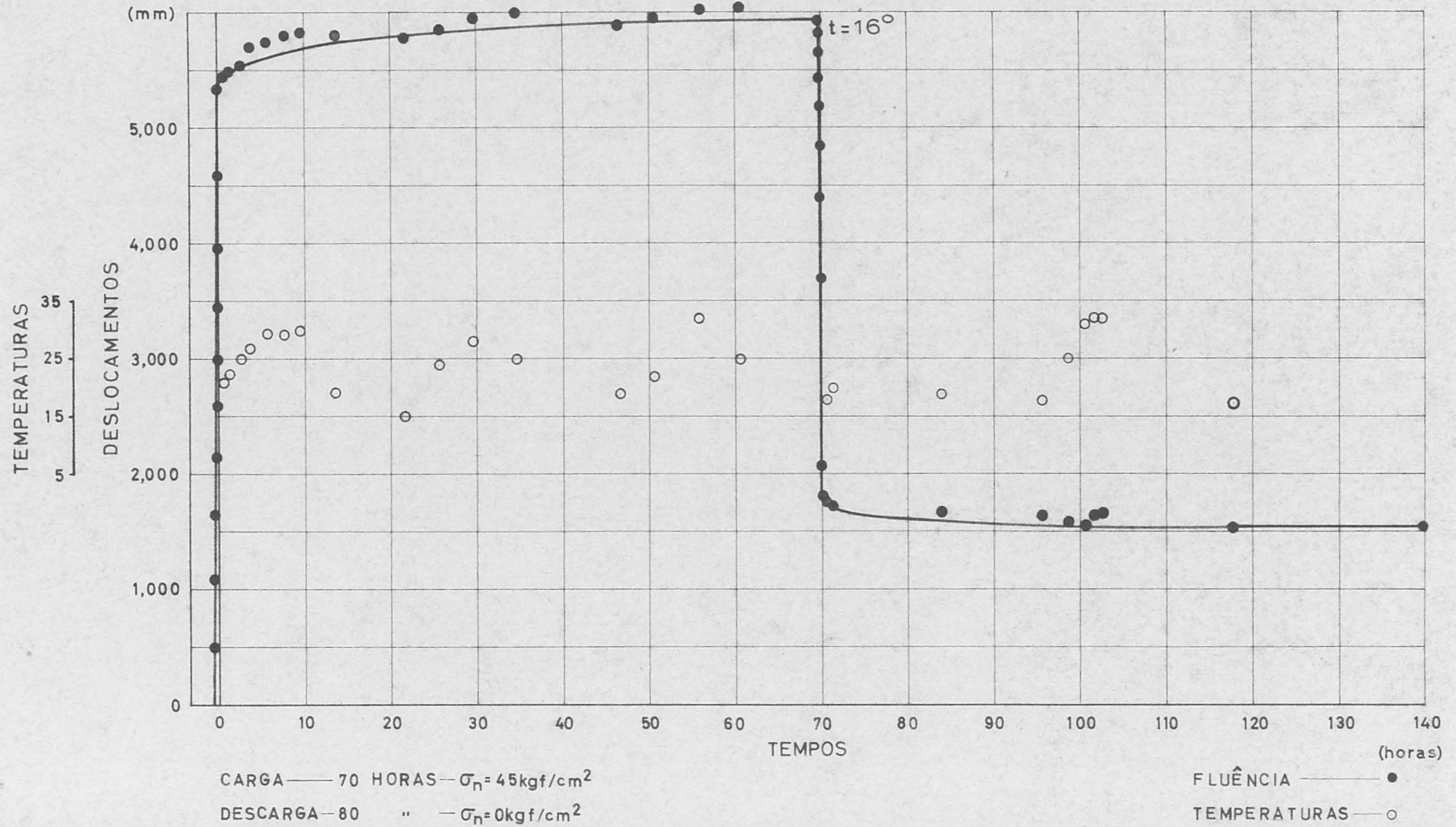
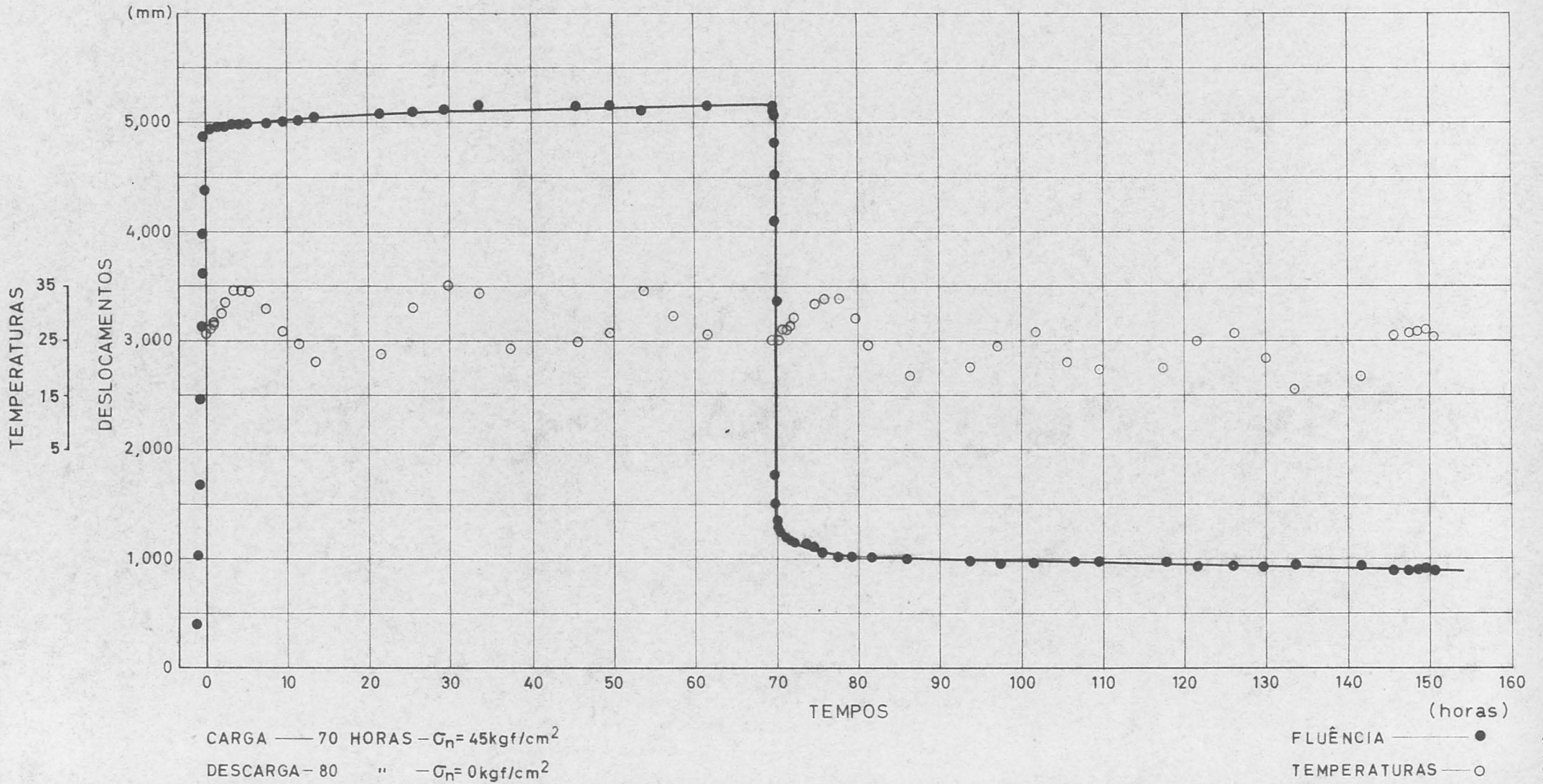


FIG. 17

CONTRAFORTE Nº 27  
 ENSAIO VERTICAL  
 COTA 193,5



CONTRAFORTE Nº 27  
 ENSAIO VERTICAL  
 COTA 192,5



GALERIA I - CAIXA Nº1

ENSAIO HORIZONTAL

FLUÊNCIA DE 72 HORAS

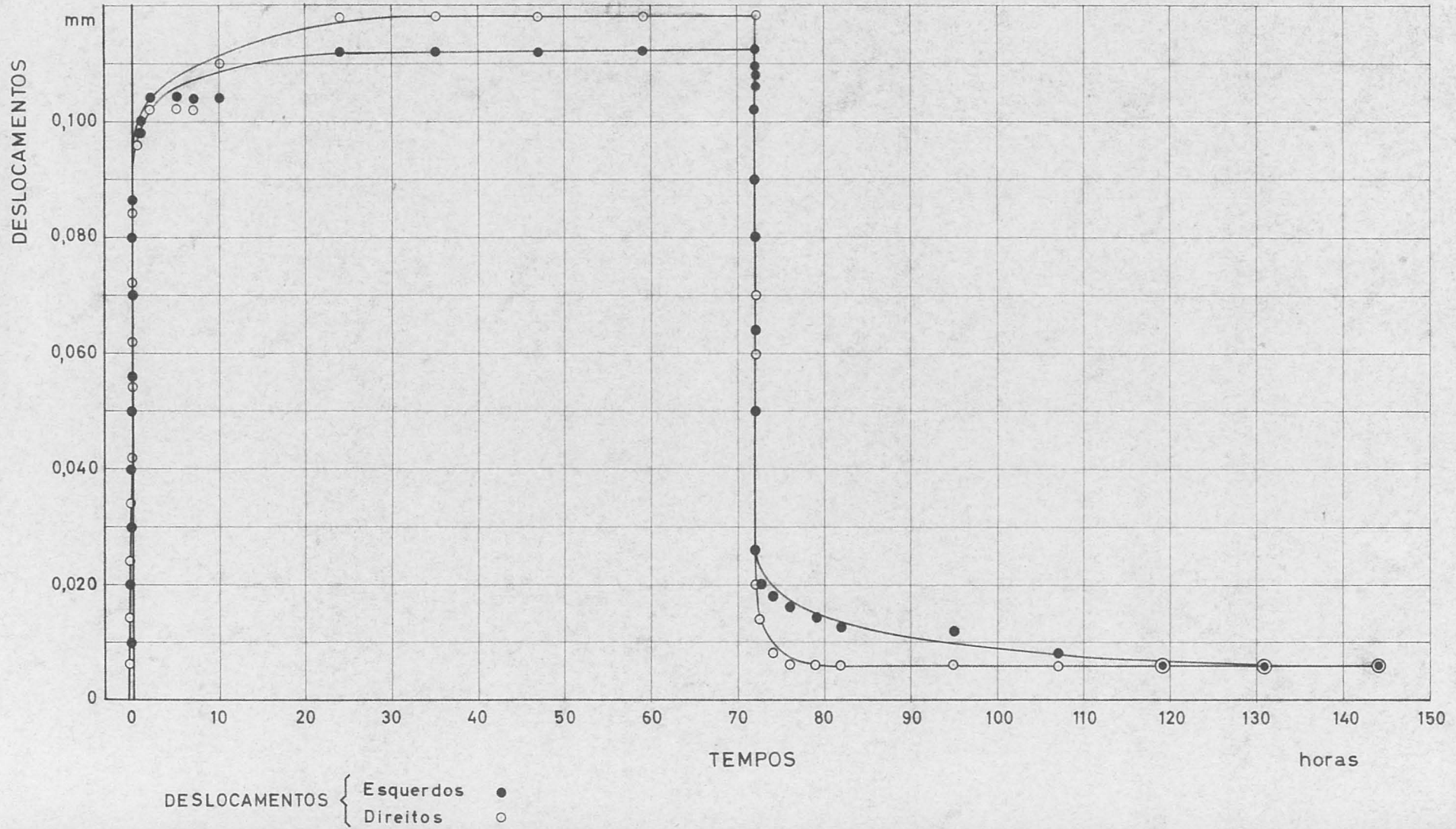
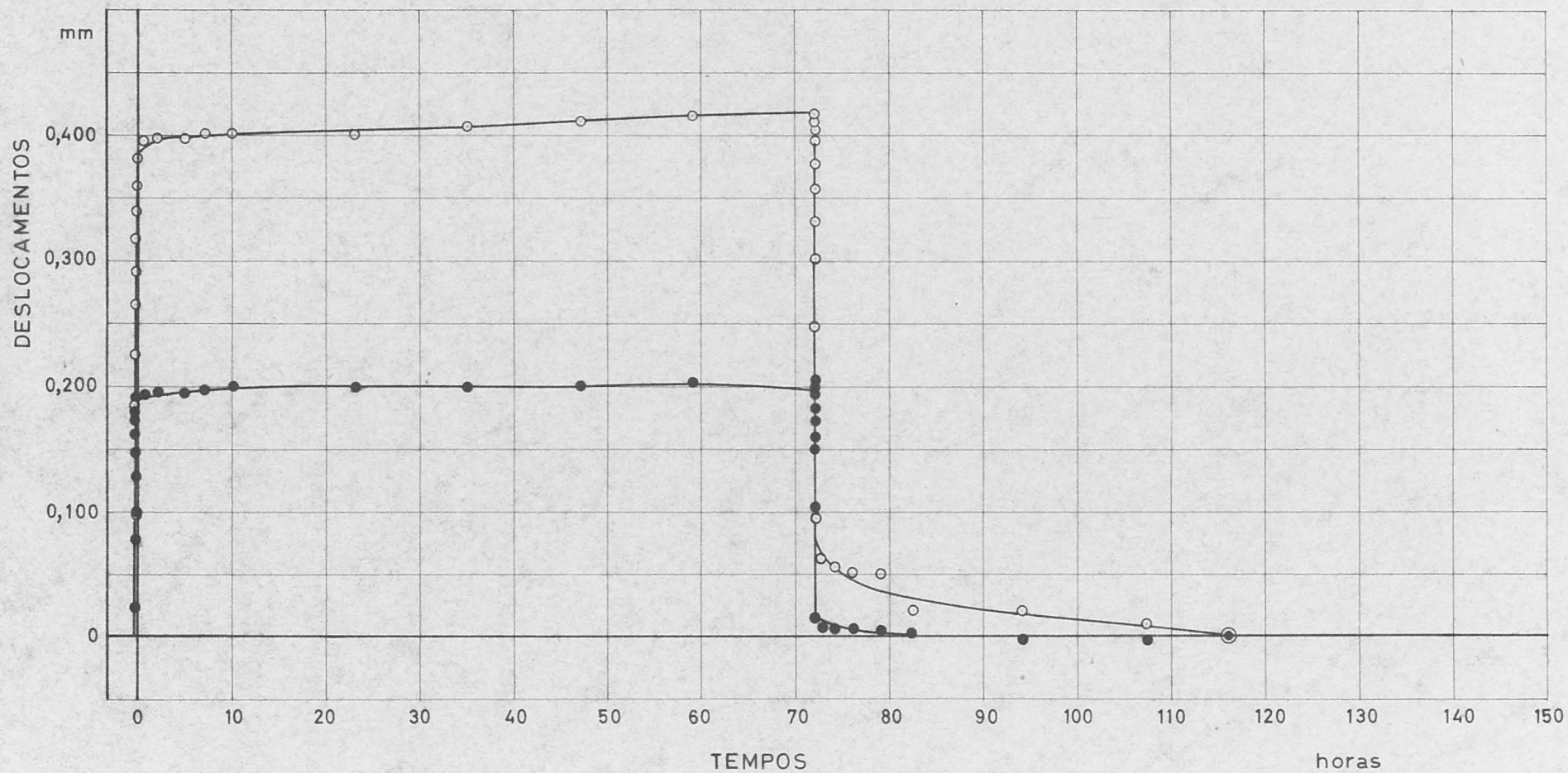


FIG. 20

GALERIA I — CAIXA Nº1

ENSAIO VERTICAL

FLUÊNCIA DE 72 HORAS

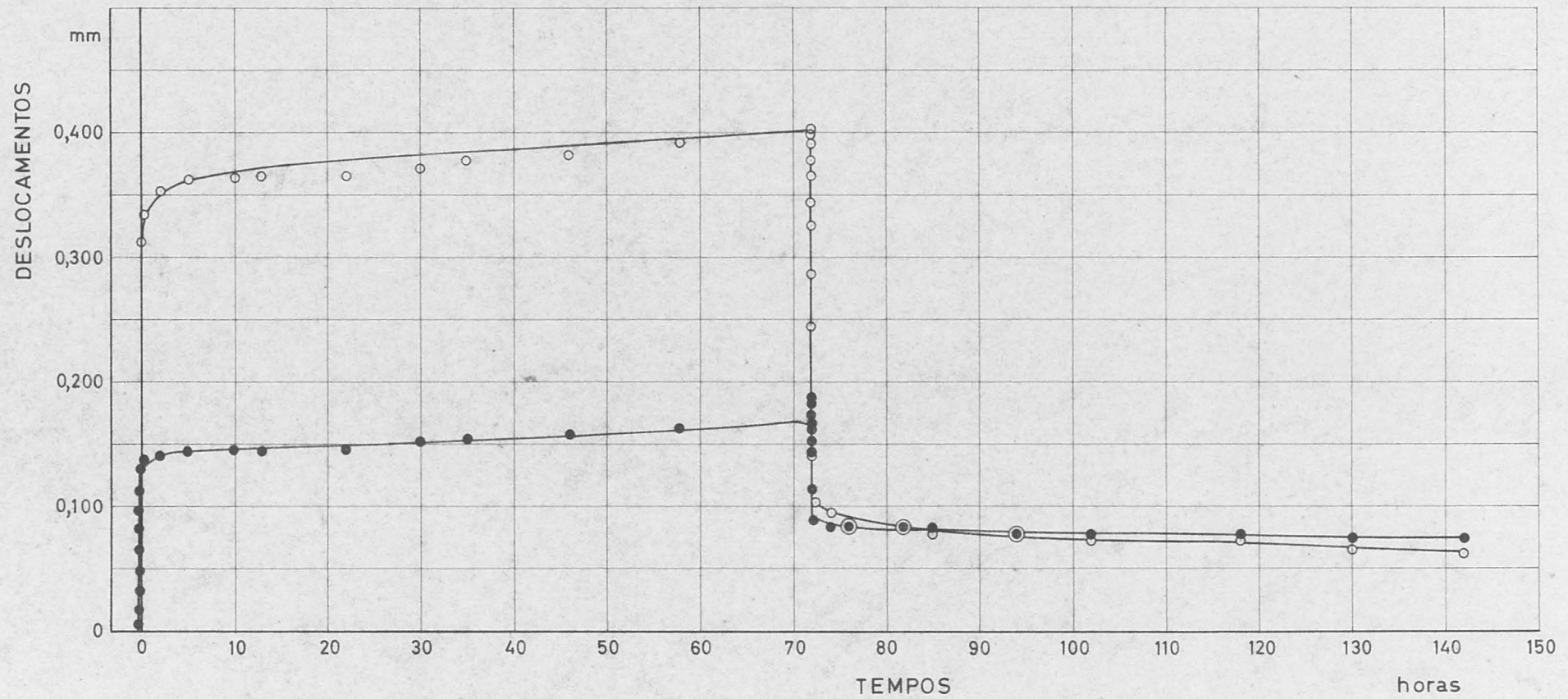


DESLOCAMENTOS { Superiores ●  
Inferiores ○

# GALERIA II - CAIXA Nº1

ENSAIO HORIZONTAL

FLUÊNCIA DE 72 HORAS

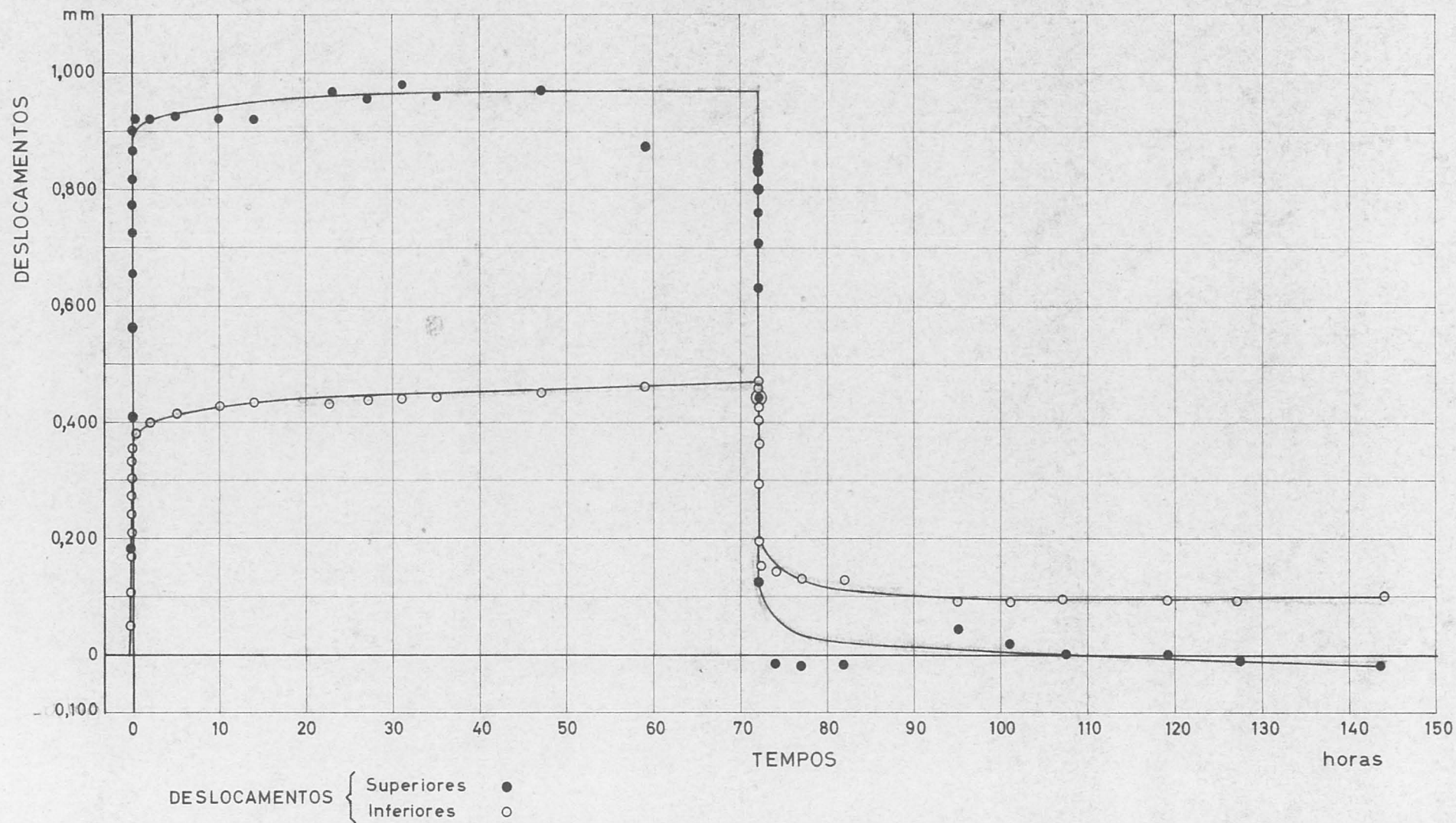


DESLOCAMENTOS { Esquerdos ●  
Direitos ○

GALERIA II - CAIXA Nº1

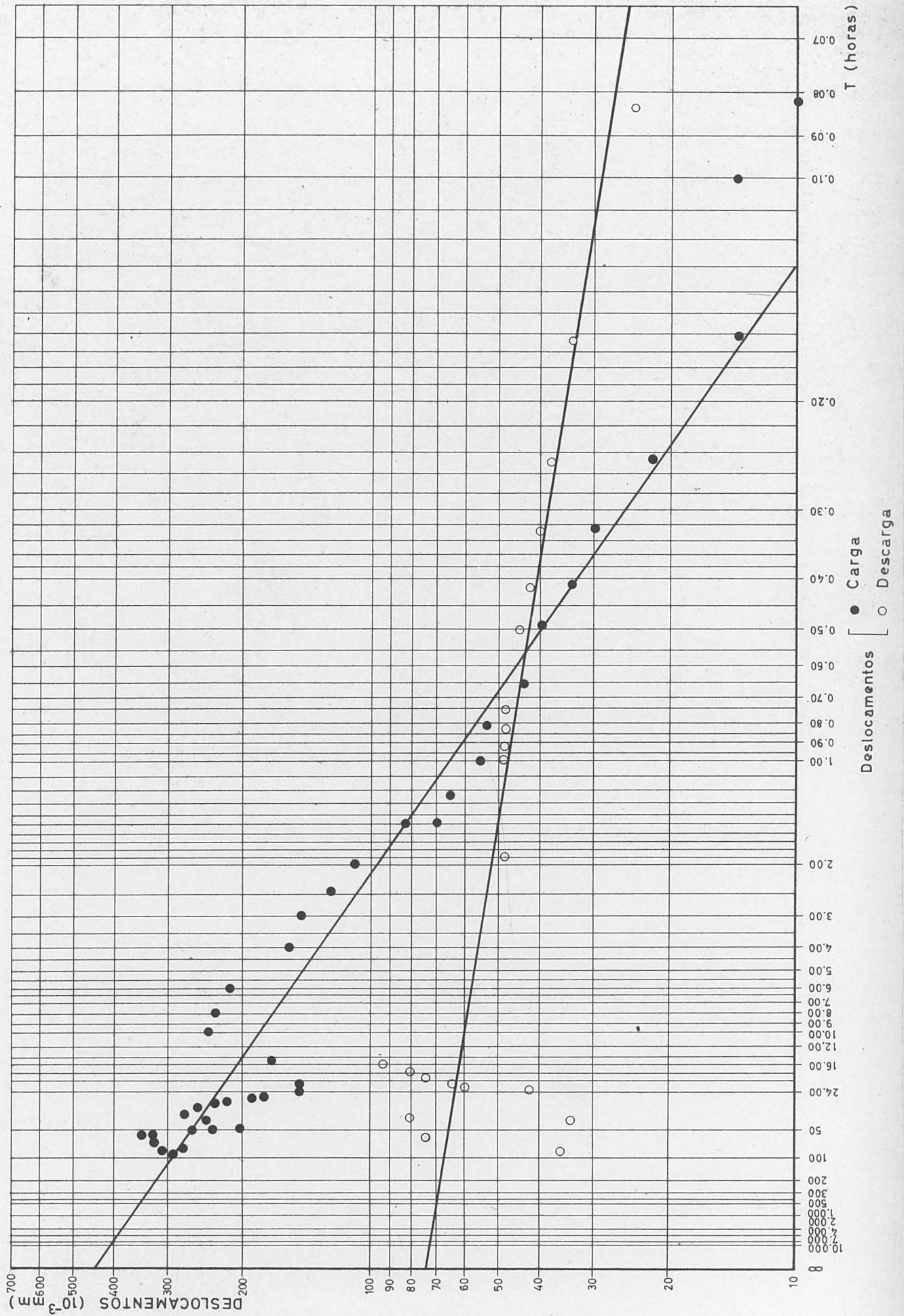
ENSAIO VERTICAL

FLUÊNCIA DE 72 HORAS



ENSAIO DE FLUÊNCIA

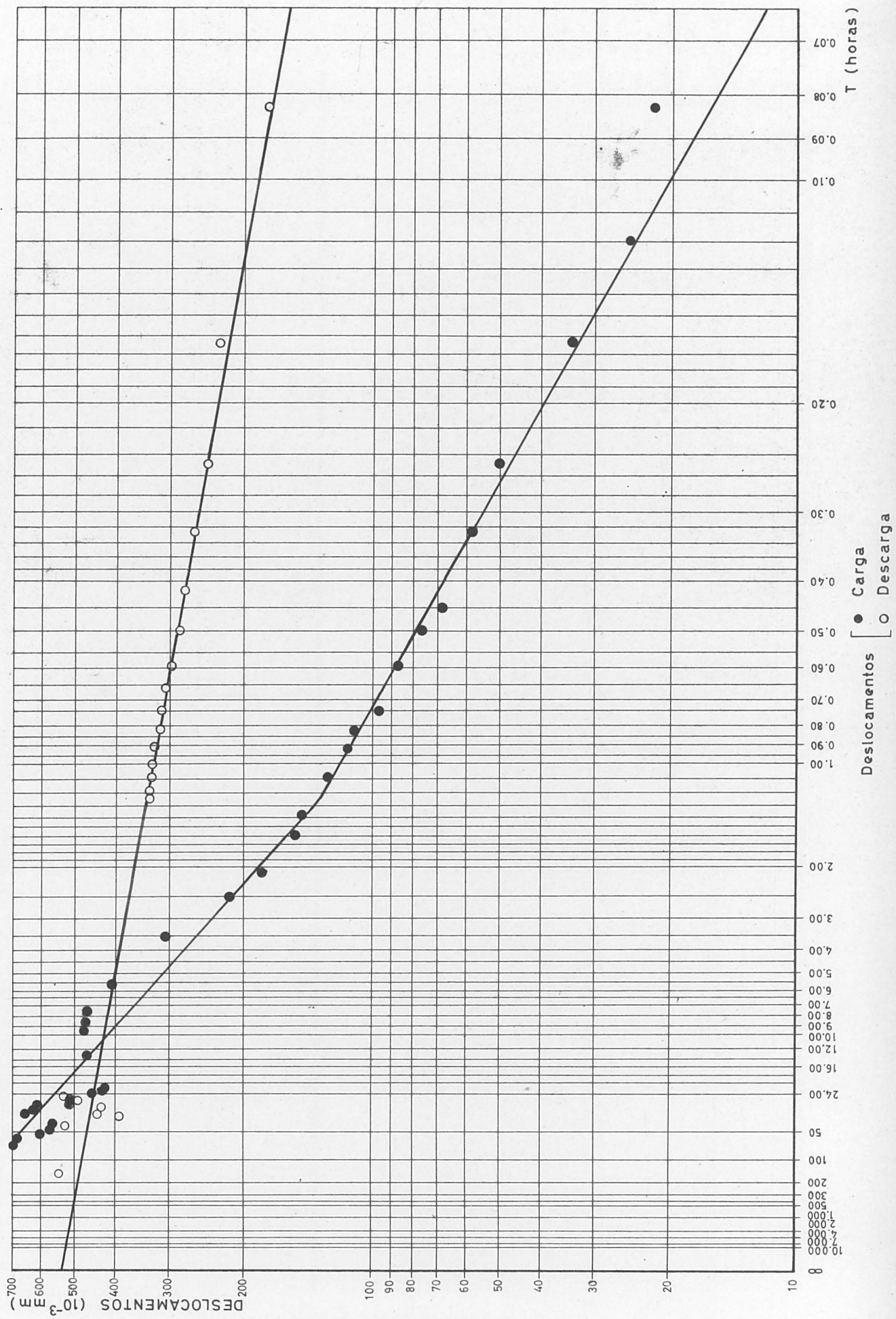
CONTRAFORTE N° 31—COTA 202,0





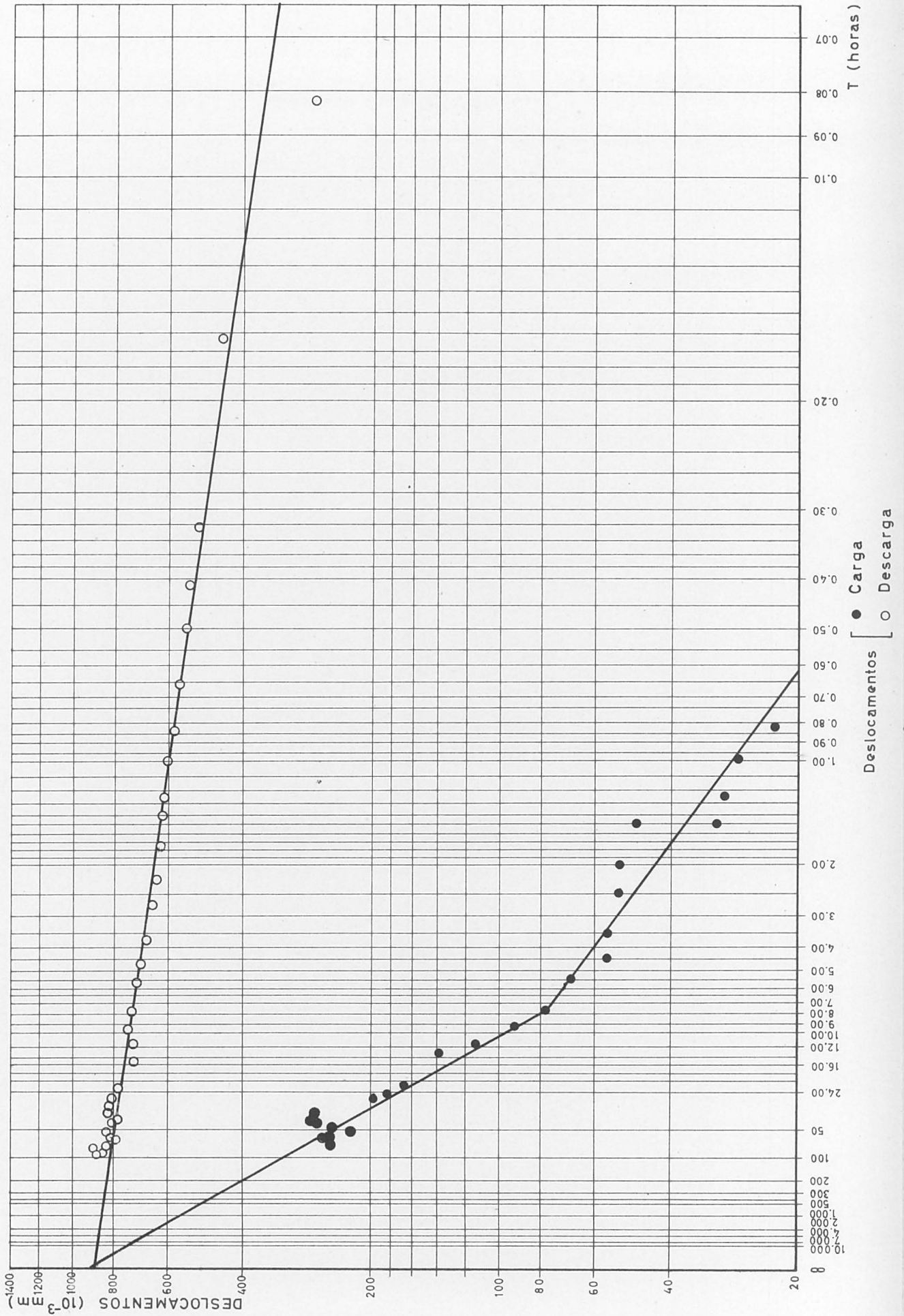
ENSAIO DE FLUÊNCIA

CONTRAFORTE N.º 27 - COTA 193,5



ENSAIO DE FLUÊNCIA

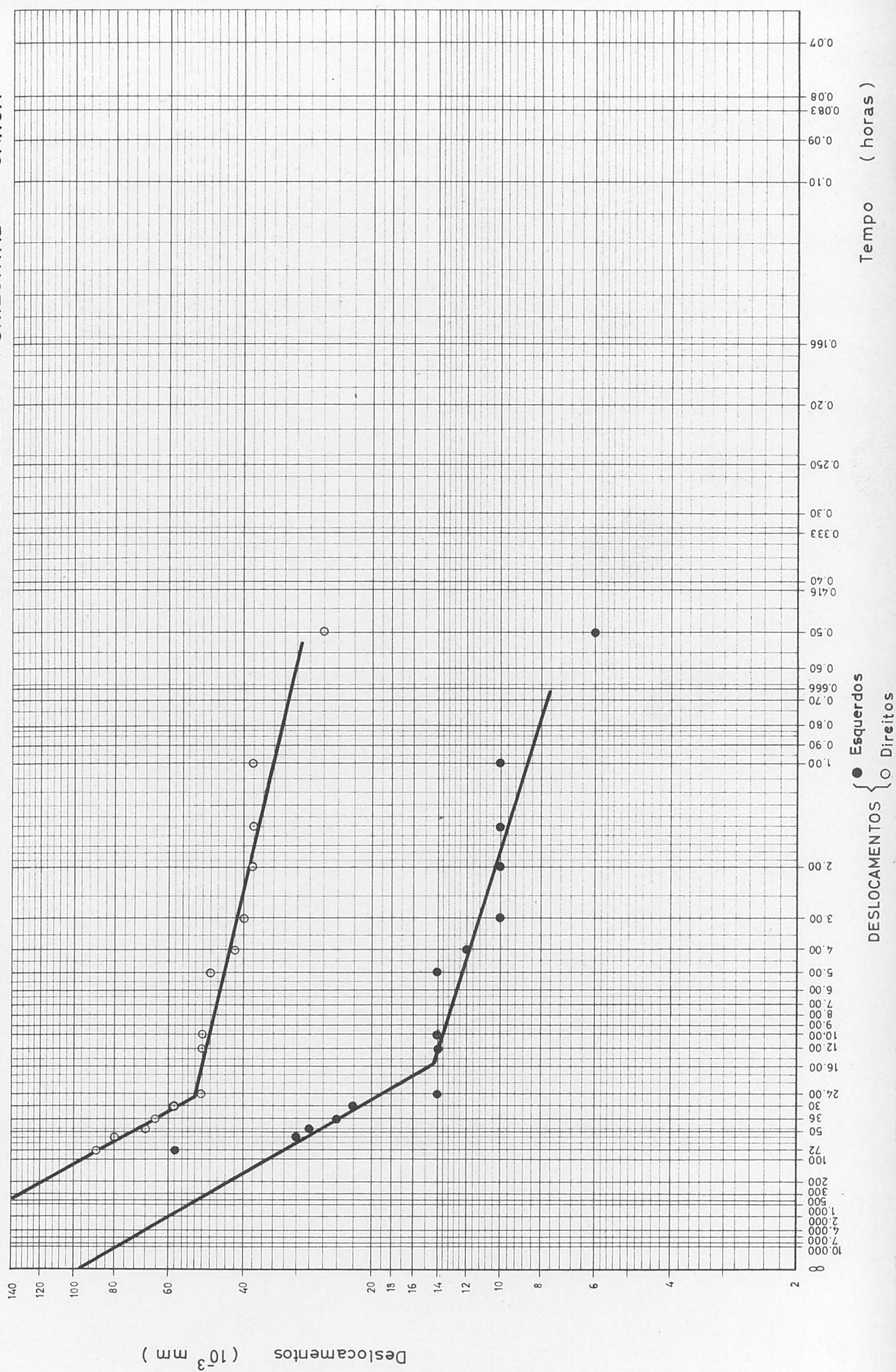
CONTRAFORTE N.º 27 - COTA 192,5



ENSAIO DE FLUÊNCIA HORIZONTAL - CARGA

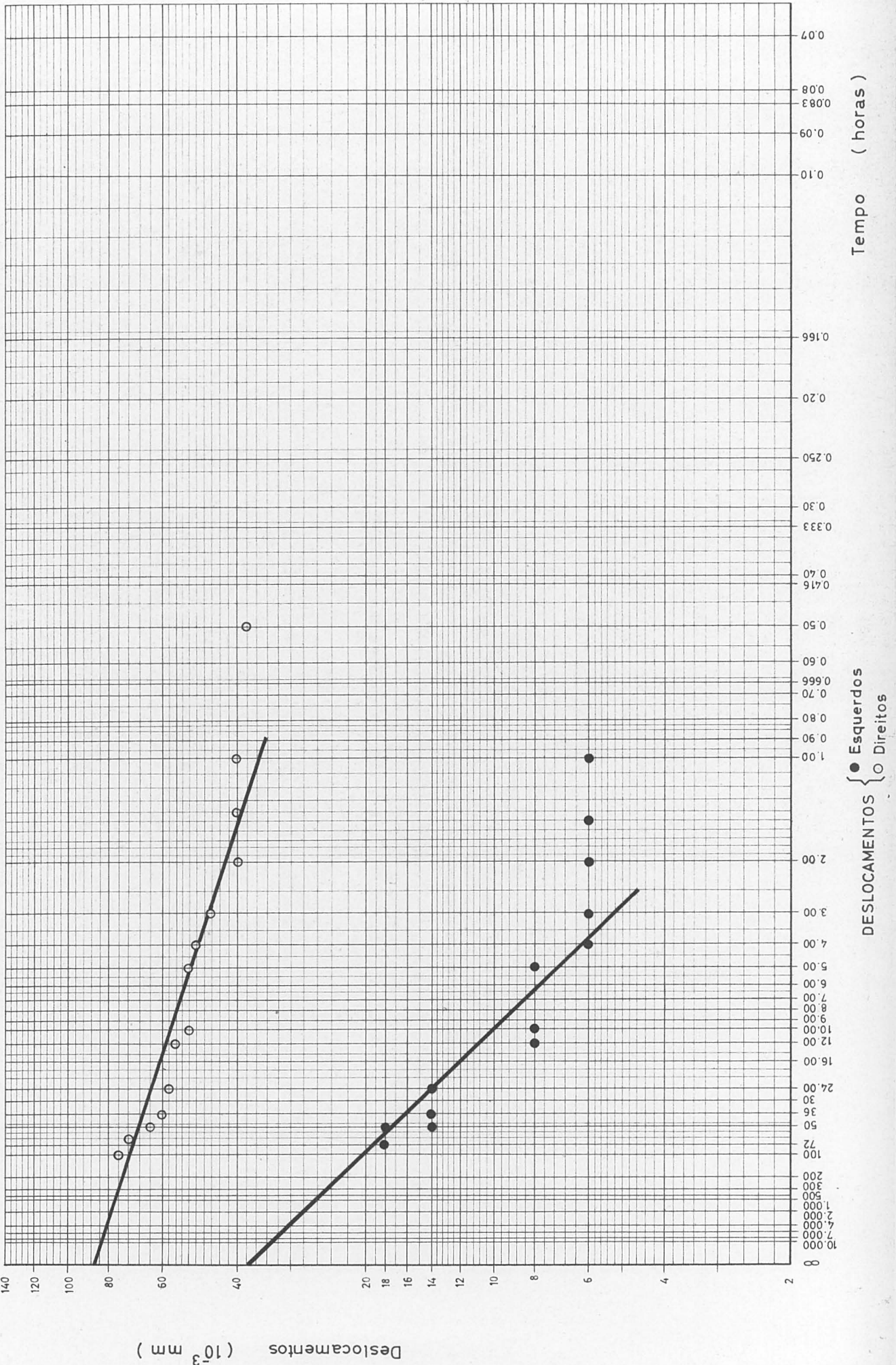
CAIXA Nº 1

GALERIA II



ENSAIO DE FLUÊNCIA HORIZONTAL — DESCARGA

GALERIA II CAIXA Nº 1



GALERIA II CAIXA Nº 1

ENSAIO DE FLUÊNCIA VERTICAL — CARGA

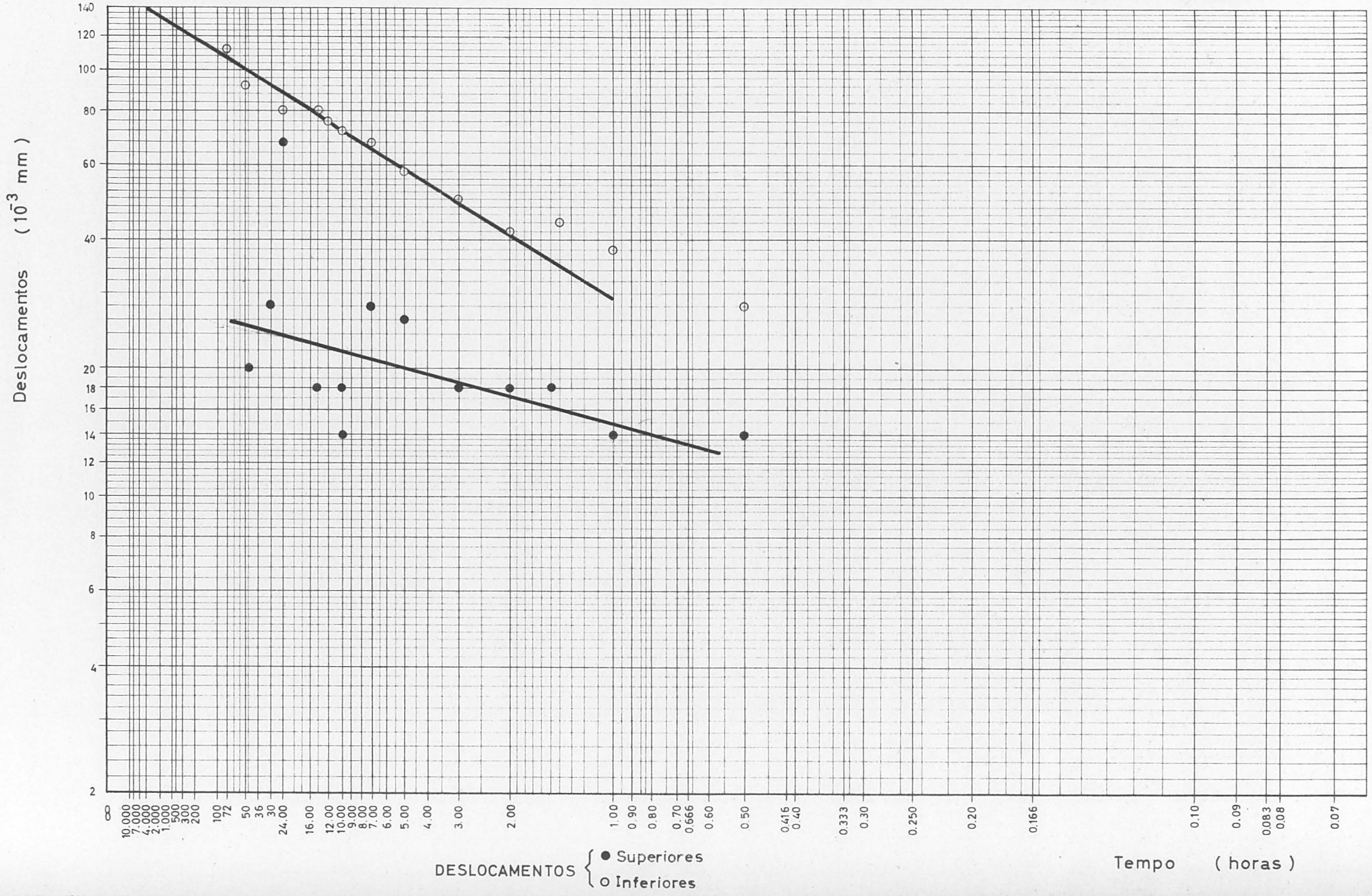
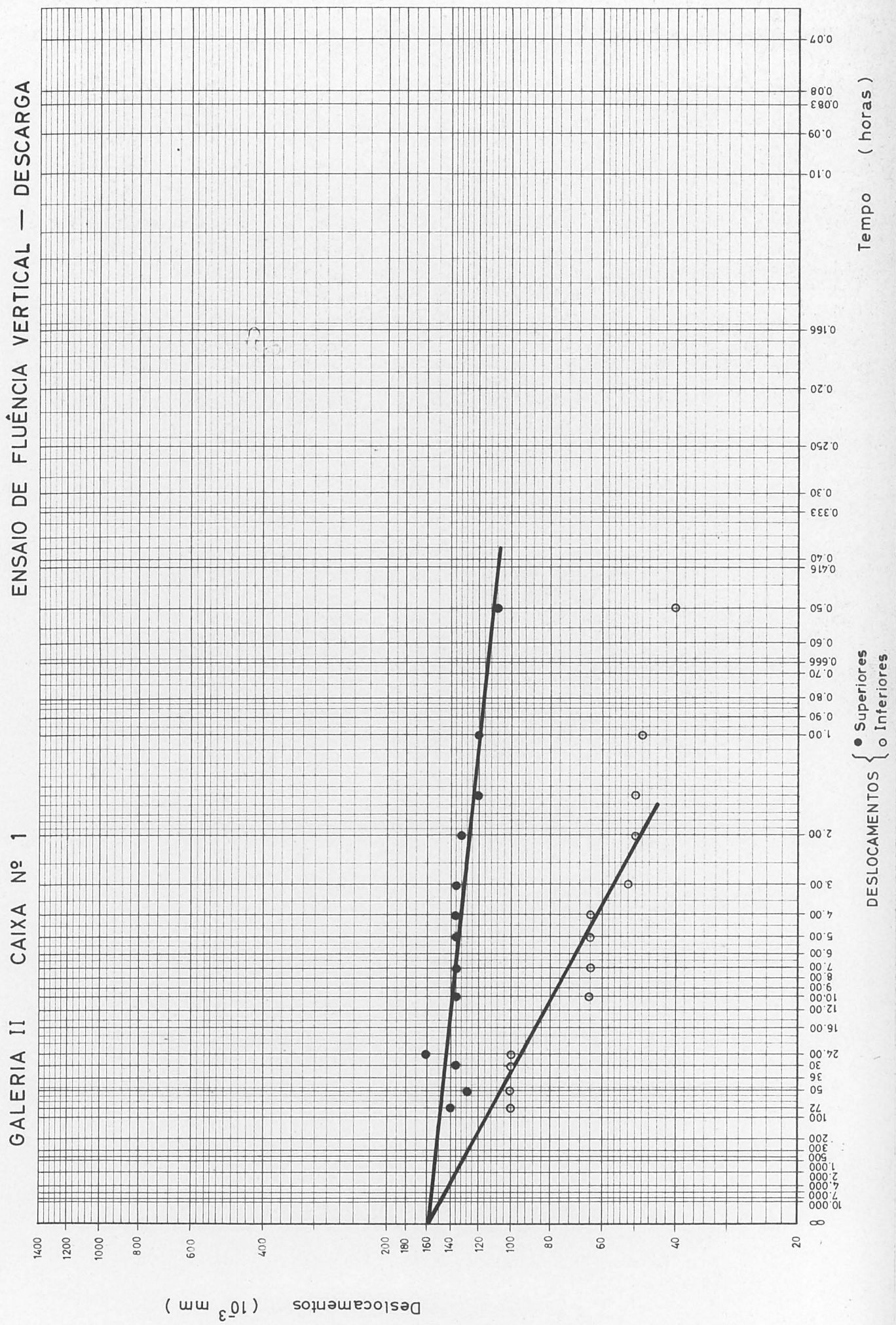


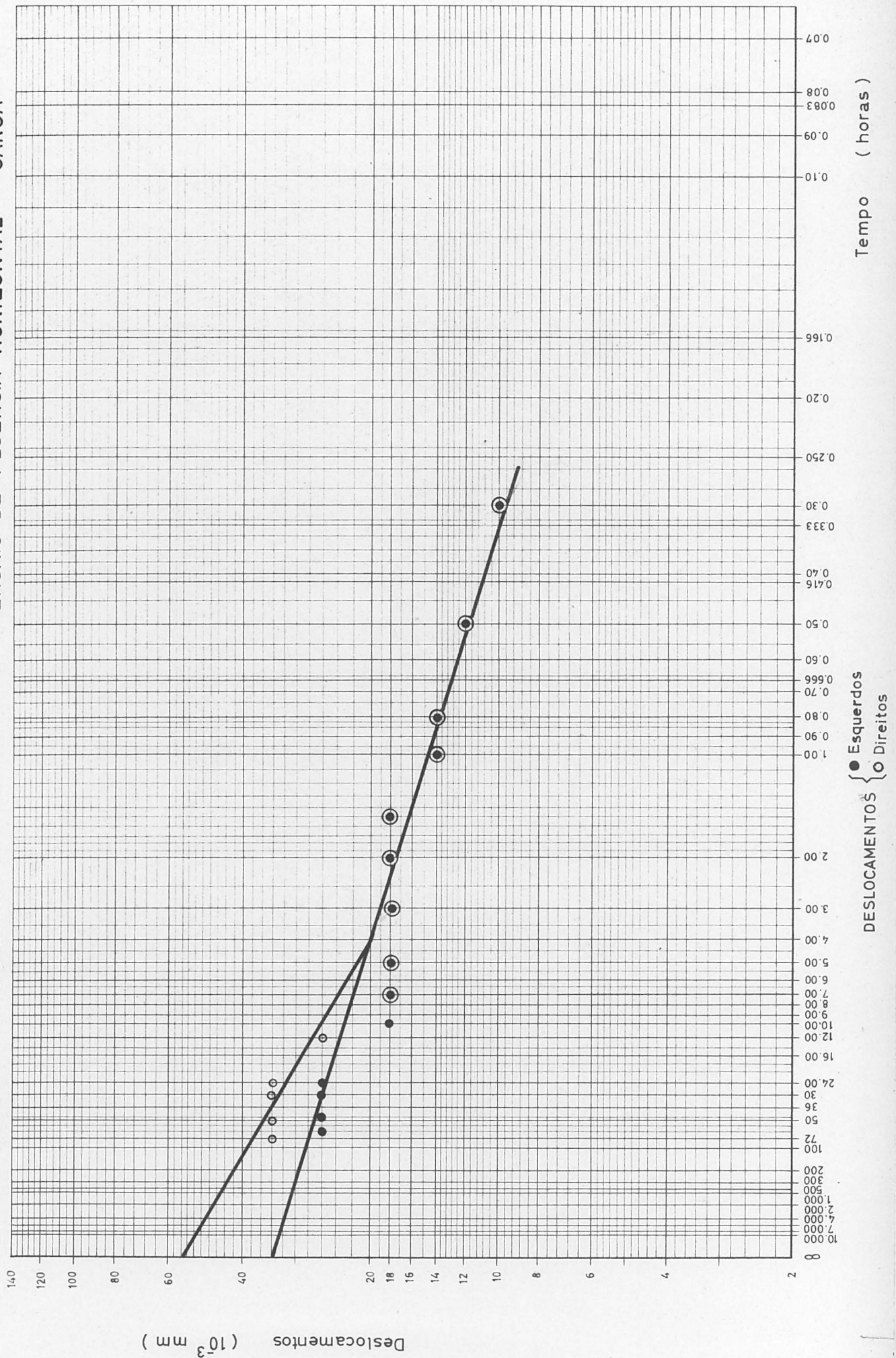
FIG. 29

FIG. 30



ENSAIO DE FLUÊNCIA HORIZONTAL — CARGA

GALERIA I CAIXA Nº 1



Deslocamentos (  $10^{-3}$  mm )

GALERIA I CAIXA Nº 1 ENSAIO DE FLUÊNCIA HORIZONTAL — DESCARGA

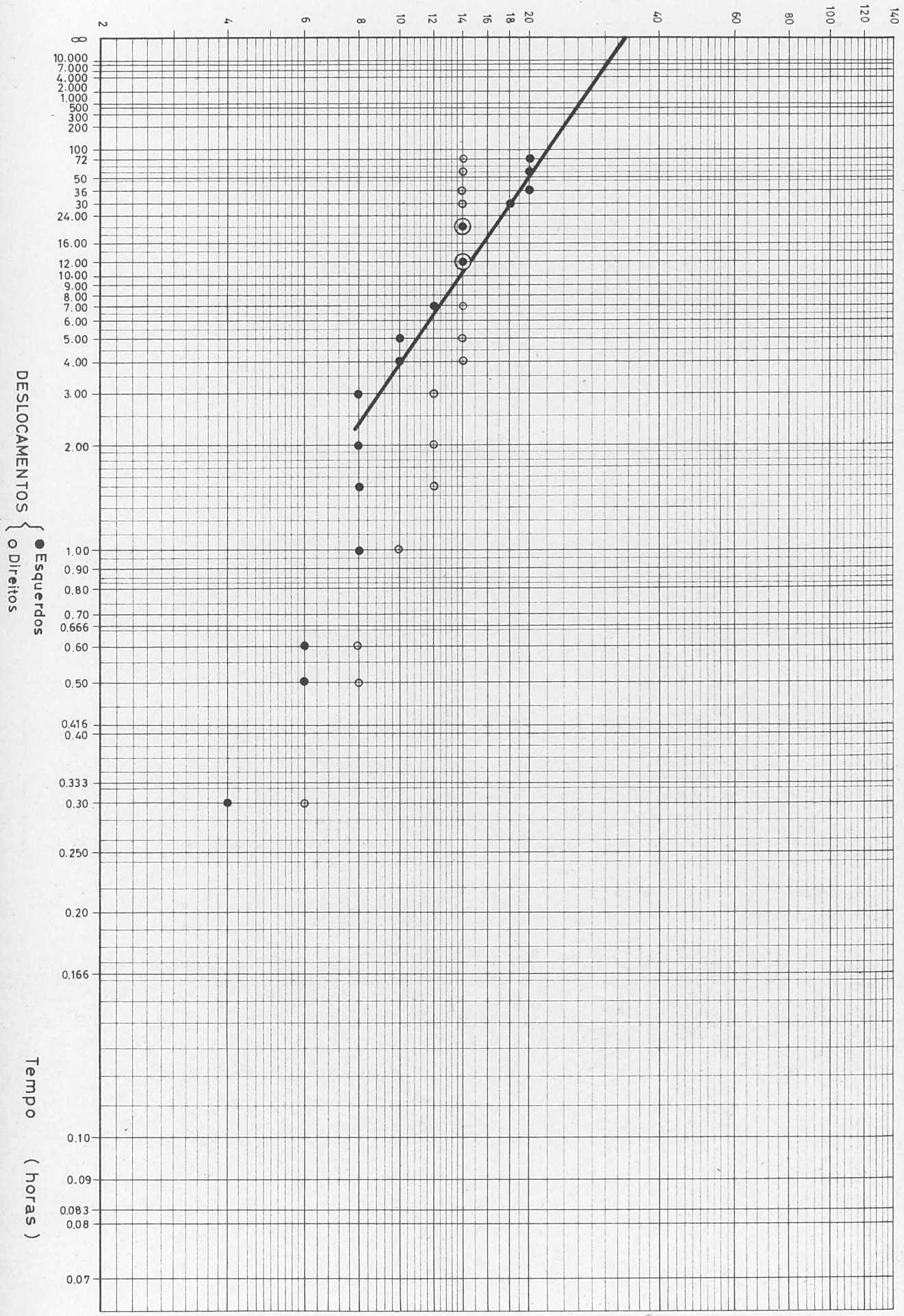
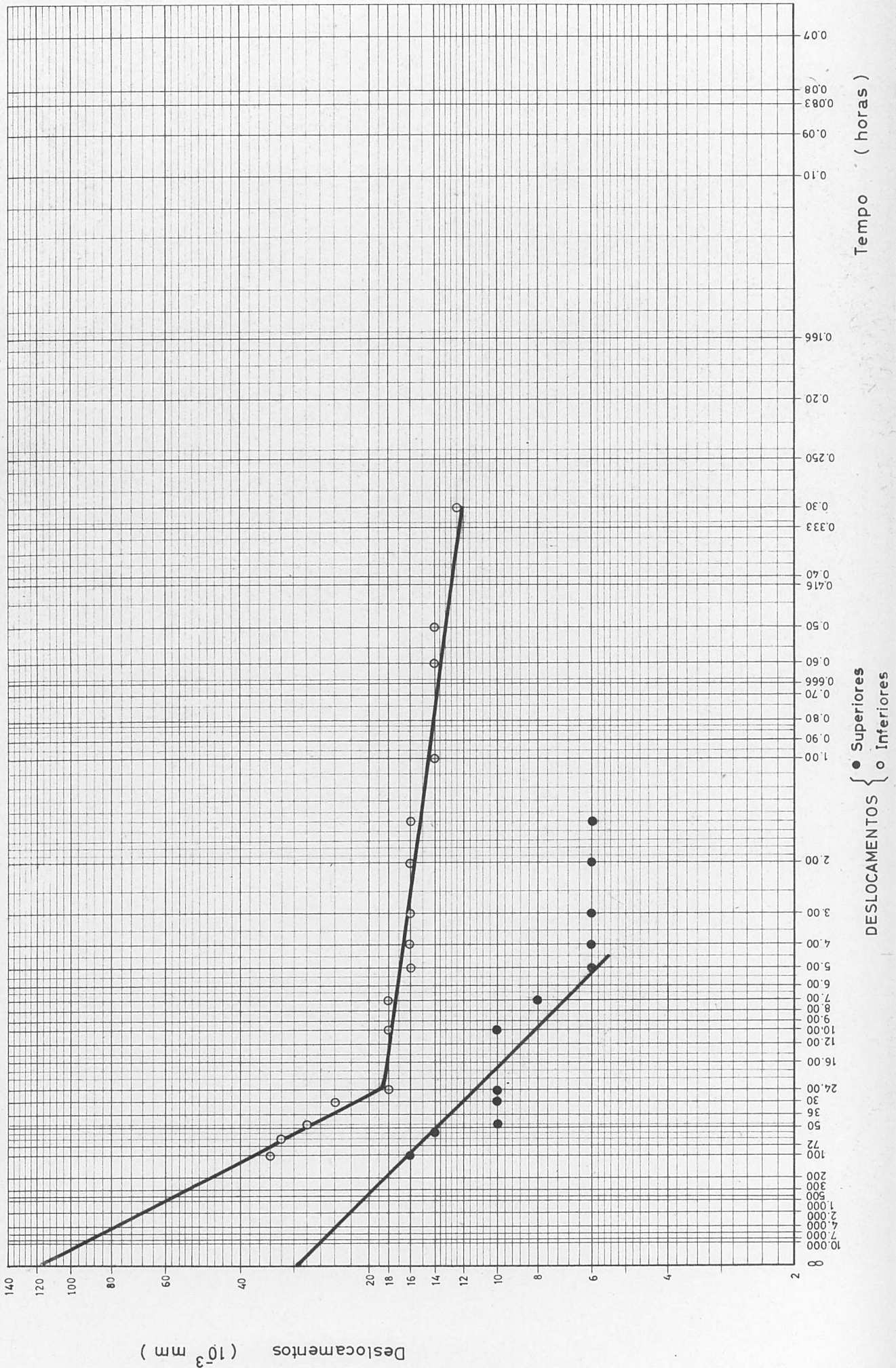


FIG. 32



ENSAIO DE FLUÊNCIA VERTICAL — CARGA

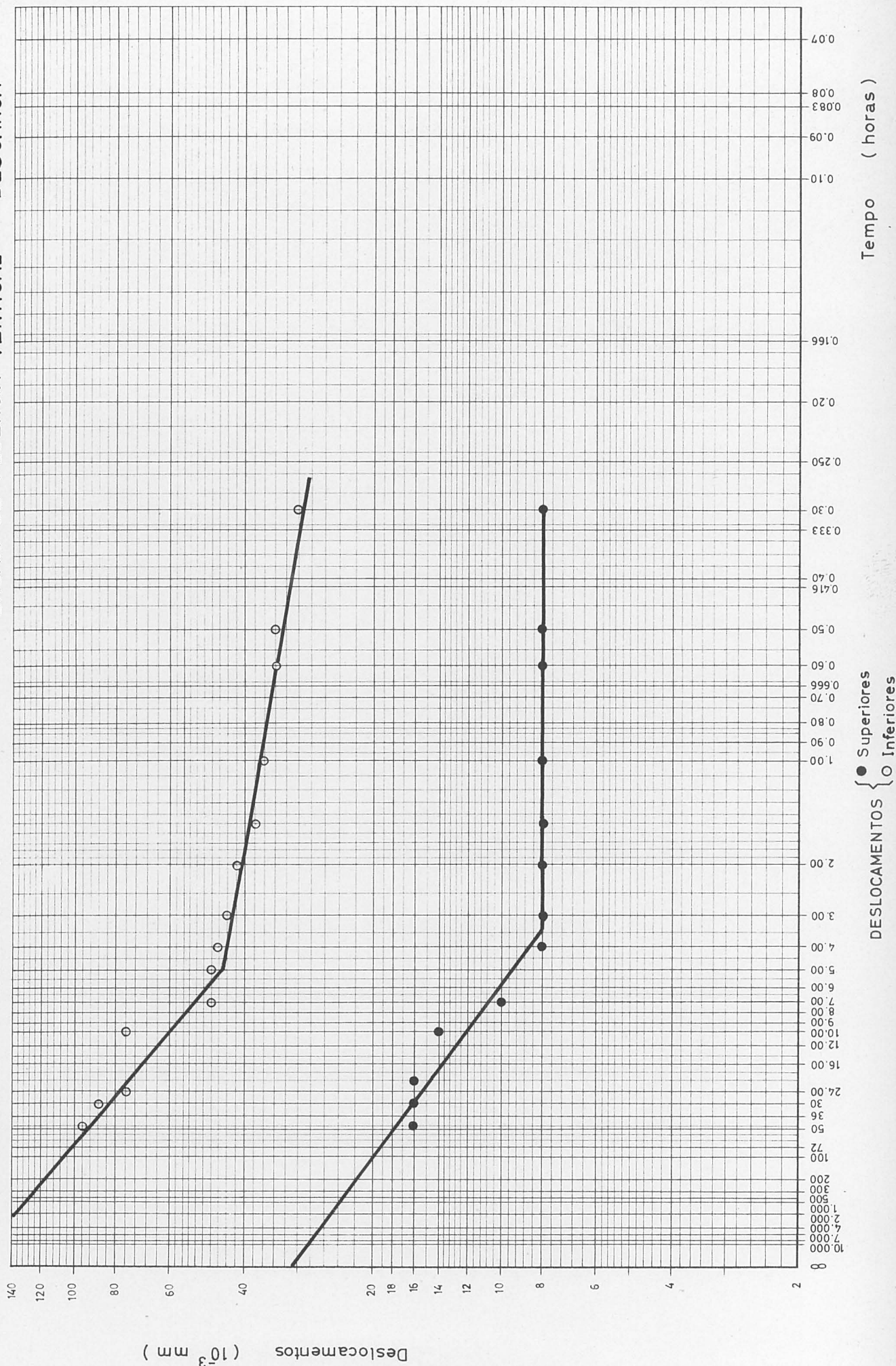
GALERIA I CAIXA Nº 1



ENSAIO DE FLUÊNCIA VERTICAL — DESCARGA

CAIXA Nº 1

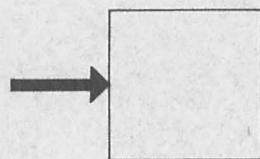
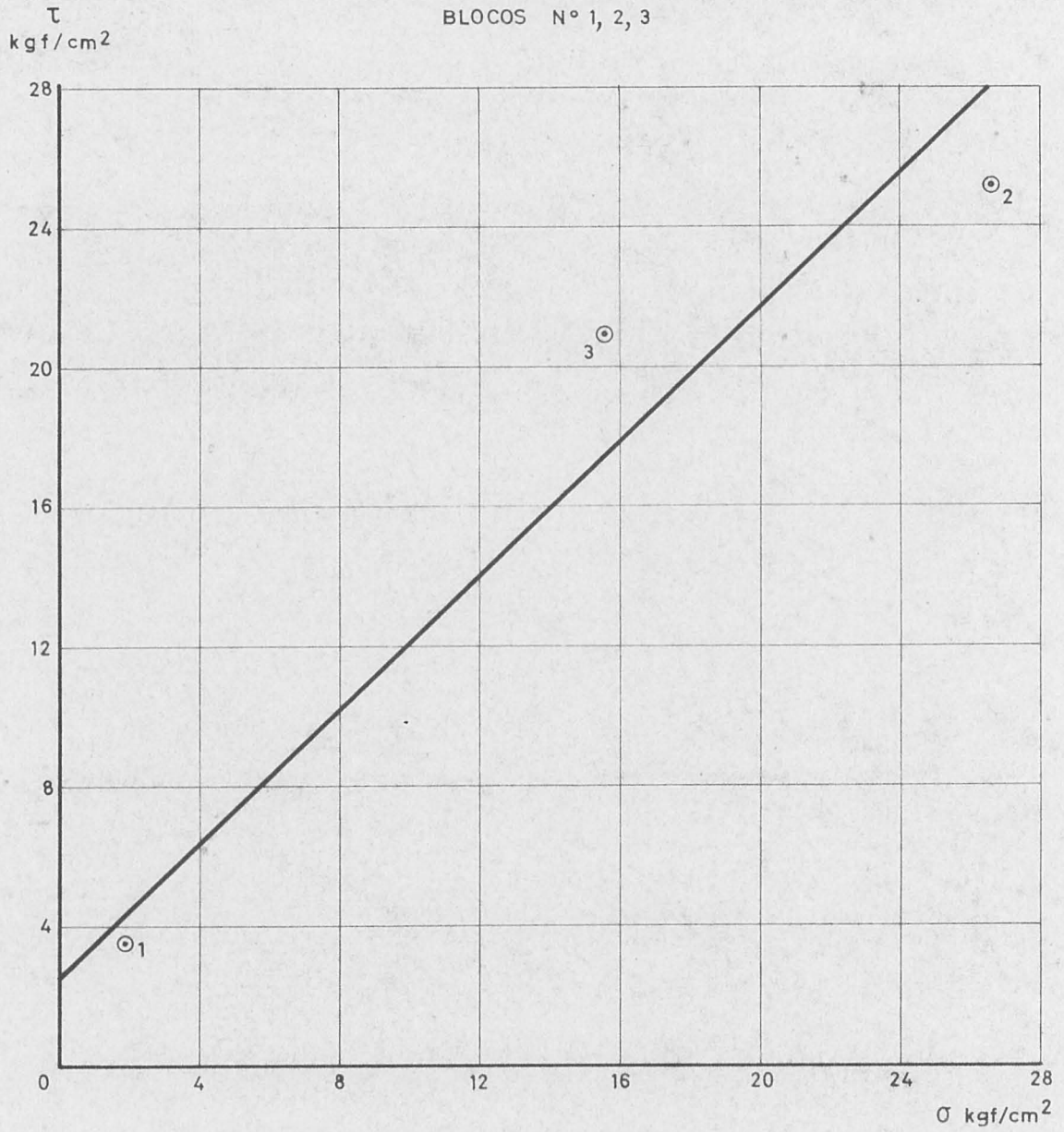
GALERIA I



CONTRAFORTE Nº 31

ENSAIO DE CORTE BETÃO-ROCHA

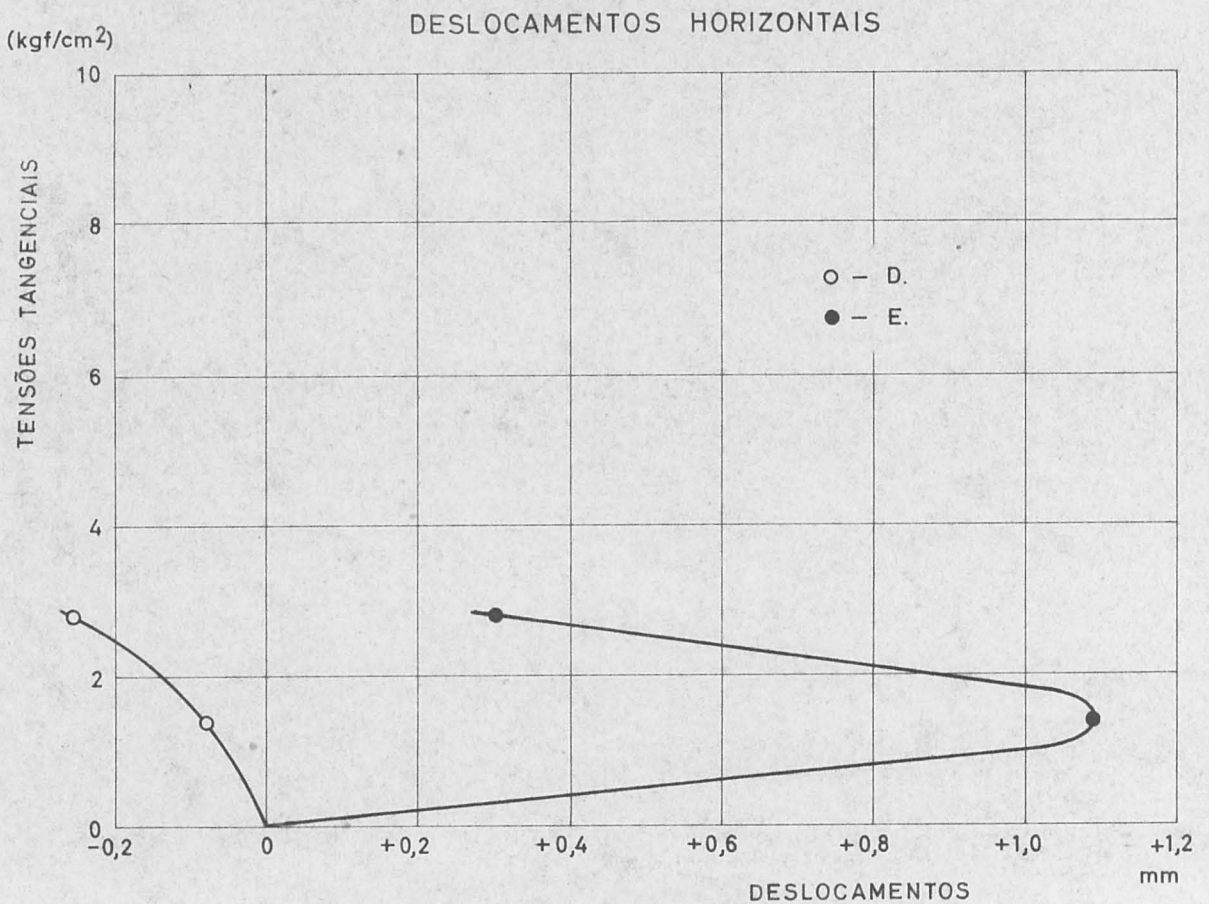
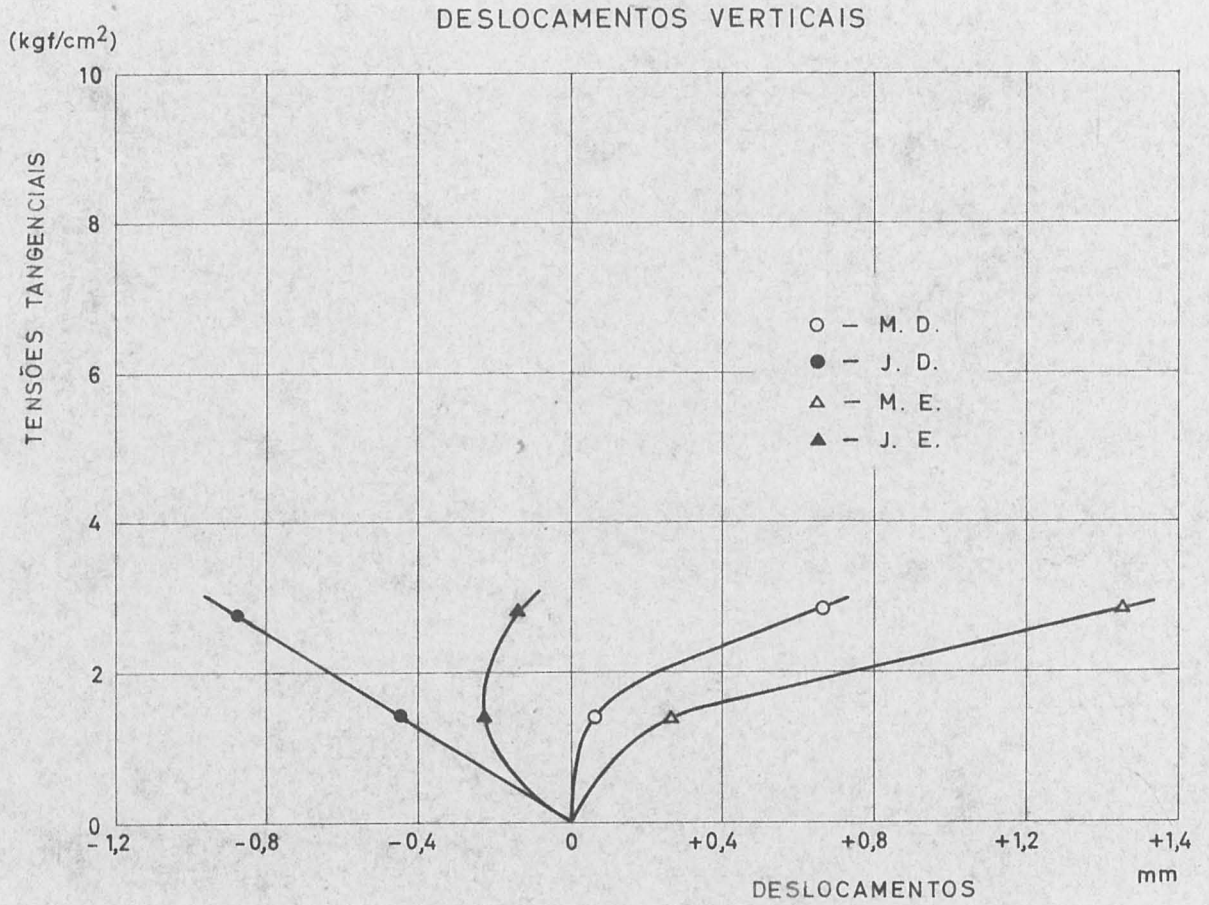
BLOCOS Nº 1, 2, 3



COMPLEXO CRISTALOFÍLICO

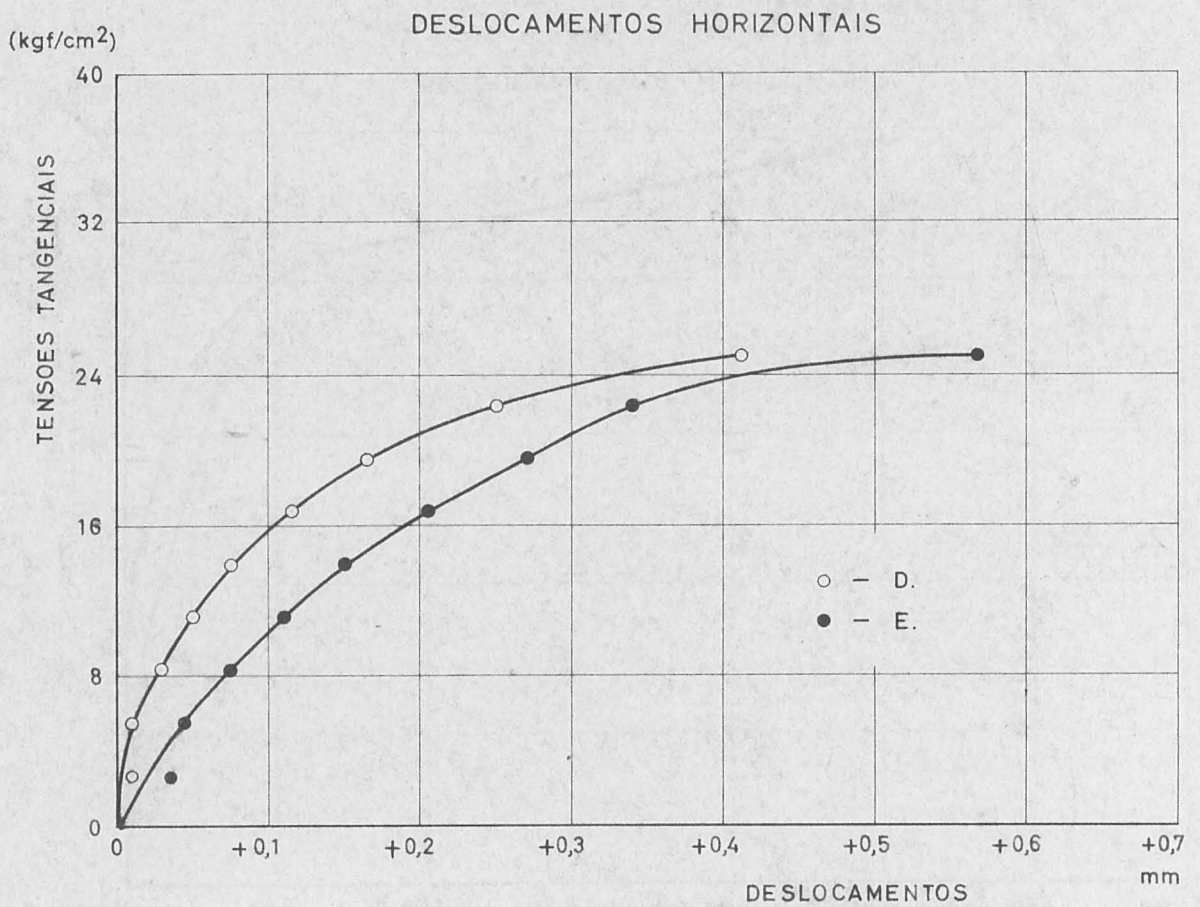
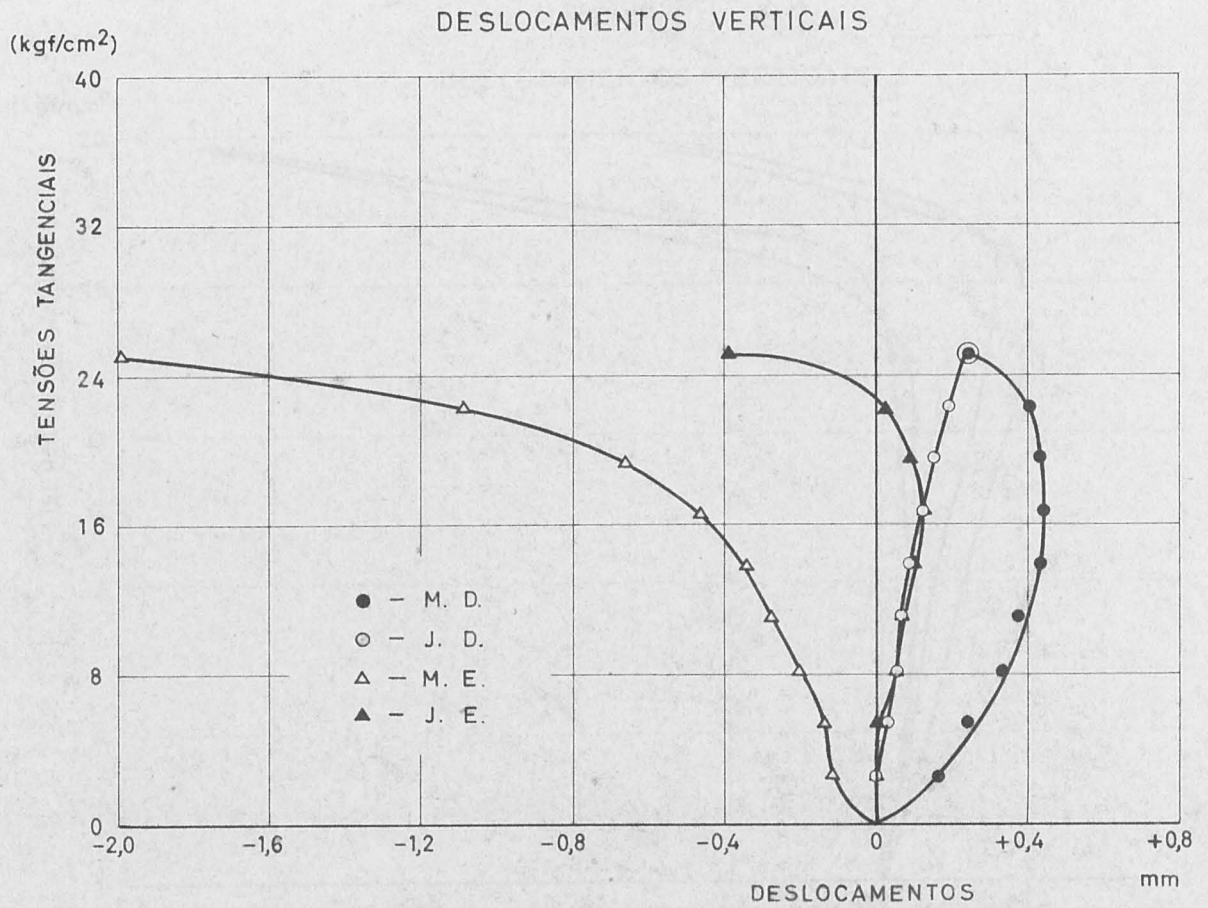
CONTRAFORTE N.º 31 - BLOCO N.º 1

$$\sigma_n = 1 \text{ kgf/cm}^2$$



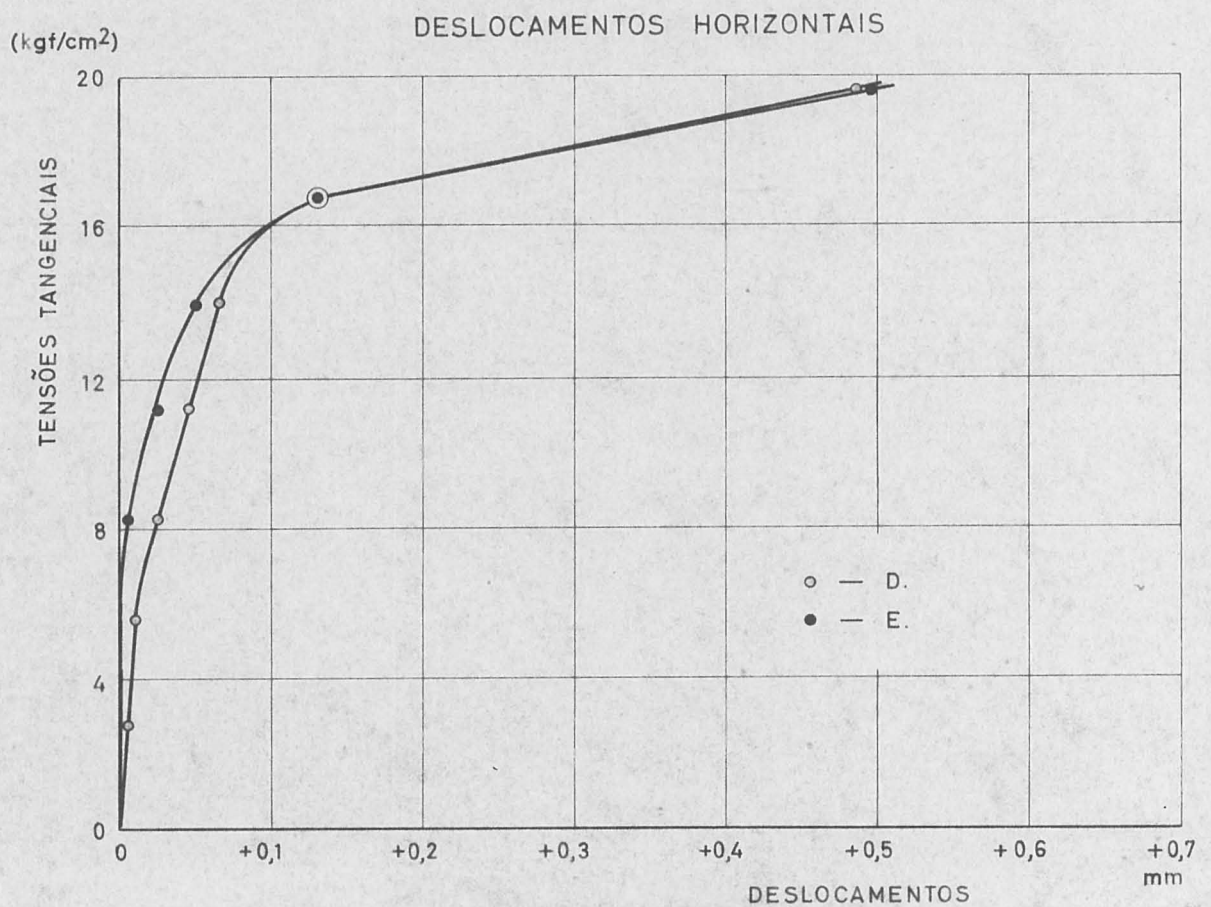
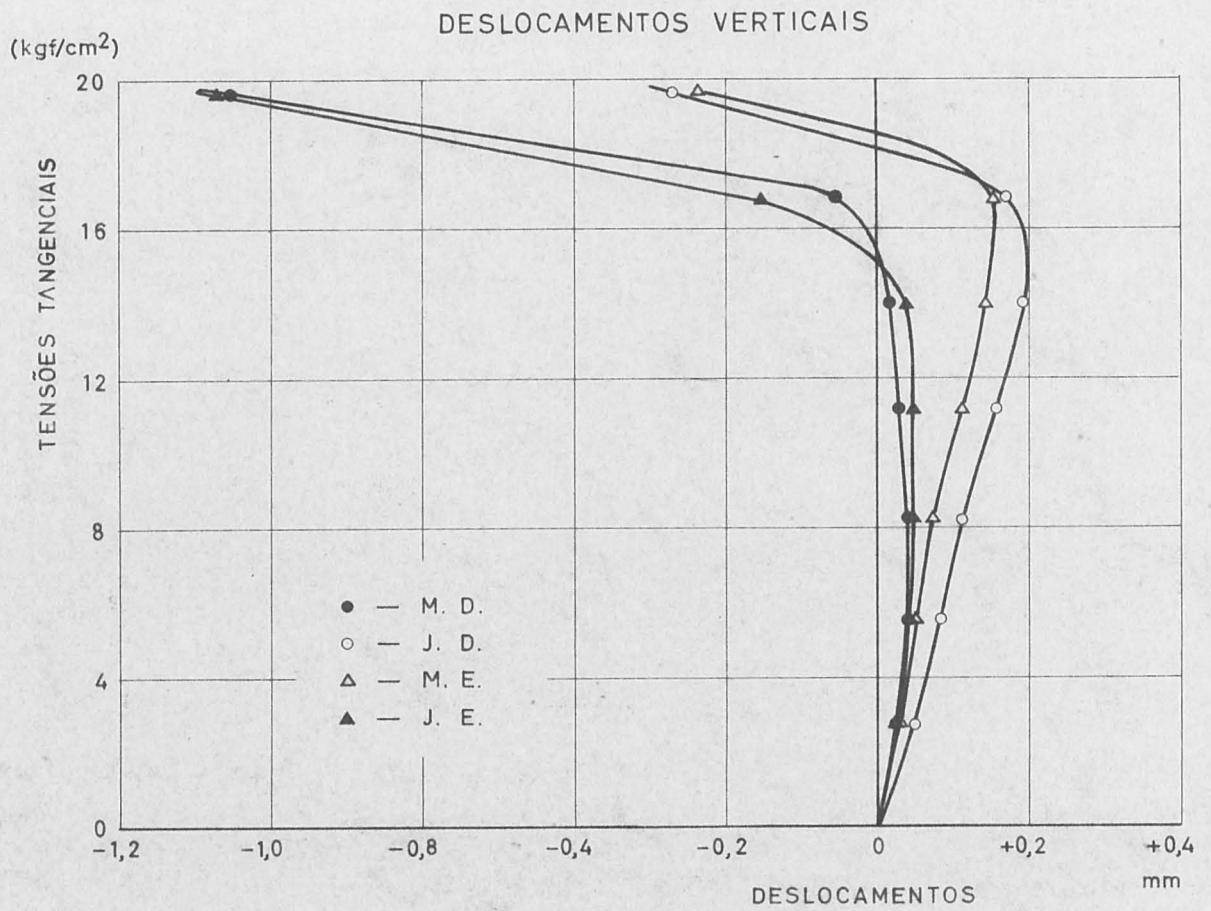
CONTRAFORTE N.º 31 - BLOCO N.º 2

$$\sigma_n = 20 \text{ kgf/cm}^2$$



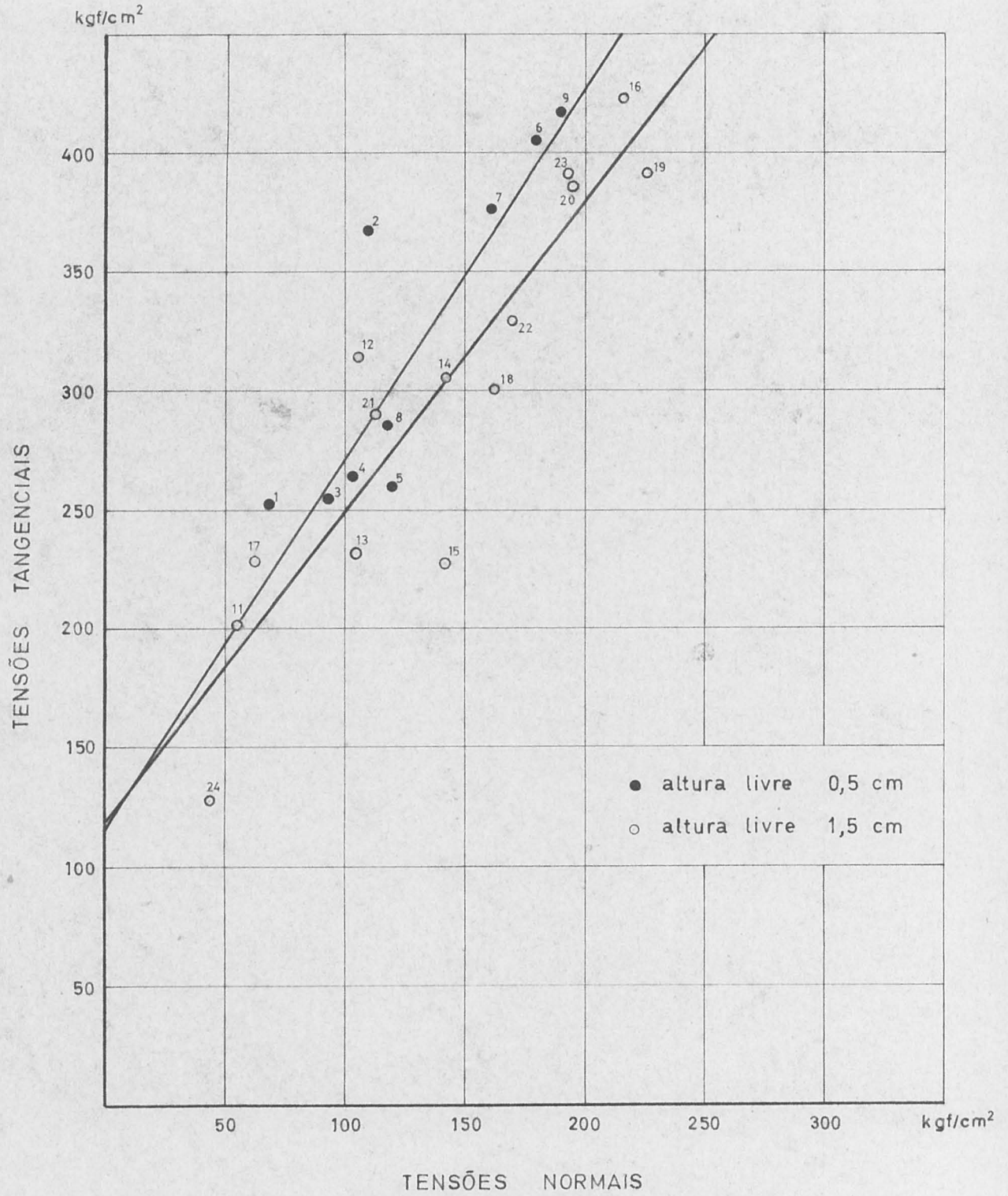
CONTRAFORTE N.º 31 – BLOCO N.º 3

$$\sigma_n = 10 \text{ kgf/cm}^2$$

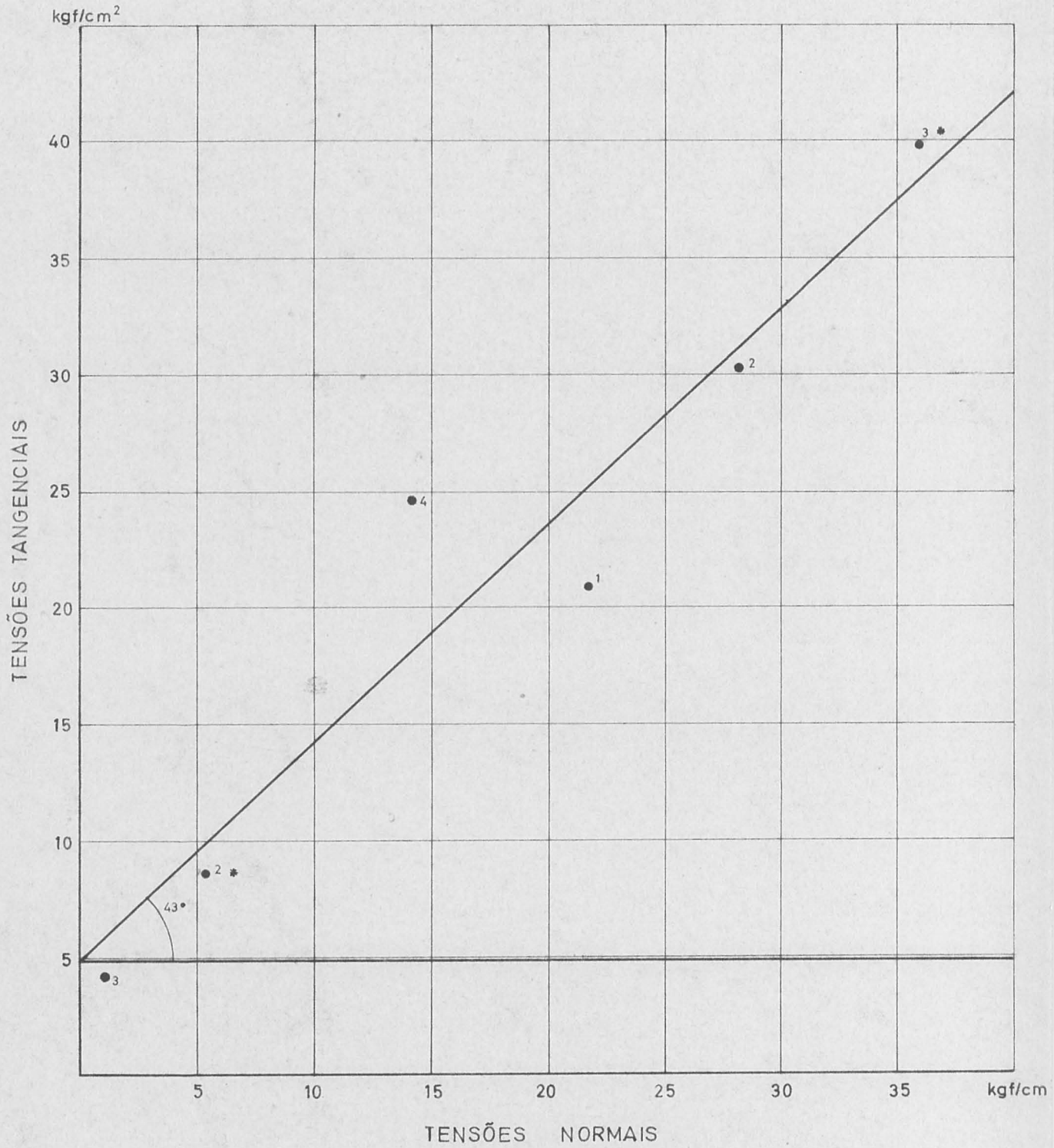


# ENSAIOS DE CORTE DE ROCHA

EM LABORATÓRIO

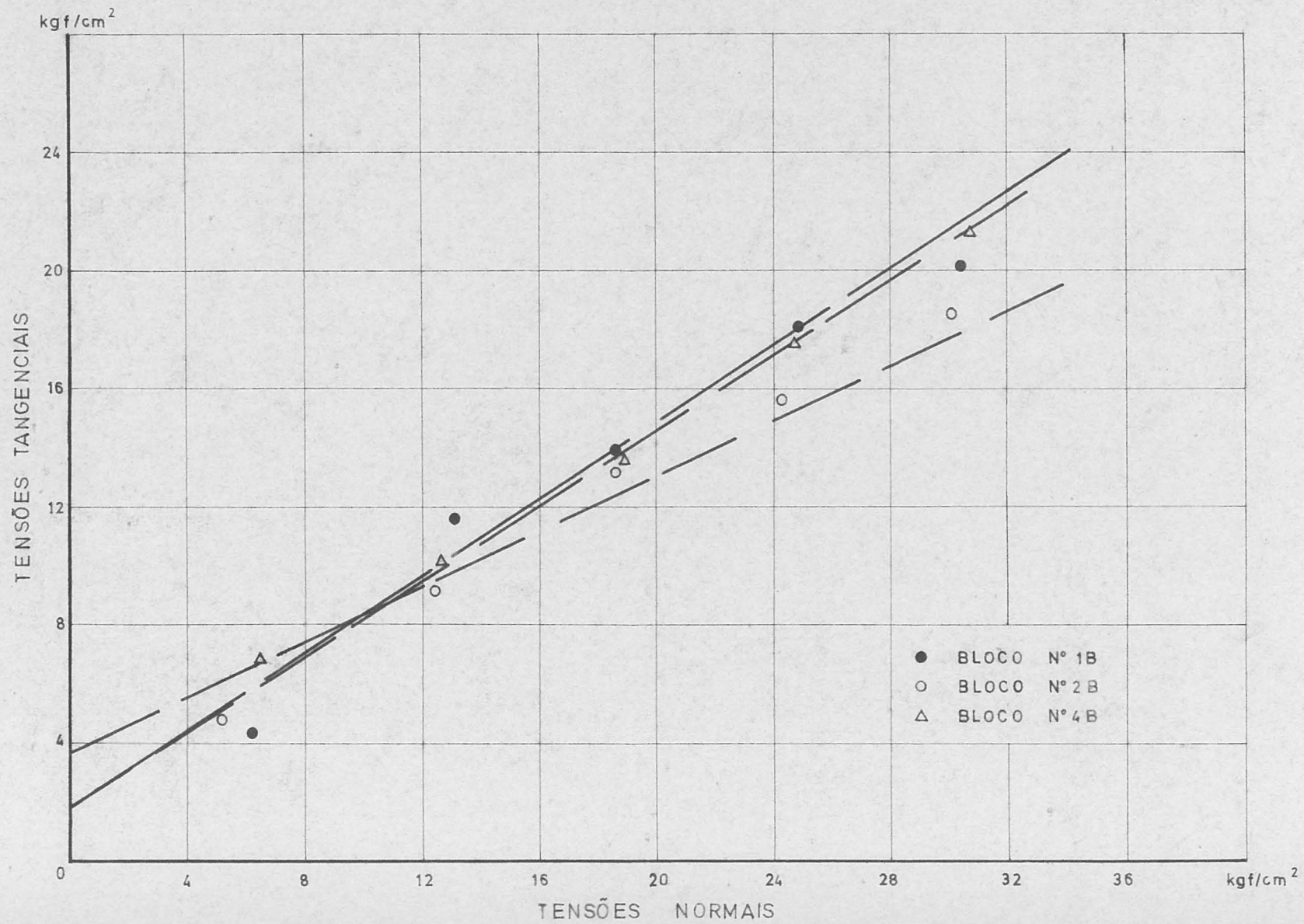


ENSAIOS DE CORTE  
 ROCHA - MATERIAL INJECTADO  
 EM LABORATÓRIO

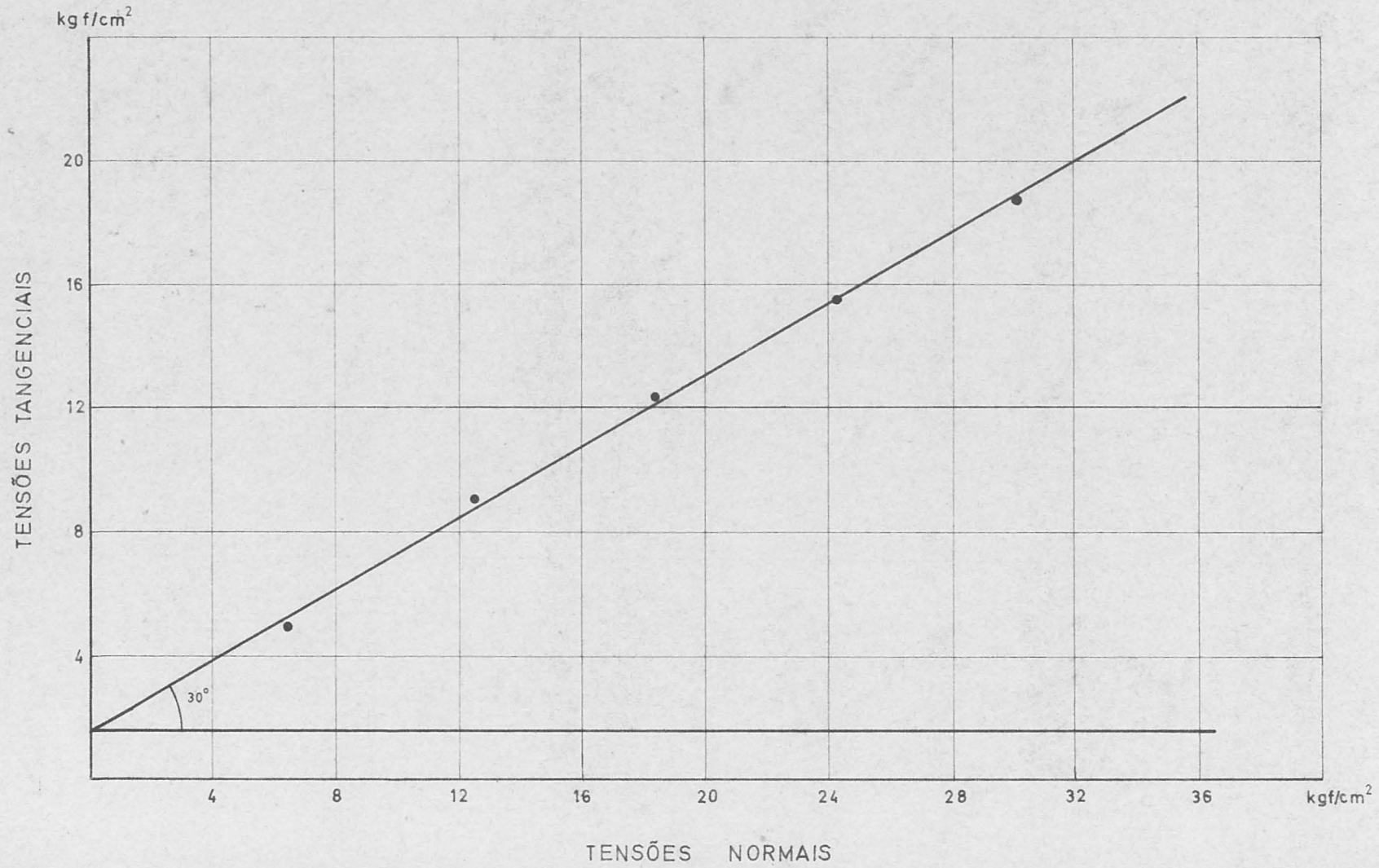




ENSAIOS DE DESLIZAMENTO DE DIACLASES NATURAIS  
EM LABORATÓRIO



ENSAIOS DE DESLIZAMENTO DE DIACLASE ARTIFICIAL  
EM LABORATÓRIO



ENSAIOS DE DESLIZAMENTO  
ROCHA - MATERIAL INJECTADO  
EM LABORATÓRIO

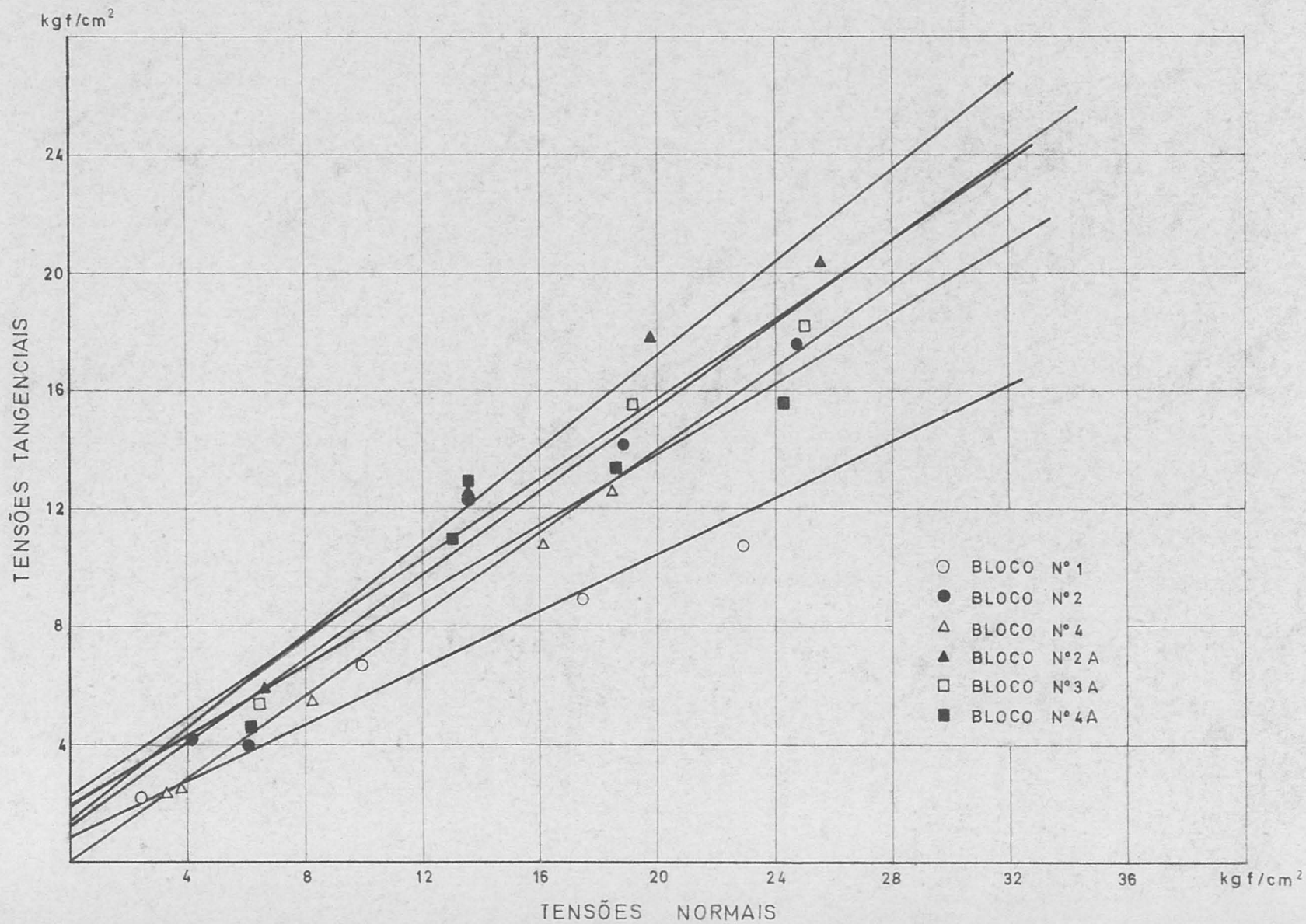
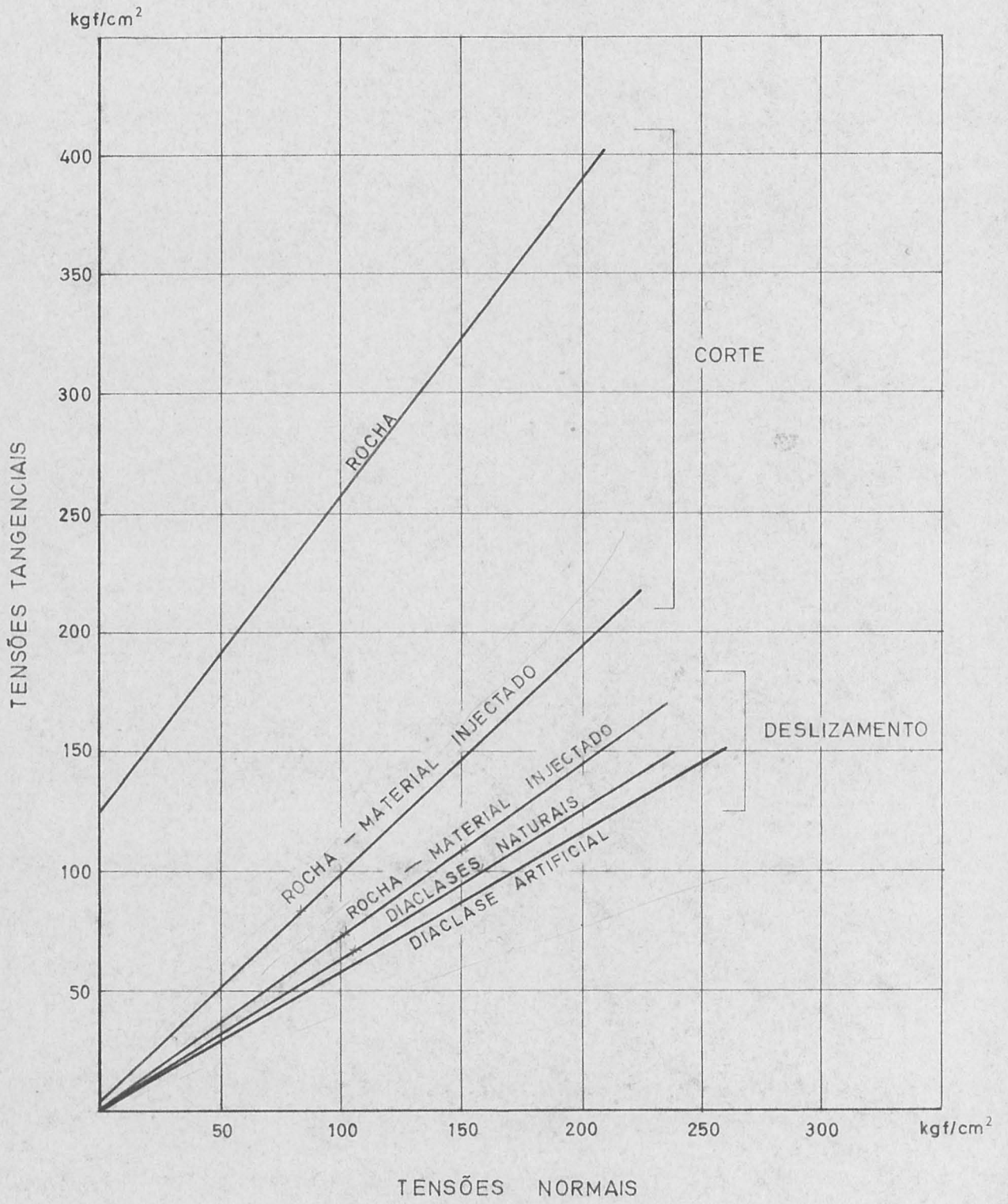


FIG. 43

# ENSAIOS DE CORTE E DESLIZAMENTO







[www.lnec.pt/](http://www.lnec.pt/)

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL  
tel. (+351) 21 844 30 00 • fax (+351) 21 844 30 11  
lnec@lnec.pt [www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)