

**SUMÁRIO**

- 1 Objetivo
- 2 Normas complementares
- 3 Aparelhagem
- 4 Energias de compactação
- 5 Execução do ensaio
- 6 Resultados

**ANEXO – Figuras****1 OBJETIVO**

Esta Norma prescreve o método para determinar o valor do Índice de Suporte Califórnia e da expansão de solos em laboratório, utilizando amostras deformadas, não reusadas, de material que passa na peneira de 19 mm, com um mínimo de 5 corpos-de-prova.

**2 NORMAS COMPLEMENTARES**

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 5734 – Peneiras para ensaios - Especificação

NBR 6457 – Amostras de solo - Preparação para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização - Método de ensaio

NBR 7182 – Solo - Ensaio de compactação - Método de ensaio

**3 APARELHAGEM**

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é a seguinte:

- a) balanças que permitam pesar nominalmente 20 kg, 1500 g e 200 g com resolução de 1 g, 0,1 g e 0,01 g respectivamente, e sensibilidade compatível;

Origem: ABNT 2:04.15-015/1986

CB-2 – Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-2:04.15 – Comissão de Estudo de Índice de Suporte Califórnia de Solos

**SISTEMA NACIONAL DE  
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO  
E QUALIDADE INDUSTRIAL**

**ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA  
DE NORMAS TÉCNICAS**

©

Palavras-chave: solo.  
Índice de suporte califórnia.

**NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA**

- b) peneiras de 19 e 4,8 mm de acordo com a NBR 5734;
- c) estufa capaz de manter a temperatura entre (105 e 110)°C;
- d) cápsulas metálicas, com tampa, para determinação de umidade;
- e) bandejas metálicas de 75 cm x 50 cm x 5 cm;
- f) régua biselada com comprimento de 30 cm;
- g) espátulas de lâmina flexível com aproximadamente 10 x 12 cm e 2 x 10 cm (largura x comprimento);
- h) cilindro,  
- compreende o molde cilíndrico de bronze, latão ou ferro galvanizado, base perfurada, cilindro complementar de mesmo diâmetro (colarinho) e disco espaçador metálico; as dimensões a serem respeitadas estão indicadas na Figura 1 do Anexo;
- i) soquete,  
- consiste de um soquete de bronze, latão ou ferro galvanizado, com massa de  $(4536 \pm 10)$  g e dotado de dispositivo de controle de altura de queda (guia) que é de  $(457 \pm 2)$  mm; as dimensões a serem respeitadas estão indicadas na Figura 2 do Anexo;
- j) prato perfurado de bronze, latão ou ferro galvanizado, com 149 mm de diâmetro e 5 mm de espessura, com haste central ajustável, constituída de uma parte fixa rosqueada e de uma camisa rosqueada internamente, com a face superior plana para contato com o extensômetro; as dimensões a serem respeitadas estão indicadas na Figura 3 do Anexo;
- l) porta-extensômetro; as dimensões a serem respeitadas estão indicadas na Figura 4 do Anexo;
- m) disco anelar de aço para sobrecarga, dividido diametralmente em duas partes, com  $(2270 \pm 10)$  g de massa total, com diâmetro externo de 149 mm e diâmetro interno de 54 mm;
- n) extensômetro com curso mínimo de 10 mm, graduado em 0,01 mm;
- o) prensa, composta dos seguintes elementos (Figura 5 do Anexo),  
- quadro formado por base e travessa de ferro fundido e tirantes de aço, apresentando a travessa um entalhe inferior para suspensão de um conjunto dinamométrico;  
- macaco de engrenagem, de operação manual por movimento giratório de uma manivela, com duas velocidades, acompanhado de um prato reforçado ajustável ao macaco, com 240 mm de diâmetro para suportar o molde, ou prensa hidráulica com ajuste de velocidade;  
- conjunto dinamométrico com capacidade de 50 kN sensível a 25 N, constituído por anel dinamométrico de aço, calibrado, com dimensões compatíveis com a carga acima apresentada, com dispositivo para fixação no entalhe

da travessa; extensômetro graduado em 0,001 mm fixado ao centro do a nel, para medir encurtamentos diametrais; pistão de penetração (Figura 6 do Anexo), de aço, com 49,6 mm de diâmetro e com uma altura de cerca de 190 mm, variável conforme as condições de operação, fixado à parte infe rior do anel; e extensômetro graduado em 0,01 mm, com curso maior que 12,7 mm, fixado lateralmente ao pistão, de maneira que seu pino se apoie no bordo superior do molde;

- p) extrator de corpo-de-prova;
- q) tanque ou recipiente com capacidade tal que permita a imersão total do cor po-de-prova;
- r) papel filtro circular com cerca de 150 mm de diâmetro;
- s) provetas de vidro com capacidade de 1000 cm<sup>3</sup>, 200 cm<sup>3</sup> e 100 cm<sup>3</sup> e com gra duações de 10 cm<sup>3</sup>, 2 cm<sup>3</sup> e 1 cm<sup>3</sup>, respectivamente;
- t) desempenadeira de madeira com 13 cm x 25 cm;
- u) conchas metálicas com capacidade de 1000 cm<sup>3</sup> e 500 cm<sup>3</sup>;
- v) base rígida preferencialmente de concreto, com massa superior a 100 kg.

#### 4 ENERGIAS DE COMPACTAÇÃO

4.1 As energias de compactação especificadas nesta Norma são: normal, intermediária e modificada, respectivamente, com 12, 26 e 55 golpes por camada, num total de cinco camadas, de acordo com a NBR 7182.

#### 5 EXECUÇÃO DO ENSAIO

##### 5.1 Preparação da amostra (ver Tabela)

A quantidade recomendada de material para execução do ensaio é de 50 kg. A amos tra deve ser preparada de acordo com a NBR 6457.

TABELA — Procedimento após peneiramento

Peneira (mm)	% de material retido	Observação
4,8	menor que 7	desprezar o material retido
19	menor que 10	desprezar o material retido
19	maior que 10	ver nota abaixo
19	maior que 30	não ensaiar de acordo com a presente Norma

*Nota:* Passar o material retido na peneira de 19 mm atra vês da peneira de 76 mm e desprezar o material re tido nesta última. Substituir o material retido na

peneira de 19 mm e que passe na de 76 mm por igual quantidade de material retido na peneira de 4,8 mm e que passe na de 19 mm.

## 5.2 *Moldagem dos corpos-de-prova*

5.2.1 Fixar o molde cilíndrico à sua base e colocar o disco espaçador. Se necessário, colocar uma folha de papel filtro com diâmetro igual ao do molde utilizado, de modo a evitar a aderência do solo compactado à superfície metálica do disco espaçador.

5.2.2 Tomar a amostra preparada para ensaio de acordo com 5.1.

5.2.3 Na bandeja metálica, com auxílio da proveta de vidro, adicionar água gradativamente e revolver continuamente o material, de forma a obter um teor de umidade em torno de cinco (5) pontos percentuais abaixo da umidade ótima presumível.

5.2.4 Após completa homogeneização do material, proceder à compactação, em cinco camadas, atendo-se ao número de golpes por camada correspondente à energia desejada, como especificado no Capítulo 4. Os golpes do soquete devem ser aplicados perpendicularmente e distribuídos uniformemente sobre a superfície de cada camada, sendo que as alturas das camadas compactadas devem resultar aproximadamente iguais. A compactação de cada camada deve ser precedida de uma ligeira escarificação da camada subjacente.

5.2.5 A determinação da umidade,  $h$ , deve ser feita com uma porção da amostra remanescente na bandeja, retirada imediatamente após a compactação da segunda camada, e de acordo com o Anexo da NBR 6457.

5.2.6 Após a compactação da última camada, retirar o cilindro complementar, depois de escarificar o material em contato com a parede do mesmo, com auxílio de espátula. Deve haver um excesso, de no máximo 10 mm de solo compactado acima do molde que deve ser removido e rasado com auxílio de régua biselada. Feito isso, remover o molde cilíndrico de sua base.

5.2.7 Pesar o conjunto, com resolução de 1 g, e, por subtração da massa do molde cilíndrico, obter a massa úmida do solo compactado,  $M_h$ .

5.2.8 Repetir as operações descritas de 5.2.1 a 5.2.7 para teores crescentes de umidade tantas vezes quantas necessárias para caracterizar a curva de compactação com um mínimo de cinco corpos-de-prova. Estes corpos-de-prova moldados são utilizados nos ensaios de expansão e penetração.

### 5.3 Expansão

5.3.1 Terminadas as moldagens necessárias para caracterizar a curva de compactação, retirar o disco espaçador de cada corpo-de-prova, inverter os moldes e fixá-los nos respectivos pratos-base perfurados.

5.3.2 Colocar, em cada corpo-de-prova, no espaço deixado pelo disco espaçador, o prato perfurado com a haste de expansão e sobre ele dois discos anelares cuja massa total deve ser de  $(4540 \pm 20)$  g.

5.3.3 Apoiar, na haste de expansão do prato perfurado, a haste do extensômetro acoplado ao porta-extensômetro, colocado na borda superior do cilindro. Anotar a leitura inicial e imergir o corpo-de-prova no tanque. Cada corpo-de-prova deve permanecer no banho durante no mínimo quatro dias e as leituras no extensômetro devem ser efetuadas de 24 em 24 horas. Essas leituras podem ser indicadas conforme sugestão do Quadro 1.

QUADRO 1

Tempo decorrido (dias)	Data	Hora	Leitura no extensômetro (mm)	Diferença de leitura no extensômetro (mm)
início				
1				
2				
3				
4				
Altura inicial do corpo-de-prova (mm)				

5.3.4 Terminado o período de embebição, retirar cada corpo-de-prova da imersão e deixar escoar a água durante 15 minutos. Após esse tempo, o corpo-de-prova está preparado para a penetração.

### 5.4 Penetração

5.4.1 Realizar a penetração em uma prensa conforme especificada na alínea o) do Capítulo 3.

5.4.2 Colocar no topo de cada corpo-de-prova, dentro do molde cilíndrico, as mesmas sobrecargas utilizadas no ensaio de expansão.

5.4.3 Colocar esse conjunto no prato da prensa e proceder ao assentamento do pistão de penetração no solo, pela aplicação de uma carga de aproximadamente 45 N controlada pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico; zerar, a seguir, o extensômetro do anel dinamométrico e o que mede a penetração do pistão no solo. Acionar a manivela da prensa com a velocidade de 1,27 mm/min. Cada leitura considerada no extensômetro do anel é função de uma penetração do pistão no solo e de um tempo especificado para o ensaio. Essas leituras podem ser indicadas conforme sugestão do Quadro 2.

QUADRO 2

Tempo (min)	Penetração	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
	(mm)			
0,5	0,63			
1,0	1,27			
1,5	1,90			
2,0	2,54			
2,5	3,17			
3,0	3,81			
3,5	4,44			
4,0	5,08			
5,0	6,35			
6,0	7,62			
7,0	8,89			
8,0	10,16			
9,0	11,43			
10,0	12,70			

5.4.4 As leituras efetuadas no extensômetro do anel medem encurtamentos diametrais provenientes da atuação das cargas. No gráfico de aferição do anel têm-se a correspondência entre as leituras efetuadas no extensômetro do anel e as cargas atuantes.

## 5.5 Cálculos

### 5.5.1 Massa específica aparente seca

Determinar a massa específica aparente seca de cada corpo-de-prova, utilizando-se a expressão:

$$\gamma_s = \frac{M_h \times 100}{V(100+h)}$$

Onde:

$\gamma_s$  = massa específica aparente seca, em g/cm<sup>3</sup>

$M_h$  = massa úmida do solo compactado, em g

$V$  = volume útil do molde cilíndrico, em cm<sup>3</sup>

$h$  = teor de umidade do solo compactado, em %

### 5.5.2 Expansão

Calcular a expansão de cada corpo-de-prova utilizando a seguinte expressão:

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{(\text{leitura final} - \text{leitura inicial no extensômetro})}{\text{altura inicial do corpo-de-prova}} \times 100$$

### 5.5.3 Índice de Suporte Califórnia

5.5.3.1 Traçar a curva pressão aplicada pelo pistão versus penetração do pistão.

5.5.3.2 Apresentando a curva pressão-penetração um ponto de inflexão, traçar uma tangente à curva neste ponto até que mesma intercepte o eixo das abscissas. A curva corrigida será então esta tangente mais a porção convexa da curva original, considerada a origem mudada para o ponto que a tangente corta o eixo das abscissas; seja  $c$  a distância deste ponto à origem dos eixos. Somar às abscissas dos pontos correspondentes às penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm a distância  $c$ , com o que se determina, na curva obtida, os valores correspondentes das novas ordenadas, as quais representam os valores das pressões corrigidas para as penetrações antes referidas. A correção pode ser obtida como mostra o gráfico da Figura 7 do Anexo.

5.5.3.3 Calcular o Índice de Suporte Califórnia correspondente a cada corpo-de-prova de acordo com o Quadro 3, utilizando-se a seguinte expressão:

$$\text{ISC} = \frac{\text{pressão calculada ou pressão corrigida}}{\text{pressão padrão}} \times 100$$

*Nota:* Adotar o maior dos valores obtidos nas penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm.

QUADRO 3

Penetração (mm)	Pressão (MPa)			ISC (%)
	Calculada	Corrigida	Padrão	
2,54			6,90	
5,08			10,35	

## 6 RESULTADOS

### 6.1 *Curva de compactação*

Utilizando coordenadas cartesianas normais, traçar a curva de compactação, marcando em abscissas os teores de umidade,  $h$ , e em ordenadas as massas específicas aparentes secas correspondentes,  $\gamma_s$ .

### 6.2 *Massa específica aparente seca máxima*

Valor correspondente à ordenada máxima da curva de compactação, expresso com a aproximação de 0,01 g/cm<sup>3</sup>.

### 6.3 *Umidade ótima*

Valor de umidade correspondente, na curva de compactação, ao ponto de massa específica aparente seca máxima, expresso com aproximação de 0,1%.

### 6.4 *Índice de Suporte Califórnia e expansão*

6.4.1 Na mesma folha em que se apresentar a curva de compactação, usar a mesma escala das umidades de moldagem e registrar em escalas adequadas os valores dos Índices de Suporte Califórnia e expansão obtidos, segundo este método, correspondentes aos valores das umidades que serviram para a construção da curva de compactação anteriormente descrita conforme modelo da Figura 8 do Anexo.

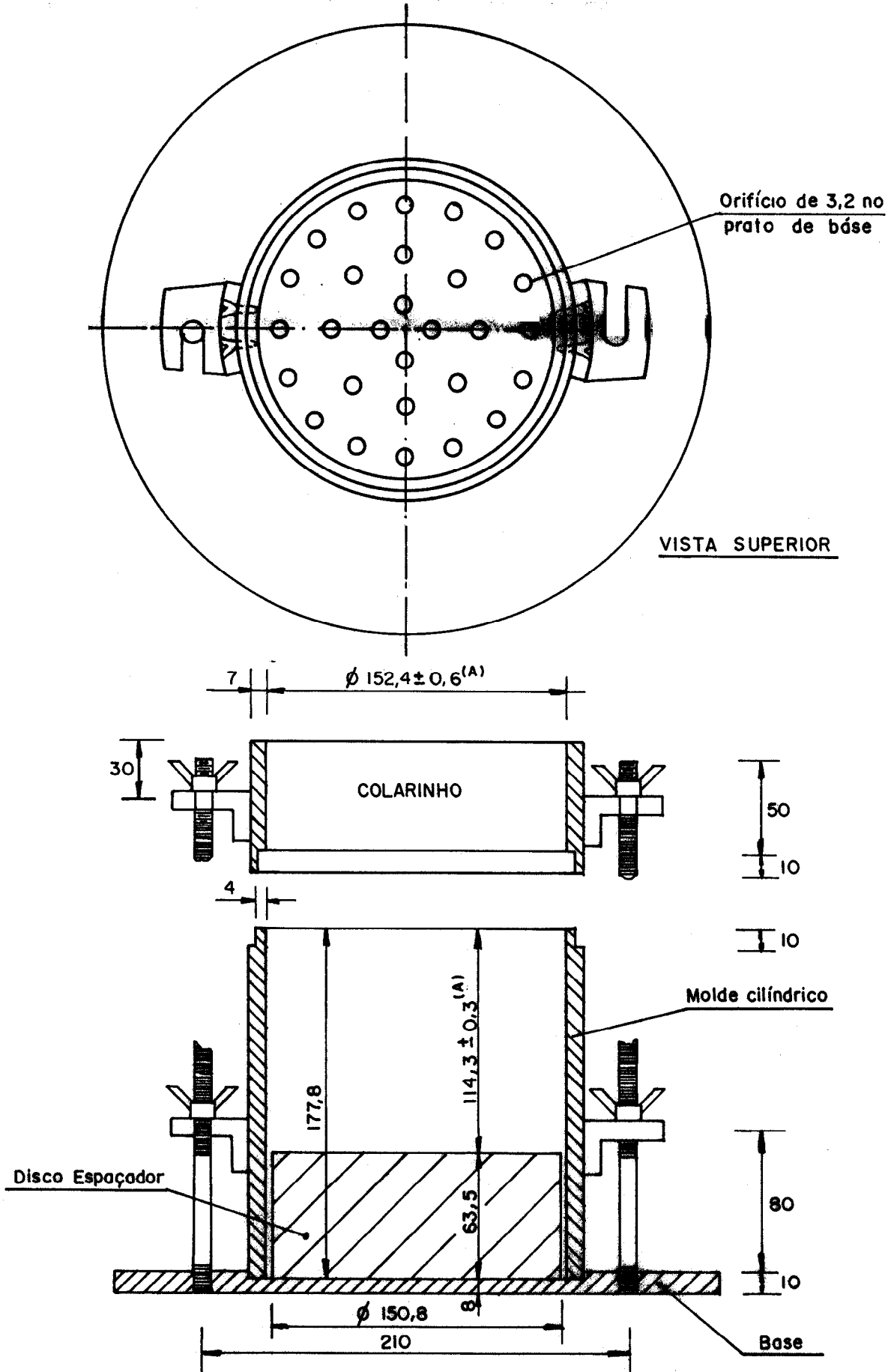
6.4.2 O valor de ISC do ensaio deve ser obtido da curva segundo critérios de projeto.

### 6.5 *Características do ensaio*

Indicar o processo de preparação da amostra e a energia utilizada na compactação dos corpos-de-prova.



ANEXO - FIGURAS

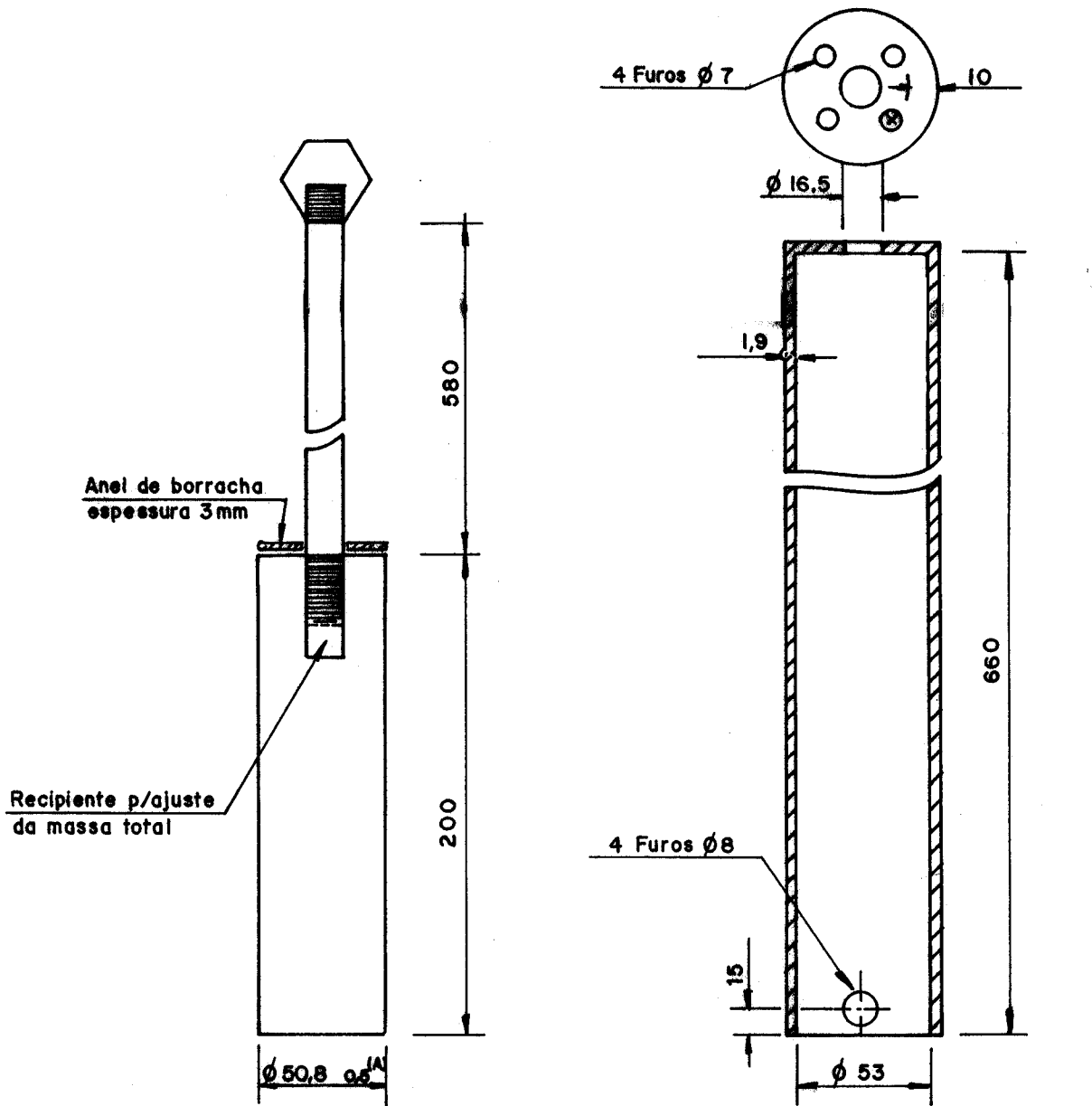


Volume útil do molde cilíndrico igual a  $2085 \pm 22 \text{ cm}^3^{(A)}$

Dimensões em mm

(A)- Dimensões essenciais.

FIGURA 1 - Cilindro metálico



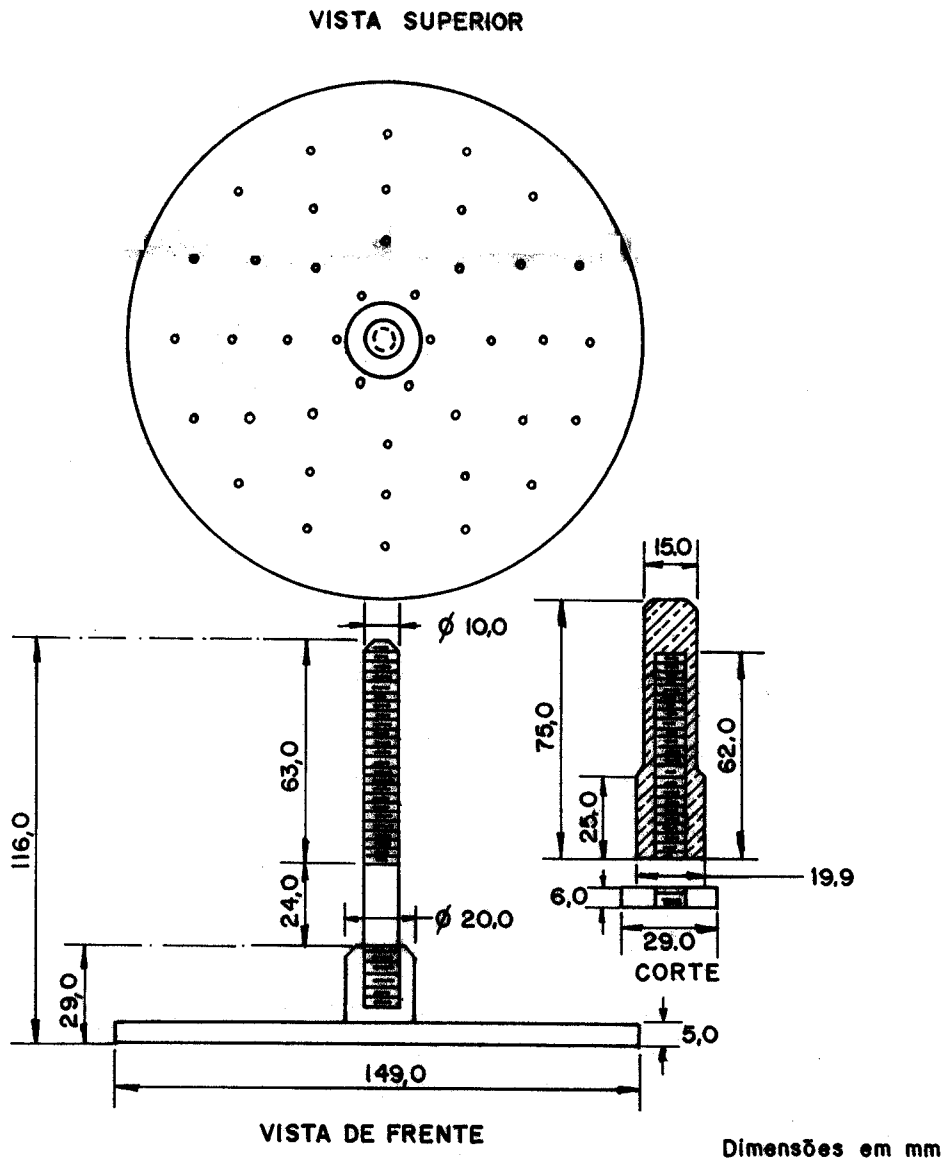
Soquete: Ajustar a massa total em 4536 10g<sup>(A)</sup>

Dimensões em mm

(A) Dimensões essenciais

Guia: Altura de queda do soquete igual  
à 457 2<sup>(A)</sup>

FIGURA 2 – Soquete



**FIGURA 3 — Prato perfurado com haste**

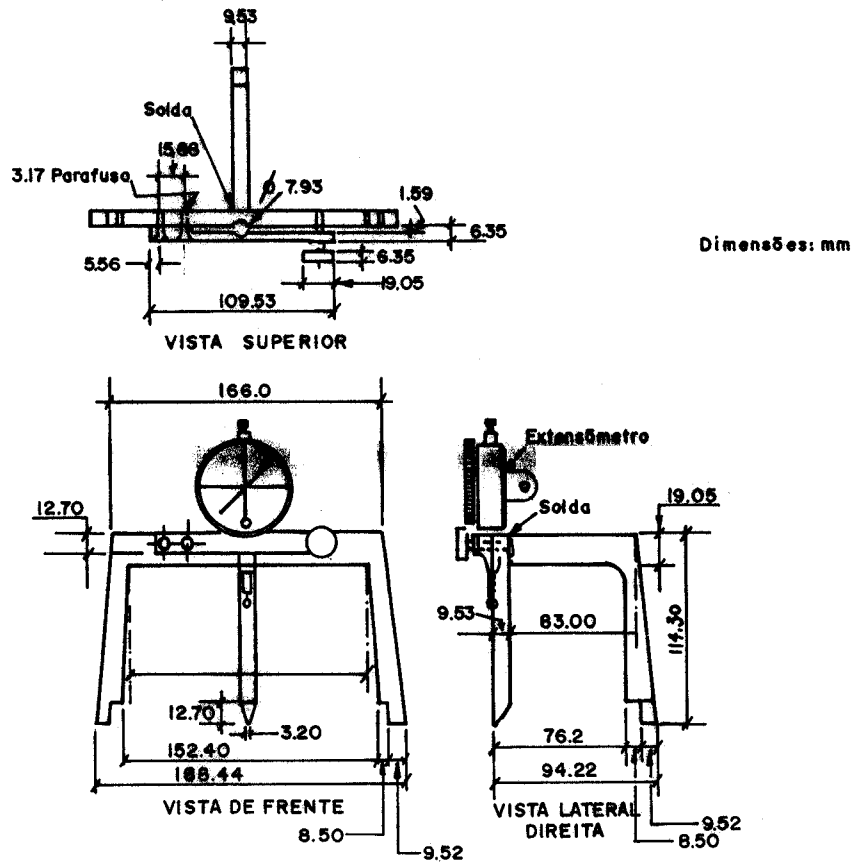


FIGURA 4 - Porta - extensômetro

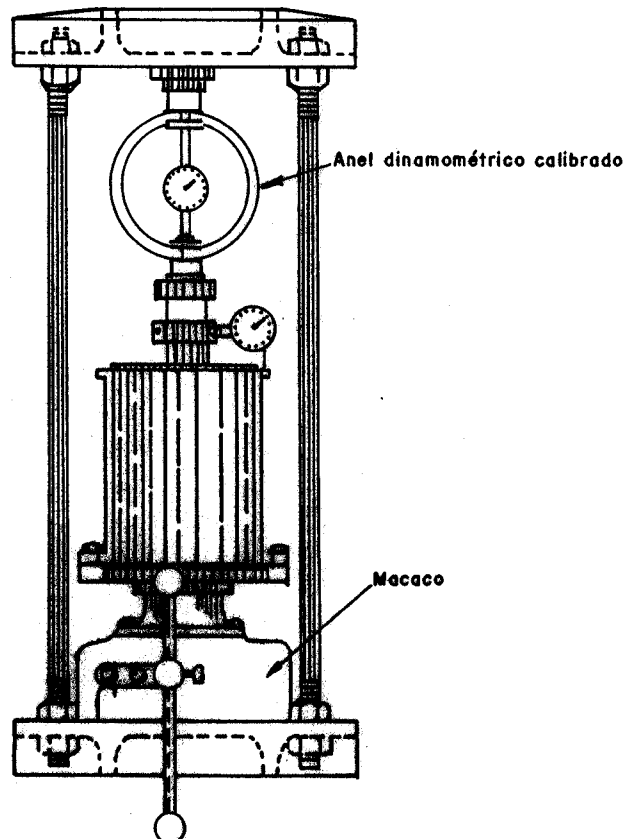
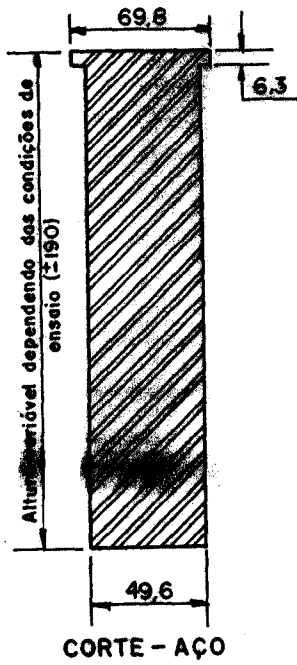
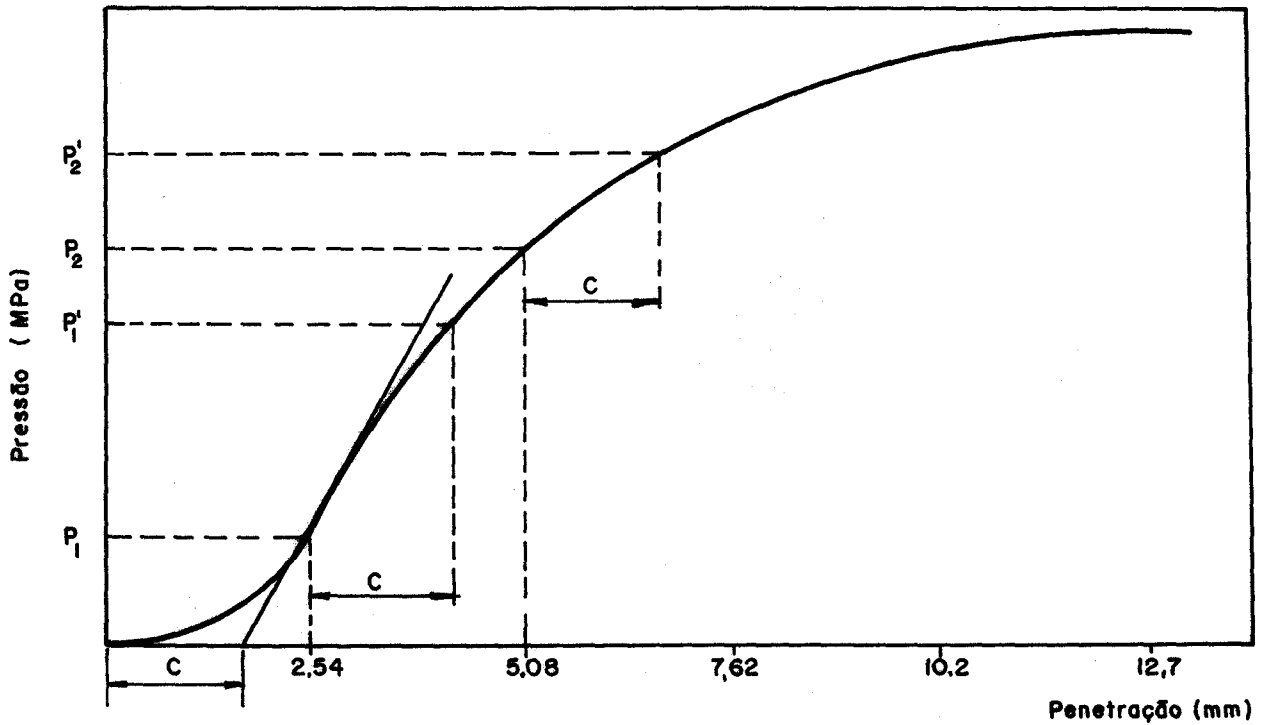


FIGURA 5 - Prensa para determinação do I.S.C



Dimensões: mm

FIGURA 6 - Pistão de penetração



$P_1$  e  $P_2$  Pressões lidas para 2,54 e 5,08 mm

$P'_1$  e  $P'_2$  Pressões corrigidas para 2,54 e 5,08 mm

FIGURA 7 - Gráfico de correção

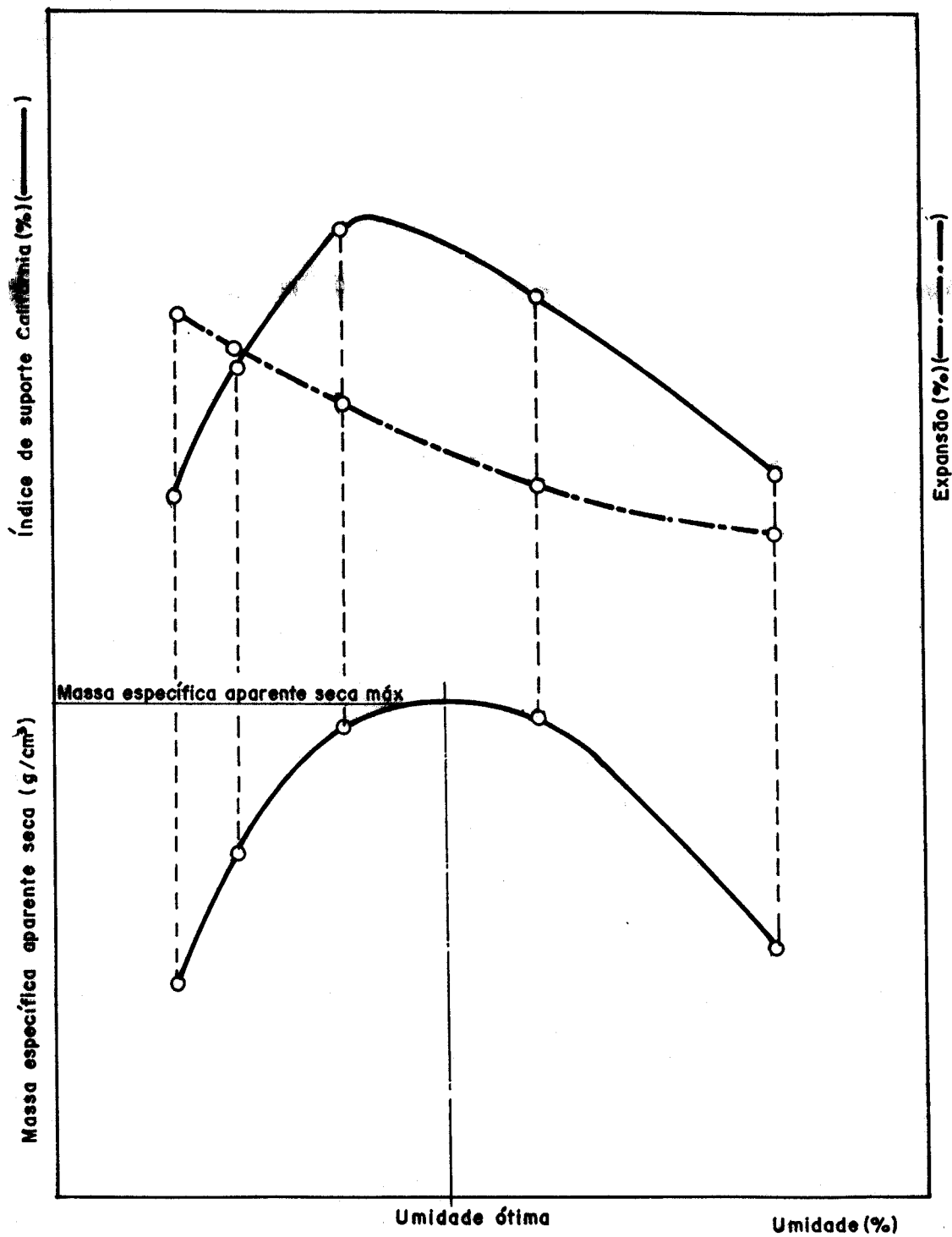


FIGURA 8 - Apresentação final dos resultados