

RESUMO

Este documento, que é uma norma técnica, define o método a ser utilizado para determinação da resistência à compressão simples de solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada, a serem utilizados em camadas de base e sub-base de pavimentos.

ABSTRACT

This document presents the procedure for determination of compressive strength of soils stabilized with fly ash and hydrated lime suitable for pavement sub-base and base layers.

SUMÁRIO

- 0 Apresentação
- 1 Introdução
- 2 Objetivo
- 3 Referências
- 4 Definições
- 5 Aparelhagem
- 6 Operações preliminares
- 7 Determinação da resistência à compressão simples
- 8 Determinação das curvas de resistência à compressão simples

Anexo informativo

0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-ME 180/87 à DNER-PRO 101/93, mantendo-se inalterável o seu conteúdo técnico.

Macrodescriptores MT: camada do pavimento, DNER, ensaio, método de ensaio, resistência dos materiais, cal hidratada

Microdescriptores DNER: camada de base, ensaio, ensaio de laboratório, ligante aéreo, pozolana, resistência dos materiais, sub-base

Palavras-chave IRRD/IPR: cal (4574), cinza em suspensão, volante (4580), ensaio (6255), estabilização do solo (3689), método de ensaio (6288), resistência (materiais) (5544), base (pavimento) (2961)

Descritores SINORTEC: cal hidratada, cinzas, ensaio, ensaio de laboratório, normas, pavimentos de estradas, resistência dos materiais

Aprovada pelo Conselho de Administração em 23/02/87

Resolução n° 226/87, Sessão n° CA/ 06/87

Processo n° 20100022281/86-3

Autor: DNER/DrDTc (IPR)

Adaptação da DNER-ME 180/87 à DNER-PRO 101/93,

aprovada pela DrDTc em 13/04/94

1 INTRODUÇÃO

Esta Norma resultou das experiências realizadas no âmbito do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) e do Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina (DER - SC).

2 OBJETIVO

Esta Norma prescreve o método para avaliação do efeito cimentante de materiais pozolânicos na estabilização de solos, em função das correlações existentes entre a massa específica aparente seca "versus" teor de umidade da mistura e a resistência à compressão simples "versus" teor de umidade da mistura, em uma composição compactada e constituída de solo, cinza volante e cal hidratada, sendo utilizada a fração de solo que passa na peneira de 2,54 cm (1 pol).

3 REFERÊNCIAS

3.1 Norma complementar

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

ABNT MB-3, de 1974, registrada no SINMETRO como NBR-5739, designada Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto.

3.2 Referências bibliográficas

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

- a) DNER-ME 180/87, designada Determinação da resistência à compressão simples de solos estabilizados com cinza volante e cal hidratada;
- b) Nardi, José Vidal - Estudo do efeito de aditivos na estabilização de solo arenoso com cal e cinza volante, anais do 5º congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia de fundações, São Paulo, outubro de 1974;
- c) Nardi, José Vidal - Estabilização de areia com cinza volante e cal; efeito do cimento como aditivo e de brita na mistura, tese M.Sc, COPPE-UFRJ, dezembro de 1975;
- d) Nardi, José Vidal - Determinação da resistência à compressão simples de misturas de solo estabilizado com cinza volante e cal hidratada. Tentativa de Método de Ensaio. 14ª reunião anual de pavimentação da ABPv, João Pessoa-PB, setembro de 1978.

4 DEFINIÇÕES

Para os fins desta Norma são adotadas as seguintes definições:

4.1 Material pozolânico

Material silícico ou sílico-aluminoso, que por si só possui pouco ou nenhum valor cimentante, porém em forma finamente dividida e na presença de umidade reage quimicamente com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades cimentantes.

4.2 Cinza volante

Rejeito industrial com características pozolânicas e proveniente da combustão do carvão vapor pulverizado utilizado em usinas termoelétricas.

4.3 Aditivo(s)

Modificador(es) da qualidade de um material, para conferir-lhe as características adequadas ao objetivo de seu emprego.

4.4 Cal hidratada (comercial)

Pó seco obtido pela hidratação adequada de cal virgem constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio, com pequena quantidade de impurezas (outros elementos).

4.5 Efeito cimentante

Efeito de adição de cinza volante e cal a solo, expresso pelas resistências à compressão de corpos-de-prova confeccionados de acordo com esta Norma.

5 APARELHAGEM

Para realização deste ensaio, deve-se dispor de:

- a) almofariz com capacidade de 5 l e mão de gral recoberta de borracha;
- b) balança com capacidade de 1,2 kg, sensível a 0,01 g;
- c) balança com capacidade de 10 kg, sensível a 0,1 g;
- d) balança com capacidade de 15 kg, sensível a 1 g;
- e) bisnaga de plástico com 1 l de capacidade;
- f) cápsula de alumínio com capacidade de 300 ml, tarada e numerada;
- g) colher de madeira para mistura a seco;
- h) colher de pedreiro nº 7 para mistura úmida;
- i) estufa elétrica com reostato capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C;
- j) espátula de lâmina flexível, de cerca de 20 cm de comprimento e 3 cm de largura;
- k) luvas de borracha;
- l) máscara de proteção à respiração;
- m) molde cilíndrico metálico de paredes tripartidas, com 10,0 cm de diâmetro interno e 20,0 cm de altura, com um colarinho metálico a ele adaptado, com altura de, no mínimo, 8,0 cm;
- n) peneiras de malhas quadradas de aberturas nominais de 2,54 cm e 1,9 cm, de acordo com a especificação da ABNT EB-22, de 1988, registrada no SINMETRO como NBR 5734, designada Peneiras para ensaio;
- o) placa cerâmica vitrificada (azulejo), formato quadrado com 13 cm de lado;
- p) prensa com capacidade de 50 000 N (5 tf) ou mais, permitindo a aplicação de carga continuamente, com uma velocidade de 0,3 MPa a 0,8 MPa por segundo, até a ruptura do corpo-de-prova;

- q) recipiente de alumínio de, no mínimo, 6 litros de capacidade, para mistura a seco e úmida;
- r) régua de aço biselada de cerca de 30 cm de comprimento;
- s) repartidor de amostras com 2,5 cm de abertura;
- t) sacos plásticos de 20 litros de capacidade, com cerca de 40 cm de lado e 58 cm de altura;
- u) soquete cilíndrico de bronze ou latão, para compactação de face inferior plana, de altura de queda de 45,72 cm, com massa igual a 4,536 kg e 5,08 cm de diâmetro, tipo sem camisa externa;
- v) tabuleiro de chapa de ferro galvanizado, de 50 cm por 30 cm de base e 6 cm de altura (aproximadamente).

6 OPERAÇÕES PRELIMINARES

6.1 Preparo dos materiais

6.1.1 Cinza volante

A amostra de cinza volante para mistura deve ser estocada em sacos plásticos e utilizada no seu estado natural seco, retirando-se apenas a quantidade a ser usada em cada ensaio.

6.1.2 Cal hidratada (comercial)

A amostra de cal hidratada para mistura deve ser estocada em sacos plásticos e utilizada no seu estado natural seco, retirando-se apenas a quantidade a ser usada em cada ensaio.

6.1.3 Solo

6.1.3.1 A amostra de solo para mistura deve ser completamente seca através do ar, de lâmpadas infravermelho ou estufa ($60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$), destorroada no almofariz pela mão de gral, homogeneizada e reduzida com o auxílio do repartidor de amostras ou por quarteamento, até se obter uma amostra representativa de 3 500 g, para solos siltosos ou argilosos, e 4 500 g para solos arenosos ou pedregulhosos.

6.1.3.2 Esta amostra representativa (ver item 6.1.3.1) deve ser passada na peneira de 2,54 cm (1 pol); havendo material retido nesta peneira deve-se proceder à substituição do mesmo por igual massa de material que passa na peneira de 2,54 cm (1 pol) e retido na peneira de 1,9 cm (3/4 pol), obtida de outra amostra representativa de conformidade com o item 6.1.3.1.

6.1.3.3 As operações referidas nos itens 6.1.3.1 e 6.1.3.2 devem ser repetidas tantas vezes quantos corpos-de-prova tiverem de ser moldados.

6.2 Pesagem dos materiais da mistura

6.2.1 Os materiais de mistura, a saber: solo, cinza volante e cal hidratada, praticamente secos, devem ser pesados de acordo com as proporções escolhidas para a mistura.

6.2.2 A umidade higroscópica dos materiais, na determinação das massas componentes da mistura, pode ser desprezada para os solos granulares.

6.2.3 As pesagens abaixo discriminadas devem ser realizadas com as sensibilidades a seguir indicadas:

- cilindro mais solo compactado, na sensibilidade de 1 g;
- cinza volante, cal hidratada e água, na sensibilidade de 0,1 g;
- aditivos, na sensibilidade de 0,01 g.

6.2.4 O aditivo quando utilizado não deve ser considerado como um dos componentes principais da mistura, e o percentual de sua massa referir-se-á à massa total da mistura seca de solo, cinza volante e cal hidratada, considerada como 100%.

6.2.5 Caso o solo utilizado seja uma mistura de dois ou mais solos ou um solo-brita, deve-se pesar, para cada corpo-de-prova a ser executado, as suas partes componentes separadamente.

6.2.6 O diâmetro máximo do agregado deve ser limitado a 2,54 cm (1 pol) o equivalente a 1/4 de diâmetro interno do cilindro.

6.3 Mistura dos materiais, a saber: solo, cinza volante e cal hidratada.

6.3.1 Mistura a seco

6.3.1.1 A primeira homogeneização, a seco, deve ser em recipiente de alumínio e com colher de madeira, até atingir coloração uniforme e constante. A mistura deve ser feita em etapas progressivas, iniciando-se com a cinza volante, cal hidratada e aditivo (se utilizado), prosseguindo-se com outros materiais em ordem crescente de granulometria.

6.3.1.2 Devem ser usadas máscara e luvas quando da mistura dos materiais.

6.3.2 Mistura úmida

Após mistura a seco deve-se proceder à molhagem e mistura do material contido no recipiente, por intermédio de uma bisnaga plástica (com uma quantidade de água pré-calculada) e colher de pedreiro. A distribuição de água deve ser gradativa e uniforme em toda a superfície da mistura, efetuando-se através de ciclos de molhagem e mistura manual. Terminada a operação de molhagem, a última mistura manual deve ser aplicada até a massa dos componentes atingir coloração e textura uniforme.

Obs: As operações de mistura podem ser efetuadas com equipamentos mecânicos.

6.4 Determinação de umidade da mistura

6.4.1 As amostras para o cálculo do teor de umidade devem ser retiradas do próprio recipiente de mistura, no início da compactação das 1ª e 2ª camadas e no final da última camada a ser compactada. As pesagens devem ser feitas com aproximação de 0,01 g.

6.4.2 Os teores de umidade devem ser calculados pela seguinte fórmula:

$$h = \frac{(P_h - P_s) \cdot 100}{P_s}$$

onde:

h - teor de umidade em percentagem;

P_h - massa da mistura úmida;

P_s - massa da mistura seca em estufa entre 105 °C e 110 °C.

6.5 Compactação da mistura

6.5.1 O material é compactado no molde cilíndrico (ver 5.m) em 5 (cinco) camadas iguais, de forma a ter-se uma altura total de solo de cerca de 21,5 cm após compactação; recebendo cada camada o número de golpes (n) calculado pela fórmula abaixo, em função da energia de compactação (E) escolhida, a seguir:

normal $E = 0,59 \text{ MN.m por m}^3$ (60 412 kgf.m por m^3 ou $n = 9$ golpes), intermediária $E = 1,29 \text{ MN.m por m}^3$ (131 813 kgf.m por m^3 ou $n = 20$ golpes) e modificada $E = 2,69 \text{ MN.m por m}^3$ (274 610 kgf.m por m^3 ou $n = 41$ golpes).

A compactação é efetuada através de um soquete de massa igual a 4,536 kg caindo de uma altura de 45,72 cm, sendo esta energia distribuída uniformemente em toda a superfície de cada camada.

$$n = \frac{E.V}{9,8.P.H.N_c}$$

sendo:

n - número de golpes por camada;

E - energia de compactação (trabalho por unidade de volume) em N.m por m^3 ;

V - volume do material compactado em m^3 ;

P - massa do soquete em kg;

H - altura do soquete em m;

N_c - número de camadas.

6.5.2 A seguir, destaca-se lentamente o colarinho, e retira-se o excesso de altura de material compactado do cilindro com ajuda inicialmente de uma espátula que rasa a parte periférica e depois com uma régua biselada, que rasa o material na altura do molde. A massa específica aparente do material úmido compactado (m'_s) deve ser determinada por dedução da massa do cilindro. Essas operações devem ser repetidas para teores crescentes de umidade, tantas vezes quantas necessárias, para caracterizar a curva de compactação correspondente à energia de compactação adotada. Aconselha-se que tal curva seja formada no mínimo por 5 (cinco) pontos, sendo que 3 (três) no ramo seco e 2 (dois) no úmido. Cada ponto será visualizado pela média de 9 (nove) corpos tendo aproximadamente a mesma umidade, correspondendo a um total de 45 corpos-de-prova, os quais nos fornecerão as curvas de resistências para 7, 14 e 28 dias de cura.

6.5.3 A curva de compactação resulta das massas específicas aparentes secas (m_s) marcadas nas ordenadas de um gráfico de dois eixos ortogonais e os correspondentes teores de umidade ($h\%$) nas abscissas.

6.5.4 O valor da ordenada máxima da curva de compactação correspondente à massa específica aparente seca máxima ($m_{s\text{máx}}$) e a abscissa correspondente identifica a umidade ótima ($h_{\text{ót}}\%$).

6.5.5 Massa específica aparente seca da mistura compactada.

A massa específica aparente seca da mistura compactada (m_s) é calculada pela seguinte fórmula:

$$m_s = \frac{100.m'_s}{(100 + h\%) . V}$$

sendo:

m_s - massa específica aparente em g/cm^3 ;

$m's$ - massa específica aparente da mistura compactada em g;

$h\%$ - teor de umidade;

V - volume da mistura compactada (capacidade do molde) em cm^3 .

6.6 Cura do corpo-de-prova

6.6.1 Após compactação deve-se proceder à desmoldagem do corpo-de-prova sobre uma placa cerâmica vitrificada (azulejo).

6.6.2 Uma vez fora do molde, o corpo-de-prova e a placa cerâmica devem ser inseridos e fechados em 2 (dois) sacos plásticos, evitando assim a perda de umidade e a carbonatação do hidróxido de cálcio pelo gás carbônico (CO_2) contido no ar.

6.6.3 Devem ser adotados, no mínimo, três tempos de cura, a saber 7, 14 e 28 dias após compactação.

6.6.4 A cura deve ser efetuada em câmara úmida ou em local onde a variação de temperatura possa ser minimizada.

6.7 Imersão do corpo-de-prova

Tão logo terminado o tempo de cura, o corpo-de-prova deve ser imerso em água durante 24 horas, para posterior ruptura.

7 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

7.1 Os corpos-de-prova provenientes da mistura, moldados de acordo com o prescrito no item 6 para a energia de compactação escolhida (normal, intermediária ou modificada) devem ser levados imediatamente para rompimento segundo o disposto na norma MB-3 de 1974 (ver item 3.1) com uma velocidade de 0,3 MPa a 0,8 MPa por segundo nas idades de 7, 14 e 28 dias de cura. As dimensões do corpo-de-prova devem ser determinadas com precisão de ± 1 mm, pela média de duas leituras para cada medida.

7.2 Para cada período de cura (7, 14 e 28 dias) devem ser obtidas as resistências à compressão simples (R_{cs}) em função dos teores de umidade ($n\%$). Cada resistência calculada resulta da média das resistências de 3 corpos-de-prova correspondentes a cada uma das 5 umidades adotadas. Na resistência à compressão simples deve ser excluído o resultado que variar de $\pm 10\%$ da média dos três corpos-de-prova.

7.3 A resistência à compressão simples (tensão de ruptura) é obtida dividindo a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova submetido a ensaio, devendo o resultado ser expresso com a aproximação de 0,1 MPa.

8 DETERMINAÇÃO DAS CURVAS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

8.1 Curvas de resistência à compressão simples (R_{cs}), respectivamente para 7, 14 e 28 dias de cura.

Marcam-se nas ordenadas, para cada período de cura, as resistências à compressão simples (R_{cs}) relativas à energia de compactação escolhida e, nas abscissas, os teores de umidade ($h\%$) correspondentes.

8.2 Resistências à compressão simples máximas para 7, 14 e 28 dias de cura ($R_{cs\ máx}$).

Correspondem aos valores das ordenadas máximas das curvas de resistência para 7, 14 e 28 dias de cura, mencionadas em 8.1.

Anexo informativo - Exemplo de aplicação do Método de Ensaio DNER-ME 180/94.

A.1 Mistura a ser ensaiada

cinza volante (disponível)	13 %
cal hidratada (disponível)	4 %
solo arenoso tipo A-3 (dado)	53 %
pedra britada (9,5mm a 19,0mm)	30 %
	100 %
cimento Portland (disponível)	1 %

A.2 Quantidade de corpos-de-prova (CP)

Desejando-se obter (ver Figura) 3 (três) curvas de resistência à compressão (aos 7, 14 e 28 dias), formadas, cada uma, por 5 (cinco) pontos e devendo cada ponto corresponder a 3 corpos-de-prova, resulta a necessidade de se confeccionar, ao todo, 45 corpos-de-prova.

Os mesmos 45 corpos-de-prova servem também para definir a curva de compactação (ver Figura) formada por 5 (cinco) pontos, cada ponto correspondendo a 9 corpos-de-prova confeccionados praticamente, na mesma umidade.

Obs.: O conjunto "Curvas de compactação e resistência" expressa de forma clara as características da mistura a ser ensaiada.

A.3 Massas dos componentes da mistura requerida para confecção de cada corpo-de-prova

Tratando-se de solo granular (solo arenoso e pedra britada), a soma das massas dos componentes deve ser igual a 4 500 g, resultando, em consequência, os valores das massas constantes da Tabela 1.

Tabela 1 - Massas dos componentes (1 CP)

Componentes	%	Massa g
cinza volante	13	704,80
cal hidratada	4	216,90
solo arenoso	53	2 873,00
pedra britada	30	1 627,00
Total	100	5 421,70
cimento	1	54,22

A quantidade d'água é adicionada à mistura segundo a percentagem determinada pelo operador, conforme 6.3.2.

A.4 Determinação da umidade (item 6.4)

Devido a perda de umidade por evaporação durante os processos de mistura e compactação, o teor de umidade é obtido com uso de estufa (107,5 °C ± 2,5 °C).

A.5 Compactação da mistura (item 6.5)

Adota-se a energia modificada, cada camada recebendo 41 golpes do soquete.

A.6 Curva de compactação (item 6.5.3)

Para cada conjunto de 9 (nove) corpos-de-prova confeccionados praticamente com a mesma umidade, é determinada a média das massas específicas aparentes secas, resultando a possibilidade do traçado da curva de compactação constante da Figura deste Anexo.

A.7 Cura (item 6.6)

Procede-se a cura (7, 14 e 28 dias) mantendo-se a temperatura a mais uniforme possível.

A.8 Imersão (item 6.7)

Todos os corpos-de-prova são imersos em água por 24 horas, após a cura imediatamente antes da ruptura.

A.9 Ruptura (item 7)

Obtem-se os resultados consignados na Tabela 2, para resistência à compressão.

A.10 Curvas de resistência à compressão (item 8)

As curvas de resistência aos 7, 14 e 28 dias, são traçadas com base nos valores da Tabela 2.

A.11 Comentário

A figura evidencia todos os fenômenos que ocorrem entre o teor de umidade, massa específica aparente seca e resistência à compressão simples, para a mistura ensaiada (A.1).

TABELA 2 - RESILIÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (R_{cs})

UMIDADE (%)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA (g/cm ³)	R _{cs} 7 (MPa)	R _{cs} 14 (MPa)	R _{cs} 28 (MPa)
4,02	2,128	3,86	6,00	8,04
5,06	2,146	3,92	6,21	8,84
5,96	2,152	3,01	5,32	9,29
7,05	2,127	2,17	3,76	7,12
8,11	2,099	1,52	3,05	5,59
9,05	2,080	-	-	-
UMIDADE ÓTIMA (%)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA (g/cm ³)	R _{cs} 7 (MPa)	R _{cs} 14 (MPa)	R _{cs} 28 (MPa)
5,80	2,153	4,10	6,21	9,30

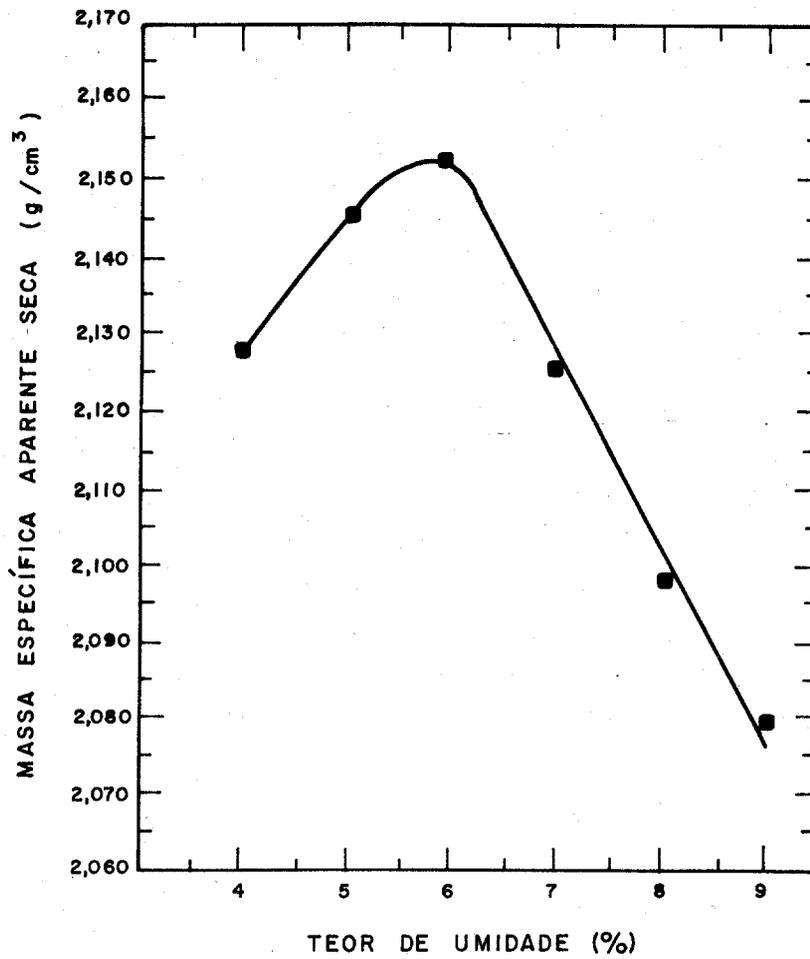
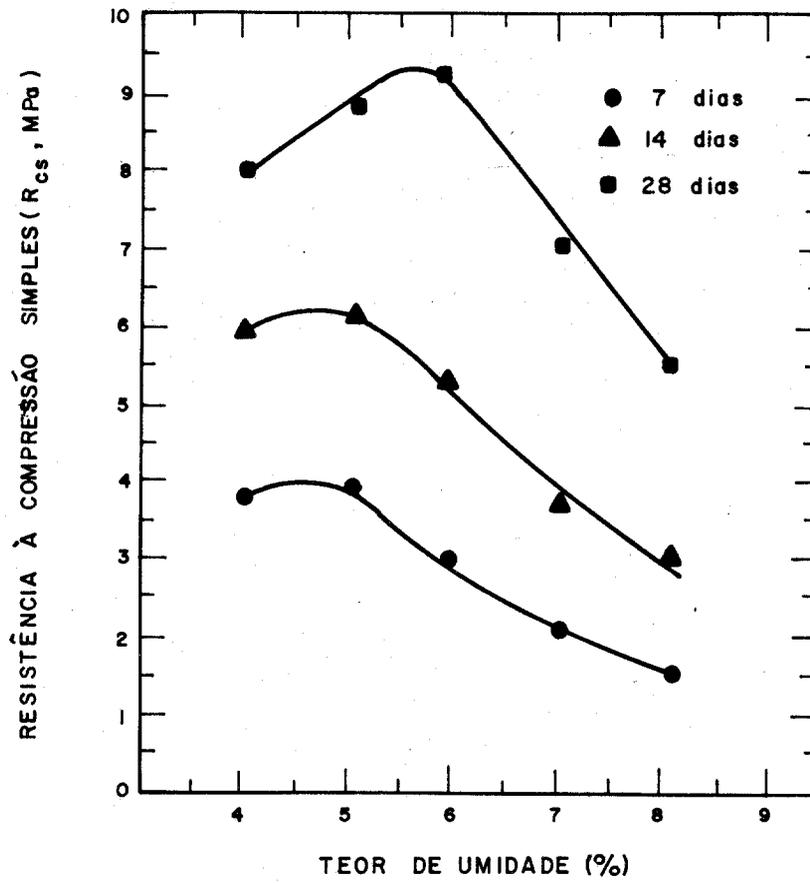


FIGURA - CURVA DE COMPACTAÇÃO E CURVAS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES