

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 mixtures.

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 (γ_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 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 mm , espaçados de 90° um do outro e distando cerca de 20 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 kg e 1 kg , uma de cada, respectivamente com 1 g e $0,01 \text{ g}$ de precisão.

4.5 Estufa elétrica, controlada automaticamente por termostato, capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C .

4.6 Régua de aço biselada, com 300 mm de comprimento.

4.7 Peneiras da série normal, com malha quadrada de $4,8 \text{ mm}$ e de 19 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 mm de abertura.

4.10 Almofariz de porcelana e mão de gral revestida de borracha, com capacidade para 5 kg de solos.

4.11 Bandeja de folha metálica, com 750 mm de comprimento, 500 mm de largura e 50 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 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°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 Portland¹, 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°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:

γ_u - massa específica aparente úmida da amostra compactada, kg/m³ ou g/cm³;

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

v - volume do molde, m³ ou cm³.

6.3 Calcular a massa específica aparente seca da amostra compactada:

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

onde:

γ_s - massa específica aparente seca da amostra compactada, kg/m³ ou g/cm³;

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

7 RESULTADOS

7.1 Os cálculos estabelecidos no Capítulo 6 permitem determinar h e γ_s para cada uma das amostras compactadas. Colocando-se num gráfico cartesiano os pares de valores obtidos, com h em abscissa e γ_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, γ_m , são determinadas conforme as definições de 3.2 e 3.3, e assim anotadas.

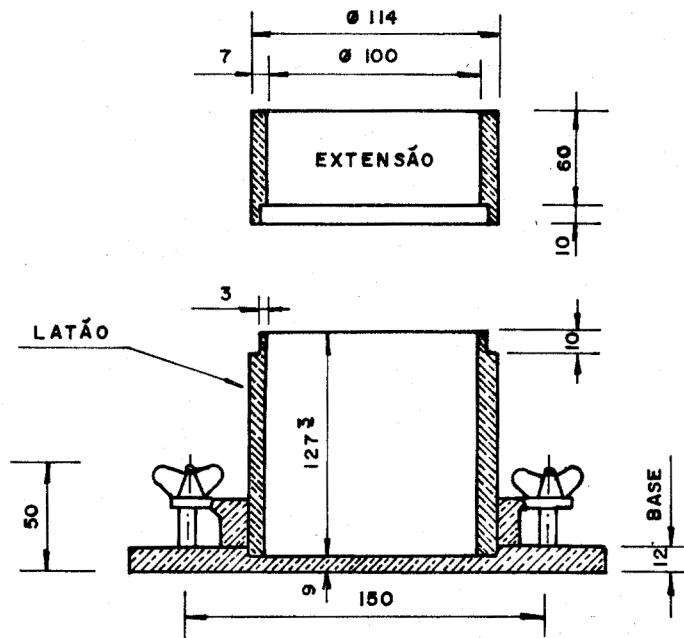


FIGURA 1 - DIMENSÕES DO MOLDE METÁLICO CILÍNDRICO

UNIDADE DE MEDIDA : MILÍMETRO (mm)

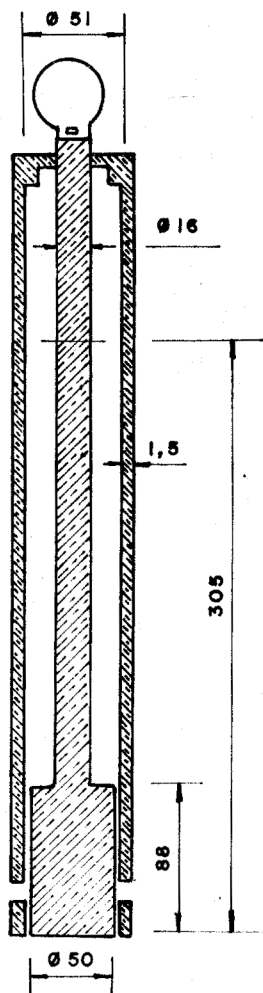


FIGURA 2 - DIMENSÕES DO SOQUETE METÁLICO

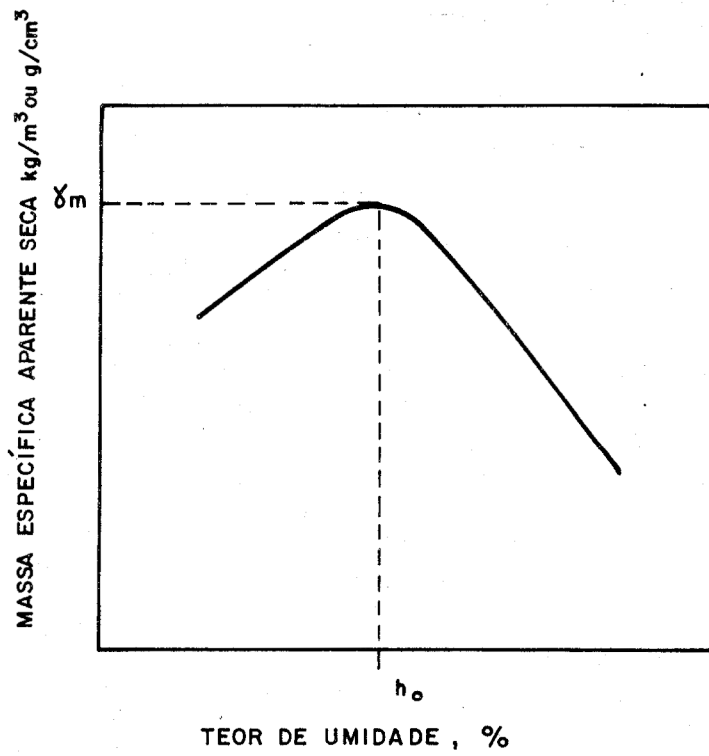


FIGURA 3 - CURVA TÍPICA DE COMPACTAÇÃO