

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

LABORATÓRIO DE SOLOS II

SUPERVISOR: CANROUBERT GUIMARÃES LIMA

ALUNO: LUIZ PAULO NUNES

PERÍODO: 17/08/78 A 17/04/79



Biblioteca Setorial do CDSA. Maio de 2021.

Sumé - PB

ILUSTRÍSSIMO SENHOR Coordenador do Curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande - Pb.

LUIZ PAULO NUNES, aluno regularmente matriculado no curso de Engenharia Civil deste Centro, sob o nº 7621200-8, com estágio supervisionado no laboratório de solos II, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, com sede em Campina Grande, solicita que Vossa Senhoria se digne apreciar o seu relatório anexo, em duas vias, bem como o parecer do professor orientador deste estágio Canrobert Guimarães Lima, sobre o referido, solicita também que o mesmo seja encaminhado a quem de direito para a atribuição do devido conceito e que, se for o caso, seja feita a contagem dos créditos correspondentes.

Nestes Termos

Pede Deferimento.

Campina Grande, 17 de abril de 1979


LUIZ PAULO NUNES

A G R A D E C I M E N T O S
- - - - -

Aos professores Canrobert Guimarães Lima e Cícero
Ciro de Albuquerque Braga, pela confiança e oportunidade que me
conceder~~am~~ na participação de suas Teses, com a realização deste
estágio, bem como pela orientação sincera e segura durante a
execução do mesmo.

Aos funcionários e laboratoristas do Laboratório
de Solos II, pela grande colaboração que me deram durante o perí
odo deste estágio.

Ao amigo Joran Correia Costa pelo companheirismo
e ajuda, especialmente durante a realização deste estágio.

A P R E S E N T A Ç Ã O

O presente relatório, é objeto do requisito para obtenção dos créditos correspondentes ao estágio realizado pelo aluno LUIZ PAULO NUNES e supervisionado pelo professor CANROBERT GUIMARÃES LIMA.

Este trabalho apresenta uma descrição do equipamento utilizado para ensaios triaxiais, instalado no laboratório de solos II, no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba sede de Campina Grande.

Apresenta também uma breve descrição do material utilizado, no caso, solo laterítico e sua estabilização com a cal e ainda uma descrição sucinta da técnica de ensaios e processo utilizado no cálculo dos parâmetros.

O trabalho está ilustrado com fotografias e resultados de ensaios realizado com solo laterítico da jazida de Nova Floresta - Pb, para diferentes teores de aglutinante, no caso a cal.

LISTA DE SÍMBOLOS UTILIZADOS

	<u>Unidade</u>
- Tensão principal maior	Kg/cm ²
- Tensão principal menor	Kg/cm ²
- Pressão neutra	Kg/cm ²
- Peso específico aparente seco	g/cm ² ³
- Teor de umidade	%
- Deformação axial	%
- Parâmetro coesão em tensões totais	Kg/cm ²
- Ângulo de atrito em tensões totais	° (grau)

Í N D I C E

	Pag.
1 - CONCEITUAÇÃO DE SOLO LATERÍTICO	5
1.1 Histórico	5
1.2 Definições pedológicas genéticas	6
1.3 Definição Química	7
1.4 Definições descritivos e de utilização	7
1.5 Características lateríticas atuais	7
2 - CONDIÇÕES SOLICITADAS DOS MATERIAIS.	9
2.1 Introdução	9
2.2 Materiais	9
2.3 Cal	11
2.4 Solo	12
2.5 Água	12
3 - GENERALIDADES	13
3.1 - Testes não-drenados	14
3.2 - " solicitados não-drenados	14
3.3 - " drenados.	14
3.4 - Ensaio consolidado não drenado	14
4 - OBJETIVO DO ENSAIO	15
4.1	
5 - APARELHAGEM	15
5.1 Detalhes da célula triaxial.	15
5.2 " do aparelho p/ controlar a pressão na célula	16

6 - MÉTODOS E ENSAIOS	Pag.
6.1 Peneiramento	16
6.2 Secagem	17
6.3 Moldagem dos corpos de prova	17
6.4 Compactação dos corpos de prova	17
6.5 Saturação dos corpos de prova	20
6.6 Ruptura	21
7 - PERMEABILIDADE	
7.1 Permeômetros	22
8 - PRESCRIÇÃO DOS CÁLCULOS	
8.1 Constante do anel.	24
8.2 Cálculo de área corrigida	24
8.3 " das tabelas de tensões	25
8.4 " das tabelas de moldagem	25
8.5 " da coesão e angulo de atrito	26
9 - ILUSTRAÇÕES	
10 - BIBLIOGRAFIA	41

CONCEITUAÇÃO DO SOLO LATERÍTICO

1. INTRODUÇÃO - HISTÓRICO

O termo laterita foi inicialmente empregado por BUCHANAN para designar em material pétreo natural, existente no sul da Índia, que podia ser trabalhado em blocos imediatamente após ser extraído da jazida, e apresentava a propriedade de endurecer com a exposição ao ar. Estes blocos eram empregados na Construção Civil, substituindo o tijolo, com o qual ainda apresentava semelhança de cor.

BUCHANAN fazia, ainda, referência ao ferro existente em camadas, veios e massas destacadas, no estrato de argila endurecida, a qual era um dos melhores materiais de construção. A esta argila endurecida, e não ao ferro, foi que BUCHANAN aplicou o termo laterita, do latim "later" (tijolo), porque permitia que dela se cortassem tijolos, e não por causa da cor das concreções.

Esta definição foi mal compreendida, tendo sido admitido que se referia especialmente a cor vermelha do solo (cor de tijolo), resultante da presença dos compostos de ferro. Diversos autores generalizaram a definição englobando as concreções, os pisólitos, e as argila ferruginosas, pois constituíam parte da mesma formação geológica. Tal generalização foi mesmo forte, dando lugar até a mudança do sentido do termo, passando os engenheiros civis a referenciar exclusivamente a parte puramente ferruginosa, os pisólitos, etc, com o substantivo laterita.

O caráter restritivo da definição de BUCHANAN e o aparecimento do mesmo tipo de solo noutras regiões tropicais, quando estas começaram a ser estudadas, começou a criar uma idéia confu-

sa acerca do termo laterita, levando a sua aplicação a solos disse-
melhantes, mas sempre onde a percentagem de compostos de ferro e
alumínio é alta em relação à sílica.

Sob o ponto de vista de conceituação, hoje, são uti-
lizadas tres tipos: classificação pedológicas genéticas; classifi-
cação química; classificação descritiva e de utilização. Também
fornecemos as características lateríticas atuais.

2. DEFINIÇÕES PEDOLÓGICAS GENÉTICAS

Entende-se por laterização eluvial a decomposição de
rochas com solubilização de compostos com excessão dos sesquióxidos
Estes compostos, permanecem no solo, o qual diminuirá de volume por
arraste progressivo da sílica, alcalis, etc... Resta, pois, distin-
guir esse fenômeno do de podzolização com o qual se assemelha.

No caso de laterização, um perfil típico pode apre-
sentar quatro horizontes:

- Um horizonte superficial ferruginoso, com concre-
ções
- Horizonte laterítico
- Camada caulínica
- Rocha de origem

O enriquecimento em sesquióxidos pode ser relativo
ou absoluto, mas tende para a superfície ao contrário da podzaliza-
ção.

É de notar que as definições genéticas referem ao con-
junto concreções e solo.

3. DEFINIÇÃO QUÍMICA

O critério da composição química é hoje muito utilizado.

Admite-se que as lateritas dos países tropicais qual quer que fosse a rocha de origem, seriam constituídas, além dos restos de rocha ainda não atacadas, por hidróxido de ferro, alumínio e titânico, em percentagens variáveis com a composição da rocha de origem.

4. DEFINIÇÕES DESCRITIVAS E DE UTILIZAÇÃO

As definições descritivas e de utilização vão desde uma simples sugestão, até definições de um pormenor mais ou menos acentuado. Existem inúmeras definições, além da de BUCHANAN. Limitaremos a apresenta a de KELLOG.

KELLOG (1949) limitou o termo laterita aos materiais que em certos solos tropicais são susceptíveis de endurecer quando expostos, e aos seus restos fósseis, definição que o autor concretiza indicando quatro formas de materiais ricos em sesquióxidos. Essas quatro formas são:

- 1 - argilas brandas
- 2 - argilas endurecidas
- 3 - concreções
- 4 - cascões

5. CARACTERÍSTICAS LATERÍTICAS ATUAIS

As propriedades dos solos que se convencionou desig-

nar lateríticos são hoje entendidos:

- presença do mineral do grupo caulinítico e do grupo gipsítico;
- ausência dos restantes grupos dos argilo-minerais; ocasionalmente ocorrendo em pequenas percentagens e raramente aparece a montmorilonita e a holoisita;
- baixo teor de $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ nas frações argilosas
- elevado teor de sesquióxidos, especialmente de ferro e de alumínio;
- percentagem de ferro é superior a de alumina, nas concreções;
- baixa percentagem de matéria orgânica;
- baixo ou nulo teor de materiais solúveis ou permutáveis
- baixa capacidade de troca catiônica
- baixa expansibilidade
- baixa plasticidade
- baixa atividade coloidal
- tendência para concrecionamento e endurecimento sob exposição ao sol.

B - CONDIÇÕES SOLICITADAS DOS MATERIAIS

1. INTRODUÇÃO

Os materiais, por sua própria natureza, apresentam propriedades variáveis em um certo intervalo. No caso particular do solo essa oscilação é bastante ampla, o que nos faz prescintir e assim acontece, que um certo aditivo não agirá igualmente efetivo, independentemente do estado de propriedades desse material. A literatura já nos fornece, em princípio, indicações do estado adequado que um dado material deve atender para ser melhorado por um agente estabilizante. Essa indicação, que podemos chamar também orientação, é fruto de experiências de diversos autores de todo o mundo.

2. MATERIAIS

Os materiais a serem considerados são o cal, o solo e a água e é importante que o tipo de cal a ser usada seja claramente definido.

O termo cal tem um emprego para referenciar carbonato de cálcio (cal para agricultura), hidróxido de cálcio (cal hidratada) e óxido de cálcio (cal virgem). Aquí o termo é usado como na prática de engenharia, como cal hidratada.

3. CAL

A estabilização com cal, é encontrada com hidróxido de cálcio ou óxido de cálcio. Carbonato de cálcio (cal para agricultura) é ineficiente exceto como filler, material fino para

melhorar a granulometria. O efeito estabilizante depende, em última análise, do ataque químico pela cal ao argilo mineral do solo para formar um composto cimentante (gel silicato de cálcio hidratado), e o carbonato não proporciona isso.

A cal é preparada pelo aquecimento do carbonato de cálcio (pedra cal natural) em forno até que o dióxido de carbono escape. O óxido de cálcio descarregado do forno é conhecido como cal virgem e, devido ao peso e ao alto calor de hidratação, torna-se difícil sua manipulação e armazenamento, principalmente em clima úmido. É comum extinguir a cal virgem imediatamente, obtendo a cal hidratada (hidróxido de cálcio) como um pó mais fino. É importante notar que o processo de hidratação envolve uma grande redução na densidade e essa expansão é a base da técnica de estabilização profunda, usando pilar de cal.

A cal hidratada tem problemas de armazenamento bem menores devido a suscetibilidade a umidade; mas ambas as formas podem reverter em carbonato quando exposto prolongadamente ao ar. Uma impureza comum é o carbonato de magnésio em rochas dolomíticas a qual produz a cal dolomítica, isto é, a cal com alguma percentagem de óxido de magnésio. Outras impurezas podem ser ignoradas pois qualquer quantidade existente interfere pouco nas propriedades da cal.

Hidróxido de cálcio (cal extinta) é a mais usada em estabilização, embora o óxido de cálcio (cal virgem) pode ser mais efetivo em alguns casos. Tanto uma como a outra pode estar na forma calcítica ou dolomítica. A cal virgem é corrosiva, atacando o equipamento e há o risco de severas queimaduras a pessoas. Mesmo trabalhando com a cal hidratada prolongada exposição da pele pode resultar em irritação.

4. SOLO

A cal tem pequeno efeito em solo altamente orgânico e também em solo com pequena ou nenhuma percentagem de argila. Thompson admite que um solo será susceptível ao tratamento com cal se seu teor de matéria orgânica for inferior a 2%, além de satisfazer as outras condições necessárias. Em solo laterítico sua contribuição é ainda discutida, embora alguns autores como HAYTER e CAIRNS (1966); CARTMELL e BERG (1958); FERRO (1976) e muitos outros alegou ter obtido satisfatória melhoria, enquanto que BISZEWSKI (1963) reportou ter encontrado grande estabilização do solo quando tratado com cal. É mais efetiva que o cimento em solo argiloso expansivo. Em tais solos a cal cria imediatamente uma estrutura mais friável, a qual é mais fácil de trabalhar e compactar embora se encontre menor densidade; a cal pode ser usada somente por esta razão, como pré-tratamento, para posterior adição de cal ou cimento.

Há assim pequena restrição quanto ao uso da cal devido ao tipo de solo, mas cada caso deve ser investigado para verificar o efeito do aditivo, se necessário em comparação com o cimento.

Note que a cal reage mais rapidamente com a montmorilonita que com a caulinita; a diferença pode perfazer algumas semanas. É interessante acrescentar que para haver estabilização é preciso que haja pelo menos 10% de mineral argílico.

Na argila montmorilonítica a plasticidade é reduzida mas isso pode não acontecer com a caulinitica.

O efeito da umidade é importante somente onde há a operação de compactação.

Em argila úmida afeta rapidamente a plasticidade.

A posolana é um material particularmente notável para reação com a cal para formar o produto cimentante. NARDI (1975) obteve resistência do solo tratado com cal e posolana cerca de 25 vezes maior em relação à resistência do solo somente.

5. ÁGUA

A água potável é talvez preferida e água ácida (ácido orgânico) deve ser evitada. A água do mar tem sido usada, mas deve ser evitada onde o revestimento betuminoso será usado, porque a cristalização do sal pode levantar a capa do revestimento. A quantidade de água é dita pela necessidade a compactação, o que pode ser insuficiente para desenvolver completamente a reação, quando a quantidade de cal for superior a um certo limite. Com o uso da cal virgem uma quantia extra de água pode ser necessária em certos solos.

Entretanto a umidade do solo no estágio de pulverização e mistura é menos importante que no caso de estabilização com cimento.

1.

GENERALIDADES

A correta determinação da Resistência ao cisalhamento dos solos é um dos problemas mais complexos da mecânica dos solos.

O assunto é controvertido e, por isso, ainda em fase de estudos e pesquisas, como se verifica pelos trabalhos que frequentemente são publicados, visando esclarecer um ou outro aspecto da questão, até que, no futuro, se apresente definitivamente, teórica e praticamente.

Segundo a equação de Coulomb: $\tau = c + \sigma \tan \phi$, a resistência ao cisalhamento de um solo se compõe basicamente de duas componentes: a Coesão e o Atrito entre as partículas.

A determinação destes parâmetros, ou seja, a determinação da resistência ao cisalhamento de um solo é, usualmente, determinada no laboratório por um dos seguintes ensaios:

Cisalhamento direto

Compressão triaxial

Compressão simples

O ensaio de compressão triaxial, por ser teoricamente o mais perfeito é atualmente o mais usado.

Idealmente, o teste triaxial deve-se permitir o controle independente de três tensões principais.

O tipo de teste triaxial mais comumente usado em trabalho de pesquisa e em testes de rotina é o teste de compressão cilíndrico.

Neste teste, a amostra cilíndrica é lacedada numa membrana de borracha impermeável e inclusa numa célula, na qual pode ser sujeita à uma pressão fluida. Uma força aplicada axialmente



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
PRO-REITORIA PARA ASSUNTOS DE GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE ESCOLARIDADE - CODESC

HISTÓRICO ESCOLAR

NOME: LUIZ PAULO NUNES

CURSO: ENGENHARIA CIVIL

Nº DE MATRÍCULA 7621200-8

DATA NASCIMENTO: 10/07/51

DATA DE EMISSÃO: 01/08/79

AUTENTICAÇÃO

CÓDIGO	DENOMINAÇÃO DA DISCIPLINA	PERÍODO	CARGA HORÁRIA	NÚMERO DE CREDITOS	GRAU OBTIDO	SITUAÇÃO	CÓDIGO	DENOMINAÇÃO DA DISCIPLINA	PERÍODO	CARGA HORÁRIA	NÚMERO DE CREDITOS	GRAU OBTIDO	SITUAÇÃO
H020034	FST PROBLEMAS BRASILEIROS	762	060	04	****	D	H020417	EST DE PROBL BRASILEIROS I	762	030	02	****	D
H020425	EST DE PROBL BRASILEIROS I	762	030	02	****	D	H030137	EDUCACAO FISICA	762	030	02	****	D
T010022	INTRODUCAO A ALGEBRA	762	060	04	****	D	T010073	ALGEBRA LINEAR	762	060	04	****	D
T010081	CALCULO DIF E INTEGRAL I	762	060	04	****	D	T01009X	CALCULO DIF E INTEGRAL II	762	060	04	****	D
T010103	CALCULO DIF E INTEGRAL III	762	060	04	****	D	T010170	FISICA GERAL I	762	075	05	****	D
T010189	FISICA GERAL II	762	075	05	****	D	T010197	FISICA GERAL III	762	075	05	****	D
T010200	FISICA GERAL IV	762	075	05	5.2	A	T010219	MECANICA GERAL I	762	060	04	****	D
T010227	MECANICA II	762	060	04	****	D	T010243	GEOM DESCRT INT DES TECNIC	762	090	04	****	D
T010251	DESENHO TECNICO	762	090	04	****	D	T010529	ALGEBRA VETORIAL E GEOM AN	762	060	04	****	D
T02001X	QUIMICA I	762	060	04	****	D	T020745	INT A CIENCIA DOS MATERIAI	762	075	05	5.6	A
T040010	INT A CIENCIA DA COMPUTACA	762	045	03	****	D	T040037	CALCULO NUMERICO	762	045	03	****	D
T06016X	TOPOGRAFIA	762	075	05	5.5	A	T060011	RESISTENCIA DOS MATERIAIS	771	075	05	5.6	A
T060119	MATERIAIS DE CONSTRUCAO	771	075	05	6.5	A	T060186	ESTRADAS E TRANSPORTES	771	090	06	5.6	A
T06033X	SANEAMENTO GERAL	771	045	03	7.4	A	H010381	ECONOMIA	772	060	04	8.7	A
T010146	ESTATISTICA I	772	060	04	6.2	A	T030287	GEOLOGIA BASICA	772	075	05	8.0	A
T050474	ELETROTECNICA GERAL	772	060	04	9.2	A	T06002X	TEORIA DAS ESTRUTURAS	772	075	05	7.0	A
T060216	ECONOMIA DOS TRANSPORTES	772	060	04	5.1	A	T060410	FENOMENOS DOS TRANSPORTES	772	075	05	5.9	A
T060437	SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	772	060	04	6.3	A	H020387	INSTITUICOES DO DIREITO	781	060	04	8.0	A
T060038	ESTABILIDADE DAS CONSTRUCCO	781	075	05	5.3	A	T060046	CONSTRUCCOES DE CONC ARMADO	781	075	05	5.2	A
T060089	FST METALICA E DE MADEIRA	781	060	04	6.6	A	T060127	MECANICA DOS SOLOS	781	075	05	5.6	A
T060283	HIDRAULICA	781	075	05	5.1	A	T060356	TRATAMENTO DAGUA E ESGOTOS	781	075	05	7.0	A
H01039X	ADMINISTRACAO	782	060	04	7.3	A	H020034	EST PROBLEMAS BRASILEIROS	782	150	10	BOM	A
T060062	PONTES	782	075	05	8.5	A	T060070	ESTRUTURAS DE CONC PROTEND	782	075	05	7.1	A
T060135	CONSTRUCCOES DE EDIFICIOS	782	075	05	5.5	A	T060143	FUNDACAO DE EMPUXOS DE TER	782	060	04	7.6	A
T060194	PAVIMENTACAO	782	090	06	7.0	A	T060208	FERROVIAS	782	075	05	7.1	A
T060291	HIDROLOGIA APLICADA	782	060	04	5.2	A	T060364	SANEAMENTO AMBIENTAL	782	045	03	7.7	A
T06078X	ESTAGIO SUPERVISIONADO(CIV	782	400	10	BOM	A	T010154	ESTATISTICA II	791	060	04	7.7	A
T020028	QUIMICA II	791	060	04	7.7	A	T060267	TEORIA DO FLUXO DE TRAFEGO	791	060	04	7.2	A
T060305	IRRIGACAO E DRENAGEM	791	060	04	8.4	A	T060348	ABASTICIMENTO DAGUA	791	060	04	5.4	A
T060372	INSTALACOES PREDIAIS	791	060	04	8.3	A	*****	*****	***	***	**	****	*
CREDITOS SOLICITADOS	-	291											
CREDITOS ACUMULADOS	-	262											
CRE - COEF REND ESCOLAR	-	5.5											
CARGA HORARIA TOTAL	-	4240											

Luiz Paulo Nunes



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
PRO-REITORIA PARA ASSUNTOS DE GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE ESCOLARIDADE - CODESC

HISTÓRICO ESCOLAR

NOME: LUIZ PAULINO NUNES

CURSO: ENGENHARIA CIVIL

Nº DE MATRÍCULA 7621200-8

DATA NASCIMENTO: 10/07/51

DATA DE EMISSÃO: 01/08/79

AUTENTICAÇÃO

CÓDIGO	DENOMINAÇÃO DA DISCIPLINA	PERÍODO	CARGA HORÁRIA	NÚMERO DE CREDITOS	GRAU OBTIDO	SITUAÇÃO	CÓDIGO	DENOMINAÇÃO DA DISCIPLINA	PERÍODO	CARGA HORÁRIA	NÚMERO DE CREDITOS	GRAU OBTIDO	SITUAÇÃO
H020034	EST PROBL EMAS BRASILEIROS	762	060	04	****	D	H020417	EST DE PROBL BRASILEIROS I	762	030	02	****	D
H020425	EST DE PROBL BRASILEIROS I	762	030	02	****	D	H030137	EDUCACAO FISICA	762	030	02	****	D
T010022	INTRODUCAO A ALGEBRA	762	060	04	****	D	T010073	ALGEBRA LINEAR	762	060	04	****	D
T010081	CALCULO DIF E INTEGRAL I	762	060	04	****	D	T01009X	CALCULO DIF E INTEGRAL II	762	060	04	****	D
T010103	CALCULO DIF E INTEGRAL III	762	060	04	****	D	T010170	FISICA GERAL I	762	075	05	****	D
T010189	FISICA GERAL II	762	075	05	****	D	T010197	FISICA GERAL III	762	075	05	****	D
T010200	FISICA GERAL IV	762	075	05	5,2	A	T010219	MECANICA GERAL I	762	060	04	****	D
T010227	MECANICA II	762	060	04	****	D	T010243	GEOM DESCRT INT DES TECNIC	762	090	04	****	D
T010251	DESENHO TECNICO	762	090	04	****	D	T010529	ALGEBRA VETORIAL E GEOM AN	762	060	04	****	D
T02001X	QUIMICA I	762	060	04	****	D	T020745	INT A CIENCIA DOS MATERIAI	762	075	05	5,6	A
T040010	INT A CIENCIA DA COMPUTACA	762	045	03	****	D	T040037	CALCULO NUMERICO	762	045	03	****	D
T06016X	TOPOGRAFIA	762	075	05	5,5	A	T060011	RESISTENCIA DOS MATERIAIS	771	075	05	5,6	A
T060119	MATERIAIS DE CONSTRUCAO	771	075	05	6,5	A	T060186	ESTRADAS E TRANSPORTES	771	090	06	5,6	A
T06033X	SANEAMENTO GERAL	771	045	03	7,4	A	H010381	ECONOMIA	772	060	04	8,7	A
T010146	ESTATISTICA I	772	060	04	6,2	A	T030287	GEOLOGIA BASICA	772	075	05	8,0	A
T050474	ELETROTECNICA GERAL	772	060	04	9,2	A	T06002X	TEORIA DAS ESTRUTURAS	772	075	05	7,0	A
T060216	ECONOMIA DOS TRANSPORTES	772	060	04	5,1	A	T060410	FENOMENOS DOS TRANSPORTES	772	075	05	5,9	A
T060437	SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	772	060	04	6,3	A	H020387	INSTITUICOES DO DIRFITO	781	060	04	8,0	A
T060038	ESTABILIDADE DAS CONSTRUCC	781	075	05	5,3	A	T060046	CONSTRUCCOES DE CONC ARMADO	781	075	05	5,2	A
T060089	EST METALICA E DE MADEIRA	781	060	04	6,6	A	T060127	MECANICA DOS SOLOS	781	075	05	5,6	A
T060283	HIDRAULICA	781	075	05	5,1	A	T060356	TRATAMENTO DAGUA E ESGOTOS	781	075	05	7,0	A
H01039X	ADMINISTRACAO	782	060	04	7,3	A	H020034	EST PROBLEMAS BRASILEIROS	782	150	10	BOM	A
T060062	PONTES	782	075	05	8,5	A	T060070	ESTRUTURAS DE CONC PROTEND	782	075	05	7,1	A
T060135	CONSTRUCCOES DE EDIFICIOS	782	075	05	5,5	A	T060143	FUNDACAO DE EMPUXOS DE TER	782	060	04	7,6	A
T060194	PAVIMENTACAO	782	090	06	7,0	A	T060208	FERREVIAS	782	075	05	7,1	A
T060291	HIDROLOGIA APLICADA	782	060	04	5,2	A	T060364	SANEAMENTO AMBIENTAL	782	045	03	7,7	A
T06078X	ESTAGIO SUPERVISIONADO(CIV	782	400	10	BOM	A	T010154	ESTATISTICA II	791	060	04	7,7	A
T020028	QUIMICA II	791	060	04	7,7	A	T060267	TEORIA DO FLUXO DE TRAFFEGO	791	060	04	7,2	A
T060305	IRRIGACAO E DRENAGEM	791	060	04	8,4	A	T060348	ABASTECIMENTO DAGUA	791	060	04	5,4	A
T060372	INSTALACOES PREDIAIS	791	060	04	8,3	A	*****	*****	***	***	**	****	*
CREDITOS SOLICITADOS	-	291											
CREDITOS ACUMULADOS	-	262											
CRE - COEF REFD ESCOLAR	-	5,5											
CARGA HORARIA TOTAL	-	4240											

autentico

mente através da ação de um pistão hidráulico agindo no topo, é usado para controlar a tensão ^{des}desviatória. Sob estas condições, a tensão axial é a tensão principal maior σ_1 .

As tensões principais menor e intermediária (σ_2 e σ_3 respectivamente) são ambas iguais à pressão na célula.

Conexões nas extremidades da amostra permitem tanto a drenagem d'água e ar dos vazios no solo, ou alternativamente, a medida da pressão efetiva sob condições de não drenagem.

Os testes são classificados de acordo com as condições de drenagem obtida durante cada estágio:

1.1 - Testes não drenado - nenhuma drenagem, e assim nenhuma dissipação da pressão efetiva é permitida durante a aplicação da tensão confinante. Nenhuma drenagem é permitida durante a aplicação da tensão desviatória.

1.2 - Testes consolidados não drenados - A drenagem é permitida durante a aplicação da tensão de confinamento; logo a amostra é completamente consolidada sob esta pressão.

Nenhuma drenagem é permitida durante a aplicação da tensão desviatória.

1.3 - Testes drenados - A drenagem é permitida durante todo o teste, logo a consolidação completa ocorre sob a tensão de confinamento e nenhuma pressão efetiva em excesso é notada durante a aplicação da tensão desviatória.

1.4 - Ensaio consolidado não-drenado - Estes ensaios foram realizados com corpos de prova compactados e submetidos a saturação.

Utilizaram-se as pressões confinantes de 1,0 Kg/cm², 2,0 Kg/cm² e 3,0 Kg/cm², aplicadas usando o aparelho de

Bishop. O equipamento usado na realização dos ensaios foi de E.L.E. (Engineering Laboratory Equipment), constando de aparelho e célula triaxial devidamente preparada para medições de pressões neutras a fim de serem obtidas características de resistência em tensões efetivas.

2 - OBJETIVO DO ENSAIO

A finalidade deste ensaio é a determinação dos parâmetros: Coesão (C) e ângulo de atrito (ϕ).

3 - APARELHAGEM

- Estufa a 60° C
- Balança com precisão de 0,01g e capacidade de 5.000g
- Colher ou espátula
- Moldes com acessórios
- Misturador elétrico
- Capsulas-de alumínio
- prensa para compactação dos corpos de prova
- Bomba de vácuo e dissecador de vidro
- Permeâmetro ou câmara úmida
- Macaco hidráulico (p/ retirada dos moldes)
- Membrana de borracha
- Câmara triaxial

3.1 - Detalhes da célula triaxial - A forma do teste triaxial mais comumente usado em testes de rotina e em trabalhos de pesquisa é o teste de compressão cilíndrico, e é para este que a célula triaxial usual é primariamente designada. Também pode ser usada para o estudo de troca de volume e características de pressão confinante; e com modificações menores, pode ser usado para testes de extensão axial.

A célula consiste de três componentes principais: 1) a base, a qual forma o pedestal no qual a amostra repousa e incorpora as várias conexões de pressão; 2) o cilindro removível e a capa superior, o qual cerca a amostra e facilita a aplicação da pressão fluida; 3) e a força do piston hidráulico, o qual aplica a tensão desviatória a amostra (ver figura 1).

3.2 - Detalhes do aparelho para controlar a pressão na célula - Nos tres tipos mais comuns de teste de compressão triaxial, a pressão na célula é constante em todo decorrer de cada estágio do teste. A duração de rotina de teste de compressão não-drenado é aproximadamente 10 minutos, se as medidas de pressão efetiva não requeridas. Já no nosso caso, como as medidas de pressão efetiva são requeridas, a duração total do teste pode ser de 1 a 8 horas dependendo do tipo de solo e da exatidão necessária.

A manutenção, com exatidão suficiente de uma pressão constante no decorrer de longos períodos apresenta dificuldades considerável, e um número de métodos diferentes tem sido experimentados. Os autores tem experimentado com vários dos métodos principais em uso no presente, e nenhum deles provou ser satisfatório para trabalho de exatidão. O controle de mercúrio de compensação própria tem sido desenvolvido. Embora relativamente caro, é um método simples e digno de confiança.

4 - MÉTODOS E EXECUÇÃO DE ENSAIO

O ensaio foi realizado nas seguintes etapas:

4.1 - Peneiramento - O material a ser ensaiado, encontrava-se estocado no depósito do Laboratório de Solos II, foi retirado através de uma bandeja e levado para se processar o pe-

neiramento. Toma-se uma fração do solo e passa na peneira nº 10 ou seja, a peneira cuja as malhas é 2,0 mm.

4.2 - Secagem - Depois de passar na peneira nº 10, o material foi colocado em bacias e levado a estufa, a qual era conservada a uma temperatura máxima constante de 60°C. Este material devia ficar na estufa por mais de 48 horas para que ficasse a uma mesma temperatura sem nenhuma umidade.

4.3 - Moldagem dos corpos de prova - Os moldes foram preparados da seguinte forma:

- Em cada molde se coloca 3 abraçadeiras com o fim de evitar a expansão na compactação do corpo de prova;
- Pesa-se os moldes - (cilindro principal e as três braçadeiras).
- Coloca-se nas extremidades do molde dois cilindros complementares um de 65 mm de comprimento e outro de 20 mm.
- A extremidade com o cilindro complementar menor é colocada sobre a base guia para o início da compactação que é conduzida em dois estágios.

PROCEDIMENTO PARA PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

- a) pesagem de 1000g de material à 60°C
- b) leva-se ao misturador, adicionando-se as quantidades apropriadas de água e homogenizando em tempo determinado.
- c) Deste material tira-se o peso desejado para a moldagem, levando-se o restante para a estufa com o fim de se verificar a umidade.
- d) Nos intervalos de operações foi tomada precaução quanto a perda de umidade, colocando-se um pano úmido sobre a amostra de solo ou mesmo sobre os moldes, enquanto esperam pela compactação.

4.4 - Compactação dos corpos de prova - Os corpos de prova foram compactados estaticamente aplicando-se cargas sobre o solo por meio de prensa hidráulica, na qual foi adaptado um pistão de 40,3 mm de diâmetro. Quando a altura da coluna de solo dentro do molde era de 82,5 mm, o que era controlado pela penetração do pistão, a prensa era parada e o pistão retirado. O cilindro complementar superior (maior) era removido do molde e o cilindro principal contendo o solo era invertido, passando a apoiar-se sobre a base de ferro com saliência cilíndrica de 43 mm de diâmetro e recebendo carga do pistão pela outra extremidade, até que o comprimento do corpo de prova ficasse reduzido a 76,2 mm. Neste estágio a prensa era novamente desligada, porém deixando-se o solo suportar a carga por mais um minuto. A inversão era feita para evitar a formação de gradiente de compactação ao longo do corpo de prova. (ver figura 2). Após serem retirados da prensa, os corpos de prova eram pesados (cilindro principal com 3 braçadeiras e o solo compactado) e recebiam em ambas as extremidades um disco de papel de filtro de 42 mm e um disco de fibra com toda a superfície perfurada, fun-

cionando este conjunto como uma pedra porosa. Adaptava-se então ao molde, em ambas as extremidades, uma conexão tipo redução, ' que servia para evitar a expansão do corpo de prova quando da saturação, e para prender o molde ao conjunto. (ver figura 3).

4.5 - Saturação dos corpos de prova - Após a moldagem, os corpos de prova devidamente preparados eram colocados num dissecador de vidro, e, durante duas horas, submetidos ao vácuo produzido por uma bomba.

Isto servia para retirar o ar de dentro do corpo de prova, criando no seu interior uma pressão menor que a pressão atmosférica. Após duas horas, fechava-se a válvula do dissecador, desligava-se a bomba e, introduzia-se água no dissecador, em quantidade suficiente para submergir os moldes, utilizando o vácuo ali existente. Então, o dissecador era aberto durante o período de duas horas, de tal forma que o conjunto ficava sujeito à pressão atmosférica. Como a pressão nos vazios do corpo de prova, era menor que a pressão atmosférica, a água penetrava no seu interior, promovendo assim a saturação desejada. (ver figura 4)

4.6 - Ruptura - A ruptura desenvolveu-se nas seguintes etapas:

- a) Após ter sido saturado à vácuo com água destilada, o corpo de prova é levado para a percolação ou para a câmara úmida.
- b) Passados os dias determinados de percolação o corpo é retirado do molde através de um macado hidráulico e levado ao aparelho triaxial, sendo colocado sobre uma pedra porosa saturada que se encontra sobre o cabeçote inferior.
- c) Coloca-se sobre a amostra um cabeçote superior e em seguida envolve-se o conjunto com uma membrana de borracha ajustando-a através de anéis de vedação.
- d) O conjunto com a amostra é colocado dentro da célula triaxial de tal maneira que o pistão fique em contato com o cabeçote superior sem produzir deformação no corpo de prova. Ajustou-se hermeticamente a célula à base, enchendo-a com água que serve para transmitir a pressão confinante à amostra, no decorrer do ensaio.
- e) foram então zerados os extensômetros, os quais são destinados à medir as deformações do anel e as deformações verticais da amostra.
- f) os corpos de prova foram submetidos a uma tensão confinante de 1,0; 2,0 e 3,0 Kg/cm² para cada teor de cimento ou cal e determinado número de dias de percolação.

5 - PERMEABILIDADE

Denomina-se permeabilidade a propriedade dos solos que indica a maior ou menor facilidade que os solos oferecem à passagem da água através dos seus vazios.

Pela lei de Darcy temos $Q = KiA$ onde $K =$ constante para cada corpo de prova denominada de "Coeficiente de permeabilidade"; $i =$ gradiente hidráulico, definido como sendo a relação entre a perda de carga h e a distância de percolação d'água L onde ocorreu a perda ($i = h/L$) e $A =$ a área de seção transversal do corpo de prova.

5.1 - PERMEÂMETROS

Permeâmetros são aparelhos utilizados para medir no laboratório os coeficientes de permeabilidade dos solos. Existem dois tipos de permeâmetros que são:

Carga constante

Carga variável

No nosso caso utilizamos o permeâmetro de carga constante (ver figura 5).

A pressão era mantida através de um tubo de oxigênio e fazíamos as medidas de percolação pela água retida em vazios de vidro colocados abaixo das amostras conforme a figura indica. Da lei de Darcy temos: $Q = V = Ki$, onde V é denominada de velocidade de descarga. Logo o coeficiente de permeabilidade tem dimensões de uma velocidade (cm/seg.). Não se confundindo, porém, com a velocidade de percolação V_p , que seria a velocidade d'água através dos poros dos solos. Pela lei da continuidade temos:

$$V A = V_p \cdot A_v \quad \text{onde } (A_v = \text{área de vazios})$$

Escala de coeficientes de permeabilidade.

K (cm/seg)

Diminuye

10^{-8}

10^{-6}

10^{-4}

10^{-2}

10^0

K (cm/seg)

Aumenta

Argilas

Arcillas finas
Siltos
Argilas, Siltos
Argillosos

Arcillas
puras

Pedregullo

logo teremos: $V_p = A/Av.V$, sendo na porosidade do solo ($V_v=nV$)
admite-se que: $Av \approx n^{2/3}$. A logo $V_p \approx V/n^{2/3}$.

Tal velocidade de percolação V_p , porém deve variar imensamente a
cada dx de distância ao longo do caminho do fluxo.

Veja em anexo uma escala aproximada dos coeficientes de permeabilidade dos solos.

PERMEAMETRO - aparelho utilizado para fazer com que a água percole à amostra sob pressão constante.

- utilizamos uma pressão aproximadamente de $0,5 \text{ Kg/cm}^2$.



6 - PRESCRIÇÃO DOS CÁLCULOS

6.1 - Constante do anel - A constante do anel é determinada baseada na tabela 1 fornecida pelo Engineering Laboratory Equipment Limited, no ato de venda do equipamento.

A tabela nos dá os valores das forças aplicadas e suas respectivas deflexões provocadas. De posse destes valores, construímos o gráfico 2 para a força em libras e as deflexões em divisões.

Tiramos o valor da tangente que nos dá a constante do anel. Seu valor é 0,410 lb/divisões.

O número de séries do anel é 118-3-533. A temperatura de calibração foi 19°C.

A máxima deflexão foi 1465,1 divisões e a força máxima igual a 600 lbf, isto é, 270 kgf. (ver tabela 1).

6.2 - Cálculo de área corrigida - Se A é a área da seção transversal do corpo de prova, então:

$$Q_1 - Q_3 = F/A$$

Se (A_0, H_0, V_0) forem as condições iniciais da seção transversal, altura e volume do corpo de prova e num certo instante t_i tivermos (A_i, H_i, V_i) e como $V_0 = V_i$ teremos:

$$A_i \cdot H_i = A_0 H_0 \quad A_i = A_0 \cdot H_0 / H_i$$

Em cada instante, $H_i = H_0 - \Delta H_i$ e

$$A_i = H_0 / (H_0 - \Delta H_i) \cdot A_0 \text{ ou } A_i = 1 / (1 - \Delta H_i / H_0) \cdot A_0$$

mas $\Delta H_i / H_0 = \xi_i$ é a deformação específica do corpo de prova, então teremos: $A_i = A_0 / (1 - \xi_i) = (A_0)_i$ é a área corrigida do corpo de prova.

Exemplo: Se num determinado ensaio, a área inicial é 1,977 e desejamos o valor da área corrigida para uma deformação de 0,03 teremos:

$$A_i = 1,977/1-0,03 = 2,038$$

6.3 - Cálculos das tabelas de tensões

a) cálculo da tensão desviatória ($\sigma_1 - \sigma_3$)

As deformações do anel são lidas no extensômetro que fica acima da célula triaxial.

Calcula-se a força $F_1 - F_3 =$ deformação anel x constante do anel.

A tensão desviatória ($\sigma_1 - \sigma_3$) é a razão entre a força ($F_1 - F_3$) e área corrigida.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = (F_1 - F_3)/\text{Área}$$

b) Cálculo da pressão neutra.

As leituras H1 e H2 eram feitas nas colunas de mercúrio adaptadas ao aparelho para controlar a pressão neutra na célula.

O cálculo da pressão neutra (H), é feito subtraindo H2 de H1 e dividindo por 100; ou seja:

$$H = (H_2 - H_1)/100$$

c) Cálculo de $\sigma_1' - \sigma_3'$

O valor de $\sigma_1' - \sigma_3'$ era obtido pela subtração H de $\sigma_1 - \sigma_3$, a partir da deformação 0,500%.

6.4 - Cálculo das tabelas de moldagem

a) Peso específico úmido γ

O peso do solo úmido foi obtido subtraindo molde e solo úmido depois de compactado da tara do molde.

Calcula-se o peso específico úmido, dividindo o peso do solo úmido pelo volume do solo depois da compactação, que é igual à 97,155 cm³.

b) Peso da água.

Tomava-se uma fração de solo colocava-se em uma cápsula (tara da cápsula); depois pesava cápsula e solo úmido, levava o conjunto à estufa que trabalhava à 60°C, deixava passar mais de 24 horas para que o solo ficasse totalmente seco; depois deste período retira o conjunto e pesa, daí obtém-se o peso da cápsula e solo seco.

O peso da fração de solo úmido era obtido subtraindo-se cápsula e solo úmido da tara da cápsula.

Subtraindo-se cápsula e solo seco da tara da cápsula obtinha o peso do solo seco.

Solo úmido menos solo seco dava o peso da água.

c) Umidade de moldagem

Dividindo-se o peso de água pelo peso do solo seco e multiplicando-se por 100 era obtida a umidade de moldagem.

d) Peso específico seco γ_s

Era dado pela seguinte fórmula:

$$\gamma_s = \gamma / (1 + h) , \text{ onde:}$$

γ = peso específico úmido

h = umidade de moldagem (sem ser porcentagem)

6.5 - Cálculo da coesão e do ângulo de atrito

Todos os cálculos efetuados que dependiam dos valores das tabelas que se seguem, foram tomados para uma deformação de 3%.

Sendo o ensaio realizado com 3 constantes e conhecido, achamos os valores de σ_1 , da seguinte forma: temos na tabela os valores de $\sigma_2 - \sigma_3$, então, com σ_3 constante achamos o σ_1 .

Exemplo: Para uma deformação de 3% e um 1,0Kgf/cm temos que o valor de

de $\sigma_2 - \sigma_3$ é 2,170, logo o σ_1 será:

$$\sigma_1 = 1,0 + 2,170 = 3,170$$

O mesmo método é o da coluna de medidas de pressões neutras.

De posse dos valores de σ_1 e σ_3 traçamos os gráficos e desenhamos os tres círculos de Mohr correspondentes a cada umidade.

*Na Hora
Gráficos*

A tangente aos círculos nos fornece o ângulo referente ao ensaio.

o valor da ordenada indicada acima (C) nos dá a coesão.

A seguir, tomamos os valores da coluna H, que é a diferença de pressão neutra, e a partir do centro de cada círculo de Mohr plotamos o seu valor para a esquerda e traçamos um novo círculo que fará parte do outro conjunto de três círculos e nos dará uma nova tangente e uma nova coesão.

Este é o método utilizado em laboratório para a determinação destes parâmetros.

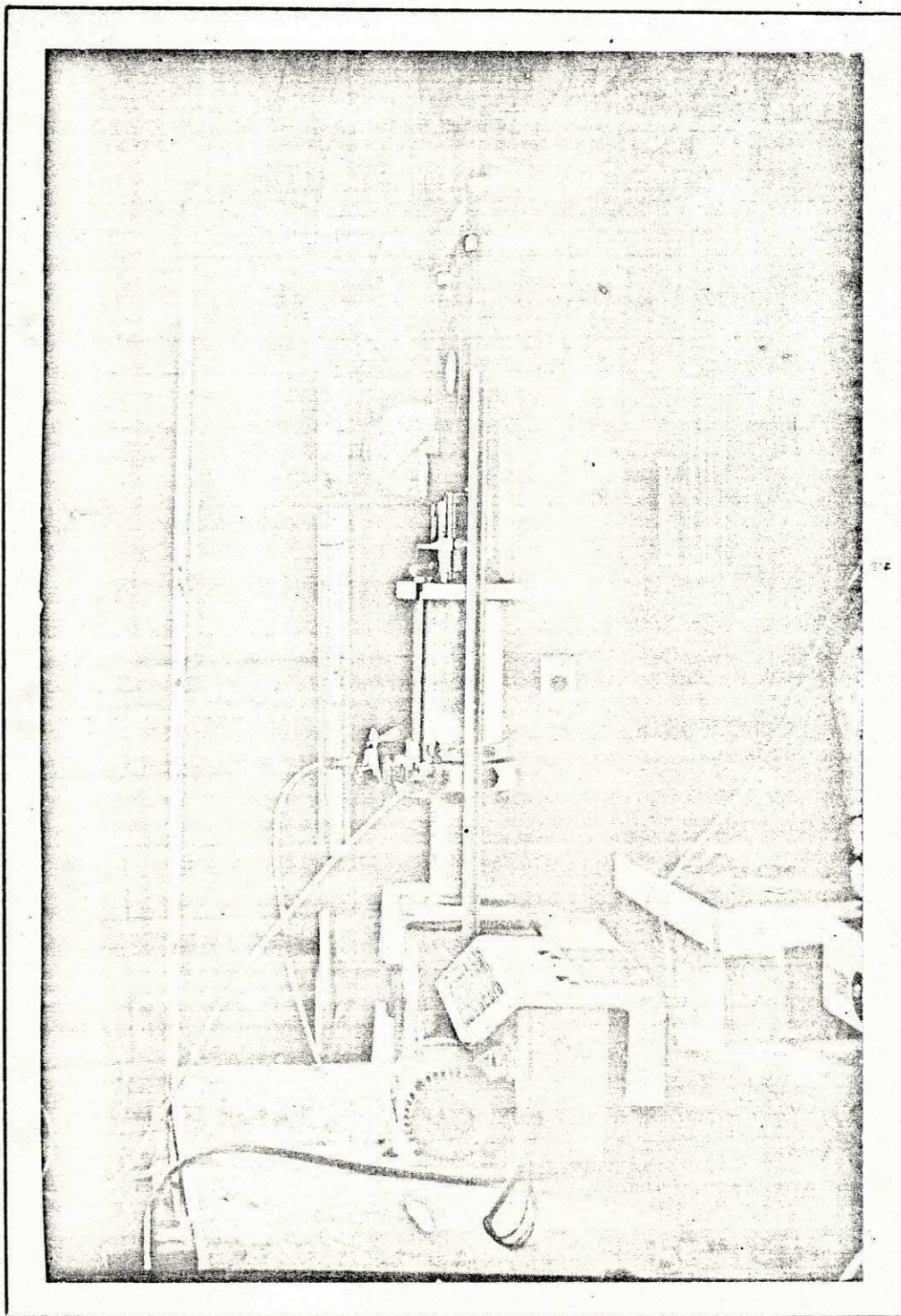
Há um método mais sofisticado, que consiste de 3 programas previamente elaborados que contém os círculos de Mohr.

De posse deste programa e dos valores de σ_1 e σ_3 , através de mecanismos numa máquina canola 167-P achamos os valores de ϕ e C correspondentes a cada pressão confinante para cada umidade.

Este método acima descrito também foi por nós executado e os valores encontrados estão satisfatórios, pois as características de cisalhamento do solo se identificaram em ambos os métodos.

TABELA 1

FORÇA	DEFLEXÕES	FORÇA	DEFLEXÕES
lbf	(divisões)	Lbf	(Divisões)
0	0	0	0
60	144,8	30	160,4
120	287,6	60	318,2
180	433,6	90	478,1
240	576,7	120	637,9
300	724,7	150	799,5
360	869,1	180	962,0
420	1019,3	210	1124,8
480	1165,8	240	1287,7
540	1315,4	270	1453,9
600	1465,1		



Instrumentação completa para o Ensaio Triaxial

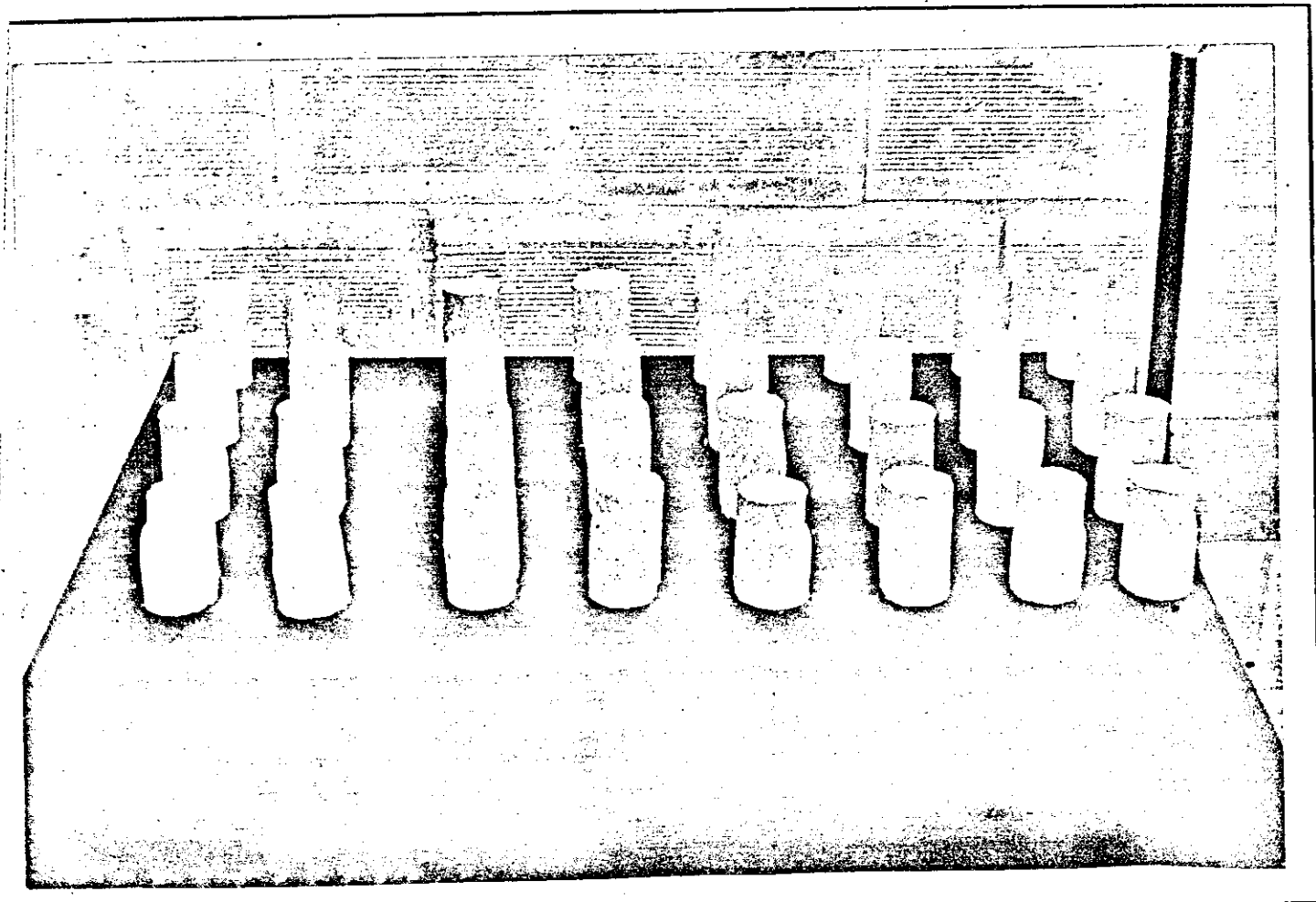
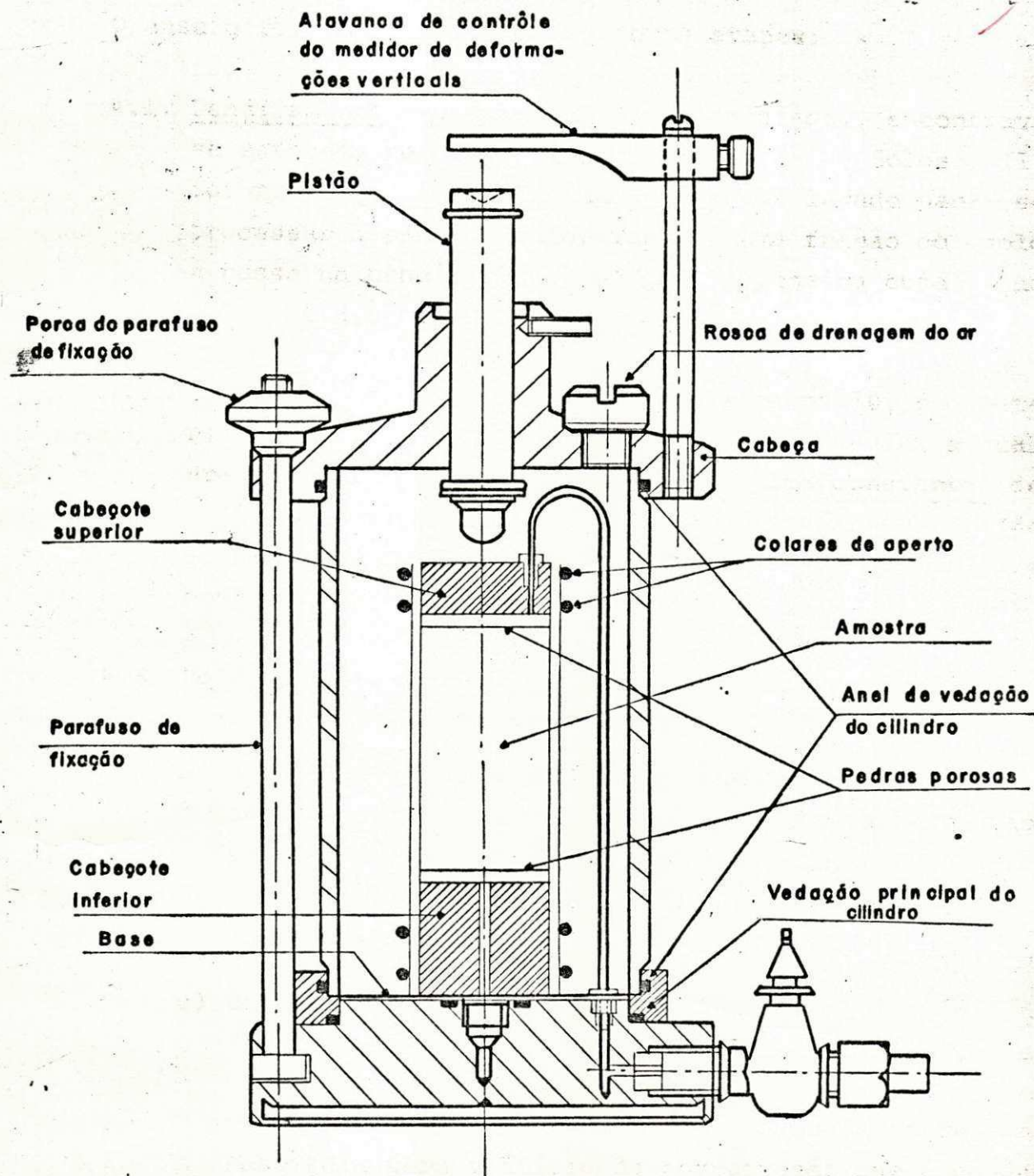


FIGURA DE CORPOS DE PROVA APÓS O ENSAIO

FIGURA - 1 -Detalhe da Célula Triaxial



ESQUEMA DA CÉLULA TRIAXIAL

Figura 1

FIGURA 2. Vista Detalhada dos Cilindros

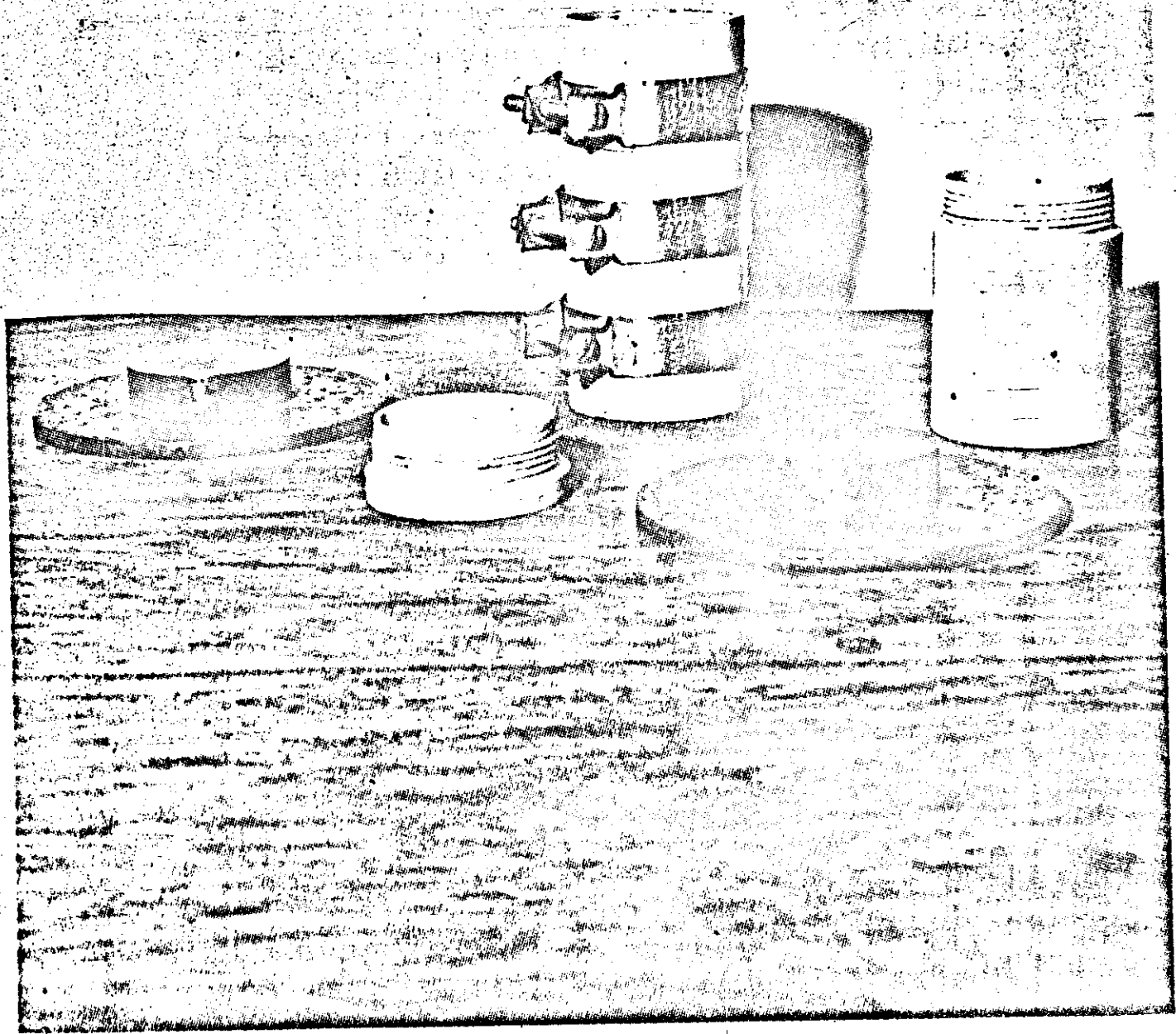


FIGURA 4. Compactação na extremidade do cilindro complementar interior (menor)

FIGURA 3. Compactação na extremidade do cilindro complementar superior (maior)

FIGURA 5. Vista detalhada do molde

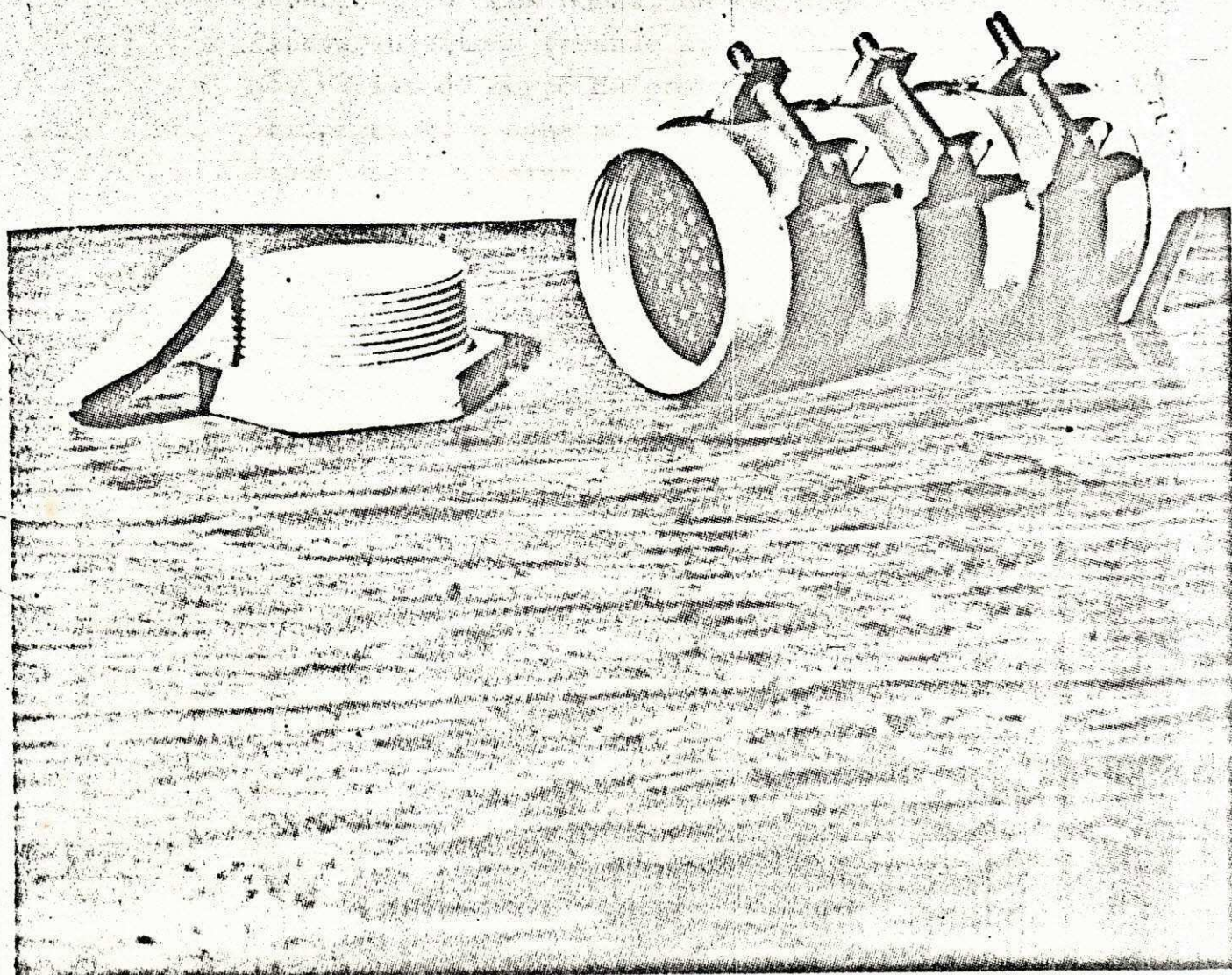
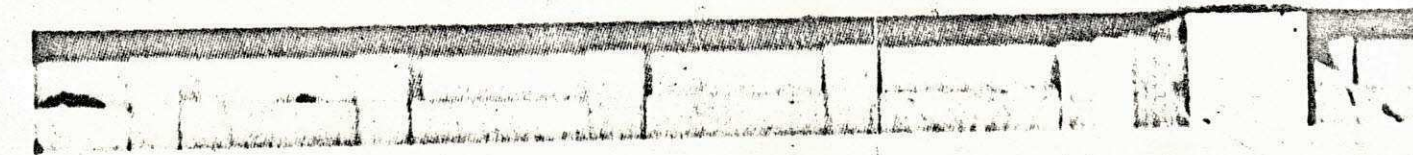
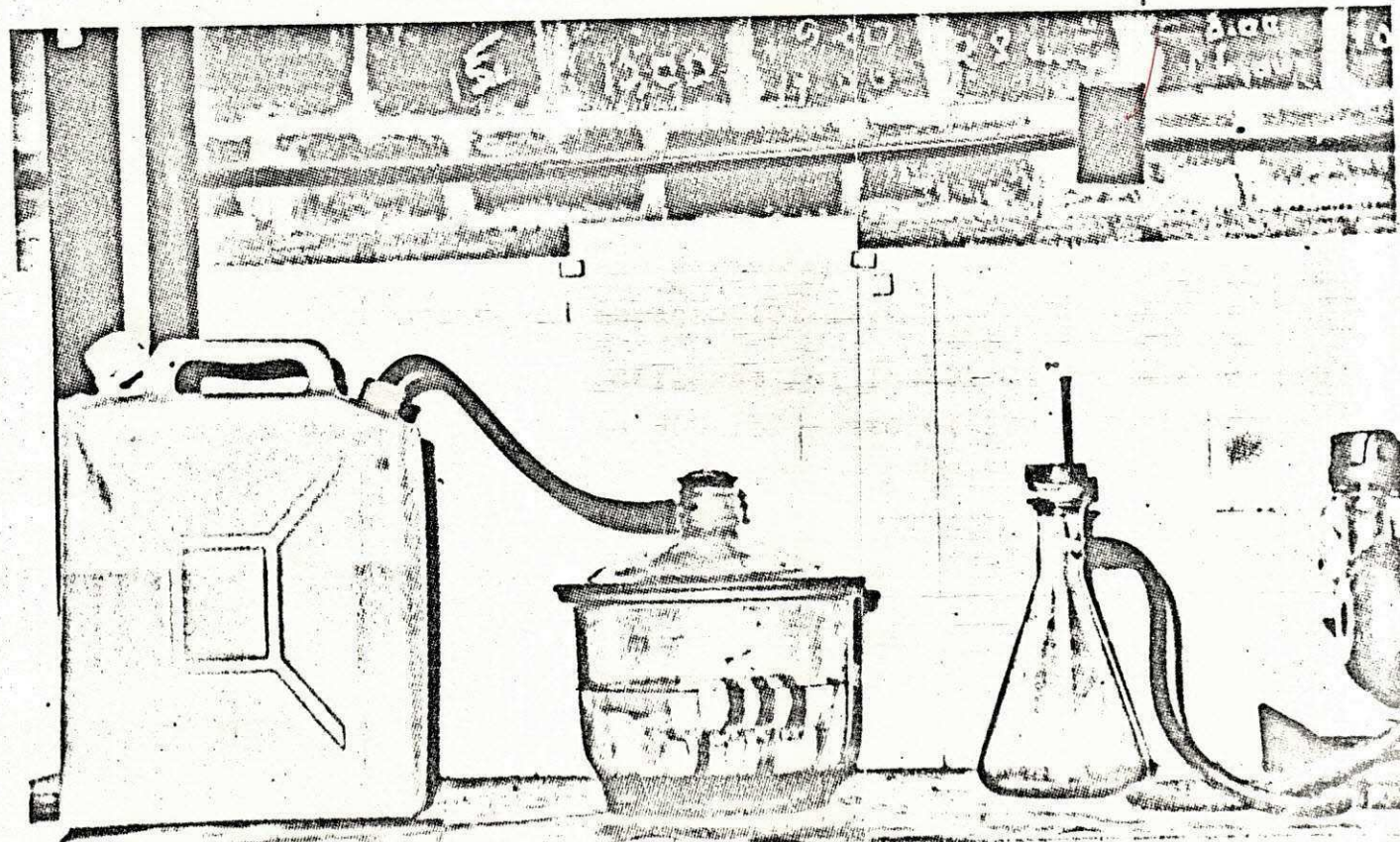
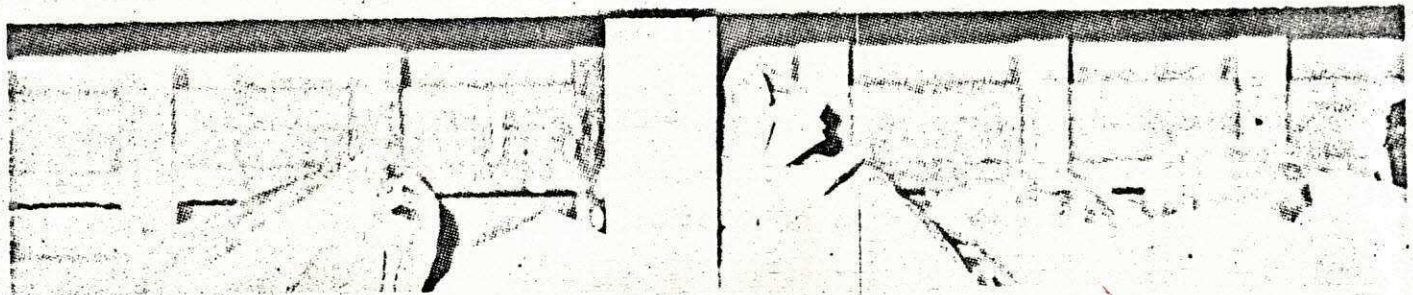
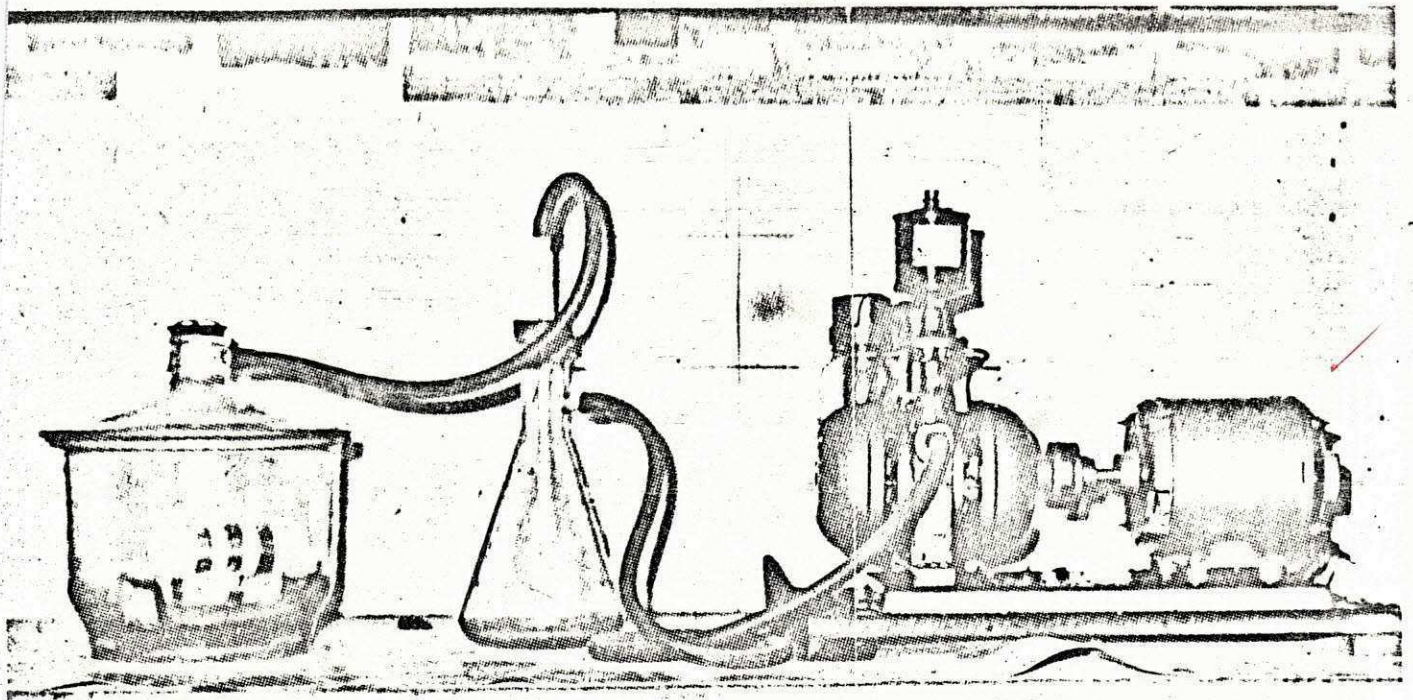


FIGURA 6. Saturação através da bomba de vácuo

FIGURA 7. Submerção dos moldes através de água introduzida no dissecador.



TABELAS E GRÁFICOS REFERENTE A CINCO ENSAIOS

COMO EXEMPLO DO QUE FOI NOSSO TRABALHO.

AMOSTRA	CL - 01	CL - 02	CL - 09
TEOR DE CAL	2%	2%	2%
DIAS DE PERCOL.	28	28	28
DIAS DE CURA	07	07	07
σ_3 (Kg/Cm ²)	1	2	3

- GRÁFICO -

$G-G_2$

$$\rho_3 = 3.0 \text{ kg/cm}^3$$

$$\rho_3 = 2.0 \text{ kg/cm}^3$$

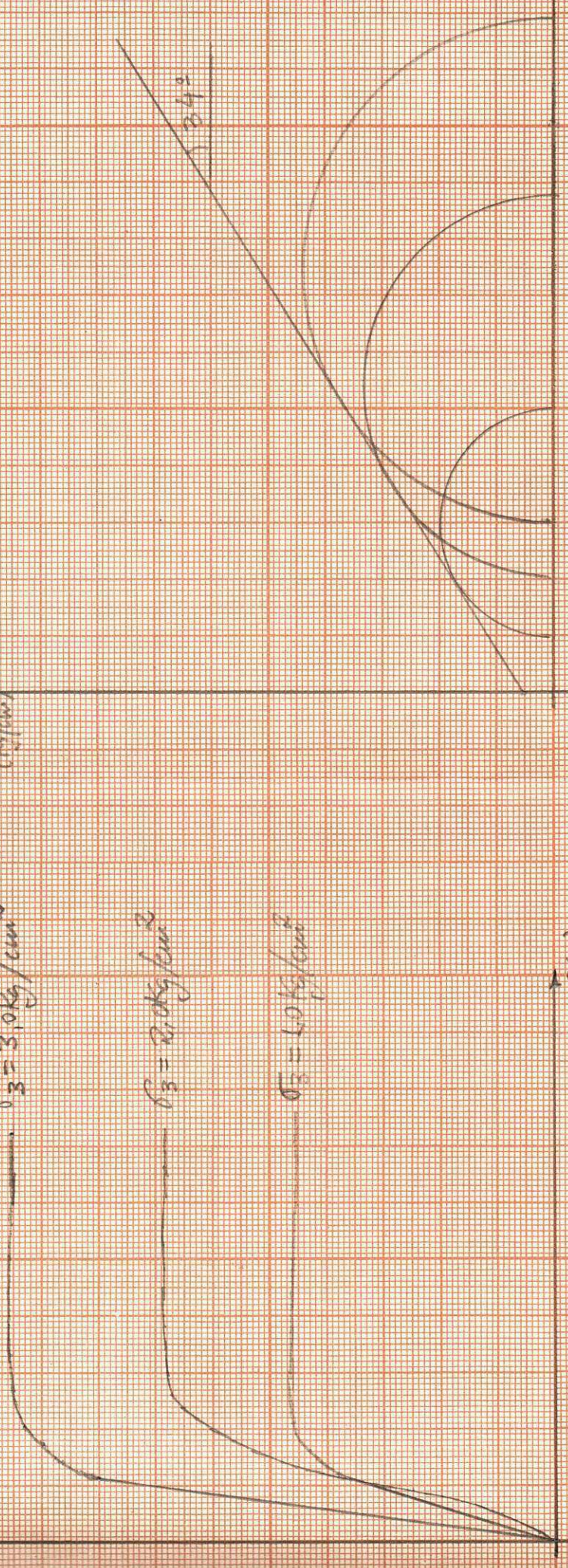
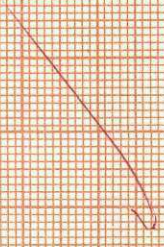
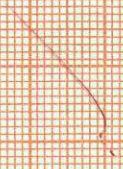
$$\rho_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^3$$

(G/G_2)

G
(kg/cm³)

(G/G_2)

(G/G_2)



AMOSTRAS	CL - 03	CL - 04	CL - 10
TEOR DE CAL	2%	2%	2%
DIAS DE PERCOL.	14	14	14
DIAS DE CURA	07	07	07
σ_3 (Kg/cm ²)	1	2	3

- GRÁFICOS -

σ
(kg/cm^2)

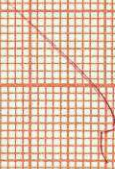
$\sigma_1 = 2.0 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_2 = 2.0 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$

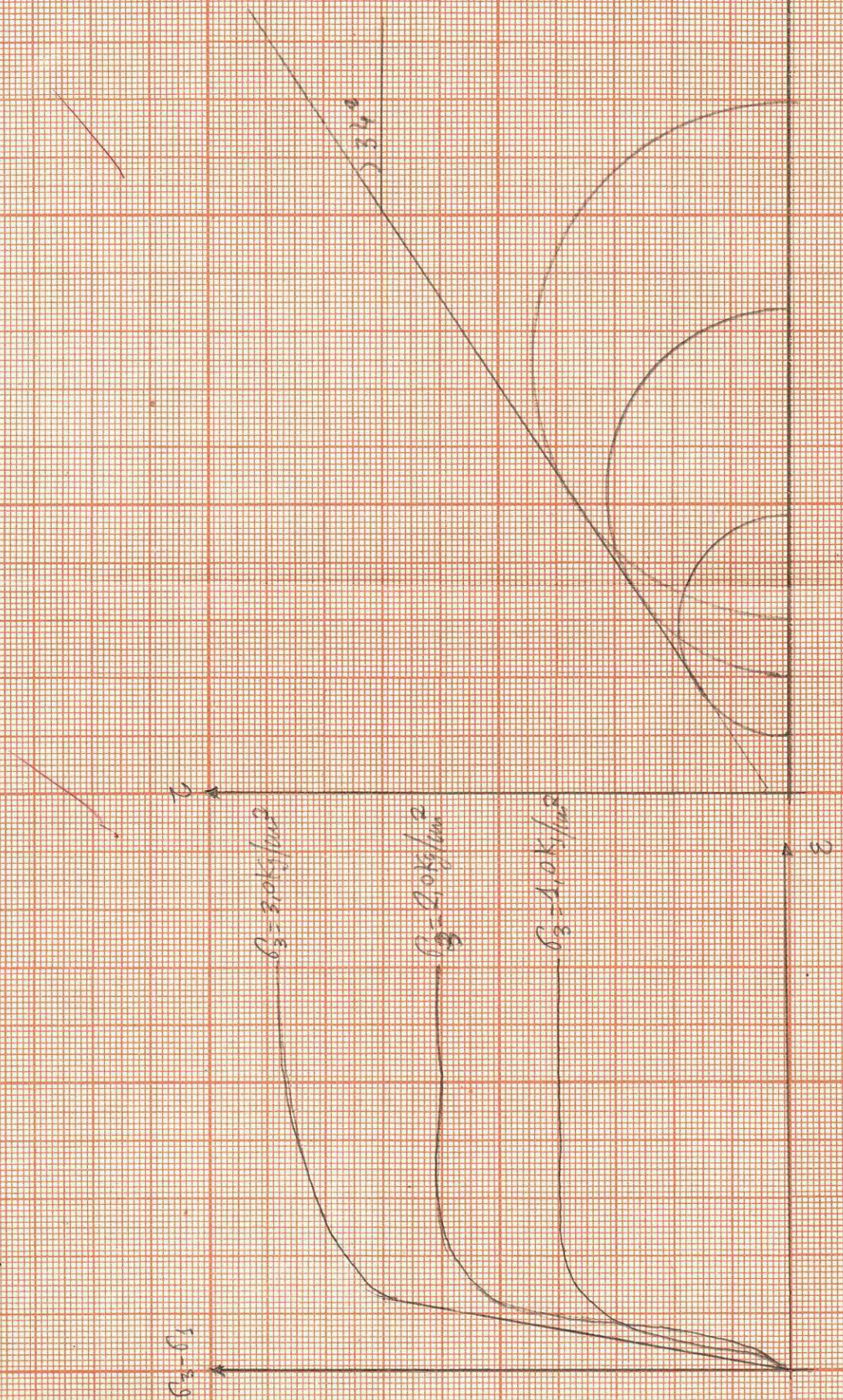
(01) 3

342



AMOSTRAS	CL - 05	CL - 06	CL - 23
TEOR DE CAL	2%	2%	2%
DIAS DE PERCOL.	03	03	03
DIAS DE CURA	07	07	07
σ_3 (Kg/cm ²)	1	2	3

- GRÁFICOS -



AMOSTRAS	CL - 07	CL - 08	CL - 11
TEOR DE CAL	2%	2%	2%
DIAS DE PERCOL.	0	0	0
DIAS DE CURA	07	07	07
σ_3 (Kg/cm ²)	1	2	3

- GRÁFICOS -

δ_1, δ_3

$\delta_3 = 3.0 \text{ kg/cm}^2$

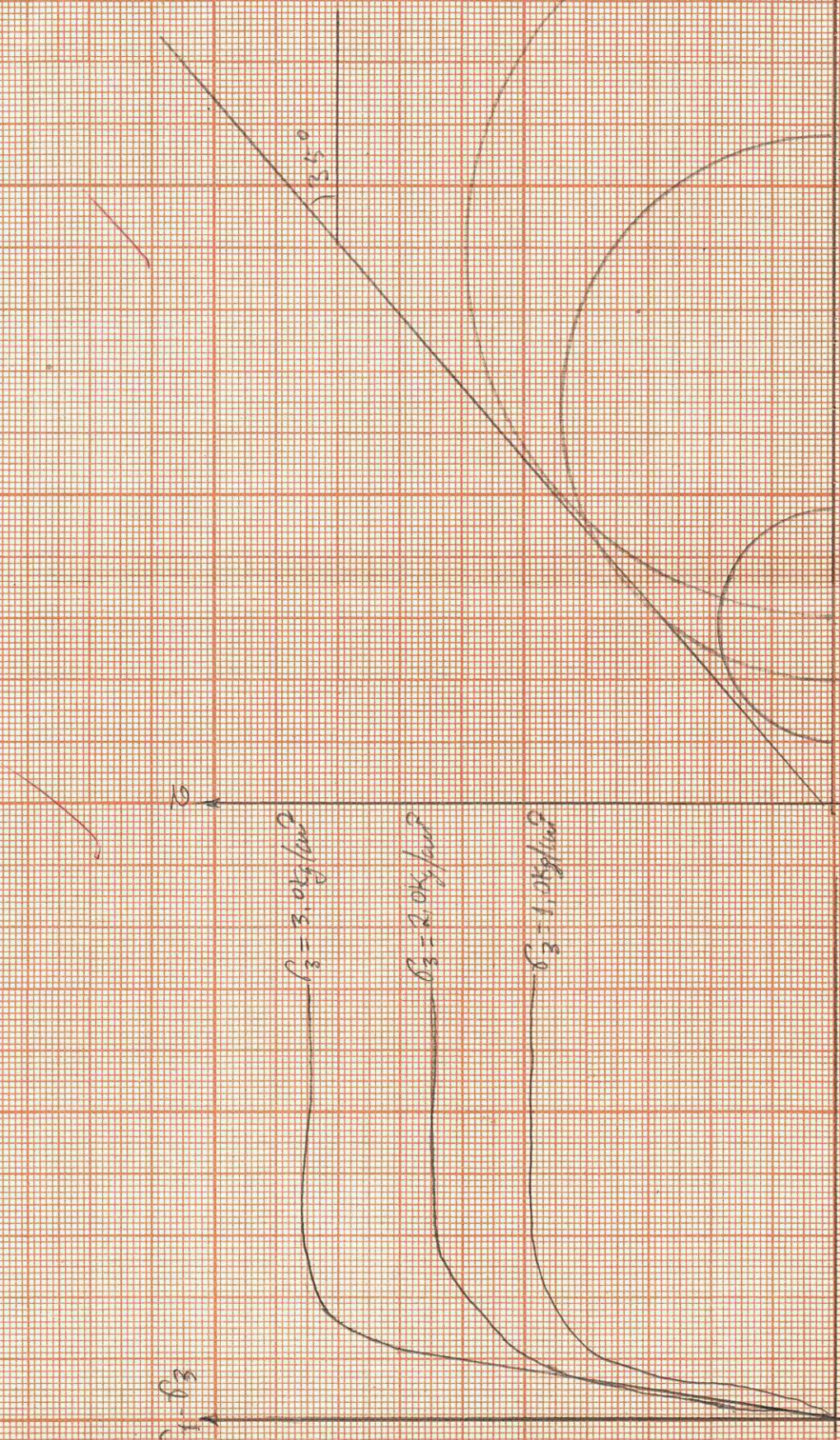
$\delta_3 = 2.0 \text{ kg/cm}^2$

$\delta_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$

σ

σ

$\delta_3 = 5.0$



AMOSTRAS	CL - 12	CL - 15	CL - 16
TEOR DE CAL	4%	4%	4%
DIAS DE PERCOL.	28	28	28
DIAS DE CURA	07	07	07
σ_3 (Kg/cm ²)	1	2	3

- GRÁFICOS -

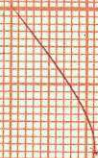
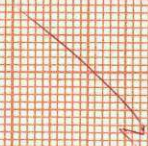
$\rho_1 = \rho_2$

$\rho_3 = 3.0 \text{ kg/m}^3$

$\rho_5 = 2.0 \text{ kg/m}^3$

$\rho_7 = 1.0 \text{ kg/m}^3$

$\rho_3 = 1$



B I B L I O G R A F I A

- ANAIS DO SEGUNDO CONGRESSO PANAMERICANO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES.

- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL
(O problema de rotura de solos)
Virgilio Penalva Esteves

- MECÂNICA DOS SOLOS VOLUME II
Victor F. B. Melo

*Victor F. B. Melo
mult.
Bibliografia
incomplete!!*