

**RESUMO**

Este documento, que é uma norma técnica, prescreve as condições requeridas para a determinação da relação entre o teor de umidade de uma mistura de solo e cimento e sua massa específica aparente seca, compactada em corpo-de-prova cilíndrico, na energia normal. Descreve a aparelhagem necessária, os cálculos para obtenção dos resultados e apresenta uma curva de compactação.

**ABSTRACT**

This document presents the procedure for determination of the moisture dry density relations of soil cement mixtures compacted in a cylindrical mold, in the normal energy (DNER-ME 129/89). It prescribes the apparatus and conditions for the obtention of results and presents a compaction curve.

**SUMÁRIO**

- 0 Apresentação
- 1 Objetivo
- 2 Referências
- 3 Definições
- 4 Aparelhagem
- 5 Execução do ensaio
- 6 Cálculos
- 7 Resultados
- Anexo normativo

**0 APRESENTAÇÃO**

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-ME 216/88 à DNER-PRO 101/93, mantendo-se inalterável o seu conteúdo técnico.

**Macrodescritores MT:** cimento, ensaio, ensaio em laboratório, materiais, pavimentação

**Microdescritores DNER:** corpo-de-prova, cimento, compactação, ensaio, ensaio de laboratório, pavimento, solo-cimento

**Palavras-chave IRRD/IPR:** cimento (4758), compactação (3686), ensaio (6255), método de ensaio (6288), solo (4156), pavimento semi-rígido (2953)

**Descritores SINORTEC:** cimentos, ensaio, ensaio de laboratório, massa específica, pavimentos de estradas, solo-cimento

Aprovada pelo Conselho de Administração em 23/03/88

Resolução nº 485/88

Sessão nº CA/ 11/88

Processo nº 51100013393/93-0

Autor : DNER/DrDTc (IPR)

Adaptação da DNER-ME 216/88 à DNER-PRO 101/93, aprovada pela DrDTc em 13/04/94.

## 1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma prescreve o método para determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de uma mistura de solo e cimento, compactada em corpo-de-prova cilíndrico, na energia normal.

1.2 Esta Norma contém dois métodos, aplicáveis conforme a granulometria do solo:

- a) Método A, usando material que passa na peneira de 4,8 mm, para solos com 100% de partículas de tamanho inferior a 4,8 mm;
- b) Método B, usando material que passa na peneira de 19 mm e quando parte da amostra ficar retida na peneira de 4,8 mm.

## 2 REFERÊNCIAS

2.1 Normas complementares

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

- a) ABNT EB-22, de 1988, registrada no SINMETRO como NBR 5734, designada Peneiras para ensaio;
- b) DNER-ME 213/94 - Solos - determinação do teor de umidade;
- c) ABNT EB-1, de 1991, registrada no SINMETRO como NBR 5732, designada Cimento Portland comum.

2.2 Referências bibliográficas

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

- a) DNER-ME 216/88, designada Solo-cimento - determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente;
- b) ASTM D 558-76 - Test for moisture - density relations of soil - cement mistures.

## 3 DEFINIÇÕES

Para efeito desta Norma são adotadas as definições de 3.1 a 3.3.

3.1 Solo-cimento

Mistura íntima compactada de solo, cimento e água, utilizada na infra-estrutura de pavimentos.

3.2 Umidade ótima ( $h_o$ )

Umidade com a qual se atinge o ponto máximo na curva de compactação.

3.3 Massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_m$ )

Massa específica aparente seca correspondente à umidade ótima, na curva de compactação.

#### 4 APARELHAGEM

4.1 Molde metálico, cilíndrico, de volume igual a  $100 \text{ cm}^3 \pm 10 \text{ cm}^3$ , com diâmetro interno de  $100 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  e altura de  $127,3 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$  dispondo de um colarinho destacável com cerca de  $60 \text{ mm}$  de altura e uma base, também destacável, na qual possa o conjunto ser firmemente afixado (ver Figura 1 em Anexo).

4.2 Soquete metálico, maciço, cilíndrico, de operação manual, com diâmetro da face circular igual a  $50 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  e massa de  $2,50 \text{ kg} \pm 0,01 \text{ kg}$ ; deve dispor de uma haste solidária e de um tubo-guia que permitam um curso retilíneo de queda livre, sobre o topo da camada em fase de compactação, igual a  $305 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ . O tubo-guia deve ter na extremidade inferior pelo menos 4 (quatro) furos de ventilação, com diâmetro aproximado de  $10 \text{ mm}$ , espaçados de  $90^\circ$  um do outro e distando cerca de  $20 \text{ mm}$  de extremidade (ver Figura 2 em Anexo).

4.3 Extrator de corpos-de-prova, que pode ser um macaco hidráulico ou outro dispositivo adequado à retirada do corpo-de-prova de dentro do molde.

4.4 Balanças com capacidades de  $10 \text{ kg}$  e  $1 \text{ kg}$ , uma de cada, respectivamente com  $1 \text{ g}$  e  $0,01 \text{ g}$  de precisão.

4.5 Estufa elétrica, controlada automaticamente por termostato, capaz de manter a temperatura entre  $105^\circ \text{C}$  e  $110^\circ \text{C}$ .

4.6 Régua de aço biselada, com  $300 \text{ mm}$  de comprimento.

4.7 Peneiras da série normal, com malha quadrada de  $4,8 \text{ mm}$  e de  $19 \text{ mm}$ , respectivamente, conforme ABNT EB-22, de 1988 (ver 2.1.a).

4.8 Recipiente ou cápsulas metálicas, ou de outro material adequado para ensaio de determinação de umidade.

4.9 Repartidor de amostras, com  $25 \text{ mm}$  de abertura.

4.10 Almofariz de porcelana e mão de gral revestida de borracha, com capacidade para  $5 \text{ kg}$  de solos.

4.11 Bandeja de folha metálica, com  $750 \text{ mm}$  de comprimento,  $500 \text{ mm}$  de largura e  $50 \text{ mm}$  de profundidade.

4.12 Proveta graduada, com  $1\,000 \text{ cm}^3$  de capacidade.

4.13 Espátula com lâmina flexível de cerca de  $80 \text{ mm}$  de comprimento.

4.14 Colher de pedreiro.

4.15 Opcionalmente, misturador mecânico do tipo argamassadeira.

#### 5 EXECUÇÃO DO ENSAIO

##### 5.1 Método "A"

##### 5.1.1 Preparação da amostra

5.1.1.1 Após secagem ao ar, a amostra total do solo será destorroada no almofariz, com a precaução de evitar que a aplicação da mão de gral venha a quebrar as partículas individuais, reduzindo-lhes o tamanho. Admite-se que a secagem da amostra seja procedida pela sua submissão a fontes artificiais de calor, como lâmpadas especiais ou estufas, desde que a temperatura máxima da amostra não ultrapasse os  $60^\circ \text{C}$ .

5.1.1.2 Separar com o auxílio do repartidor de amostras, cerca de  $2\,500 \text{ g}$  a  $3\,000 \text{ g}$  de solo. Desta massa é excluída a umidade da amostra, previamente determinada. Em qualquer caso, a massa de solo seco correspondente deve ser superior a  $2\,500 \text{ g}$ .

## 5.1.2 Ensaio

### 5.1.2.1 Adição de cimento Portland

5.1.2.1.1 Adicionar à amostra preparada de solo a quantidade especificada de cimento Portland<sup>1</sup>, satisfazendo a Norma da ABNT EB-1, de 1991 (ver 2.1.c). Misturar o solo e o cimento completamente, até que a coloração seja uniforme em toda a massa, compondo a mistura seca.

### 5.1.2.2 Compactação

5.1.2.2.1 Imediatamente após a mistura seca, adicionar-lhe água, se necessário, até que a sua umidade fique uns 5 (cinco) pontos percentuais abaixo da umidade ótima determinada para o solo ou prevista para o solo. Misturar até a uniformização da umidade da massa, que recebe, então, o nome de mistura úmida.

5.1.2.2.2 A mistura úmida será a seguir compactada no interior do molde cilíndrico, firmemente afixado à sua base e com o colarinho ou cilindro complementar ajustado, em três camadas iguais sucessivas. Cada camada receberá 25 golpes do soquete metálico, em queda livre de  $305 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ , em relação ao topo da camada, sendo os golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície desta. A compactação será feita com o conjunto apoiado em base sólida, plana e firme.

5.1.2.2.3 Após a compactação, remover o colarinho ou cilindro complementar e rasar cuidadosamente com a régua biselada o material excedente, de modo a se obter uma superfície o mais possível lisa e nivelada com o topo do molde. Retirar a seguir a base destacável e determinar a massa do conjunto molde mais amostra compactada, com aproximação de 1 g; subtraindo desta a massa do molde, obtém-se a massa da amostra compactada úmida,  $m_u$ .

5.1.2.2.4 Remover a amostra do molde com o emprego do extrator e cortá-la ao meio no sentido vertical. Retirar, em toda a altura de uma só das metades, uma porção de 80 g a 120 g para a determinação da umidade com aproximação de 0,01 g, conforme o DNER-ME 213/94 (Ver 2.1.b). A porção deve ser pesada imediatamente após colhida, obtendo-se a massa bruta úmida (recipiente mais a amostra úmida),  $m_{bu}$ , e, a seguir, secá-la em estufa elétrica a  $105^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}$ , até a massa seca constante,  $m_{bs}$ .

5.1.2.2.5 Destorroar completamente o material remanescente, até que passe totalmente na peneira de 4,8 mm, juntando-o à parcela não utilizada da amostra.

5.1.2.2.6 Adicionar água ao todo, em quantidade suficiente para aumentar de 1(um) a 3(três) pontos percentuais a sua umidade; misturar até homogeneizar e repetir o procedimento descrito de 5.1.2.2.2 até 5.1.2.2.5. O procedimento descrito deve ser continuado em geral cinco vezes, até que se caracterize a curva de compactação.

## 5.2 Método "B"

### 5.2.1 Preparação da amostra

5.2.1.1 A amostra é seca ao ar e separada em duas porções na peneira de 4,8 mm, as quais são destorroadas, separadamente, no almofariz pela mão de gral, com a precaução de evitar a quebra das partículas individuais. A seguir se procede a mistura e homogeneização das duas porções destorroadas. Quartear até se obter uma quantidade suficiente de amostra de cerca de 5 kg. Admite-se que a secagem da amostra seja procedida pela sua submissão a fontes artificiais de calor, como lâmpadas especiais ou estufas, desde que a temperatura máxima da amostra não ultrapasse os  $60^\circ\text{C}$ .

5.2.1.2 Peneirar a amostra preparada conforme item 5.2.1.1, passando-a nas peneiras de 76 mm, 19 mm e de 4,8 mm, descartando-se a parcela de tamanho superior a 76 mm.

1 Em geral, a quantidade de cimento Portland no solo-cimento é especificada como teor de cimento em massa, expresso em percentagem de massa de cimento em relação à massa de solo seco e será obtida por um processo de dosagem.

5.2.1.3 Saturar em água o material retido entre as peneiras de 4,8 mm e de 19 mm, por um período de 12 horas, no mínimo.

5.2.1.4 Pesar e manter separadas amostras representativas do material passando na peneira de 4,8 mm e do retido entre a peneira de 4,8 mm e de 19 mm, este em estado saturado, mas seco superficialmente por um pano, de tal modo que a massa total seja de aproximadamente 5 000 g, descontada a umidade do material menor do que 4,8 mm e a absorção do pedregulho. A porcentagem em massa seca do material retido entre 19 mm e 4,8 mm deve ser igual à porcentagem do material retido entre 76 mm e 4,8 mm na amostra original.

## 5.2.2 Ensaio

### 5.2.2.1 Adição de cimento Portland

5.2.2.1.1 Adicionar à amostra de solo passando na peneira de 4,8 mm a quantidade especificada de cimento Portland. Misturar o solo e o cimento completamente, até que a coloração seja uniforme em toda a massa compondo a mistura seca.

### 5.2.2.2 Compactação

5.2.2.2.1 Imediatamente após a mistura seca, adicionar-lhe água, se necessário, conforme prescrito em 5.1.2.2.1. À mistura úmida obtida, juntar e misturar, até homogeneizar, o material retido entre as peneiras de 19 mm e de 4,8 mm, em estado saturado e superficialmente seco.

5.2.2.2.2 A mistura úmida total assim obtida deve ser a seguir compactada, seguindo as prescrições descritas para o método "A", de 5.1.2.2.2 até 5.1.2.2.4, tomando-se cuidados de, ao rasar a amostra compactada, preencher com material fino as eventuais irregularidades da superfície e, na coleta de material para a determinação da umidade, retirar no mínimo 200 g.

5.2.2.2.3 A seguir, destorroar completamente o material remanescente, até que todo ele passe na peneira de 19 mm e que, a julgar pela aparência, cerca de 90% do material de tamanho menor do que 4,8 mm passe na peneira de nº 4,8 mm, juntando-o à parcela não utilizada da amostra.

5.2.2.2.4 Adicionar água ao todo, em quantidade suficiente para aumentar de 1 (um) a 3 (três) pontos percentuais a sua umidade; misturar até homogeneizar e repetir o procedimento descrito em 5.2.2.2.2 e 5.2.2.2.3, devendo-se continuar a série até que se caracterize a curva de compactação, em geral com 5 (cinco) determinações.

## 6 CÁLCULOS

6.1 Calcular o teor de umidade da amostra compactada:

$$h = \frac{m_{bu} - m_{bs}}{m_{bs} - m} \times 100$$

onde:

h - teor de umidade da amostra compactada (em porcentagem);

m - massa do recipiente ou cápsula;

$m_{bu}$  - massa do recipiente ou cápsula, mais a amostra úmida;

$m_{bs}$  - massa do recipiente ou cápsula, mais amostra seca.

6.2 Calcular a massa específica aparente úmida da amostra compactada:

$$\gamma_u = \frac{m_u}{v}$$

onde:

$\gamma_u$  - massa específica aparente úmida da amostra compactada, kg/m<sup>3</sup> ou g/cm<sup>3</sup>;

$m_u$  - massa da amostra compactada úmida, kg ou g;

$v$  - volume do molde, m<sup>3</sup> ou cm<sup>3</sup>.

6.3 Calcular a massa específica aparente seca da amostra compactada:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_u}{h + 100} \times 100$$

onde:

$\gamma_s$  - massa específica aparente seca da amostra compactada, kg/m<sup>3</sup> ou g/cm<sup>3</sup>;

$h$  - teor de umidade de amostra compactada (em percentagem).

## 7 RESULTADOS

7.1 Os cálculos estabelecidos no Capítulo 6 permitem determinar  $h$  e  $\gamma_s$  para cada uma das amostras compactadas. Colocando-se num gráfico cartesiano os pares de valores obtidos, com  $h$  em abscissa e  $\gamma_s$  em ordenada, é possível traçar a curva de compactação (ver Figura - Anexo), a qual caracteriza a relação entre a umidade de compactação e a massa específica aparente seca de uma dada mistura de solo-cimento.

7.2 A umidade ótima,  $h_o$ , e a massa específica aparente seca máxima,  $\gamma_m$ , são determinadas conforme as definições de 3.2 e 3.3, e assim anotadas.

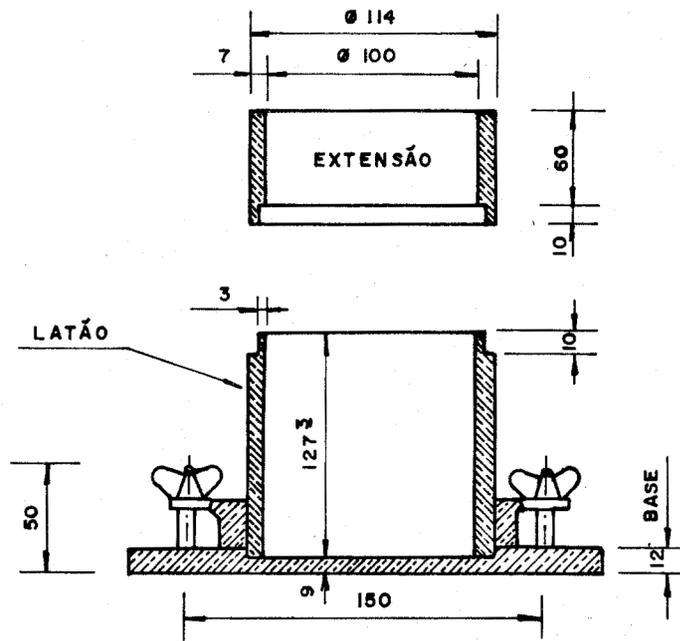


FIGURA 1 - DIMENSÕES DO MOLDE METÁLICO CILÍNDRICO

UNIDADE DE MEDIDA : MILÍMETRO (mm)

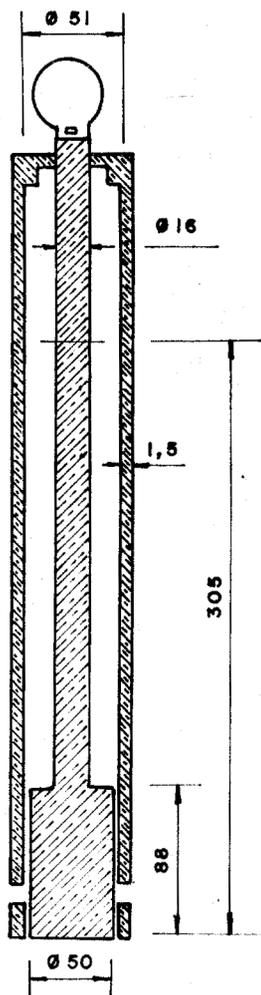


FIGURA 2 - DIMENSÕES DO SOQUETE METÁLICO

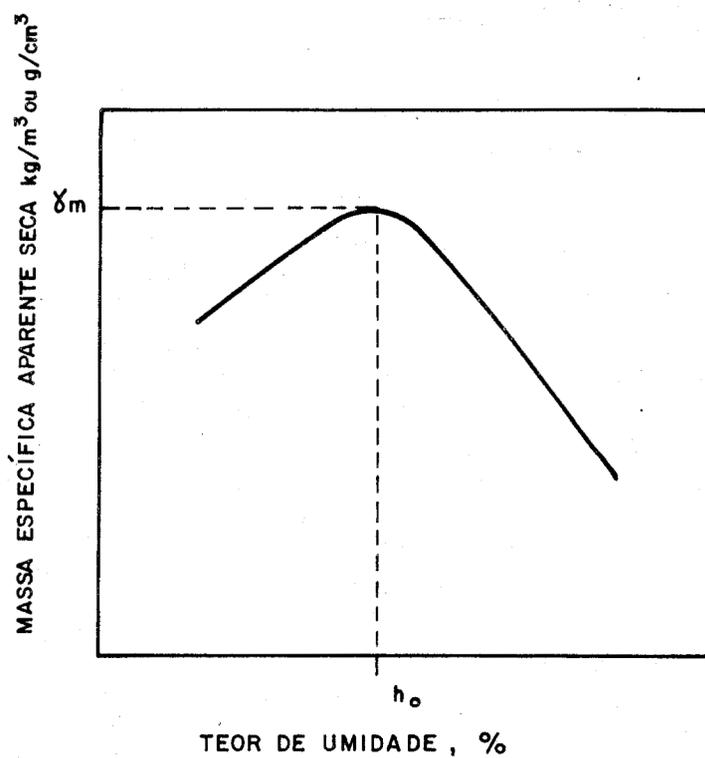


FIGURA 3 - CURVA TÍPICA DE COMPACTAÇÃO