



GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ

SEID

*Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e do Desenvolvimento
Econômico*

MINEROPAR

Minerais do Paraná SA

**PARANÁ MINERAL
PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA MINERAL
PARANAENSE**

ENSAIOS GEOTÉCNICOS

(Síntese disponibilizada na Internet – www.pr.gov.br/mineropar)

624 13
5521e

**CURITIBA
2000**

MINEROPAM
BIBLIOTECA
...345...11/00

Registro n. 345
Biblioteca/Mineropam





GOVERNADOR DO ESTADO DO PARANÁ
Jaime Lerner

**Secretário de Estado da Indústria, Comércio e do Desenvolvimento
Econômico**
Eduardo Sciarra

Minerais do Paraná S.A

Diretor Presidente
Omar Akel

Diretor Técnico
Marcos Vitor Fabro Dias

Diretora Administrativo-Financeira
Heloisa Monte Serrat de Almeida Bindo

Execução
Geóloga Katia Norma Siedlecki
Técnico em Mineração Antônio Perdoná Alano

Apoio
Estagiário Alphonse Massaad Dib Filho

APRESENTAÇÃO

A MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A, empresa de governo, vinculada a Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e do Desenvolvimento Econômico, tem a atribuição de executar o Programa Paraná Mineral e visa promover o desenvolvimento deste setor da economia. Nesta oportunidade, disponibiliza, em complementação ao Perfil Setorial dos principais segmentos da indústria mineral paranaense publicada em 1999, a síntese dos principais ensaios e seus conceitos, necessários para caracterização tecnológica das rochas e materiais para os diferentes usos na indústria, com as respectivas normas técnicas regulatórias e laboratórios aptos à sua execução.

A disponibilização deste material de consulta oferece a oportunidade de conhecer os principais ensaios necessários para caracterizar os produtos e minérios já comercializados, assim como para a busca de novas aplicações, tanto para a matéria prima mineral já produzida, quanto para os produtos dela derivada.

SUMÁRIO

1. Ensaio Geotécnicos - Considerações Preliminares.....	1
2. Ensaio Geotécnicos - Metodologia Analítica.....	1
2.1 Análise Granulométrica.....	1
2.1.1 Considerações Preliminares.....	1
2.1.2 Material Necessário.....	2
2.1.3 Reagentes.....	2
2.1.4 Orientação de Amostragem.....	2
2.1.5 Preparação da Amostra.....	3
2.1.6 Fração Grosseira.....	3
2.1.7 Sedimentação.....	4
2.1.8 Cálculos.....	5
2.2 Limites de Consistência.....	6
2.2.1 Considerações Preliminares.....	6
2.2.2 Material Necessário.....	7
2.2.3 Calibração do Aparelho de Casagrande.....	7
2.2.4 Procedimento para o Limite de Liquidez – LL.....	8
2.2.5 Cálculo – LL.....	9
2.2.6 Procedimento para o Limite de Plasticidade – LP.....	9
2.2.7 Cálculo – LP.....	10
2.3 Proctor Normal.....	11
2.3.1 Considerações Preliminares.....	11
2.3.2 Material Necessário.....	12
2.3.3 Orientação de Amostragem.....	12
2.3.4 Procedimento para Proctor Normal.....	12
2.3.5 Cálculos.....	16
2.4 Índices Físicos.....	16

2.4.1	Considerações Preliminares.....	16
2.4.2	Material Necessário.....	16
2.4.3	Orientação de Amostragem.....	17
2.4.4	Procedimento para (δ e H).....	18
2.4.5	Cálculos.....	18
2.4.6	Procedimento para (δ s).....	18
2.4.7	Cálculos.....	20
2.4.8	Cálculos de Correção.....	20
2.5	Capacidade de Troca de Cátions – CTC.....	21
2.5.1	Considerações Preliminares.....	21
2.5.2	Material Necessário.....	22
2.5.3	Orientação de Amostragem.....	22
2.5.4	Procedimento para CTC e SE.....	22
2.5.5	Cálculos.....	24
2.5.6	Cálculos de Correção.....	25
2.6	Determinação do Potencial Hidrogeniônico – pH.....	25
2.6.1	Material Necessário.....	25
2.6.2	Procedimento para determinação do pH.....	26
2.7	Determinação do Índice de Erodibilidade.....	26
2.7.1	Considerações Preliminares.....	26
2.7.2	Material Necessário.....	27
2.7.3	Orientação de Amostragem.....	27
2.7.4	Procedimento para Erodibilidade (E).....	27
2.7.5	Cálculos.....	28
2.8	Coefficientes de Permeabilidade (K).....	30
2.8.1	Considerações Preliminares.....	30
2.8.2	Material Necessário.....	30

2.8.3 Procedimento para o coeficiente de permeabilidade (K) carga constante..	30
2.9 Teste de Infiltração “in situ” (NBR 7229).....	33
2.9.1 Considerações Preliminares.....	33
2.9.2 Material Necessário.....	33
2.9.3 Procedimento.....	33
2.9.3.1 Descrição do ensaio de infiltração.....	33
2.9.4 Determinação da área de infiltração do solo.....	34
2.9.5 Gráfico para determinação do coeficiente de infiltração.....	34
3. Referências Bibliográficas.....	36
4. Anexos.....	37
4.1 Testes Químicos Expeditos.....	37
4.2 Preparação de Lâminas Petrográficas.....	48
4.3 Normas Técnicas.....	54

1. ENSAIOS GEOTÉCNICOS - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Fundamentais para a compreensão do comportamento do solo face à ocupação humana, os ensaios de caracterização geotécnica aqui apresentados, seguem basicamente as rotinas apresentadas por PEJON (1992), que preconiza a utilização de ensaios simples e de baixo custo, adaptados à realidade brasileira. Procurou-se respeitar as normas técnicas disponíveis e em alguns casos, observar procedimentos alternativos implantados em rotinas de laboratórios conhecidos (DER, IPT, dentre outros).

A distribuição granulométrica para solos mistos, com o uso do densímetro calibrado (ABNT - NBR 7181/84) é um ensaio de larga utilização em mecânica de solos, e muito útil quando associado a dados de caracterização físico-química da fração fina, sendo imprescindível para o cálculo de parâmetros como atividade (SKEMPTON, 1953 apud MITCHELL, 1993) e capacidade de troca de cátions - CTC da fração fina (ZUQUETTE, 1979).

Os índices físicos são parâmetros de estado do solo, sendo essenciais ao desenvolvimento de inúmeros métodos de análise. Neste trabalho foram determinados alguns deles: massa específica dos sólidos (ρ_s), teor de umidade (h), massa específica do solo (ρ), índice de vazios (e), porosidade (η) e massa específica seca de campo (ρ_{dc}).

Os índices de consistência do solo são parâmetros amplamente aplicados em geotecnia, úteis na identificação, descrição, classificação e avaliação preliminar das propriedades mecânicas do solo. A plasticidade, comumente avaliada por meio dos limites de Atterberg: limite de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP), está vinculada à quantidade e atividade das argilas presentes.

2. ENSAIOS GEOTÉCNICOS - METODOLOGIA ANALÍTICA

2.1 - Análise Granulométrica

2.1.1 - Considerações Preliminares

Efetua-se PENEIRAMENTO para determinação granulométrica de solos grossos (areias + pedregulho).

Sedimentação para determinação granulométrica de solos finos (fração passante na peneira 200 # = silte + argila).

Para solos mistos: peneiramento + sedimentação.

É imprescindível o conhecimento de δ_s (massa específica dos sólidos) para a finalização do ensaio de sedimentação.

Para a etapa de sedimentação, esta metodologia prevê o uso de densímetro calibrado à 20°C segundo a norma NBR 7181/84.

2.1.2 - Material necessário

Quarteador/Formas/Pincel

Balança - Resolução 0,01 g

Dessecador

Aparelho de Dispersão

Proveta de vidro 1000 cm³

Densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20°C, com resolução de 0,001°C graduado de 0,995 à 1050

Termômetro graduado 0°C à 50°C, resolução 0,1°C

Cronômetro

Becker de vidro 250 cm³

Proveta de vidro 250 cm³

Tanque para banho-maria com dispositivo para manter a temperatura constante

Peneiras - 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8, 2,0, 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,149, 0,075 mm

Agitador de peneiras

Cuba de ultra-som

Bagueta de vidro

Picete

Cápsula de alumínio

2.1.3 - Reagentes

Hexametáfosfato de sódio

Água destilada

Preparo de defloculante: 45,7 g de hexametáfosfato de sódio em 1 litro de água destilada

2.1.4 - Orientação de Amostragem

O horizonte húmico, rico em carga vegetal deve ser evitado, a quantidade de material a ser amostrado segue orientação da tabela abaixo:

Dimensões dos grãos maiores contidos na amostra, determinada por observação visual (mm)	Quantidade mínima a tomar (Kg)
< 5	1
5 a 25	4
> 25	8

Nota: O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.

2.1.5 - Preparação da Amostra

Secar ao natural à sombra, por 48 horas.

Tirar 3 unidades para avaliação da massa seca. Retirar para isso, cerca de 120 g da amostra, levar à estufa em cápsulas de alumínio taradas. Esta etapa auxilia no balizamento da quantidade precisa a ser quarteada e trabalhada.

A amostra parcialmente seca deve, descontada a umidade higroscópica, estar cumprindo o limite:

Argila 50 g.

Areia 70 g.

2.1.6 - Fração Grosseira

Adicionar 125 ml de solução pronta na amostra (2.1.3).

Bater por 15 minutos no aparelho de dispersão (Foto 1) no final da tarde, deixar repousar à noite e repetir a operação por 15 minutos na manhã seguinte.

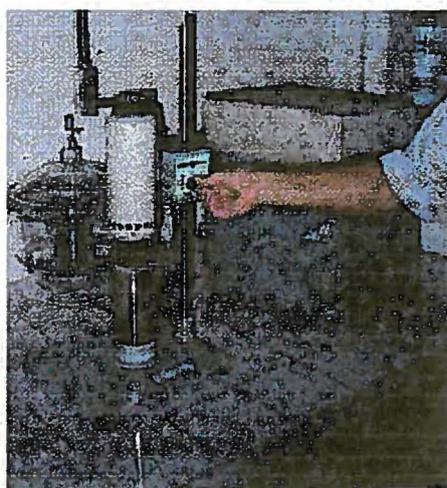


Foto 1 – Aparelho de Dispersão

Usando peneira 100 #, lavar a amostra diretamente sobre a proveta de 1000 ml, com o auxílio do funil, até atingir mais ou menos 500 ml. Completar com água destilada até a marca dos 1000 ml (Foto 2).



Foto 2 – Peneiramento fração 100 #

O retido na peneira usada (100 #), é encaminhado à secagem, pesagem e fracionamento (200, 100, 60, 32, 16, 9, 4 #).

Apesar de se efetuar o corte em 100 #, por segurança, empregam-se após secagem, as peneiras 100 e 200 # para reter as partículas finas que eventualmente ficarem aderidas aos grãos maiores.

O material passante na peneira 100 #, será objeto da SEDIMENTAÇÃO propriamente dita, conforme foto 2.

2.1.7 - Sedimentação

Tomar a temperatura da suspensão;

Tampar com a mão a boca da proveta e agitá-la em movimento circular;

Rapidamente, colocar a proveta sobre a bancada e iniciar a contagem dos tempos;

Registrar a hora exata do início da sedimentação.

Introduzir o densímetro na suspensão, realizando leituras no menisco conforme tempos estabelecidos pela norma NBR 7181, quais sejam:

- 30 seg, 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h e 24 h.

Decorridos os 4 minutos do instante inicial, tirar novamente a temperatura. Fazer a prova em branco (correção do zero), 125 ml da solução de hexametáfosfato de sódio e 875 ml de água destilada, agitar, colocar o densímetro, efetuar a leitura e o resultado somar + 0,50 (correção do menisco) e deste valor diminuir das leituras reais.

Em leituras espaçadas, tomar a temperatura da suspensão.

O termômetro e o densímetro devem permanecer mergulhados em proveta com água destilada.

Feita a última leitura prevista, peneirar a polpa em malha 200 # (0,074 mm), secar e pesar (Foto 3). Importante lembrar de somar a esta fração o retido na primeira etapa de peneiramento em malha 200 #.



Foto 3 – Peneiramento da polpa em malha 200 #

2.1.8 - Cálculos

Massa seca < 200 # = Massa seca inicial - Σ frações (cf. ficha) (fração silte + argila).

$$\% \text{ passante por peneira} = ((M_{si} - M_{ra}) / M_{si}) \times 100$$

M_{si} = Massa seca inicial

M_{ra} = Massa retida acumulada

Determinação do diâmetro das partículas - (duas maneiras)

1º)

$$d = \frac{1800 \times u}{\delta - \delta d} \times \frac{a}{t} = d = \frac{1800 \times u}{\delta s - 1} \times \frac{a}{t(s)}$$

d = Diâmetro máximo das partículas, em mm

u = Viscosidade do meio dispersor à temperatura do ensaio em 10^{-6} g/s/cm²

a = Altura de queda das partículas (mm)

δs = Massa específica dos sólidos g/cm³

t = Tempo (s)

$\delta d = 1$ (massa específica do meio dispersor g/cm³)

2º)

$$d = K \times \sqrt{\frac{a}{t(\text{min})}}$$

d = Diâmetro máximo das partículas, em mm

K = Índice da tabela americana (temperatura/ δs)

a = Altura de queda das partículas (mm)

t = Tempo (s)

% grãos conforme o diâmetro (percentual que passa):

$$\% = \frac{\delta s}{\delta s - 1} \times \frac{100}{Ms} \times Lcd$$

% = Percentual que passa

δs = Massa específica dos sólidos g/cm³

Ms = Massa seca

Lcd = Leitura corrigida do densímetro

2.2 - Limites de Consistência

2.2.1 - Considerações Preliminares

Os limites de consistência foram introduzidos para caracterizar um solo quanto à plasticidade. Tratam-se de teores de umidade que separam dois estados da consistência de um solo. Assim tem-se:

LL - Limite de liquidez, separa o estado líquido do plástico. Teor de água acima do qual a massa flui. ABNT NBR 6459-MB30

LP - Limite de plasticidade, separa o estado plástico do semi-sólido. Teor de água acima do qual a argila pode ser enrolada em cilindros de 3 a 4 mm e 15 cm de comprimento. ABNT NBR 7180.

IP - Índice de plasticidade, parâmetro alcançado por correlação:

$$IP = LL - LP$$

2.2.2 - Material necessário

Para limite de liquidez:

- Aparelho e cinzel de Casagrande;
- Balança com capacidade de 1000 g e precisão de 0,01 g;
- Estufa;
- Cápsulas de porcelana e alumínio;
- Espátula e água destilada;
- Almofariz com mão de borracha.

Para limite de plasticidade:

- Placa de vidro, espessura 5 mm com face esmerilhada;
- Cilindro comparador com diâmetro de 3mm;
- Balança com capacidade de 1000 g e precisão de 0,01 g;
- Estufa;
- Cápsulas de porcelana e alumínio;
- Espátula e água destilada;
- Almofariz com mão de borracha.

2.2.3 - Calibração do Aparelho de Casagrande

- 1) Verificar se a altura máxima de elevação do ponto da concha que bate na base, está na altura aproximada de 10 mm, utilizando o calibrador que acompanha o aparelho. Caso contrário, ajustar a concha com o auxílio de parafuso de ajustagem.
- 2) Verificar se o local da base onde bate a concha não está gasto.
- 3) Verificar se as condições e dimensões do cinzel estão dentro do padronizado.
- 4) Verificar a resistência dinâmica do material de base, sendo considerada dentro dos padrões, se uma esfera de aço de 8 mm de diâmetro caindo de uma altura de 254 mm, elevar-se acima de 180 mm.

5) Verificar ainda o polimento da parte interna da concha. Se o aparelho está nivelado e se não há folga no sistema excêntrico (manivela).

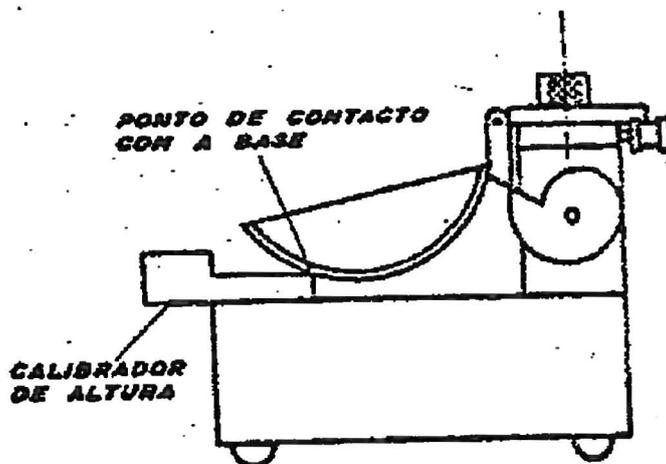


Figura 1 – Calibração da altura de queda.

2.2.4 - Procedimento para Limite de Liquidez - LL

O material a ser empregado não deverá ser seco em estufa ou sol. Se possível iniciar com o teor de umidade que o solo apresenta no campo.

Se a umidade natural for muito elevada, secar à sombra uma quantidade suficiente para o ensaio.

Destorroar e homogeneizar a amostra, utilizando almofariz com mão de borracha.

Passar o material na peneira 40 # (0,42 mm).

Colocar uma cápsula de porcelana, cerca de 100 g de solo.

Adicionar água destilada suficiente para formar uma pasta (começar pela mais seca).

Transferir parte da amostra para aparelho de Casagrande (Foto 4) que deve estar na mão do operador.

Alisar a superfície com o auxílio da espátula, de forma a obter uma camada de espessura de mais ou menos 12 mm na seção mais profunda e com comprimento máximo de 2/3 do diâmetro da concha. Com o cinzel, abrir uma ranhura ao longo do plano de simetria do aparelho. O cinzel deve permanecer perpendicular à concha, durante todo o movimento de abertura.

Colocar a concha no aparelho, cuidando para evitar choques. Girar a manivela à razão de 2 revoluções por segundo, e ao mesmo tempo contar o número de golpes.

Anotar o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo da mesma, por cerca de 10 mm.



Foto 4 - Aparelho de Casagrande – Determinação do LL

Retirar cerca de 15 g do material junto das bordas que se uniram e determinar o teor de umidade. Devolver o restante do material da concha para a cápsula de porcelana, misturando com o material colocado inicialmente, homogeneizando. Limpar e acrescentar cerca de 2% de água destilada (se a amostra for argilosa, acrescentar em torno de 20 gotas, e menos se for arenosa), ao material da cápsula homogeneizando. Repetir o processo desde o arranjo do material na concha, até que se tenha 5 pares de valores de teores de umidade X número de golpes, colocar em gráfico.

Observação: O número de golpes deve estar entre 10 e 40, sendo 2 abaixo e 2 acima e um próximo de 25. Começar pelo mais seco. O intervalo de um para o outro não deve ultrapassar 12. Ideal de 8 a 12 golpes.

2.2.5 - Cálculo - LL

Plotar em papel semi logarítmico os pontos representativos dos pares obtidos (golpes X % de umidade). O número de golpes deverá ser colocado em abcissa (escala log) e o teor de umidade em ordenada (escala natural).

Traçar uma reta que melhor se ajuste aos pontos do gráfico.

O valor do limite de liquidez do solo (LL), será o teor de umidade correspondente a 25 golpes, lido em gráfico.

Observação: O primeiro do LL, separar uma bolinha e fazer 5 pontos 3 mm para o LP.

2.2.6 - Procedimento para o Limite de Plasticidade - LP

O material a ser empregado não deverá ter sido seco em estufa ou sol. Se possível iniciar com o teor de umidade que o solo apresentar no campo.

Se a umidade natural for muito elevada, secar à sombra uma quantidade suficiente para o ensaio.

Destorroar e homogeneizar a amostra, utilizando almofariz com mão de borracha.

Passar o material na peneira 40 # (0,42 mm).

Colocar em uma cápsula de porcelana, cerca de 50 g de solo, adicionar água destilada suficiente para formar uma pasta, homogeneizando bem. (Fazer uma bolinha e secar com a mão até se atingir a consistência ideal para as bolinhas. Repetir 5 vezes).

Rolar o solo com a mão (Foto 5), sobre a face esmerilhada da placa de vidro; para tanto, utilizar a palma da mão.

Interromper o ensaio quando o bastonete estiver com o diâmetro de 3 mm e aparecerem fissuras (momento em que a massa pastosa perde água de amassamento).

Colocar o trecho fissurado do bastonete em uma cápsula de alumínio, para determinação do teor de umidade.

Repetir o processo, até obter um mínimo de 5 valores do teor de umidade.



Foto 5 – Confeção de rolos para a avaliação do LP.

2.2.7 - Cálculo - LP

A cada vez que o processo for repetido, determinar a umidade do bastonete (5 vezes).

A média aritmética dos valores obtidos, será o LP.

2.3 - Proctor Normal

2.3.1 - Considerações Preliminares

A compactação de um solo em laboratório, determina a curva de variação da massa específica seca em função do teor de umidade para uma dada energia de compactação.

Além desta curva, o ensaio apresenta também a curva de variação do grau de saturação em função do teor de umidade.

A energia de compactação, é calculada pela fórmula:

$$E_c = \frac{P \times L \times N \times n}{V}$$

E_c = Energia de compactação (kgf X cm/cm³)

P = Peso do soquete (kgf)

L = Altura de queda do soquete (cm)

N = Número de golpes por camada

n = Número de camadas

V = Volume do cilindro (cm³)

Observação: O cilindro de volume $V = 1000 \text{ cm}^3$ e o soquete pequeno de peso $P = 2,5 \text{ Kgf}$ e $L = 30,5 \text{ cm}$, são utilizados geralmente para a energia do PROCTOR NORMAL.

O cilindro de volume $V = 2300 \text{ cm}^3$ e o soquete grande de peso $P = 4,5 \text{ Kgf}$ (Foto 6) e $L = 45,7 \text{ cm}$, são utilizados geralmente para compactação de material grosso e para o ensaio CBR.



Foto 6 – Desenvolvimento do ensaio - Proctor normal

Tabela de Energia de Compactação

Energia	Soquete Kgf	Camadas	Golpes	Cilindro cm ³
Normal	2,5	3	25	1000
	2,5	5	36	2300
	4,5	5	43	2300
Intermediária	4,5	3	12	1000
	4,5	5	28	2300
Modificada	4,5	5	25	1000
	4,5	5	40	2300

2.3.2 - Material necessário

Cilindro;

Soquete;

Peneiras de aberturas 4 # (4,76 mm) e 3/4" (19,1 mm);

Balança com capacidade de 10000 g e precisão de 20 g;

Balança com capacidade de 1000 g e precisão de 0,01 g;

Formas metálicas de zinco 50/50 cm;

Destorroadores de madeira ou metálico;

Extrator de amostra (adaptação prensa hidráulica);

Estufa;

Quarteador de amostra;

Cápsula de alumínio;

Facas;

Água destilada;

Plástico preto ou encerado;

Colher de pedreiro.

2.3.3 - Orientação de Amostragem

Coletar cerca de 25 kg de amostra, evitando-se o horizonte úmido. A quantidade de amostra indicada, prevê o NÃO REÚSO da mesma, durante a série de 5 compactações previstas pelo teste.

2.3.4 - Procedimento para Proctor Normal

Colocar a amostra original em plástico preto ou encerado, desmanchar os torrões maiores e uniformizá-la.

No caso da amostra estar muito úmida, deixá-la secar à sombra até um teor de 5% abaixo do teor de umidade ótima presumível, destorroando-a aos poucos.

A amostra deve ser peneirada em malha 4 # (4,76 mm), procurando-se desmanchar os torrões existentes, evitando-se a quebra de grãos. Quartejar a amostra peneirada até cerca de 15 kg. Colocar em forma de zinco 50/50 cm e dividi-la em 5 partes de 2,5 kg. Colocar as amostras em sacos plásticos bem fechados e reservar, e assim sucessivamente para as demais.



Foto 7 - Homogeneização, peneiramento e compactação – Proctor normal.

Retirar cerca de 100 g de amostra da 1ª alíquota quarteada (2,5 kg) para avaliação do teor de umidade inicial.

$$W_i = \frac{M_a}{M_s} \times 100$$

Wi = Umidade inicial

Ma = Massa da água

Ms = Massa seca

Para a determinação da umidade ótima de compactação, se prevê uma série de 5 ensaios, nos quais se varia o teor de umidade estipulado em função da umidade natural da amostra, avaliada quando do cálculo do δ (Rô). Caso contrário tirar o teor de umidade assim que a amostra chegue do campo.

Preparar plano de ensaio, calculando qual o volume de água a acrescentar em cada uma das 5 etapas do ensaio, através da fórmula:

$$V_w = M_i \times \frac{W_f - W_i}{1 + W_i}$$

V_w = Volume em ml de água destilada

M_i = Massa do solo (parcialmente seca)

W_f = Umidade pretendida (que se deseja alcançar)

W_i = Umidade inicial

Colocar a primeira amostra num recipiente e acrescentar o primeiro volume de água destilada calculada.

Molhar aos poucos e mexer bem, com o auxílio de colher de pedreiro, até a homogeneização completa.

Passar vaselina sólida na base do cilindro ou papel filtro.

Colocar um pouco da 1º amostra acima da metade do cilindro.

Com o auxílio do soquete, aplicar 25 golpes, tendo o cuidado de distribuir os golpes por toda a área do cilindro, de forma que a energia aplicada seja uniforme.

Com a ponta de uma faca, riscar em forma de grade o topo do tarugo.

Colocar o suporte do cilindro, preenchendo com o material, até atingir o volume total.

Aplicar com o auxílio do soquete mais 25 golpes, conforme ilustra foto 6.

Usando novamente a ponta da faca, riscar em forma de grade o topo do tarugo.

Encher de material todo o cilindro, pressionando com as mãos e aplicar mais 25 golpes.

Observação: Importante observar que durante a compactação proctor, a altura final do tarugo fique acima do cilindro principal.

Retirar com a ponta da faca o excesso de material, até se atingir o contato do cilindro com o suporte.

Retirar o suporte torcendo-o com cuidado, lentamente, procurando não fragilizar o tarugo.

Retirar o cilindro da base.

Nivelar de ambos os lados a amostra compactada, usando para isso uma faca (Foto 8).



Foto 8 – Nivelamento do corpo de prova – Proctor normal

Pesar o cilindro com o corpo de prova, MC + CP – extrair o corpo-de-prova com o auxílio da prensa (Foto 9).

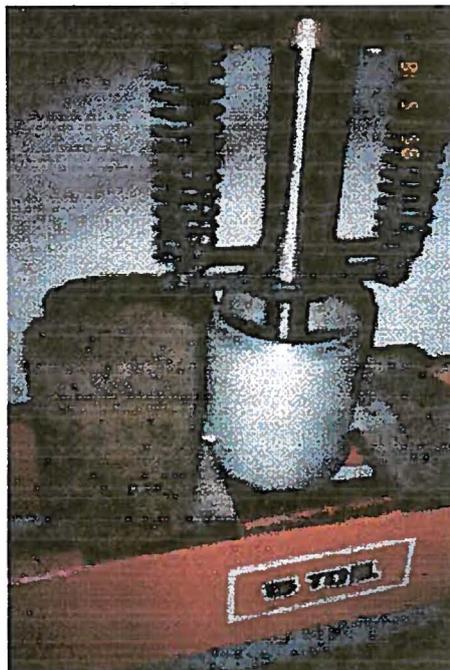


Foto 9 – Extração do corpo de prova – Proctor normal.

Retirar 3 porções do corpo-de-prova: uma relativa ao terço superior, outra ao terço médio, e outra ao terço inferior, compondo uma amostra de mais ou menos 100 g para cálculo da umidade. Para isso, secciona-se o tarugo ao meio.

Repetir todo o processo para as 4 demais alíquotas (acrescentando-se água na proporção de 2 em 2% na amostra), atentando para a limpeza e preparação do aparelho.

Plotar em papel milimetrado os pontos representativos dos pares obtidos (umidade x densidade aparente seca) umidade na abcissa e densidade aparente seca na ordenada. Traçar a curva que melhor se ajustar a eles; da curva obtida retirar o valor da

massa específica seca máxima (pico da curva) e o teor de umidade ótima, conforme ficha de ensaio em anexo.

2.3.5 - Cálculos

Para cada etapa do ensaio, determinar:

Volume do cilindro (V);

Peso do cilindro com solo úmido;

Peso do cilindro (tara);

Peso do solo úmido (mh);

Massa específica aparente úmida ou densidade úmida $Y_h = mh/V$;

Massa específica aparente seca ou densidade seca $Y_s = F_c \times Y_h$;

Umidade (H);

Fator de conversão $F_c = 100/100 + H$.

2.4 - Índices Físicos

2.4.1 - Considerações Preliminares

A avaliação dos índices físicos visa a caracterização do solo, com parâmetros representativos do seu estado.

No laboratório, determina-se diretamente três índices:

δ = Massa específica do solo

H = Teor de umidade

δ_s = Massa específica dos sólidos

Os demais parâmetros, resultam de correlação:

e = Índice de vazios

n = Porosidade

Sr = Grau de saturação

δ_{dc} = Massa específica seca de campo

Ic = Índice de colapsividade

2.4.2 - Material necessário

Quarteador/formas/pincel;

Balança com resolução de 0,01 g;

Dessecador;
Termômetro graduado em 0,1°C - de 0°C a 50°C;
Bequer de vidro 250 cm³;
Tubo de PVC rígido com diâmetro = 10 cm e altura = 5 cm (biselado e tarado);
Estufa;
Picnômetros 100 ml;
Facas;
Filmes PVC;
Cápsulas de alumínio;
Berço em PVC;
Fogão duas bocas;
Forma com areia;
Algodão/toalha de papel;
Soquete de borracha;
Picete;
Pipeta;
Funil.

2.4.3 - Orientação de Amostragem

Uma amostra indeformada deve ser coletada em tubo de PVC rígido devidamente tarado, com o auxílio de material cortante, evitando-se retirar a parte húmida do perfil do solo, bem como exercer excesso de pressão sobre o material (Foto 10). Para se iniciar a operação de coleta, a superfície deve estar bem horizontalizada. Depois de sacada a amostra, assegurar que estejam perfeitamente horizontalizados os dois extremos do tarugo.

Acondicionar o tarugo por película de PVC e sacos plásticos.



Foto 10 – Coleta corpo de prova indeformado

2.4.4 - Procedimento para (δ e H)

δ - pesar o conjunto "in natura" e diminuir a tara = Mu (massa úmida). Calcular o volume.

H - retirar do amostrador (PVC) quantidade não inferior a 60 g, distribuída igualmente em três cápsulas, visando a determinação do teor de umidade.

Colocar as cápsulas na estufa à temperatura de 105°C a 110°C, até se atingir a constância da massa, permanecendo aí por cerca de:

6 horas para os solos arenosos;

12 horas para solos argilosos.

Retirar as cápsulas da estufa, tampá-las, acondicioná-las em dessecador e pesá-las após resfriamento;

Observação: Todas as vezes que forem usadas, as cápsulas devem ser taradas em balança de precisão.

2.4.5 - Cálculos

$$\delta = \frac{Mu}{V}$$

δ = Massa específica do solo

Mu = Massa do corpo de prova (peso PVC + solo - peso tubo PVC) (g/cm³ ou ton/m³)

V = Volume do tubo de PVC $\pi \times R^2 \times h$

$$H = 100 \times \frac{Ma}{Ms}$$

H = Teor de umidade

Ma = Água (g) (S + T + A - S + T)

Ms = Massa seca (cápsula + S + A - cápsula + S)

2.4.6 - Procedimento para (δ_s)

O resíduo da amostra coletada deve ser distribuído em forma.

Quarteia-se em 5 partes iguais de aproximadamente 25 g (controle por pesagem).

Da sobra da forma, retira-se em torno de 20 g para cálculo de umidade e possível correlação do peso do material recém quarteado.

Cada fração quarteada deverá ser colocada em picnômetros (5) de 100 ml com auxílio de funil de alumínio.

Colocar os picnômetros sobre uma forma parcialmente preenchida com os grãos de areia (9 #), levar à fervura por 15 minutos, agitando-se regularmente para facilitar a saída de bolhas de ar (geralmente no final da tarde).

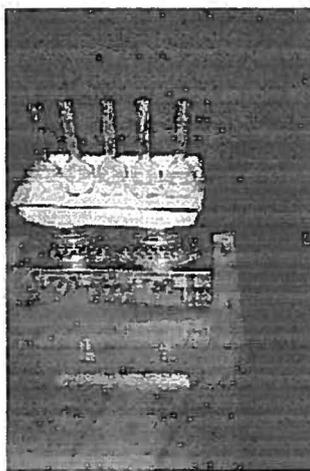


Foto 11 – Picnômetros submetidos à fervura

Deixar em repouso até resfriamento, completar com água destilada até próximo a marca de 100 ml.

Deixar decantar por 12 horas.

Atingir com água destilada a marca de 100 ml, com auxílio de piceti e pipeta, enxugar as paredes internas do gargalo como também o próprio picnômetro com papel absorvente e algodão.

Pesar pic. + solo + água = M1.

Descartar o conteúdo, lavar bem os picnômetros com detergente e grãos de areia.

Colocar água destilada até a marca de 100ml, com auxílio de picete e pipeta, enxugar as paredes internas do gargalo como também o próprio picnômetro com papel absorvente e algodão.

Pesar pic. + solo + água = M2.

Tirar a temperatura da água.

Aplicar fator de correção da densidade da água conforme a temperatura.

Para medir a temperatura da água ambiente do laboratório, emprega-se 2 picnômetros maiores que devem permanecer em um canto do laboratório, preenchidos com água destilada. A tomada deve ser feita com auxílio de termômetros de precisão 1°C.

2.4.7 - Cálculos

$$\delta s = \frac{Ms}{Vs} = \delta s = \frac{Ms}{M2 - M1 + Ms} \times Fca$$

δs = Massa específica dos sólidos

M1 = Picnômetro + solo + água

M2 = Picnômetro + água

Ms = Massa seca (mais ou menos 25 g – 2º percentual de umidade – ver tabela)

Fca = Fator de correção da densidade da água conforme a temperatura, considerando a calibração do índice de dilatação do vidro

Observação final: A massa específica dos sólidos será a média das (5) determinações realizadas, deverão estar dentro do previsto pela norma da ABNT, que prevê diferença não superior a 0,009 g. Caso contrário, repetir o ensaio.

2.4.8 - Cálculos de Correlação

$$\delta dc = \frac{Ms}{V} = Ms = Fc \times Mu \text{ (do anel)}$$

δdc = Massa específica seca de campo

Ms = Massa seca (g/cm³)

V = Volume do anel (ton/m³)

e = Índices de vazios (nº puro > 0)

$$e = \frac{\delta s}{\delta dc} - 1$$

e = Índice de vazios

δ_s = Massa específica dos sólidos

δ_{dc} = Massa específica seca de campo

n = Porosidade (dado em $0 < n < 100$)

$$n = \frac{e}{1 + e} \times 100$$

n = Porosidade

e = Índice de vazios

S_r = Grau de saturação (dado em % valores compreendidos entre o intervalo fechado de 0 - 100)

$$S_r = \frac{\delta_s \times H}{e \times \delta_{H_2O}} \times 100$$

S_r = Grau de saturação

δ_{H_2O} = Massa específica da água considerada = 1g/cm^3

H = Ponto percentual de umidade

e = Índice de vazios

2.5 - Determinação da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e da Superfície Específica pelo Método de Adsorção do Azul de Metileno

2.5.1 - Considerações Preliminares

A determinação das propriedades físico-químicas dos solos, tais como a capacidade de troca de cátions e a superfície específica de sua fração fina, além da importância agrônômica, vem demonstrando grande aplicabilidade também nas áreas de mecânica dos solos e geotecnia (disposição de rejeitos, erosão, retenção de poluentes, etc).

O método da adsorção do azul de metileno permite a determinação da capacidade de troca de cátions (CTC) e da superfície específica (SE) dos argilo-minerais. O azul de metileno é um corante orgânico que apresenta a composição $C_{16}H_{18}N_3SCl_3H_2O$ e em solução aquosa dissocia-se em ânions cloreto e cátions azul de metileno ($C_{16}H_{18}N_3S^+$).

Segundo CHEN et alii (1974), o cátion azul de metileno substitui o cátion Na_2^+ , K^+ , Ca_2^+ , Mg_2^+ , H_2O^+ adsorvidos aos argilos minerais, ocorrendo um processo de adsorção irreversível caracterizando-se como uma forma de medida da capacidade de troca de cátions.

A determinação da superfície específica (área interna mais a externa) é possível quando a superfície dos argilo-minerais fica recoberta por uma camada monomolecular de cátions azul de metileno, permitindo desta forma, uma vez conhecida as dimensões desta molécula, conhecer-se a área total recoberta (HANG e BRINDLEY, 1970).

2.5.2 - Material necessário

Agitador magnético
Bureta graduada 50 ml com torneira
Becker 100 ml
Haste de vidro (Bastão)
Papel filtro para cristais finos (WHATMANN'S 42 ou similar).
Cápsula de alumínio
Reagente azul de metileno

2.5.3 - Orientação de Amostragem

Uma amostra de solo (cerca de 100 gramas). Ao coletar deve-se evitar a parte úmida do perfil do solo.

2.5.4 - Procedimento para CTC e SE

Utiliza-se para esta determinação o método do papel filtro (Lan, 1977), seguindo-se, em linhas gerais o procedimento proposto por Beaulieu (1979). Algumas adaptações foram necessárias para adequar o ensaio às características dos solos tropicais. Assim sendo, alterou-se a concentração da solução de azul de metileno de 10g/litro para 1,5g/litro, devido à predominância de argilo-minerais do grupo das caulinitas nos solos tropicais, que apresentam baixa capacidade de adsorção de azul de metileno. Alterou-se também a função granulométrica a ser ensaiada, utilizando-se amostras com partículas inferiores a 2,0 mm, permitindo, desta maneira, a obtenção de um índice para o solo como um todo, diretamente no ensaio, sem a necessidade da realização da curva granulométrica.

Preparação da amostra de solo:

- Passar a amostra na peneira 2,0 mm;
- determinar a umidade;
- pesar 2 a 4 gramas de solo úmido;
- preparar a suspensão adicionando 10 ml de água destilada ao solo.

Observação: Não secar em estufa a amostra que será utilizada no ensaio.

Preparação da solução do azul de metileno:

Determinar a perda de água a 105°C por 18 horas em estufa ventilada.

Ex: 21% 1,5X1,21 = 1,82 g/litro

Tomar uma massa correspondente a 1,5g de azul de metileno seco.

Dissolver em 1 litro de água destilada.

Durante a realização do ensaio, a suspensão do solo deve ser mantida em constante agitação. Adiciona-se uma quantidade da solução de azul de metileno (geralmente de 1 em 1 ml) e após um intervalo de três minutos procede-se à retirada, com haste ou bastão de vidro, de uma gota da suspensão do solo, que é colocada sobre o papel de filtro. Se ocorrer somente uma mancha azul escura, o teste é considerado negativo e, caso apareça uma auréola azul clara em torno da mancha escura, o teste é positivo. No primeiro caso adiciona-se nova quantidade da solução de azul de metileno até obter-se uma auréola de saturação. Quando isto acontecer, aguarda-se mais um intervalo de três minutos e repete-se o teste. Se o resultado for positivo, o ensaio está encerrado, caso contrário acrescenta-se metade da quantidade anteriormente adicionada, esperam-se mais três minutos e repete-se o procedimento até a saturação (Foto 12).

No início do ensaio, pode-se adicionar quantidades maiores de azul de metileno a cada vez, até o limite de 3 ml. No final do ensaio deve-se acrescentar de 1 em 1 ml, para melhor precisão do ponto de saturação. O tempo de ensaio é variável de acordo com o solo, mas, em geral, não ultrapassa 30 minutos, no máximo 1 hora.



Foto 12 – Titulação com azul de metileno

2.5.5 - Cálculos

Capacidade de troca de cátions:

$$CTC = \frac{V \times C \times 100}{M}$$

CTC = em meq/100g

V = volume da solução de azul de metileno gasto (ml)

C = concentração da solução de azul de metileno (normalidade)

M = massa do solo seco (g)

Para a superfície específica do solo, faz-se necessário calcular qual a superfície recoberta por 1 ml de azul de metileno na concentração utilizada (Beaulieu, 1979):

$$S = \frac{A \times N \times m}{Mam \times 1000}$$

S = Superfície (m²/ml)

A = área da molécula de azul de metileno (130 Å²);

N = número de Avogadro;

m = massa de azul de metileno;

Mam = massa molecular do azul de metileno na forma anidra.

$$S = \frac{130 \times 10^{-20} \times 6,02 \times 10^{23} \times 1,5}{319,9 \times 1000} = 3,67 \text{ m}^2 / \text{ml}$$

Assim a superfície específica do material ensaiado pode ser calculada:

$$SE = \frac{3,67 \times V}{M}$$

SE = Superfície específica (m²/g);

V = volume da solução de azul de metileno gasto (ml);

M = massa do solo seco (g).

2.5.6 - Cálculos de Correlação

Os demais parâmetros (Vb, Acb, SE(A) da argila) são determinados através de correlação. Acb e SE da argila requerem dados sobre percentual da função argila obtidos através do ensaio de sedimentação.

Vb - determinação da quantidade gasta de azul de metileno em 100 g de solo:

$$Vb = (g a) = \frac{\left(\frac{V \times 15}{1000} \right) \times 100}{M}$$

(Ver tabela ensaio)

Acb - determinação da quantidade gasta de azul de metileno em 100 g de argila:

$$Acb = (Vb \times 100) / \% \text{ fração argila}$$

(ver tabela ensaio)

SE(A) - determinação da superfície específica da argila:

$$SE(A) = (100 \times SE(s)) / \% \text{ fração argila}$$

(ver tabela ensaio)

2.6 - Determinação do Potencial Hidrogeniônico - pH

2.6.1 - Material necessário

- Peagâmetro de eletrodos combinados (potenciômetro);
- copos de becker 100 ml;
- solução KCl 3,5 molar;
- bastão de vidro;

- soluções tampão 4 e 7 – para calibração do peagâmetro.

2.6.2 - Procedimento para determinação do pH

1) pH em água (solo) - colocar 10 ml de solo seco em becker de 100 ml numerado e adicionar 25 ml de água destilada ou ionizada, agitar com bastão de vidro individual; deixar em repouso por tempo nunca inferior a 1 hora. Ligar o potenciômetro, pelo menos 30 minutos antes de começar a ser usado, aferir o potenciômetro com as soluções tampão pH 4,0 e pH 7,0; agitar cada amostra com bastão de vidro, mergulhar os eletrodos na suspensão homogeneizada e proceder a leitura do pH.

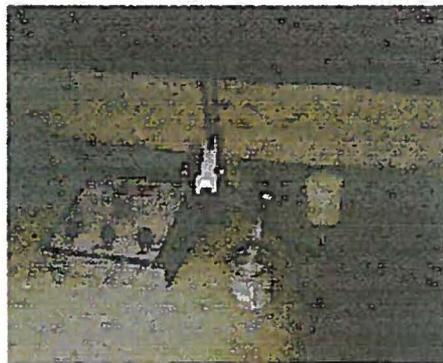


Foto 13 – Peagâmetro

2) pH em KCl N - somar o peso atômico K + Cl multiplicar pelo nºmolar. Ex: (K) 39,098 + (Cl) 35,453 = KCl N, 74551 x 3,5 = KCl 3,5 molar 260,93 g/litro.

Preparo da solução KCl normal – KCl N

Pesar 149,12 g do sal, previamente seco em estufa, colocar em balão aferido de 2 litros contendo água destilada, agitar até dissolver e completar o volume.

Procedimento:

Colocar 10 ml de solo seco em copo de becker de 100 ml e adicionar 25 ml da solução de KCl N; proceder da mesma forma para a determinação do pH em água (solo).

2.7 - Determinação do Índice de Erodibilidade

2.7.1 - Considerações preliminares

À erodibilidade relacionam-se: destacabilidade e transportabilidade.

Em solos firmes, a destacabilidade é mais difícil; solos grossos têm destacabilidade fácil; à medida que o tamanho dos grãos aumenta, a transportabilidade diminui.

A umidade e o potencial de infiltração também exercem influência no potencial de erodibilidade(E).

Quanto maior rapidez de infiltração, menor escoamento superficial e menor a possibilidade de ocorrer erosão; quanto mais elevada a umidade no início da precipitação, mais rapidamente a capacidade de infiltração é atingida e ocorre escoamento superficial. NOGAMI e VILLIBOR, 1979.

2.7.2 - Material necessário

- Tubo PVC Ø 4,4 cm x 2,5 cm de altura;
- cápsula de alumínio;
- equipamento específico de laboratório guardando 0-99 cm, conforme foto;
- bisnaga;
- seringa;
- pedra porosa Ø 4,4 cm;
- vasilhas Ø 20 cm e Ø 10 cm (pirex);
- berço para apoiar o testemunho;
- borracha de amarrar dinheiro;
- sacos plásticos pequenos.

2.7.3 - Orientação de Amostragem

Coleta-se uma amostra indeformada, através de um tubo de PVC rígido de Ø 4,4 cm x 2,5 cm de altura.

2.7.4 - Procedimento para erodibilidade(E)

Colocar a amostra prismática (tubo de PVC) em um berço e alisar a base e o topo até que se obtenham superfícies planas e paralelas, e com uma altura de ± 5 cm.

Colocar para secar ao natural por alguns dias.

Pesar o conjunto e descontar a tara (ver tabela ensaio) = Ms = massa seca.

Através de um equipamento, específico, construído especialmente para avaliação da absorção de água, conforme foto 14, procede-se inicialmente à calibragem do equipamento: com uma bisnaga, colocar água destilada na pastilha porosa até se alcançar a marca zero da escala.

Com o aparelho zerado, dar início ao ensaio, colocando a amostra (anel PVC) em cima da pedra porosa e iniciar as leituras em centímetros durante a absorção da água pela amostra, o que faz com que a água recue no tubo de vidro, lentamente para a amostra menos porosa e rapidamente em amostras porosas. Anotar os valores conforme o tempo em segundos (ver tabela ensaio) até a estabilização do recuo ou término da escala. Colocar a amostra submersa numa vasilha com água por 12 horas (Foto 15). A amostra deve ser bem embalada em uma das faces colocando-se uma película presa por elástico.

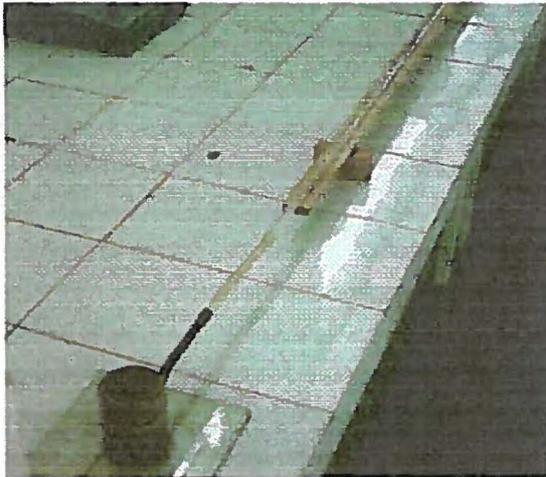


Foto 14 - Aparelho para avaliação da Absorção d'água



Foto 15 – Imersão da amostra para a avaliação da Perda por imersão

Observação: Após a retirada do material, recolher o que cair no pirex menor, secar a 110°C por 12 horas, esfriar e pesar.

2.7.5 - Cálculos

1) Cálculo do volume do tubo em função da altura (leitura):

$$V = a \times h$$

Dados do tubo de vidro:

$$a = 0,196 \text{ cm}$$

$$\varnothing = 0,50 \text{ cm}$$

V = volume do tubo

a = área do tubo de vidro em cm

h = altura em cm (leitura do recuo da água no tubo)

2) Relação do volume pela unidade da área base do anel:

$$q = \frac{V}{A}$$

q = volume/unidade da área da base do anel cm³/cm²

A = área d base do anel (tubo PVC) cm²

3) Perda por imersão (PI).

$$PI = PR - t$$

PI = perda por imersão

PR = pirex + resíduo

t = tara

4) % da perda (P):

$$P = \frac{PI \times 100}{Ms}$$

P = percentual de perda

PI = perda por imersão

Ms = massa seca

Raíz Quadrada do Tempo

$$\sqrt{t} = S / 60$$

S = tempo em segundos

60" = 1 minuto

\sqrt{t} = raíz quadrada do tempo (ver tabela ensaio)

5) Índice de Absorção (S)

Para se calcular o índice de absorção (S) constrói-se um gráfico:

$$S = q / \sqrt{t}$$

Abcissa = \sqrt{t} (em minutos)

Ordenada = q (cm³ por cm² da base do corpo de prova)

S = coeficiente angular (gráfico)

6) Índice de Erodibilidade

$$E = 40 \times \frac{S}{P}$$

Se $E < 1$ erodível
Se $E > 1$ não erodível

2.8 – Coeficientes de Permeabilidade (K)

2.8.1 – Considerações Preliminares

A determinação do coeficiente de permeabilidade em laboratório, embora ensaio de rotina, apresenta uma série de dificuldades, que se não forem contornadas poderão alterar o resultado do ensaio.

A montagem do corpo-de-prova no permeâmetro, e a conseqüente impermeabilização da área do mesmo não ocupado pelo corpo-de-prova, a saturação do corpo-de-prova e a utilização da água deairada durante o ensaio, são as principais dificuldades que precisarão ser vencidas, e que alteram subitamente os resultados do coeficiente de permeabilidade.

O ensaio exige que o corpo-de-prova fique na vertical, e portanto devem ser tomados cuidados durante a montagem.

A saturação de um corpo de prova pode ser um processo difícil e lento dependendo do solo ser argiloso ou não.

O coeficiente de permeabilidade pode ser determinado em laboratório, através dos ensaios de carga constante ou carga variável, neste caso vamos estudar apenas de carga constante.

O ensaio de carga constante se aplica melhor a solo com permeabilidade alta, enquanto que o ensaio de carga variável a solos com permeabilidade baixa.

2.8.2 – Material necessário

- Tubo PVC – 15 cm de altura por 10 cm de diâmetro;
- permeâmetro;
- areia grossa;
- balde adaptado;
- mangueiras transparentes.

2.8.3 – Procedimento para o coeficiente de permeabilidade (K) carga constante

Preparo do corpo de prova

- retirar de uma amostra indeformada um tubo com dimensões 15 cm de altura por 10 cm de diâmetro com o eixo vertical no sentido em que se deve medir a permeabilidade
- colocar o tubo com a amostra em um berço, alisar a base e o topo da amostra, até obter superfícies planas e paralelas.
- determinar a massa do corpo de prova.
- determinar o valor da carga que deverá permanecer constante durante o ensaio e qual é a distância de níveis de d'água montante e jusante (ver foto).
- colocar na base do permeâmetro, uma camada de areia grossa, com espessura na ordem de 20 mm. Esta camada de areia servirá de apoio ao corpo de prova e camada drenante a fusante.
- colocar sobre o corpo de prova uma camada de areia média a grossa com uma espessura de 2mm.
- a saturação do corpo de prova deverá ser feito por processos de circulação d'água durante algum tempo, permitindo que a água percole através do corpo, tira a temperatura da água, e coletar de 4 em 4 horas a vazão e anotar.



Foto 16 – Permeabilidade carga constante

Cálculos

- calcular o diâmetro e a altura médios do corpo de prova.
- calcular a área e o volume do corpo de prova.
- com a massa do corpo de prova e o volume calcular, a mesma específica do solo (δ) (ver ficha ensaio).
- calcular o teor de umidade do corpo de prova antes do ensaio.
- calcular a massa específica seca (δ_{dc}), índice de vazios (e) e grande de saturação do corpo de prova.
- o coeficiente de permeabilidade, será calculado pela fórmula:

$$K = (V \times h) / (A \times L \times t)$$

K = coeficiente de permeabilidade

V = volume d'água percolada no tempo, em cm³

h = altura do corpo de prova, em cm

A = área do corpo de prova em cm²

L = altura da carga, constante durante o ensaio, em cm

t = tempo decorrido, para percolar no volume V, em S

Cálculo de fator de correção

$$CK \times K = K_{20}$$

K₂₀ = coeficiente de permeabilidade a 20°C

K = coeficiente de permeabilidade

CK = fator de correção conforme a temperatura (ver tabela correção e tabela ensaio)

Geologia aplicada à engenharia

Material	Porosidade	Material	Porosidade
solo	50% a 60%	arenito	10% a 20%
argila	45% a 55%	folhelho	1% a 10%
areia	30% a 40%	calcário	1% a 5%
cascalho	30% a 40%	granito	0,5% a 2%

Coefficientes de permeabilidade de solos típicos
(Bas. Casagrande)

	K		Material	Características de escoamento
	cm/seg	m/dia		
10 ⁻²	1 a 100	864 a 86400	Pedregulho limpo	Aqüíferos bons
	0,001 a 1	0,86 a 864	Areias limpas, misturas de areias limpas e pedregulho	
10 ⁻³	10 ⁻⁷ a 10 ⁻³	8,64 a 10 ⁻⁵	Areias muito finas; siltes; mistura de areia; silte e argila; argilas estratificadas	Aqüíferos pobres
		a 0,86		
10 ⁻⁷	10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁷	8,64 x 10 ⁻⁷	Argilas não alteradas	Impermeáveis
10 ⁻⁹		a 8,64 a 10 ⁻⁵		

Intervalos de Permeabilidade

Elevada = superior a 10^{-1} .
Média = 10^{-2} a 10^{-3}
Baixa = 10^{-3} a 10^{-5}
Muito baixa = 10^{-5} a 10^{-7}
Praticamente impermeável $> 10^{-10}$

2.9 – Teste de Infiltração “in situ” (NBR 7229)

2.9.1 – Considerações Preliminares

Dificuldades enfrentadas com os ensaios de permeabilidade (K) em laboratório, estimulam o interesse pela prática de rotinas de campo preconizadas OLIVEIRA et al. (1996) e NBR 7229/NB41, objetivando conhecer os procedimentos para cada ensaio e estabelecer comparação entre os diversos métodos.

2.9.2 – Material necessário

- Cronômetro;
- balde de brita nº1 (4,8 mm);
- 1 régua 40 cm;
- 1 pá;
- tambores com água;
- 1,5 m mangueira fina.

2.9.3 - Procedimento

2.9.3.1 – Descrição do ensaio de infiltração

- a) Em três pontos do terreno a ser utilizado para disposição do efluente da fossa séptica, devem ser feitas escavações com dimensões suficientes para permitirem a realização do ensaio descrito nas seções subseqüentes. No fundo de cada uma das três escavações, deve ser aberta uma cova de seção quadrada de 30 cm de lado e 30 cm de profundidade.
- b) Em caso de utilização de sumidoro, as escavações previstas no item a devem ter profundidades diferentes sendo que a escolha destas profundidades pode ser feita a partir de um pré-dimensionamento, utilizando-se os coeficientes de infiltração definidos na Tabela 1.

- c) Em caso de utilização de valas de infiltração, a seção do fundo das covas previstas no item a deve estar a uma profundidade, em relação ao nível do terreno, de no mínimo 0,60 m e no máximo 1m.
- d) Optar entre a utilização de valas de infiltração e sumidouros, levando-se em conta o nível do lençol freático. É prudente que o fundo da vala ou do sumidouro esteja no mínimo a 1,50 m acima do nível máximo do lençol freático.
- e) Raspar o fundo e os lados da cova, de modo que fiquem ásperos. Retirar da cova todo material solto e cobrir o seu fundo com uma camada de 5 cm de brita nº1.
- f) No primeiro dia de ensaio, manter as covas cheias de água durante 4 h.
- g) No dia seguinte, encher as covas com água e aguardar que estas se infiltrem totalmente.
- h) Encher novamente as covas com água até a altura de 15 cm e cronometrar o período de rebaixamento de 15 cm até 14 cm, correspondente às alturas de água em cada cova. Quando este intervalo de tempo para rebaixamento de 1 cm se der em menos de 3 min, refazer o ensaio cinco vezes, adotando o tempo da quinta medição.
- i) Com os tempos determinados na operação do item h, obter os coeficientes de infiltração do solo ($l/m^2 \times dia$) na curva do gráfico 1. Adotar o menor dos coeficientes determinados nos ensaios.

2.9.4 – Determinação da área de infiltração do solo

A área de infiltração necessária pode ser calculada pela fórmula:

$$A = V / C_1$$

onde:

A = área de infiltração necessária, em m^2 , para o sumidouro ou vala de infiltração.

V = volume de contribuição diária, em L/dia, que resulta da multiplicação do número de contribuintes (N) pela contribuição unitária de esgotos (C)

C_1 = coeficiente de infiltração ($L/m^2 \times dia$) obtido no gráfico, conforme 2.9.5.

2.9.5 – Gráfico para determinação do coeficiente de infiltração

O coeficiente de infiltração em função do tempo de infiltração para 1 cm de rebaixamento pode ser determinado por meio do gráfico.

- c) Em caso de utilização de valas de infiltração, a seção do fundo das covas previstas no item a deve estar a uma profundidade, em relação ao nível do terreno, de no mínimo 0,60 m e no máximo 1m.
- d) Optar entre a utilização de valas de infiltração e sumidouros, levando-se em conta o nível do lençol freático. É prudente que o fundo da vala ou do sumidouro esteja no mínimo a 1,50 m acima do nível máximo do lençol freático.
- e) Raspar o fundo e os lados da cova, de modo que fiquem ásperos. Retirar da cova todo material solto e cobrir o seu fundo com uma camada de 5 cm de brita nº1.
- f) No primeiro dia de ensaio, manter as covas cheias de água durante 4 h.
- g) No dia seguinte, encher as covas com água e aguardar que estas se infiltrem totalmente.
- h) Encher novamente as covas com água até a altura de 15 cm e cronometrar o período de rebaixamento de 15 cm até 14 cm, correspondente às alturas de água em cada cova. Quando este intervalo de tempo para rebaixamento de 1 cm se der em menos de 3 min, refazer o ensaio cinco vezes, adotando o tempo da quinta medição.
- i) Com os tempos determinados na operação do item h, obter os coeficientes de infiltração do solo ($l/m^2 \times dia$) na curva do gráfico 1. Adotar o menor dos coeficientes determinados nos ensaios.

2.9.4 – Determinação da área de infiltração do solo

A área de infiltração necessária pode ser calculada pela fórmula:

$$A = V / C_1$$

onde:

A = área de infiltração necessária, em m^2 , para o sumidouro ou vala de infiltração.

V = volume de contribuição diária, em L/dia, que resulta da multiplicação do número de contribuintes (N) pela contribuição unitária de esgotos (C)

C_1 = coeficiente de infiltração ($L/m^2 \times dia$) obtido no gráfico, conforme 2.9.5.

2.9.5 – Gráfico para determinação do coeficiente de infiltração

O coeficiente de infiltração em função do tempo de infiltração para 1 cm de rebaixamento pode ser determinado por meio do gráfico.

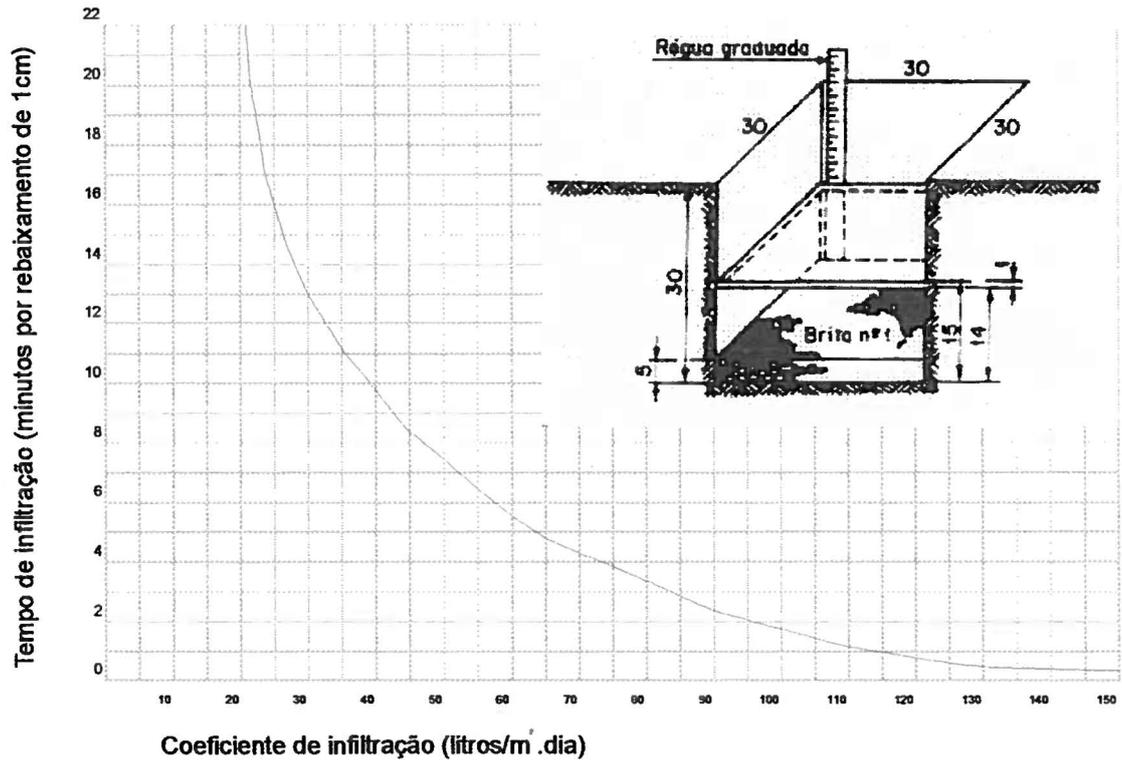


Gráfico 1 - Determinação do coeficiente de infiltração.

Faixa	Constituição aprovável dos solos	Coeficiente de infiltração l/m ² x dia
1	Rochas, argilas compactadas de cor branca cinza ou ou preta, variando a rochas alteradas e argilas medianamente compactas de cor avermelhada	menor que 20
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compacta, variando a argilas, pouco silicosas e/ou arenosas	20 a 40
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a área argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom	40 a 60
4	Areia ou silte argiloso, ou solo arenoso com húmus e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areias e siltes	60 a 90
5	Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalhos	maior que 90

Nota: Os dados referem-se, em uma primeira aproximação, aos coeficientes que variam segundo o tipo de solos não saturados. Em qualquer dos casos é indispensável a confirmação destes dados por meio de ensaios de infiltração do solo, descritos em 2.9.3.

Tabela 1 – Possíveis faixas de variação de coeficiente de infiltração

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação de massa específica dos sólidos. NBR 6508 – MB 28.** Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Determinação do limite de liquidez do solo NBR 6459 – MB 30.** Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Determinação do limite de plasticidade do solo.** Rio de Janeiro, 1984. NBR 7180 – MB31.

_____. **Granulometria de solo.** NBR 7181 – MB 31. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.** NBR 9898 – NB 1050. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante.** NBR 13292. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **Ensaio de compactação do solo.** NBR 7182. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **Determinação do coeficiente de infiltração do solo.** NBR 7229. Rio de Janeiro, 1993.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D.F. Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area, *Bol. of Int. Association of Engineering Geology*, p. 196-199, 1979.

PEJON, O. **Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba – SP. Estudo dos aspectos metodológicos de caracterização e de apresentação dos atributos.** São Carlos, 1992. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

4. ANEXOS

4.1 Testes Químicos Expeditos

4.1.1 - Caracterização de Barita - BaSO₄

Materiais

2 becker 500 ml

2 pipetas 20 ml

Reagentes

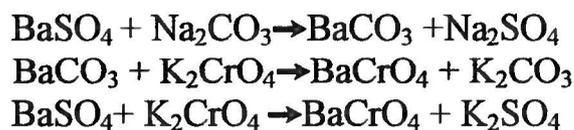
Cromato de Potássio

Solução de Carbonato de Sódio

Método

Colocar a amostra em um becker de 500 ml, adicionar aproximadamente 20 ml da solução de carbonato de sódio (até cobrir a amostra) e ferver por 5 minutos. Deixar decantar e lavar bem a amostra com água deionizada. Aquecer novamente a amostra tratada, com aproximadamente 20 ml da solução de cromato de potássio. Para identificação da barita os grãos são tingidos de amarelo.

Reações



4.1.2 – Caracterização de Barita - BaSO₄

Materiais

1 cadinho de platina

2 pipetas de 5 ml ou conta gotas

Reagentes

Carbonato de Sódio

Ácido Clorídrico

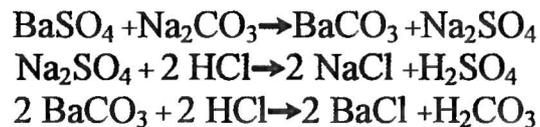
Cromato de Sódio

Ácido Sulfúrico

Método

Em um cadinho de platina fundir os grãos com carbonato de sódio. Adicionar algumas gotas de ácido clorídrico. Adicionando algumas gotas de cromato de potássio, formar-seá um precipitado amarelo, que indica cromato de bário. Adicionando algumas gotas de ácido sulfúrico, formar-se-á um precipitado branco que indica a presença de sulfato de bário.

Reações



4.1.3 - Caracterização de Terras Céricas (TR)

Materiais

2 becker de 100 ml

3 pipetas de 10 ml

Reagentes

Ácido Clorídrico

Carbonato de Sódio

Ácido Fosfomolibdico

Método

Em um becker de 100 ml, aquecer a amostra em aproximadamente 10 ml de HCl. Retirar uma gota desta solução e misturar com uma pitada de carbonato de sódio. Acrescentar algumas gotas de ácido fosfomolibdico. A cor azul intensa determina a presença de terras céricas na amostra.

4.1.4 – Caracterização de Cassiterita - SnO₂

Materiais

1 placa de zinco metálico

1 pipeta de 5 ml

Reagentes

Ácido Clorídrico 1:1

Método

Colocar a amostra sobre uma placa de zinco metálico e pingar algumas gotas de HCl 1:1. Agitar durante 4 minutos (melhor a quente). Retirar a amostra, lavar com água destilada e secar. Uma película prateada se formará sobre a amostra confirmando presença de cassiterita.

4.1.5 Scheelita - CaWO_4 - Método do Cloreto Estanoso / HCl

Materiais

2 becker de 100 ml

1 pipeta de 10 ml

Reagentes

Preparar uma solução em um becker de 100 ml, contendo 10 ml de HCl concentrado e um fragmento pequeno de estanho. Ferver por 5 minutos. Preparar esta solução somente antes de usá-la.

Método

Colocar uma pequena amostra num becker de 100 ml e cobrir com a solução de cloreto estanoso / HCl. Aquecer por 5 minutos a 60°C. Decantar, lavar com água deionizada e examinar enquanto úmida. A scheelita colore-se de azul.

4.1.6 – Caracterização da Scheelita - CaWO_4 - Método da água-régia

Materiais

2 becker de 250 ml

1 becker de 100 ml

Reagentes

Água-Régia (juntar 1 parte de ácido nítrico e 3 partes de ácido clorídrico)

Amônia

Método

Em um becker de 250 ml, ferver alguns grãos da amostra com água-régia levemente diluída (9 partes de água-régia por 1 parte de água), por aproximadamente 30 minutos. Decantar e lavar com água deionizada. A scheelita é tingida de amarelo.

4.1.7 – Caracterização da Ilmenita - FeTiO_3 - Método de Flinter

Materiais

1 becker de 50 ml

1 pipeta de 20 ml

Reagentes

HCl concentrado

Método

Em um becker de 50 ml, ferver a amostra com aproximadamente 20 ml de HCl concentrado, por 20 minutos. Observa-se que os grãos de ilmenita adquirem um revestimento acinzentado ou amarronado.

4.1.8 – Caracterização da Ilmenita - FeTiO_3 - Método de Bartnik

Materiais

1 becker de 100 ml

1 pipeta de 25 ml

1 cadinho de porcelana

Reagentes

HCl concentrado

Método

Em um becker de 100 ml, ferver a amostra com 25 ml de HCl concentrado por 1 hora. Decantar e lavar com água deionizada, para remover os resíduos. Transferir a amostra para um cadinho de porcelana e aquecer a 700°C por 15 minutos. Observa-se que a ilmenita é corroída e revestida por óxidos marrom- amarelados.

4.1.9 - Coloração do Berilo - $\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$

Materiais

1 cadinho de níquel

1 becker de 500 ml

1 funil

1 erlenmeyer

papel filtro

Reagentes

Solução de NaOH 0,75%

Solução de NaOH 5%

Solução de Quinalizarina

Método

Num cadinho de níquel, colocar 0,1g de amostra e aquecer com 5 ml da solução aquosa de NaOH 0,75%, até que a água tenha evaporado, e a soda residual tenha fundido. Retira-se imediatamente o cadinho da fonte de calor, e após resfriamento, remove-se os grãos com ajuda de 20 ml de água destilada, sobre o papel de filtro, onde são enxaguados com água destilada novamente. Colocar a amostra em um becker com 5 ml de água destilada, 40 mg de quinalizarina e 3 gotas de solução de NaOH 5%. O becker deve ser coberto e a preparação é submetida à ebulição durante 1 minuto. Os grãos devem em seguida ser enxaguados e secos. O berilo é colorido em azul, enquanto que os feldspatos e a muscovita não serão coloridos, ou então são recobertos por manchas avermelhadas.

4.1.10 - Identificação do Ouro - Água de toque

Materiais

1 becker de 100 ml

2 pipetas de 25 ml

1 pipeta de 5 ml

Reagentes

Preparar uma solução com 95% de ácido nítrico, 3% de ácido clorídrico e 2% de água destilada.

Método

Pingar 1 a 2 gotas da solução sobre a amostra.

Observar:

Espuma branca - não é ouro

Manchas - ouro 18K.

Muitas manchas - mais baixo é o K.

4.1.11- Constatação de presença do Ferro – Fe

Materiais

1 becker de 250 ml

2 pipetas de 1 ml ou conta gotas

Reagentes

Ácido Nítrico concentrado

Ferrocianeto de Potássio

Método

Em um becker de 250 ml, colocar a amostra e pingar algumas gotas de ácido nítrico concentrado. Deixar reagir por alguns segundos. Pingar em seguida algumas gotas de ferrocianeto de potássio. A cor verde musgo, identificará o ferro.

4.1.12 – Identificação da presença de Urânio

Materiais

1 becker de 250 ml

2 pipetas de 1 ml conta gotas

Reagentes

Ácido Nítrico concentrado

Ferrocianeto de Potássio

Método

Em um becker de 250 ml, colocar a amostra e pingar algumas gotas de ácido nítrico concentrado. Deixar por alguns segundos. Em seguida pingar algumas gotas de ferrocianeto de potássio. A cor marrom, indica a presença do urânio.

4.1.13 - Coloração para Rochas Carbonáticas

Materiais

2 becker de 250 ml

2 pipetas de 5 ml

Reagentes

Nitrato de Prata

Cromato de Potássio

Método

Em um becker de 250 ml, colocar a amostra e reagir com aproximadamente 5 ml de nitrato de prata. Lavar a amostra e colocar em outro becker com aproximadamente 5 ml de cromato de potássio. Observar os resultados:

Calcita - cor vermelha

Dolomita - cor permanece branca

Apatita - cor permanece clara

4.1.14 - Ensaio de Chama

Materiais

Tubo de ensaio

Alça de platina

Bico de bunsen

Reagentes

Ácido Clorídrico concentrado

Método

Colocar em um tubo de ensaio pequena quantidade de ácido clorídrico concentrado. Molha-se alça de platina no ácido clorídrico concentrado e esquentar-se na zona de fusão (de maior temperatura) da chama. Mergulhar a alça novamente na substância a analisar, até que fique aderida pequena quantidade para introduzir na chama oxidante inferior e observar a cor que parte da chama.

ELEMENTO	COR DA CHAMA
* Sódio	* Amarelo Brilhante
* Potássio	* Violeta Pálido
* Cálcio	* Vermelho Ladrilho
* Bário	* Verde Claro
* Cobre	* Verde Azulado
* Chumbo	* Azul Pálido
* Estrôncio	* Vermelho Carmim
* Lítio	* Vermelho Laranja

4.1.15 - Ouro Nativo

Materiais

1 pipeta de 5 ml

1 bequer de 100 ml

Reagentes

Ácido Nítrico

Método

Colocar em um becker de 100 ml, a amostra com aproximadamente 5 ml de ácido nítrico. Se não dissolver trata-se de ouro.

4.1.16 - Diferenciação de : Cassiterita (SnO_2), Wolfranita [(Fe, Mn) WO_4] e Columbita-Tantalita [(Fe, Mn) (Nb, Ta) $_2\text{O}_6$]

Materiais

1 becker de 150 ml

2 becker de 100 ml

1 disco de zinco

1 cadinho de porcelana

Reagentes

Ácido Clorídrico concentrado

Ácido Nítrico concentrado

Amônia

Ácido Clorídrico 1:10

Ácido Clorídrico 1:3

Pelotas de Hidróxido de Potássio

Método

Ferver 2 a 5 gramas do mineral concentrado numa solução composta de 60 ml de água destilada, 25 ml de ácido clorídrico e 15 ml de ácido nítrico por aproximadamente 20 minutos. A wolfranita e scheelita (CaWO_4) em grãos tingem-se de amarelo neste tratamento. Separar os grãos amarelos selecionando-os. Depois de remover o revestimento amarelo com amônia os grãos brancos podem ser considerados scheelita e

os escuros ou pretos como wolfranita. Colocar o resto dos grãos num disco de zinco e cobrir com ácido clorídrico diluído por 12 minutos. Remover os grãos de cassiterita estanhados de cinza-fosco. Depois de retirar do resíduo todos os grãos que não estiverem escuros, colocar num cadinho a fração escura com algumas pelotas de hidróxido de potássio e 2 gotas de água. Esquentar o cadinho, decantar a solução de hidróxido após alguns minutos. Adicionar um pouco de ácido clorídrico 1:3 para dissolver qualquer resto de hidróxido de potássio. Decantar e lavar bem com água. Os grãos de columbita-tantalita tingem-se de branco.

4.1.17 - Bauxita - $Al_2O_3 \cdot 2 H_2O$ - Método da Alizarina Vermelha

Materiais

2 becker de 100 ml

1 pipeta de 10 ml

Reagentes

Ácido clorídrico concentrado

Hidróxido de Sódio 1N

Solução de Alizarina S

Ácido Acético 5N

Método

Aquecer a amostra por alguns minutos em ácido clorídrico. Depois de esfriar, diluir bem com água e centrifugar. Deixar que os sólidos depositam e decantar o líquido. A lavagem deve ser repetida até que os sais solúveis de ferro sejam removidos e a solução da lavagem permaneça incolor. Cobrir os grãos com a solução de hidróxido de sódio e após 2 minutos juntar a solução de alizarina S. Depois que surgir uma cor violeta intensa, revolver os grãos na solução por 1 minuto. Esperar uns 4 minutos suplementares e juntar o ácido acético até que abrande a cor violeta. Decantar e lavar bem os sólidos em água. Os grãos de **bauxita** ficam tintos de **rosa púrpura**.

4.1.18 - Bauxita - $Al_2O_3 \cdot 2 H_2O$ - Método da 8 - Hidroxiquinolina

Materiais

2 becker de 100 ml

1 pipeta de 10 ml

Reagentes

Ácido Clorídrico concentrado
Solução de 8- hidroxiquinolina
Ácido Acético 5N

Método

Em um becker aquecer a amostra por alguns minutos em HCl. Depois de esfriar, diluir bem com água e centrifugar. Deixar os sólidos depositarem-se e decantar o líquido. A lavagem deve ser repetida até que os sais solúveis de ferro sejam removidos e a solução da lavagem permaneça incolor. Em um becker esquentar a amostra com volumes iguais de soluções de 8- hidroxiquinolina e ácido acético. Lavar ligeiramente os grãos e examiná-los sob luz ultravioleta de ondas curtas ou longas. Os grãos de **bauxita fluorescem amarelo-esverdeado**.

4.1.19 - Sulfeto de Cobre

Materiais

1 becker de 100 ml
1 vidro relógio
1 espátula
1 proveta de 200 ml
1 proveta de 1000 ml

Reagentes

Ácido Nítrico concentrado
Cuprona

Método

Em um becker de 100 ml colocar a amostra e adicionar algumas gotas de ácido nítrico concentrado; reagir em seguida com algumas gotas de cuprona. Se for **cobre dá cor verde da malaquita**.

4.1.20 - Chumbo não oxidado

Materiais

1 becker de 100 ml
1 proveta de 100 ml

1 vidro relógio

1 espátula

Reagentes

Ácido Nítrico concentrado

Ácido Acético 10%

Iodeto de Potássio

Método

Em um becker de 200 ml, colocar a amostra e atacar com ácido nítrico. Adicionar 100 ml de ácido acético a 10% e 5 gramas de iodeto de potássio. Se for chumbo a amostra dá uma cor amarelo canário.

4.1.21 - Remoção do Hidróxido de Ferro

Materiais

1 pipeta de 10 ml

1 becker de 100 ml

1 proveta de 1000 ml

1 vidro relógio

1 espátula

papel alumínio

Reagentes

Ácido Oxálico

Método

Em um becker de 100 ml colocar a amostra com aproximadamente 30 ml de ácido oxálico e 3 pedaços pequenos de papel alumínio. Ferver por 30 minutos e lavar com água comum.

4.2 PREPARAÇÃO DE LÂMINAS PETROGRÁFICAS E IMPREGNAÇÃO DE AMOSTRAS FRIÁVEIS

4.2.1 - Confeção de lâmina petrográfica

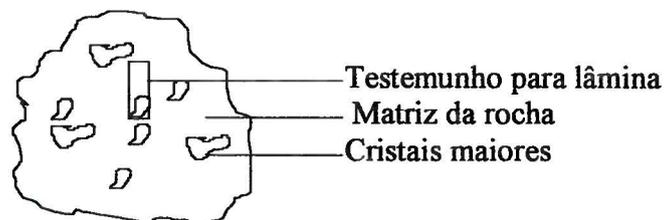
Uma lâmina petrográfica é fruto da preparação laboratorial de uma fatia de rocha muito fina ou solo previamente selecionado, montada sobre uma lâmina de vidro e coberta por uma lamínula.

Esta preparação tem por finalidade o estudo microscópico óptico de uma rocha ou solo avaliando sua composição íntima: as espécies minerais constituintes e possíveis alterações, o tamanho dos cristais ou grãos, suas relações (a textura) e discontinuidades presentes (fraturas, poros e outras).

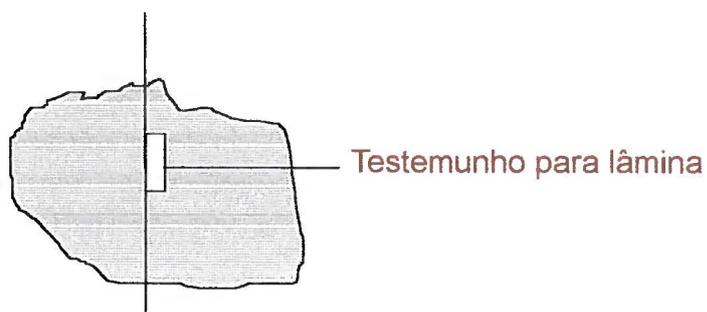
A preparação de uma lâmina petrográfica, ou seção delgada, pode ser resumida nos seguintes passos:

1º) Escolha da posição de corte na rocha - a seleção da melhor posição de corte de uma rocha para confecção de lâmina petrográfica deve levar em conta:

- a representatividade em relação a amostra total;

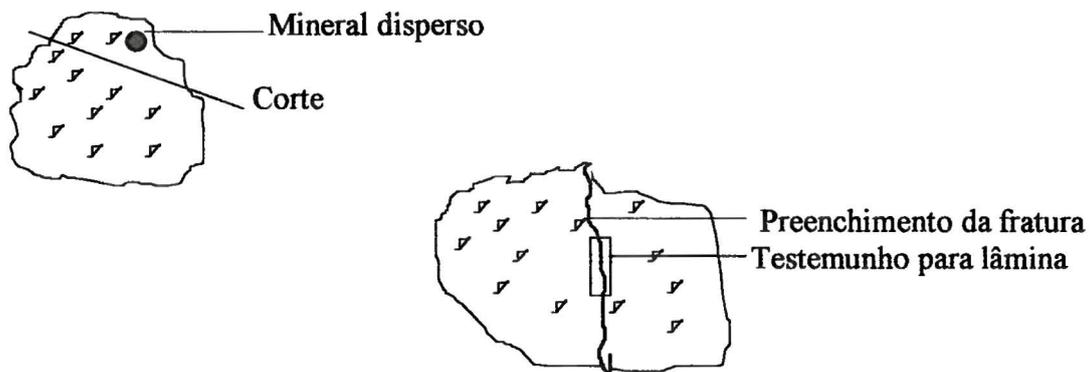


- a estrutura da rocha ("orientação" de camadas). Exemplo: em rocha gnáissica, de maneira geral, o corte deve ser perpendicular à foliação;
- o corte deve ser feito numa posição em que o cristal não abranja a lâmina toda, aproximadamente 30% cristal e, aproximadamente 70% matriz da rocha;



Corte

- as discontinuidades da rocha (fraturas etc);
- a necessidade de amostragem específica: mineral disperso, fenocristal, preenchimento de fratura, amígdalas etc.



Uma vez escolhida a porção da rocha que se vai utilizar, efetua-se o corte (em geral com disco diamantado (Foto 1), refrigerado com água; ou para materiais friáveis, com serra tipo arco), obtendo-se uma pequena placa de 2x4x1 cm (largura x comprimento x espessura) que será designada por testemunho da rocha.



Foto 1 – Serra circular diamantada

2º) Preparação do testemunho da rocha

Lixar uma face (2x4 cm) do testemunho em politriz, utilizando carbeto de silício, granulação 320 mesh, até eliminar traços e ondulações do corte (Foto 2).

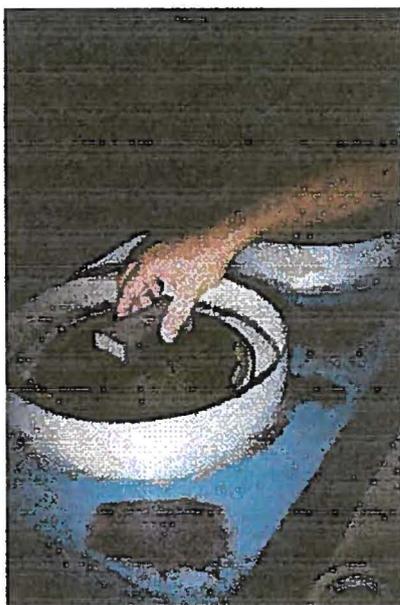


Foto 2 – Politriz

Com auxílio de uma pinça metálica própria, retirar a umidade do testemunho, sobre fogo de uma lamparina a álcool ou colocar sobre o tijolo refratário quente.

Lixar a face aplainada do testemunho, sobre uma placa de vidro (1 cm de espessura) com carbeto de silício, granulação 500 - 800 mesh, até se obter uma superfície bem lisa e uniforme. Espalha-se e recolhe-se o pó abrasivo, para que não haja desgaste desigual da placa de vidro. O rebaixamento da pastilha deve seguir percurso circular (Foto 3).

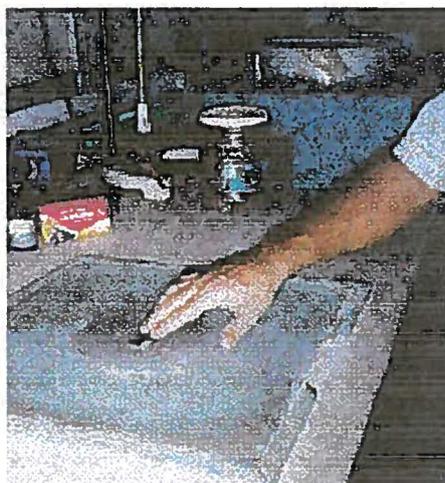


Foto 3 – Rebaixamento da pastilha

Observação: observar o testemunho contra a luz, se estiver brilhando está pronto para a colagem da lâmina.

Sobre a mesma placa de vidro citada acima e com o mesmo abrasivo, lixar uma face de uma lâmina de vidro de 2,5x4,6 cm (largura x comprimento), onde será colada a superfície lixada do testemunho;

3º) Colagem com bálsamo natural do Canadá

Colocar o testemunho sobre o tijolo refratário quente (fogão cerâmico), com uma espátula de madeira espalhar Bálsamo do Canadá até o mesmo ficar cozido.

Observação: para se saber o ponto, coloca-se a ponta de um estilete no bálsamo que está cozinhando sobre o testemunho, resfriando em seqüência em um copo com água, espremendo-o em um piso ou azulejo, se estourar, estará no ponto para a colagem.

Afastar o testemunho para o canto do tijolo refratário para que o mesmo fique em repouso por aproximadamente 1 minuto em seguida colar ligeiramente a lâmina fosqueada voltada para o bálsamo pressionando levemente com um pequeno bastão de madeira deslocando ligeiramente a lâmina sobre o testemunho para eliminar bolhas de ar e o excesso de bálsamo, até a colagem total.

Deixar resfriar.

4º) Colagem com araldite (araldite transparente 10 ou 15 minutos)

Usando um bastão de madeira, misturar em partes iguais o araldite e o endurecedor, misturando bem até a homogeneização.

Fosquear a lâmina.

Com o auxílio do mesmo bastão, espalhar na superfície lixada do testemunho uma pequena porção de araldite.

Colocar a lâmina de vidro com a face fosqueada voltada para a cola, pressionando levemente com o bastão e deslocando ligeiramente a lâmina sobre o testemunho para eliminar bolhas de ar e o excesso de cola, até a colagem total.

5º) Desgaste do testemunho colado

Proceder o desgaste, muito levemente, em movimentos de ir e vir sobre o rebolo, até atingir uma espessura de mais ou menos 50 μm (nessa espessura a seção de rocha estará quase transparente). O controle da espessura da seção através da observação das cores de interferência dos minerais em microscópio de luz transmitida, é o mais indicado.

Lixar manualmente, a lâmina limpa e seca, sobre placa de vidro com carbetto de silício, granulometria 500#, girando em círculos, e controlando a intervalos de tempo, a espessura através de microscópio petrográfico. A espessura ideal para estudo microscópico é de 30 μm , ao se aproximar de 30 μm , usar abrasivos mais finos (800#, 1000# e 1500#).

6º) Fechamento da seção delgada

Utilizando um estilete, raspar as bordas da seção delgada de rocha, retirando possíveis excessos do material rochoso e da cola ou bálsamo sobre a lâmina de vidro, moldando o testemunho, limpando-o com álcool e xilol.

Depositar uma porção homogeneizada de araldite sobre o testemunho colocando em seguida uma lamínula de vidro, perfeitamente limpa e de tamanho adequado, pressionando-a no centro, levemente, com o dedo, afim de espalhar o araldite e expulsar bolhas de ar. O excesso de araldite que transbordar deve ser retirado após secagem com o estilete.

Deixar secar com resfriamento natural e limpar a preparação completa com algodão umidecido com xilol.

Secar ao natural.

4.2.2 - Impregnação de rochas friáveis

As rochas friáveis devem ser impregnadas com resinas, antes de de processar a preparação da lâmina petrográfica .

De maneira geral, é necessário separar um testemunho da rocha friável através de corte com serra manual, a seco, para evitar a desagregação do material.

Obtido o testemunho, colocamo-lo em um pequeno recipiente metálico (tipo forma para empadinhas), untando com Separol (referência XR - 1105).

Levamos para a estufa a aproximadamente 50°C, durante 6 horas (por isso, é interessante preparar os testemunhos à tarde para pernoitarem na estufa).

Preparamos a mistura para impregnação juntando 100 partes de resina, 10 partes de endurecedor e 14 partes de álcool, em peso.

Exemplo: 100 g Araldite (XGY - 1109)

10 g Endurecedor (HY - 951)

14 g Álcool comum

Observação: a quantidade recomendada para impregnação deve ser suficiente para aproximadamente cinco testemunhos de rocha. Misturar tudo em um recipiente descartável (exemplo: copo impermeável) com um bastão de vidro. Colocamos o recipiente metálico com o testemunho sob vácuo e despejamos lentamente a resina, na lateral do recipiente, para que a amostra possa "absorver" a resina sob a ação do vácuo.

Retira-se do vácuo e leva-se para a estufa à temperatura de aproximadamente 50°C, deixando até o dia seguinte (mais ou menos 16 horas) quando a resina estará praticamente polimerizada e o testemunho pode seguir o mesmo processo de preparação para a seção delgada.

À resina podemos acrescentar corantes (tipo Oracet ou Orassol) que vão colocar em destaque descontinuidades presentes na rocha tratada, quando examinada por microscopia óptica.

Material e equipamentos utilizados na preparação de lâminas petrográficas:

Tipo de material	Descrição	Observações
Vidraria	<ul style="list-style-type: none"> - Lâminas de vidro - Laminulas - Vidro de relógio - Bastão de vidro com ponta de borracha - Tubo de ensaio - Cadinho de porcelana - Copo 	utilizado para pesagem de resina para impregnação.
Produtos Químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Araldite MCY - 212 - Endurecedor HY - 956 - Araldite XGY - 1109 - Endurecedor HY - 951 - Álcool - Xilol - Bálsamo do Canadá Natural 	<ul style="list-style-type: none"> para colagem para colagem para colagem para impregnação para impregnação para impregnação para colagem
Equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> - Serra com disco diamantado - Rebolo diamantado - Politriz - Chapa aquecedora ("HOT PLATE") - Estufa - Balança 	
Equipamento Óptico	<ul style="list-style-type: none"> - Microscópio Petrográfico 	

4.3 NORMAS TÉCNICAS



SOLO - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Método de ensaio

BIBLIOTECA

NBR 7181

DEZ/1984

ERRATA Nº 1

ABR/1988

Esta Norma tem por objetivo alterar e acrescentar a esta Norma o descrito abaixo:

- no Capítulo 2, acrescentar:

NBR 6508 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da mas
sa específica - Método de ensaio

- no Capítulo 3, alínea a) corrigir para:

"... entre 60°C e 65°C e entre 105°C e 110°C ...";

do item 4.2.3 corrigir para:

solução de 0,01g e anotar ...";

- no Item 4.3.6 corrigir para:

"... com Interpolação de 0,0002, após ...";

- no item 4.4 corrigir para:

solução de ...";

- na expressão de "Qs", contida no Item 5.3, substituir P_h por M_h ;

- ainda no Item 5.3, modificar para:

h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0mm;

- na expressão de "d", contida no item 5.4 alterar n para μ e incluir o símbolo da raiz quadrada, como mostrado a seguir:

$$d = \sqrt{\frac{1800 \mu}{\delta - \delta d} \times \frac{a}{t}}$$

- na nota, 7 ao pé da página 7, corrigir V para 1.000 cm³;

Origem: Projeto NBR 7181/84

CB-2 - Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-2: 04.02 - Comissão de Estudo de Identificação e Compactação de Solos

Esta Norma substitui a NBR 7181/82

SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS

©

Palavras-chave: solo .

NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

CDU: 624.131.4

Todos os direitos reservados

2 páginas

- na 2ª linha da página 8, corrigir para:
δ = massa específica dos grãos do solo, determinada de acordo com a NBR 6508,
em g/cm³;
- na 1ª nota da página 8 alterar de η para μ;
- no item 5.5, modificar para:
h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0mm;
na nota ao pé da Figura 6 corrigir para "Adotar";
- no item A-3.1, 7ª linha, corrigir para:
"... nomograma, marcando-se contiguamente à escala ...".



SOLO – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Método de ensaio

02.453
NBR 7181
DEZ/1984

SUMÁRIO

- 1 Objetivo
 - 2 Normas complementares
 - 3 Aparelhagem
 - 4 Execução do ensaio
 - 5 Cálculos
 - 6 Resultados
- ANEXO Leitura do densímetro

1 OBJETIVO

Esta Norma prescreve o método para a análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e penetramento.

2 NORMAS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 5734 - Peneiras para ensaio - Especificação

Preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização - Método de ensaio

3 APARELHAGEM

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é a que se segue:

- a) estufa capaz de manter a temperatura entre 60°C e 65°C e entre 105°C e 110°C ;
- b) balanças que permitam pesar nominalmente 200 g, 1,5 kg, 5 kg e 10 kg, com resoluções de 0,01 g, 0,1 g, 0,5 g e 1 g, respectivamente, e sensibilidades compatíveis;
- c) recipientes adequados, tais como dessecadores, que permitam guardar amostras sem variação de umidade;

Origem: Projeto NBR 7181/84

CB-2 – Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-2:04.02 – Comissão de Estudo de Identificação e Compactação de Solos

Esta Norma substitui a NBR 7181/82

SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS



Palavras-chave: solo.

NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

- d) aparelho de dispersão (Figura 1), com hlices substituíveis (Figura 2) e copo munido de chicanas (Figura 3); a rotação da hlice do aparelho não deve ser inferior a 9.000 rpm;
- e) proveta de vidro, com cerca de 450 mm de altura e 65 mm de diâmetro, com traço de referência indicando 1,000 cm³ a 20°C;
- f) densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20°C e com resolução de 0,001, graduado de 0,995 a 1,050; (ver Figura 4);
- g) termômetro graduado em 0,1°C, de 0°C a 50°C;
- h) relógio com indicação de segundos;
- i) bquer de vidro, com capacidade de 250 cm³;
- j) proveta de vidro, com capacidade de 250 cm³ e resolução de 2 cm³;
- k) tanque para banho, com dimensões adequadas à imersão das provetas até o traço de referência, capaz de manter a temperatura da suspensão aproximadamente constante durante a fase de sedimentação¹;
- l) peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8, 2,0, 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, e 0,075 mm, de acordo com a NBR 5734;
- m) escova com cerdas metálicas;
- n) agitador mecânico de peneiras, com dispositivo para fixação de até seis peneiras, inclusive tampa e fundo;
- o) bagueta de vidro;
- p) bisnaga.

4 EXECUÇÃO DO ENSAIO

4.1 Preparação da amostra

Tomar a quantidade de amostra preparada de acordo com a NBR 6457.

4.2 Operações preliminares

4.2.1 Determinar com as resoluções da Tabela 1 abaixo a massa da amostra seca ao ar e anotar como M_t .

TABELA 1 – Determinação do peso da amostra seca ao ar

Dimensão dos grãos maiores contidos na amostra (mm)	Balança a ser utilizada	
	Capacidade nominal (kg)	Resolução (g)
> 25	10	1
5 a 25	5	0,5
< 5	1,5	0,1

¹ Este banho é dispensável quando o ensaio for efetuado em ambiente com temperatura aproximadamente constante.

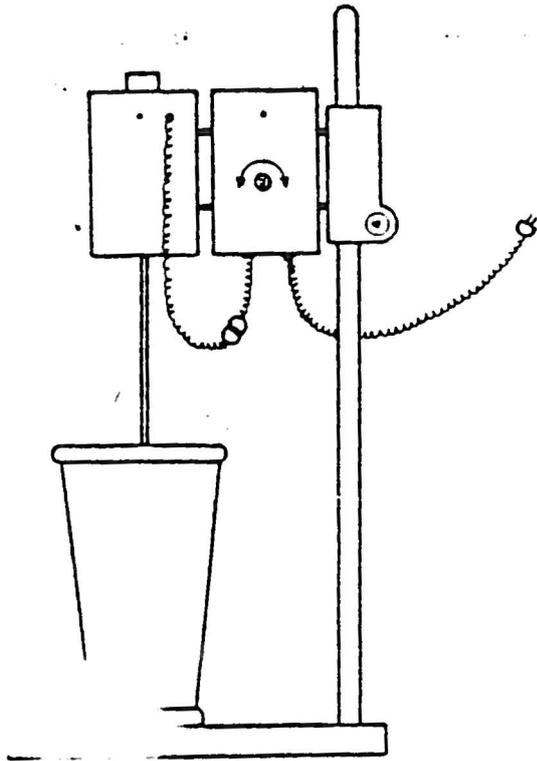


FIGURA 1 – Aparelho de dispersão

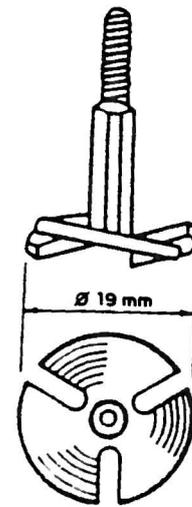


FIGURA 2 – Detalhe da hélice

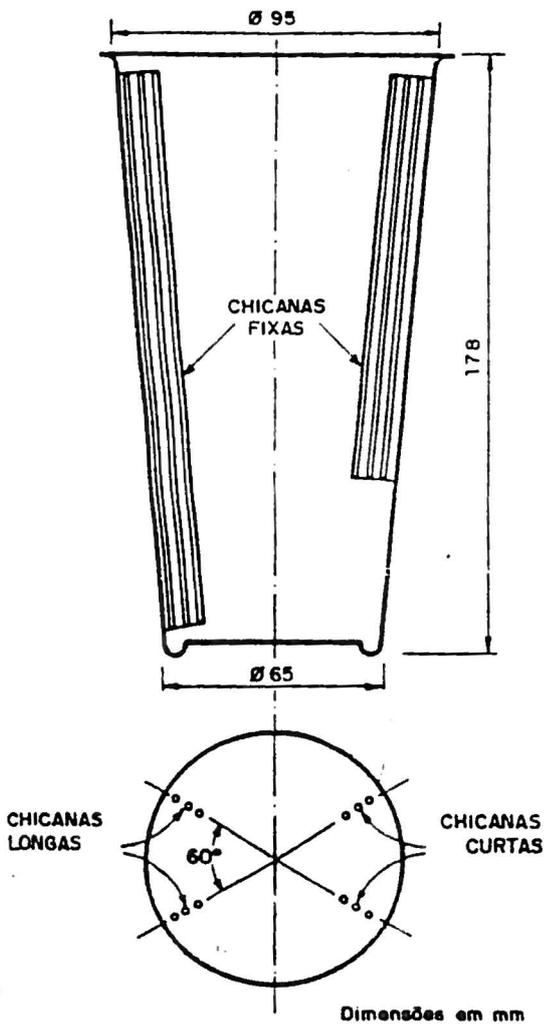


FIGURA 3 – Copo de dispersão

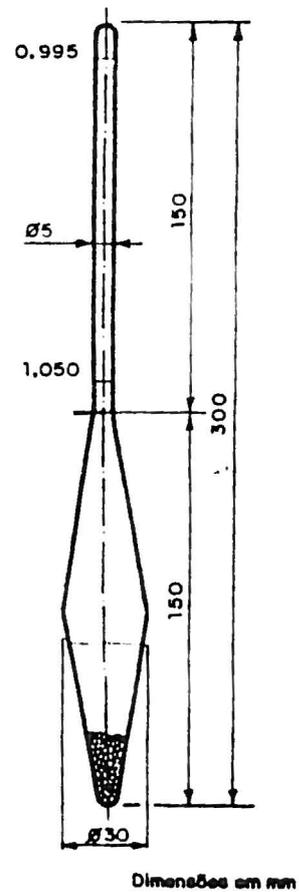


FIGURA 4 – Densímetro

4.2.2 Passar este material na peneira de 2,0 mm, tomando-se a precaução de desmanchar no almofariz todos os torrões eventualmente ainda existentes, de modo a assegurar a retenção na peneira somente dos grãos maiores que a abertura da malha².

4.2.3 Lavar a parte retida na peneira de 2,0 mm a fim de eliminar o material fino aderente e secar em estufa a 105°C / 110°C, até constância de massa. O material assim obtido é usado no peneiramento grosso.

Nota: Para determinação da distribuição granulométrica do material, apenas por peneiramento, proceder como segue:

a) do material passado na peneira de 2,0 mm tomar cerca de 120 g. Pesar esse material com resolução de 0,01 g e anotar como M_h . Tomar ainda cerca de 100 g para três determinações da umidade higroscópica (h), de acordo com a NBR 6457;

b) lavar na peneira de 0,075 mm o material assim obtido, vertendo-se água notável à baixa pressão;

proceder como descrito a partir de 4.4.

4.3 Sedimentação

4.3.1 Do material passado na peneira de 2,0 mm tomar cerca de 120 g, no caso de solos arenosos, ou 70 g, no de solos siltosos e argilosos, para a sedimentação e o peneiramento fino. Pesar esse material com resolução de 0,01 g e anotar como M_h . Tomar ainda cerca de 100 g para três determinações da umidade higroscópica (h), de acordo com a NBR 6457.

4.3.2 Transferir o material assim obtido para um bēquer de 250 cm³ e juntar, com auxílio de proveta, como defloculante, 125 cm³ de solução de hexametáfosfato de sódio com a concentração de 45,7 g do sal por 1.000 cm³ de solução³. Agitar o bēquer até que todo o material fique imerso e deixar em repouso, no mínimo 12 horas.

4.3.3 Verter, então, a mistura no copo de dispersão, removendo-se com água destilada, com auxílio da bisnaga, o material aderido ao bēquer. Adicionar água destilada até que seu nível fique 5 cm abaixo das bordas do copo e submeter à ação

² Utilizar a escova com cerdas metálicas para auxiliar a retirada dos grãos retidos nas malhas da peneira, procedendo-se da mesma forma em todos os passos que envolvam o peneiramento.

³ A solução de hexametáfosfato de sódio deve ser tamponada com carbonato de sódio até que a solução atinja um pH entre 8 e 9, evitando assim a reversão da solução para ortofosfato de sódio. Em solos para os quais o defloculante e a concentração indicados não forem eficazes na dispersão, deve-se investigar o tipo e a dosagem do defloculante mais adequados.

do aparelho dispersor ~~durante 15 minutos~~⁴.

4.3.4 Transferir a dispersão para a proveta e remover com água destilada, com auxílio da bisnaga, todo o material aderido ao copo. Juntar água destilada até atingir o traço correspondente a 1.000 cm^3 ; em seguida, colocar a proveta no tanque para banho ou em local com temperatura aproximadamente constante. Agitar frequentemente com a bagueta de vidro para manter, tanto quanto possível, as partículas em suspensão. Logo que a dispersão atinja a temperatura de equilíbrio, tomar a proveta e, tapando-lhe a boca com uma das mãos, executar, com auxílio da outra, movimentos enérgicos de rotação, durante 1 minuto, pelos quais a boca da proveta passe de cima para baixo e vice-versa.

4.3.5 Imediatamente após terminada a agitação, colocar a proveta sobre uma mesa, anotar a hora exata do início da sedimentação e mergulhar cuidadosamente o densímetro na dispersão. Efetuar as leituras do densímetro correspondentes aos tempos de sedimentação (t) de ~~0,5, 1 e 2 minutos~~⁵. Retirar lenta e cuidadosamente o densímetro da dispersão. Se o ensaio não estiver sendo realizado em local de temperatura constante, colocar a proveta no banho onde permanecerá até a última leitura. Fazer as leituras subseqüentes a ~~4, 8, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 8 e 24 horas~~, a contar do início da sedimentação.

4.3.6 Cerca de 15 a 20 segundos antes de cada leitura, mergulhar lenta e cuidadosamente o densímetro na dispersão. Todas as leituras devem ser feitas na parte superior do menisco, com interpolação de 0,0002, após o densímetro ter ficado em equilíbrio. Assim que uma dada leitura seja efetuada, retirar o densímetro da dispersão e colocá-lo numa proveta com água limpa, à mesma temperatura da dispersão.

4.3.7 Após cada leitura, excetuadas as duas primeiras, medir a temperatura da dispersão, com resolução de $0,1^\circ\text{C}$.

4.3.8 Realizada a última, verter o material da proveta na peneira de 0,075 mm, proceder à remoção com água de todo o material que tenha aderido às suas paredes e efetuar a lavagem do material na peneira mencionada, empregando-se água potável à baixa pressão.

200 *

⁴ Solos que contenham grãos susceptíveis de sofrerem quebra devem ser dispersos em um intervalo de tempo menor.

⁵ Recomenda-se repetir as três primeiras leituras. Para tanto, agitar novamente a proveta, conforme descrito em 4.3.4 e refazer as leituras para os tempos de 0,5, 1 e 2 minutos.

4.4 Peneiramento fino

Secar o material retido na peneira de 0,075 mm em estufa, à temperatura de 105°C a 110°C, até constância de massa, e, utilizando-se o agitador mecânico, passar nas peneiras de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15, 0,075 mm⁶. Anotar ^{com} resolução de 0,01 g as massas retidas acumuladas em cada peneira.

4.5 Peneiramento grosso

4.5.1 Pesar o material retido na peneira de 2,0 mm, obtido conforme 4.2.3, com a resolução indicada em 4.2.1 e anotar como M_g.

4.5.2 Utilizando-se o agitador mecânico, passar esse material nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5 e 4,8 mm⁶. Anotar com a resolução indicada em 4.2.1 as massas retidas acumuladas em cada peneira.

5 CÁLCULOS

5.1 *Massa total da amostra seca*

Calcular a massa total da amostra seca, utilizando-se a expressão:

$$M_s = \frac{(M_t - M_a)}{(100 + h)} \times 100 + M_g$$

Onde:

M_s = massa total da amostra seca

M_t = massa da amostra seca ao ar

M_g = massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm

h = umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm

5.2 *Porcentagens de materiais que passam nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8 e 2,0 mm*

Calcular as porcentagens de materiais que passam nas peneiras acima referidas, utilizando a expressão:

$$Q_g = \frac{(M_s - M_i)}{M_s} \times 100$$

Onde:

Q_g = porcentagem de material passado em cada peneira

M_s = massa total da amostra seca

M_i = massa do material retido acumulado em cada peneira

No caso de solos uniformes, pode ser necessário utilizar, tanto no peneiramento fino como no grosso, peneiras intermediárias àquelas indicadas.

5.3 Porcentagens de material em suspensão

Calcular as porcentagens correspondentes a cada leitura do densímetro, referidas a massa total da amostra, utilizando-se a expressão:

$$Q_s = N \times \frac{\delta}{(\delta - \delta_d)} \times \frac{V \delta_c (L - L_d)}{M_h \times 100} \cdot 7$$

$$(100 + h)$$

Onde:

Q_s = porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro

N = porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm, calculado conforme indicado em 5.2

δ = massa específica dos grãos do solo, em g/cm^3

δ_d = massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g/cm^3

V = volume da suspensão, em cm^3

δ_c = massa específica da água, à temperatura de calibração do densímetro ($20^\circ C$), em g/cm^3

L = leitura do densímetro na suspensão

L_d = leitura do densímetro no meio dispersor (ver Anexo), na mesma temperatura da suspensão

M_h = massa do material úmido submetido à sedimentação, em g

h = umidade higroscópica da amostra

5.4 Diâmetro das partículas de solo em suspensão

Calcular o diâmetro máximo das partículas em suspensão⁸, no momento de cada leitura do densímetro, utilizando-se a expressão (Lei de Stokes):

$$d = \sqrt{\frac{1800 \mu \times a}{\delta - \delta_d} \times \frac{a}{t}}$$

Onde:

d = diâmetro máximo das partículas, em mm

μ = coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em $g \times s/cm^2$

a = altura de queda das partículas, com resolução de 0,1 cm, correspondente à leitura do densímetro, em cm (ver Anexo)

⁷ Para efeito de cálculo, considerar:

$$\delta_d = 1,000 \text{ g/cm}^3; V = 1,000 \text{ cm}^3 \text{ e } \delta_c = 1,000 \text{ g/cm}^3$$

⁸ O diâmetro máximo das partículas em suspensão, no momento de cada leitura do densímetro, pode também ser determinado pelo método gráfico de Casagrande (ver Anexo).

t = tempo de sedimentação, em s

δ = massa específica dos grãos do solo, em g/cm^3

δ_d = massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g/cm^3

Nota: Para efeito de cálculo, considerar $\delta_d = 1,000 \text{ g/cm}^3$ e $\frac{1}{\eta}$ correspondente ao coeficiente de viscosidade da água (ver Tabela 2).

TABELA 2 - Viscosidade da água (Valores em $10^{-6} \text{ g x s/cm}^2$)

$^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	13,36	12,99	12,63	12,30	11,98	11,68	11,38	11,09	10,81	10,54
20	10,29	10,03	9,80	9,56	9,34	9,13	8,92	8,72	8,52	8,34
30	8,16	7,98	7,82	7,66	7,50	7,45	7,20	7,06	6,92	6,79

Nota: Para temperaturas intermediárias, obter a viscosidade da água por interpolação linear.

5.2.1. Percentagens de materiais que passam nas peneiras de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm

Calcular as percentagens de materiais que passam nas peneiras acima referidas, utilizando-se a expressão:

$$Q_f = \frac{M_h \times 100 - M_i (100 + h)}{M_h \times 100} \times N$$

Onde:

Q_f = percentagem de material passado em cada peneira

M_h = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou à sedimentação, conforme o ensaio tenha sido realizado apenas por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento, respectivamente

h = umidade higroscópica da amostra

M_i = massa do material retido acumulado em cada peneira

N = percentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm, calculado conforme indicado em 5.2

6 RESULTADOS

O resultado final deve ser apresentado graficamente, dispondo-se em abcissas os diâmetros das partículas, em escala logarítmica, e em ordenadas as percentagens das partículas menores do que os diâmetros considerados, em escala aritmética.

ANEXO – LEITURA DO DENSÍMETRO

A-1 VARIACÃO DAS LEITURAS DO DENSÍMETRO, NO MEIO DISPERSOR, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

A-1.1 Para cada densímetro construir a curva de variação das leituras, L_d , no meio dispersor, em função da temperatura.

A-1.2 Para tanto, diluir, em proveta, 125 cm³ da solução indicada em 4.3.2, em 875 cm³ de água destilada.

A-1.3 ~~Com a proveta imersa em um recipiente com água, provido de dispositivo para controle de temperatura~~, variar a temperatura do meio dispersor e obter diversas leituras densimétricas, em uma faixa compreendida entre 10°C e 35°C, as quais devem ser feitas na parte superior do menisco.

A-1.4 Com os valores obtidos construir uma curva, como exemplificado na Figura 5.

A-2 VARIACÃO DA ALTURA DE QUEDA DAS PARTÍCULAS EM FUNÇÃO DA LEITURA DO DENSÍMETRO

A-2.1 Para cada densímetro construir as curvas de variação da altura de queda das partículas, \underline{a} e \underline{a}' , em função da leitura do densímetro.

A-2.2 Para tanto, determinar a distância, \underline{a} , de cada traço principal da graduação ao centro de volume do densímetro; e para isso medir a distância de cada traço principal da graduação do densímetro à base da haste e somar a essa distância metade da altura do bulbo (medida da base da haste à extremidade do bulbo).

A-2.3 Com os valores obtidos construir uma curva correlacionando as alturas de queda, \underline{a} , com as leituras do densímetro, como exemplificado na Figura 6. Essa curva é válida para as leituras efetuadas nos dois primeiros minutos de ensaio, quando o densímetro permanece mergulhado na dispersão.

A-2.4 Para as leituras subsequentes construir uma curva correlacionando as alturas de queda corrigidas, \underline{a}' , com as leituras do densímetro, como exemplificado na Figura 6, utilizando a seguinte expressão:

$$a' = a - \frac{V_a}{2A}$$

Onde:

V_a = volume da parte imersa do densímetro, obtido pesando-se o densímetro ou imergindo-o em água em uma proveta graduada

A = área da seção interna da proveta, obtida dividindo-se o volume de 1.000 cm³ pela distância medida entre o fundo da proveta e o traço correspondente a esse volume

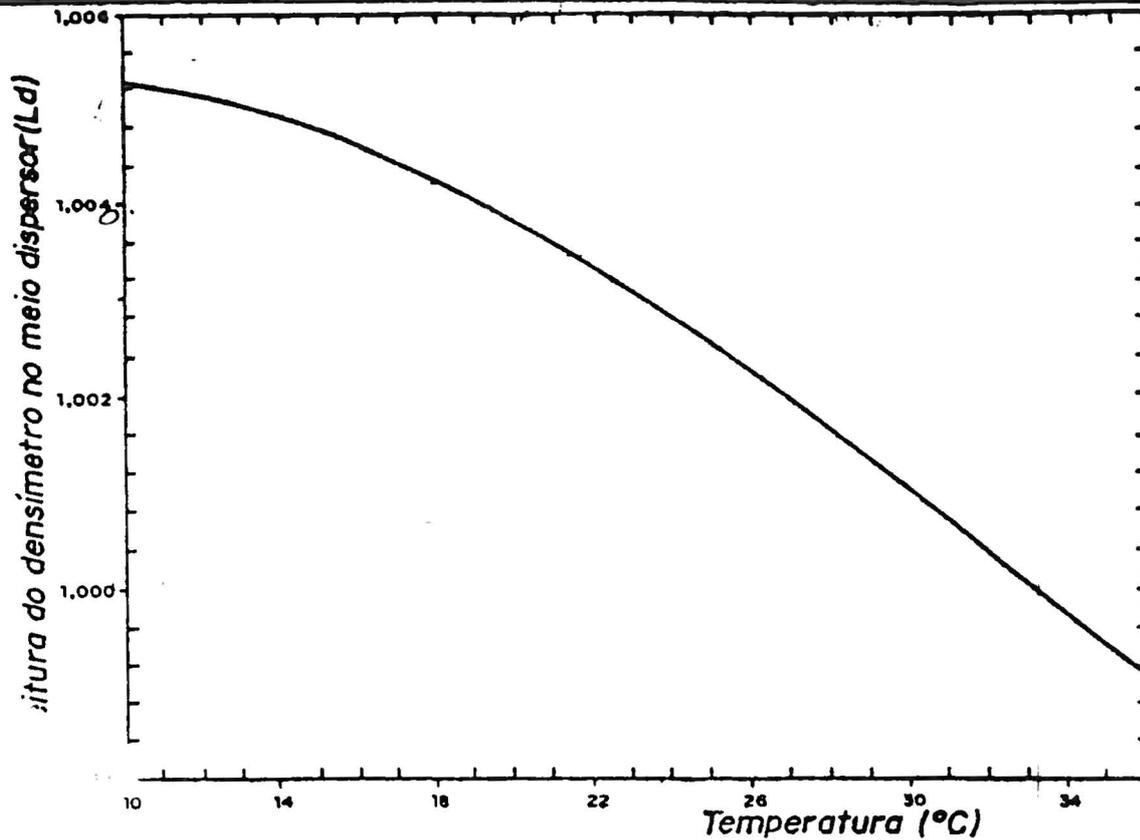


FIGURA 5 – Exemplo de curva de variação das leituras do densímetro, no meio dispersor, em função da temperatura

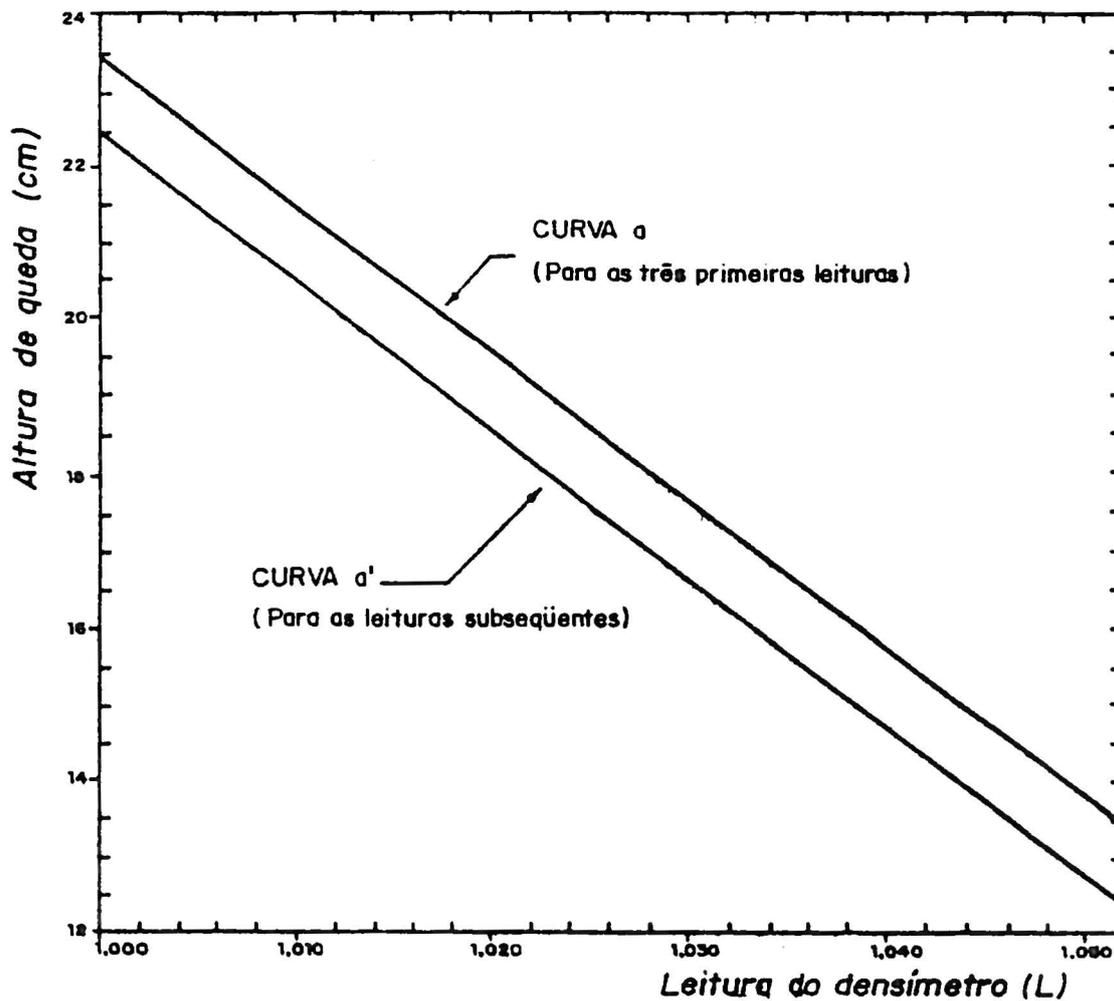


FIGURA 6 – Exemplo de curvas de variação da altura de queda das partículas em função da leitura do densímetro

Nota: Adotar escalas adequadas para a construção das curvas correspondente as figuras 5 e 6

A-3 DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO MÁXIMO DAS PARTÍCULAS PELO NOMOGRAMA DE A. CASAGRANDE

A-3.1 A determinação do diâmetro máximo das partículas pela Lei de Stokes pode ser feita utilizando-se o nomograma elaborado por Casagrande. A Figura 7 fornece as indicações necessárias para sua elaboração e a Figura 8 apresenta um nomograma já elaborado. O nomograma, constituindo-se em representação gráfica da Lei de Stokes, é adaptável a qualquer densímetro, desde que se tenha feito a correlação entre as alturas de queda e as leituras do densímetro. Esta correlação pode ser feita no próprio nomograma, marcando-se continuamente a escala das alturas de queda as leituras correspondentes do densímetro, lembrando, porém, que a correlação para as três primeiras leituras, correspondentes aos tempos de sedimentação de 0,5, 1 e 2 minutos, é diferente daquela para as leituras subsequentes. A chave para a utilização do nomograma está apresentada na Figura 8.

A-3.1.1 Para exemplificar, considerem-se os seguintes dados obtidos de ensaio:

L - leitura do densímetro	1,028
t - tempo de sedimentação	4 minutos
T - temperatura da suspensão	21°C
δ - massa específica dos grãos do solo	2,56 g/cm ³

Considere-se, ainda, que, para o densímetro utilizado no ensaio, as curvas de variação da altura da queda das partículas em função da leitura do densímetro sejam aquelas exemplificadas na Figura 6. Para $L = 1,028$ obtém-se, portanto, $a = 17$ cm. seguir, proceder como segue:

- ligar os valores 2,56 e 21, das respectivas escalas δ e T, por uma reta que cortará a escala A no ponto 11,6;
- outra reta ligando os valores de 17,0 cm e 4 minutos, das respectivas escalas a e t, determinará, na escala V, a velocidade de 0,068 cm/s;
- uma terceira reta, ligando este valor ao ponto 11,6, na escala A, cortará a escala d no ponto 0,028 mm, que é o diâmetro máximo procurado das partículas em suspensão, para este exemplo.

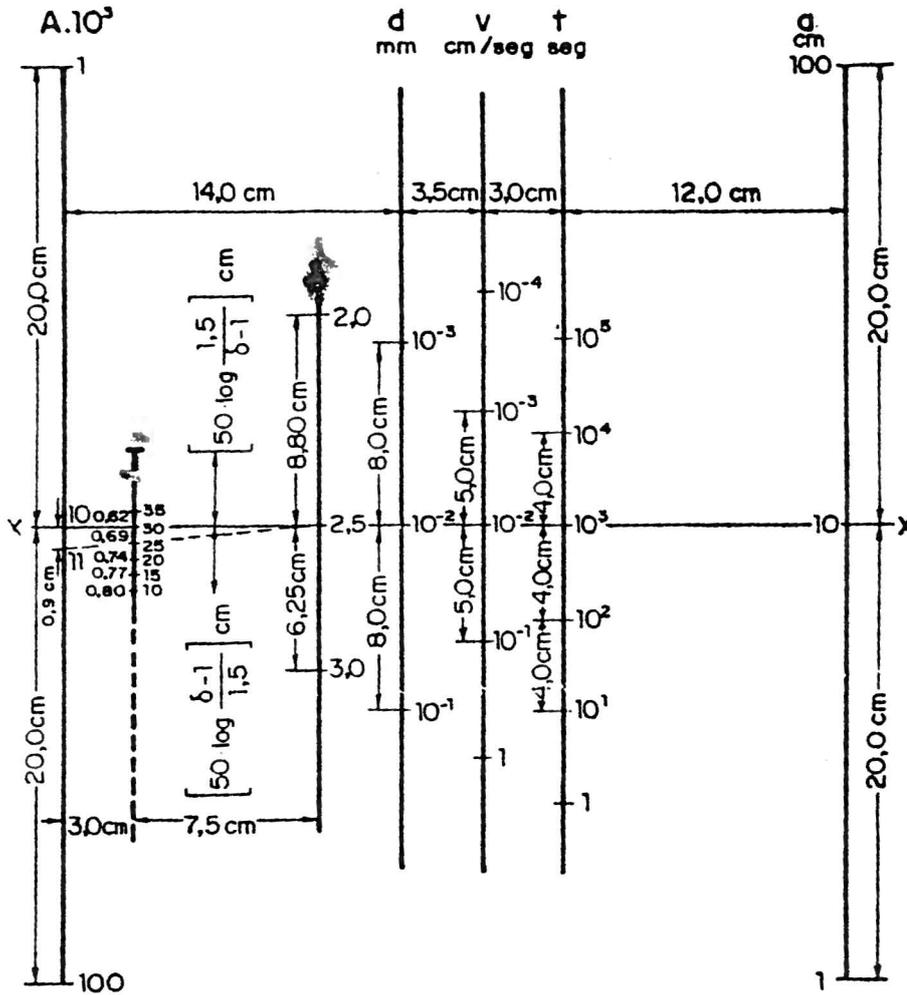
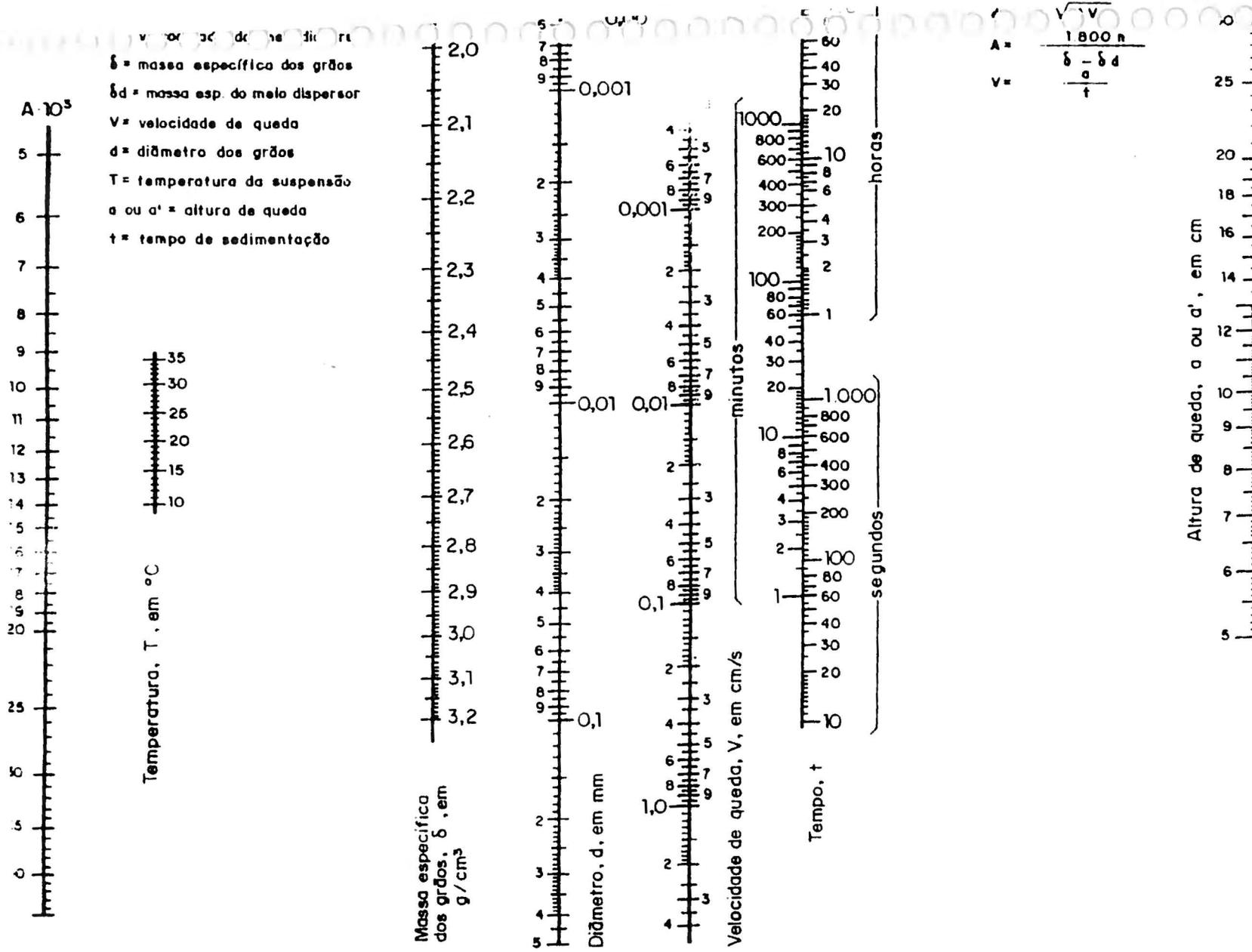


FIGURA 7 - Construção do nomograma de Casagrande

INSTITUTO BRASILEIRO DE PATENTES E MARCAS
 ESCRITÓRIO DE PATENTES E MARCAS
 Nº 7



δ = massa específica dos grãos
 δd = massa esp. do meio dispersor
 V = velocidade de queda
 d = diâmetro dos grãos
 T = temperatura da suspensão
 a ou a' = altura de queda
 t = tempo de sedimentação

$$A = \frac{\sqrt{V}}{\delta - \delta d}$$

$$V = \frac{1800 h}{t}$$

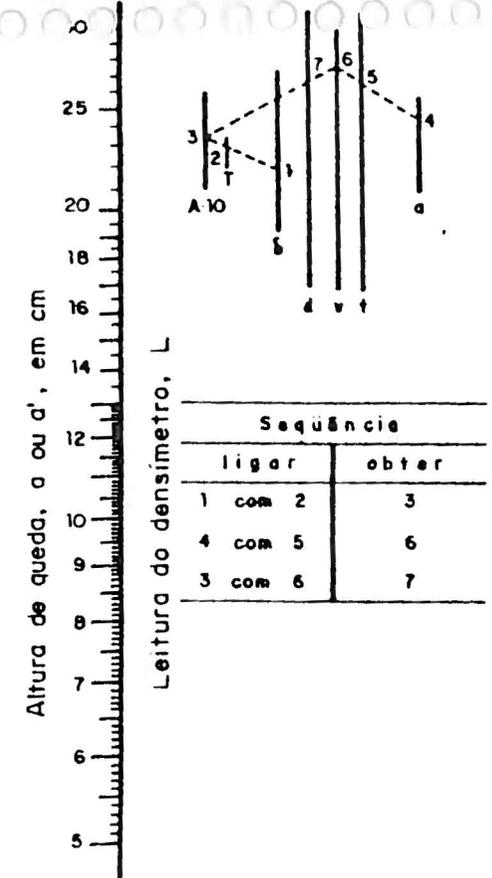


FIGURA 8 - Nomograma de Casagrande

IMPRESSA NA ABNT - RIO DE JANEIRO



SOLO – DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

02.453

NBR 6459

OUT/1984

Método de ensaio

1 OBJETIVO

Esta Norma prescreve o método para a determinação do limite de liquidez dos solos.

2 NORMA COMPLEMENTAR

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 6457 - Preparação de amostras de solo para ensaio de compactação e ensaios de caracterização - Método de ensaio

3 APARELHAGEM

3.1 A aparelhagem ou dispositivo com o qual se executa o ensaio é a que se segue:

- a) estufa capaz de manter a temperatura de 60 a 65°C e 105 a 110°C;
- b) cápsula de porcelana com aproximadamente 120 mm de diâmetro;
- c) espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura;
- d) aparelho com as características e dimensões indicadas na Figura 1;
- e) cinzel com as características e dimensões indicadas na Figura 2;
- f) recipientes adequados, tais como pares de vidros de relógio com tampas, que evitem a perda de umidade da amostra;
- g) balança que permita pesar nominalmente 200 g, com resolução de 0,01 g e sensibilidade compatível;
- h) gabarito para verificação da altura de queda de concha;
- i) esfera de aço com 8 mm de diâmetro.

Origem: Projeto NBR 6459/84

CB-2 – Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-2:04.02 – Comissão de Estudo de Identificação e Compactação de Solos

Esta Norma substitui a NBR 6459/80

SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS

©

Palavras-chave: solo.

NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

CDU: 624.131.3

Todos os direitos reservados

6 páginas

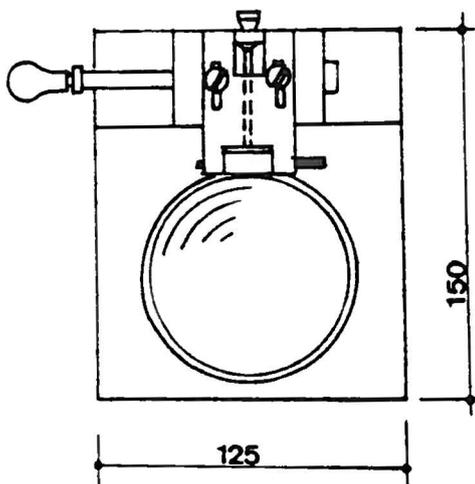


FIGURA 1a) - Vista em planta

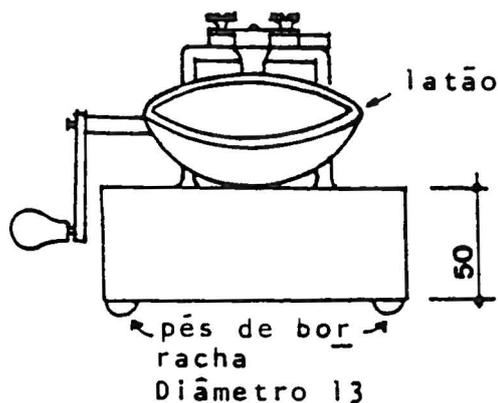


FIGURA 1b) - Vista frontal

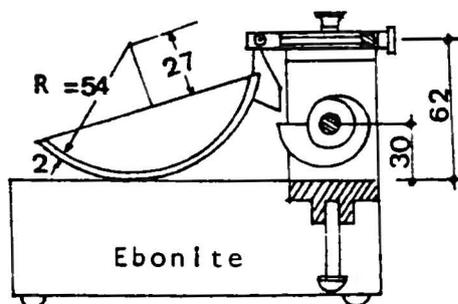


FIGURA 1c) - Vista lateral

FIGURA 1 - Aparelho para determinação do limite de liquidez

- Notas:
- Verificar as características da base de ebonite do aparelho, deixando cair em queda livre, a esfera de aço com 8 mm de diâmetro, de uma altura de 250 mm sobre a superfície da mesma, devendo a altura de restituição estar compreendida entre 185 e 230 mm;
 - Verificar a massa do conjunto concha + guia do excêntrico que deve estar compreendido no intervalo 200 ± 20 g;
 - Verificar se o excêntrico possui uma forma tal que durante os últimos 3 mm o movimento do mesmo não provoque variações na altura da concha, em relação à base (raio constante).

Registro n. n117



Biblioteca/Mineropar

MINEROPAR
BIBLIOTECA

000.117 Data 26.06.96

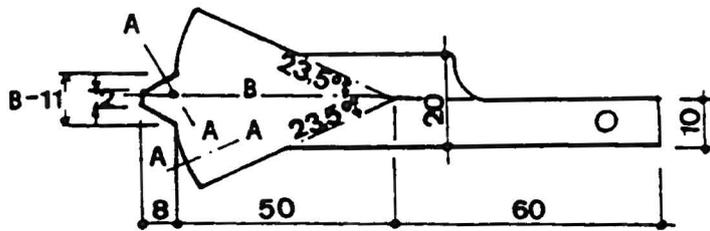


FIGURA 2a) - Vista em planta

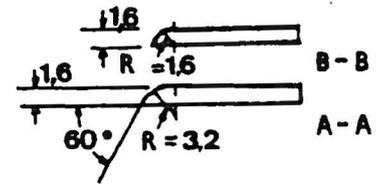


FIGURA 2b) - Seções

medidas em mm

FIGURA 2 - Cinzel

3.2 Inspeccionar o aparelho de ensaio e verificar se:

- o pino que conecta a concha está firme, não permitindo deslocamento lateral;
- os parafusos que conectam essa concha estão apertados;
- os pontos de contato, tanto da base como da concha, não estão gastos pelo uso;
- a concha não apresenta ranhuras, perceptíveis ao tato;
- o cinzel está em perfeito estado.

3.3 Ajustar o aparelho de modo que o ponto de contato da concha com a base esteja 10 mm acima da base, quando aquela estiver no ponto mais alto, utilizando-se para tal um gabarito, como se mostra na Figura 3. Após o aperto dos parafusos, testar o ajuste girando rapidamente a manivela várias vezes e verificar novamente a altura de queda da concha.



FIGURA 3 - Calibração da altura de queda

4 EXECUÇÃO DO ENSAIO¹

4.1 Preparação da amostra

Tomar metade da quantidade de amostra preparada de acordo com a NBR 6457.

4.2 Amostra preparada com secagem prévia

4.2.1 Colocar a amostra na cápsula de porcelana, adicionar água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente com auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, com consistência tal que sejam necessários cerca de 35 golpes para fechar a ranhura.

4.2.1.1 O tempo de homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30 min, sendo o maior intervalo de tempo para solos mais argilosos.

4.2.2 Transferir parte da mistura para a concha, moldando-a de forma que na parte central a espessura seja da ordem de 10 mm.

4.2.2.1 Realizar esta operação de maneira que não fiquem bolhas de ar no interior da mistura.

4.2.2.2 Retornar o excesso de solo para a cápsula.

4.2.3 Dividir a massa de solo em duas partes, passando o cinzel através da massa, de maneira a abrir uma ranhura em sua parte central, normalmente a partir da articulação da concha, como indicado na Figura 4. O cinzel deve ser deslocado perpendicularmente à superfície da concha.

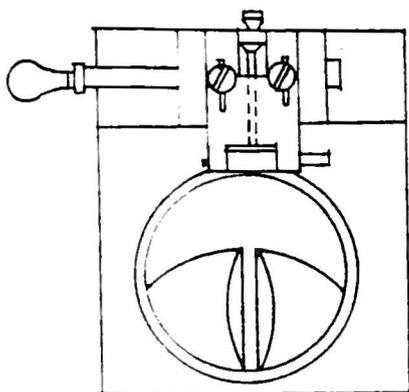


FIGURA 4a) - Vista em planta



FIGURA 4b) - Seções

FIGURA 4 - Aspecto da ranhura

¹ O ensaio deve ser executado em condições ambientais que minimizem a perda de umidade do material por evaporação, preferencialmente em recintos climatizados.

Nota: As operações de 4.2.2 e 4.2.3 devem ser realizadas com a concha na mão do operador; e,

- quando houver dificuldade na abertura da ranhura deve-se tentar obtê-la por passagens sucessivas e cuidadosas do cinzel.

4.2.4 Recolocar, cuidadosamente, a concha no aparelho e golpeá-la contra a base, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo. Anotar o número de golpes necessário para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de 13 mm de comprimento, aproximadamente.

4.2.5 Transferir, imediatamente, uma pequena quantidade do material de junto das bordas que se uniram para um recipiente adequado para determinação da umidade, conforme a NBR 6457.

4.2.6 Transferir o restante da massa para a cápsula de porcelana. Lavar e enxugar a concha e o cinzel.

4.2.7 Adicionar água destilada à amostra e homogeneizar durante pelo menos 3 minutos, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente com auxílio da espátula.

4.2.8 Repetir as operações descritas de 4.2.2 a 4.2.6, obtendo o 2º ponto de ensaio.

4.2.9 Repetir as operações 4.2.7 e 4.2.2 a 4.2.6 de modo a obter mais três pontos de ensaio, cobrindo o intervalo de 35 a 15 golpes.

4.3 *Amostra preparada sem secagem prévia*

4.3.1 Se a amostra apresentar umidade inferior à correspondente ao ensaio (cerca de 35 golpes para fechar a ranhura), proceder conforme 4.2.

4.3.2 Se a amostra apresentar umidade tal que permita a obtenção do 1º ponto de ensaio, colocá-la na cápsula de porcelana e misturá-la de forma a se obter uma pasta homogênea. A seguir, proceder como descrito de 4.2.2 a 4.2.9.

4.4 *Cálculo*

4.4.1 Com os resultados obtidos, construir um gráfico no qual as ordenadas (em escala logarítmica) são os números de golpes e as abcissas (em escala aritmética) são os teores de umidade correspondentes e ajustar uma reta pelos pontos assim obtidos.

4.2.2 Obter na reta o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que é o limite de liquidez do solo.



SOLO – DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Método de ensaio

02.453

NBR 7180

OUT/1984

**ERRATA Nº 1
ABR/1988**

Esta Errata tem por objetivo alterar esta Norma na seguinte parte:

- no Capítulo 3, alínea f):

onde se lê: 100 m;

leia-se : 100 mm.

- no item 4.3.2:

onde se lê: escrito

leia-se: descrito

Origem: Projeto NBR 7180/84

CB-2 – Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-2: 04.02 – Comissão de Estudo de Identificação e Compactação de Solos

Esta Norma substitui a NBR 7180/82

SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS



Palavras-chave: solo.

NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA



SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Método de ensaio

02.453

NBR 7180

OUT/1984

1 OBJETIVO

Esta Norma prescreve o método para a determinação do limite de plasticidade e para o cálculo do índice de plasticidade dos solos.

2 NORMAS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 6457 - Preparação de amostras de solo para ensaio de compactação e ensaios de caracterização - Método de ensaio

NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez - Método de ensaio

3 APARELHAGEM

A aparelhagem ou dispositivo com o qual se executa o ensaio é a que se segue:

- estufa capaz de manter a temperatura de 60^o a 65^oC e de 105^o a 1
- cápsula de porcelana com aproximadamente 120 mm de diâmetro;
- espátula de lâmina flexível, com aproximadamente 80 mm de comprimento 20 mm de largura;
- recipientes adequados, tais como pares de vidros de relógio com grampo, que evitem a perda de umidade da amostra;
- balança que permita pesar nominalmente 200 g, com resolução 0,01 g e sensibilidade compatível;
- gabarito cilíndrico para comparação, com 3 mm de diâmetro e cerca de 100 mm de comprimento;
- placa de vidro de superfície esmerilhada, com cerca de 30 cm de

Origem: Projeto NBR 7180/84

CB-2 -- Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-2:04.02 -- Comissão de Estudo de Identificação e Compactação de Solos

Esta Norma substitui a NBR 7180/82

SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS



Palavras-chave: solo.

NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

4 EXECUÇÃO DO ENSAIO¹

4.1 *Preparação da amostra*

Tomar metade da quantidade de amostra preparada de acordo com a NBR 6457.

4.2 *Amostra preparada com secagem prévia*

4.2.1 Colocar a amostra na cápsula de porcelana, adicionar água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente, com o auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, de consistência plástica.

4.2.1.1 O tempo total de homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30 min, sendo o maior intervalo de tempo para solos mais argilosos.

4.2.2 Tomar cerca de 10 g da amostra assim preparada e formar uma pequena bola, que deve ser rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar a forma de cilindro.

4.2.3 Se a amostra se fragmentar antes de atingir o diâmetro de 3 mm, colocar a amostra na cápsula de porcelana, adicionar água destilada, homogeneizar durante pelo menos 3 min, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente com auxílio da espátula e repetir o procedimento descrito em 4.2.2.

4.2.4 Se a amostra atingir o diâmetro de 3 mm sem se fragmentar, amassar o material e repetir o procedimento descrito em 4.2.2.

4.2.5 Ao se fragmentar o cilindro, com diâmetro de 3 mm e comprimento da ordem de 100 mm (o que se verifica com o gabarito de comparação), transferir imediatamente as partes do mesmo para um recipiente adequado, para determinação de umidade de conforme a NBR 6457.

4.2.6 Repetir as operações 4.2.2 a 4.2.5 de modo a obter pelo menos três valores de umidade.

4.3 *Amostra preparada sem secagem prévia*

4.3.1 Colocar a amostra na cápsula de porcelana, amassar e revolver vigorosa e continuamente com o auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, de consistência plástica.

4.3.2 Proceder como escrito de 4.2.2 a 4.2.6.

¹ O ensaio deve ser executado em condições ambientais que minimizem a perda de umidade do material por evaporação, preferencialmente em recintos climatizados.

5 RESULTADOS

5.1 *Limite de plasticidade*

5.1.1 Considerar satisfatórios os valores de umidade obtidos quando, de pelo me nos três, nenhum deles diferir da respectiva média de mais que 5% dessa média.

5.1.2 O resultado final, média de pelo menos três valores de umidade considera dos satisfatórios conforme 5.1.1, deve ser expresso em porcentagem, aproximado para o inteiro mais próximo.

5.1.3 Deve ser indicado o processo de preparação da amostra (com ou sem secagem prévia ao ar).

5.1.4 Na impossibilidade de se obter o cilindro com 3 mm de diâmetro, conside rar a amostra como não apresentando limite de plasticidade (NP).

5.2 *Índice de plasticidade*

5.2.1 O índice de plasticidade dos solos deve ser obtido utilizando-se a expres são:

$$IP = LL - LP$$

Onde:

IP = Índice de plasticidade

LL = limite de liquidez, determinado de acordo com a NBR 6459

LP = limite de plasticidade

5.2.2 O resultado final deve ser expresso em porcentagem.

5.2.3 Quando não for possível determinar o limite de liquidez ou o limite plasticidade, anotar o índice de plasticidade como NP (não plástico).



SOLO – ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Método de ensaio

02.453

NBR 7182

AGO/1986

ERRATA Nº 1

ABR/1988

Esta Errata tem por objetivo alterar esta Norma nas seguintes partes:

- na Figura 4, corrigir o peso total do soquete para:
(4536 ± 10)g.
- no Item 5.1.3, nota a) corrigir para:
"... quando da incorporação da água no material seco até a ..."
- no Item 5.1.10, corrigir para:
"... sendo dois no ramo sec̄o, um pr̄ximo à umidade ótima, preferencialmente ..."

Origem: Projeto NBR 7182/84

CB-2 – Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-2: 04.02 – Comissão de Estudo de Identificação e Compactação de solos

SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS



Palavras-chave: solo, compactação.

NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

**SOLO – ENSAIO DE COMPACTAÇÃO**

02.453

NBR 7182

AGO/1986

Método de ensaio

SUMÁRIO

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

1 OBJETIVO

Esta Norma prescreve o método para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados, de acordo com os processos especificados.

2 NORMAS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 5734 - Peneiras para ensaios - Especificação

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

NBR 6458 - Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água - Método de ensaio

NBR 6508 - Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica - Método de ensaio

3 APARELHAGEM

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

- a) balanças que permitam pesar nominalmente 10 kg e 200 g, com resoluções de 1 g e 0,01 g, respectivamente, e sensibilidades compatíveis;

Origem: Projeto NBR 7182/84

CB-2 – Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-2:04.02 – Comissão de Estudo de Identificação e Compactação de Solos

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

**ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS**

©

Palavra-chave: solo, compactação.

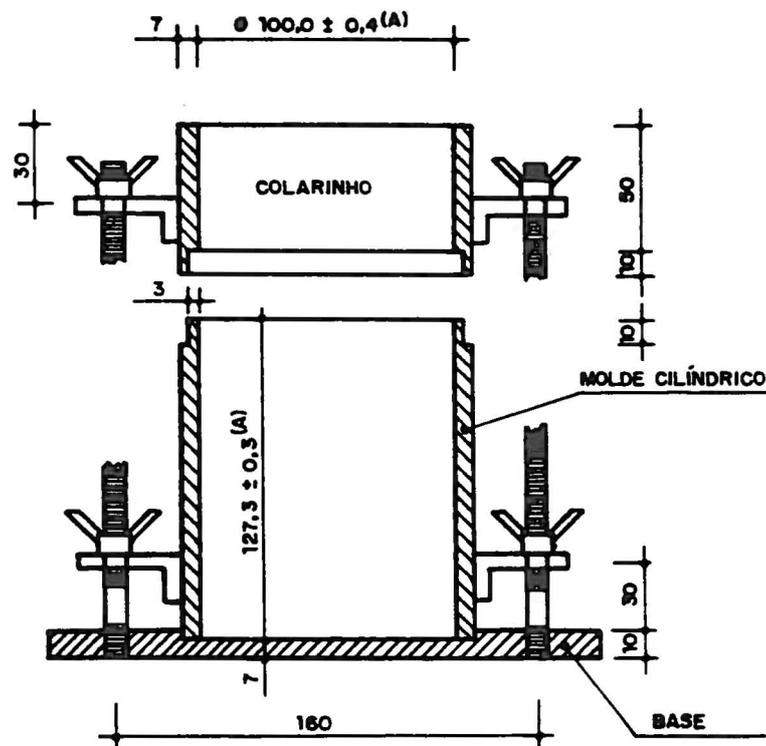
NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

CDU: 624.134.2.001.4

Todos os direitos reservados

10 páginas

- b) peneiras de 19 e 4,8 mm, de acordo com a NBR 5734;
- c) estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C 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 de aço biselada com comprimento de 30 cm;
- g) espátulas de lâmina flexível com aproximadamente 10 cm e 2 cm de largura e 12 cm de comprimento, respectivamente;
- h) cilindro metálico pequeno (cilindro de Proctor),
 - compreende o molde cilíndrico, sua base e cilindro complementar de mesmo diâmetro (colarinho); as dimensões a serem respeitadas estão indicadas na Figura 1;

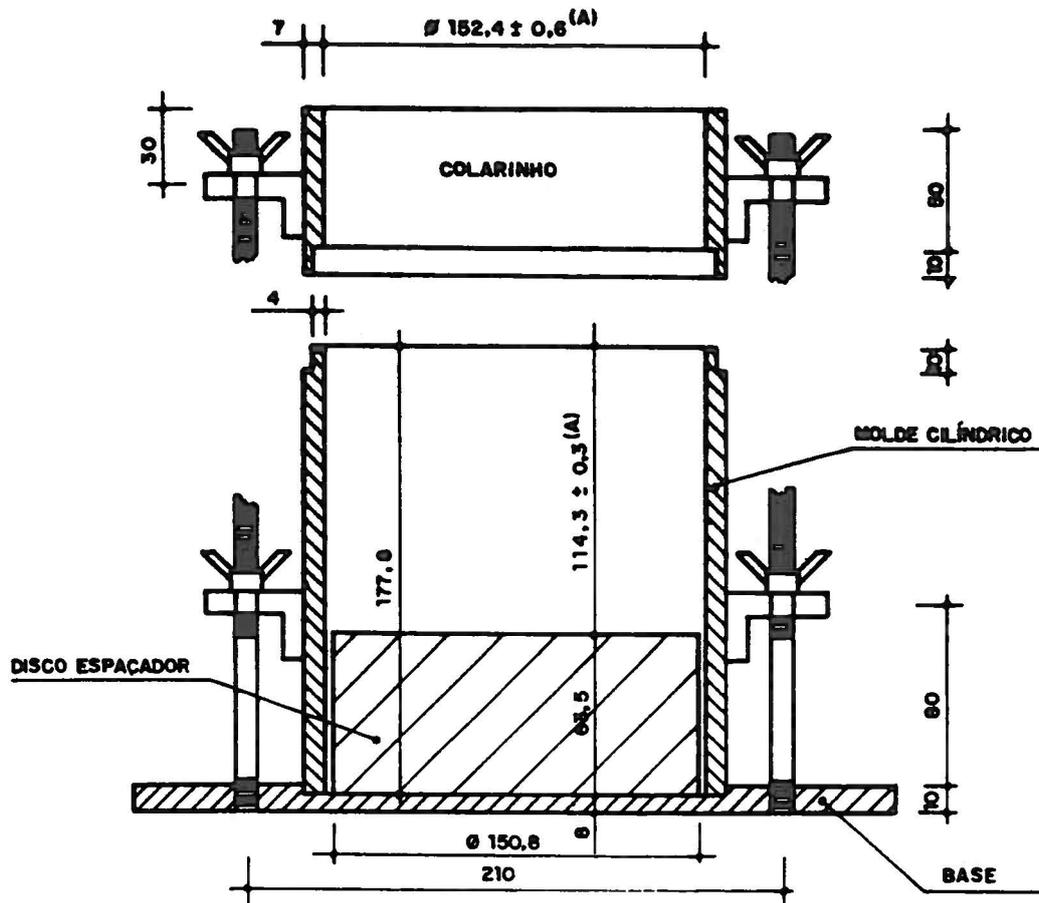


VOLUME ÚTIL DO MOLDE CILÍNDRICO IGUAL A $1000 \pm 10 \text{ cm}^3$ (A)
 DIMENSÕES EM mm
 (A) DIMENSÕES ESSENCIAIS

FIGURA 1 – Cilindro pequeno (Proctor)

- i) cilindro metálico grande (cilindro de CBR),
 - compreende o molde cilíndrico, sua base, cilindro complementar de mesmo diâmetro (colarinho) e disco espaçador metálico; as dimensões a serem respeitadas estão indicadas na Figura 2;

/FIGURA 2



VOLUME ÚTIL DO MOLDE CILÍNDRICO IGUAL A $2085 \pm 22 \text{ cm}^3$ (A)

DIMENSÕES EM mm

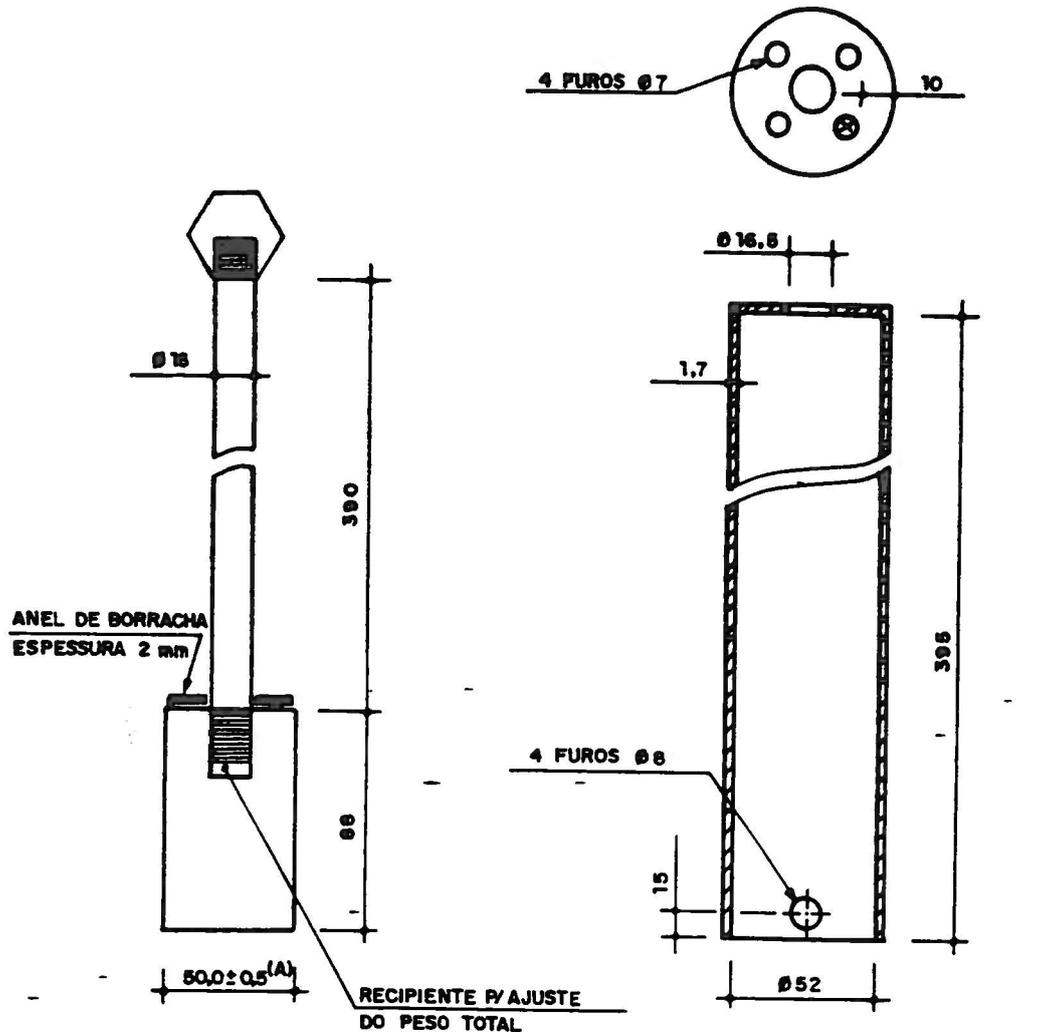
(A) DIMENSÕES ESSENCIAIS

FIGURA 2 – Cilindro grande (CBR)

j) soquete pequeno,

- consiste de um soquete metálico com massa de (2.500 ± 10) g e dotado de dispositivo de controle de altura de queda (guia), que é de $(305 \pm 0,1)$ mm, as dimensões a serem respeitadas estão indicadas na Figura 3;

/FIGURA 3



SOQUETE: Ajustar o peso total em 2500 ± 10 g (A)

GUIA: Altura de queda do soquete
igual a 305 ± 2 (A)

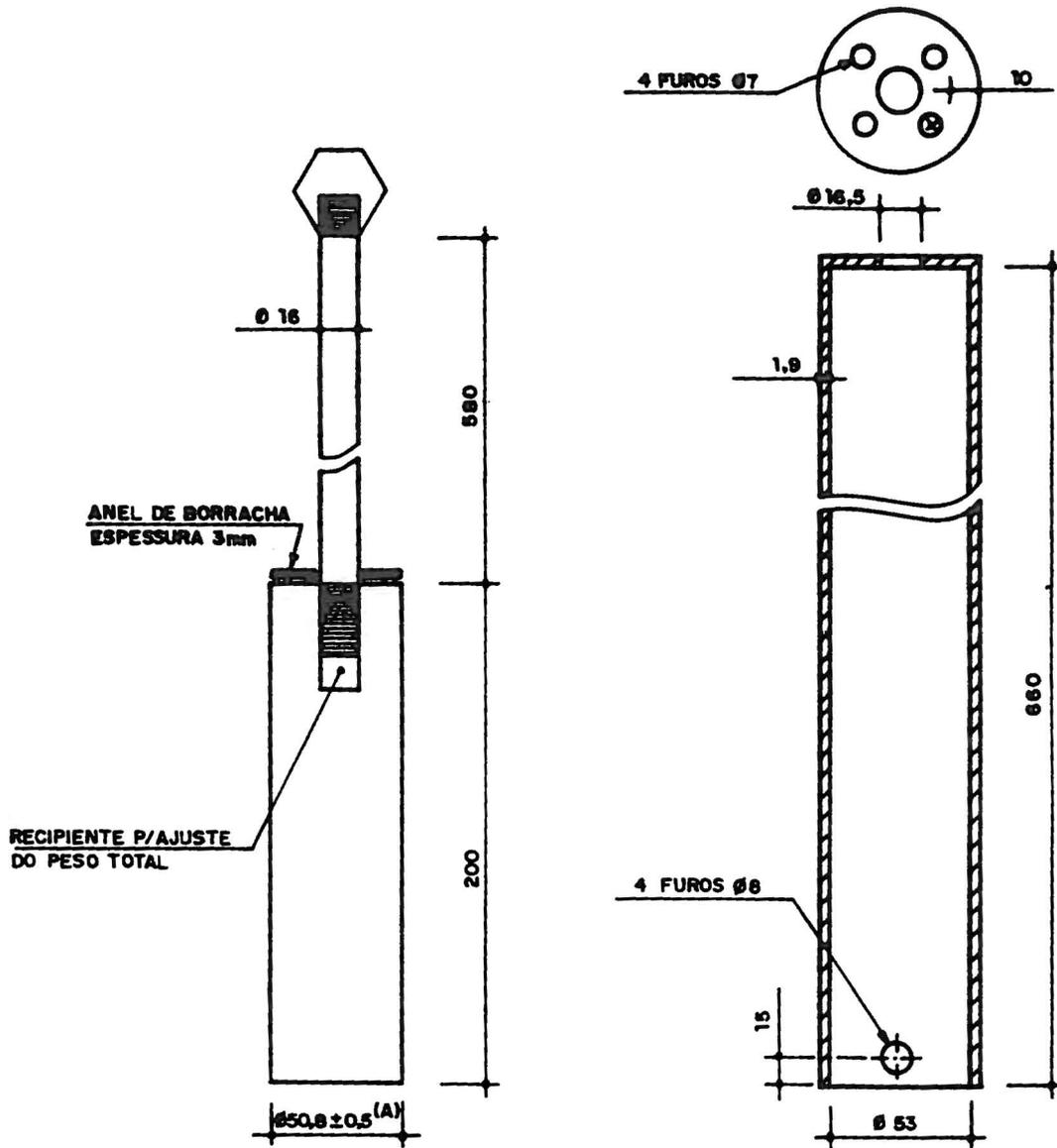
DIMENSÕES EM mm
(A) DIMENSÕES ESSENCIAIS

FIGURA 3 – Soquete pequeno

k) soquete grande,

- consiste de um soquete metálico com massa de (4.536 ± 10) g e dotado de dispositivo de controle de altura de queda (guia), que é de (457 ± 2) mm; as dimensões a serem respeitadas estão indicadas na Figura 4;

/FIGURA 4



SOQUETE: Ajustar o peso total em 4800 ± 10 g (A)

DIMENSÕES EM mm

(A) DIMENSÕES ESSENCIAIS

GUIA: Altura de queda do soquete igual a 457 ± 2 (A)

FIGURA 4 – Soquete grande

- l) provetas de vidro com capacidade de 1.000 cm^3 , 200 cm^3 e 100 cm^3 e com graduações de 10 cm^3 , 2 cm^3 e 1 cm^3 , respectivamente;
- m) desempenadeira de madeira com $13 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$;
- n) extrator de corpo-de-prova;
- o) conchas metálicas com capacidade de 1.000 cm^3 e 500 cm^3 ;
- p) base rígida, preferencialmente de concreto, com massa superior a 100 kg ;
- q) papel filtro com diâmetro igual ao do molde empregado.

4 ENERGIAS DE COMPACTAÇÃO

4.1 As energias de compactação especificadas nesta Norma são: normal, intermedi

ária e modificada. Na Tabela a seguir estão assinaladas as características inerentes a cada energia.

TABELA – Energias de compactação

Cilindro	Caractēristicas inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

4.2 O cilindro pequeno pode ser utilizado somente quando a amostra, após a preparação passa integralmente na peneira 4,8 mm.

5 EXECUÇÃO DO ENSAIO

5.1 *Ensaio realizado com reuso de material, sobre amostras preparadas com secagem prévia até a umidade higroscópica*

5.1.1 Fixar o molde cilíndrico à sua base, acoplar o cilindro complementar e apoiar o conjunto em uma base rígida. Caso se utilize o cilindro grande, 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 com a superfície metálica da base ou do disco espaçador.

5.1.2 Tomar a amostra preparada para ensaios com reuso de material de acordo com a NBR 6457.

5.1.3 Na bandeja metálica, com auxílio da proveta de vidro, adicionar água destilada, gradativamente e revolvendo continuamente o material, de forma a se obter teor de umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima presumível.

Notas: a) Para determinados solos, a uniformização da umidade, quando da incorporação da água no material será até a umidade higroscópica, pode apresentar algumas dificuldades. Neste caso, recomenda-se que a amostra a ser ensaiada, após a adição da água e o revolvimento do material, se

ja colocada em saco plástico vedado e mantida em processo de cura numa câmara úmida durante 24 horas. Antes da compactação, deve-se proceder a um revolvimento adicional da amostra.

- b) Para o ensaio realizado sem reuso do material, proceder de forma análoga, para cada uma das porções a serem ensaiadas. Quando for adotado este procedimento, o mesmo deve ser explicitado junto com os resultados.

5.1.4 Após completa homogeneização do material, proceder à sua compactação, atendo-se ao soquete, número de camadas e número de golpes por camada correspondentes 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.

Nota: Quando o corpo-de-prova estiver sendo moldado para a realização de outros ensaios (CBR, compressão simples, permeabilidade), 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 a NBR 6457. Neste caso, fica sem efeito o procedimento preconizado em 5.1.7.

5.1.5 Após a compactação da última camada, retirar o cilindro complementar de pois 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 molde que deve ser removido e rasado com auxílio de régua biselada. Feito isso, remover o molde cilíndrico de sua base e, no caso do cilindro pequeno, rasar também a outra face.

5.1.6 Pesar o conjunto, com resolução de 1g, e, por subtração do peso do molde cilíndrico, obter o peso úmido do solo compactado, Ph .

5.1.7 Com auxílio do extrator, retirar o corpo-de-prova do molde e do centro do mesmo, tomar uma amostra para determinação da umidade, h , de acordo com NBR 6457.

5.1.8 Destorroar o material, com auxílio da desempenadeira e da espátula, até que passe integralmente na peneira de 4,8 mm ou na de 19 mm, respectivamente, conforme a amostra, após preparada, tenha ou não passado integralmente na peneira de 4,8 mm.

5.1.9 Juntar o material assim obtido com o remanescente na bandeja e adicionar água destilada, revolvendo o material, de forma a incrementar o teor de umidade de aproximadamente 2%.

5.1.10 Repetir as operações descritas em 5.1.1 e de 5.1.4 em diante, até se obter cinco pontos, sendo dois no ramo seco, próximo à umidade ótima, preferencialmente no ramo seco e dois no ramo úmido da curva de compactação.

5.2 *Ensaio realizado sem reuso de material, sobre amostras preparadas com secagem prévia até a umidade higroscópica*

5.2.1 Tomar a amostra preparada para ensaios sem reuso de material, de acordo com a NBR 6457 e dividi-la em cinco porções iguais.

5.2.2 A seguir, com cada uma dessas porções proceder como descrito em 5.1.1 e de 5.1.3 a 5.1.7, ressaltando-se que a primeira porção deve estar com teor de umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima presumível, a segunda com umidade 2% superior à primeira, e assim por diante.

5.2.3 As porções ensaiadas devem ser desprezadas e dos cinco pontos obtidos ao final do ensaio, dois devem estar no ramo seco, um próximo à umidade ótima, preferencialmente no ramo seco, e dois no ramo úmido da curva de compactação.

5.3 *Ensaio realizado com reuso de material, sobre amostras preparadas a 5% abaixo da umidade ótima presumível*

5.3.1 Tomar a amostra preparada para ensaios com reuso de material de acordo com a NBR 6457.

5.3.2 A seguir, proceder como descrito em 5.1.1 e de 5.1.4 a 5.1.10.

5.4 *Ensaio realizado sem reuso de material, sobre amostras preparadas a 5% abaixo da umidade ótima presumível*

5.4.1 Tomar a amostra preparada para ensaios sem reuso de material, de acordo com a NBR 6457 e dividi-la em cinco porções iguais.

5.4.2 Com a primeira porção, proceder como descrito em 5.1.1 e de 5.1.4 a 5.1.7. Para as demais porções, proceder como descrito em 5.1.1 e de 5.1.3 a 5.1.7, ressaltando-se que a segunda porção deve estar com teor de umidade 2% superior à primeira, e assim por diante.

5.4.3 As porções ensaiadas devem ser desprezadas e dos cinco pontos obtidos no final do ensaio, dois devem estar no ramo seco, um próximo à umidade ótima, preferencialmente no ramo seco, e dois no ramo úmido da curva de compactação.

5.5 *Ensaio realizado sem reuso de material, sobre amostras preparadas a 3% acima da umidade ótima presumível*

5.5.1 Tomar a amostra preparada de acordo com a NBR 6457 e dividi-la em cinco porções iguais.

5.5.2 Com a primeira porção, proceder como descrito em 5.1.1 e de 5.1.4 a 5.1.7. Para as demais porções, proceder da mesma forma, ressaltando-se que a segunda

porção deve estar com umidade 2% inferior à primeira, e assim por diante. As condições de umidade preconizadas devem ser obtidas por secagem das porções ao ar.

5.5.3 As porções ensaiadas devem ser desprezadas e dos cinco pontos obtidos ao final do ensaio, dois devem estar no ramo seco, um próximo à umidade ótima, preferencialmente no ramo seco, e dois no ramo úmido da curva de compactação.

6 CÁLCULOS

6.1 Determinar a massa específica aparente seca, utilizando-se a expressão:

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

Onde.

γ_s = massa específica aparente seca, em g/cm³;

P_h = peso úmido do solo compactado, em g;

V = volume útil do molde cilíndrico, em cm³; e

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

6.2 Recomenda-se determinar a curva de saturação (relação entre a massa específica aparente seca e o teor de umidade, para grau de saturação do solo igual a 100%), utilizando-se a expressão:

$$\gamma_s = \frac{S}{\frac{h}{\delta_a} + \frac{S}{\delta}}$$

Onde:

γ_s = massa específica aparente seca, em g/cm³;

S = grau de saturação, igual a 100%;

h = teor de umidade, arbitrado na faixa de interesse, em %;

δ = massa específica dos grãos do solo, determinada de acordo com a NBR 6508 ou NBR 6458, em g/cm³; e

δ_a = massa específica da água, em g/cm³ (considerar igual a 1,00 g/cm³).

7 RESULTADOS

7.1 Curva de compactação

Utilizando-se coordenadas cartesianas normais, traçar a curva de compactação, marcando-se em abscissas os teores de umidade, h , e em ordenadas as massas específicas aparentes secas correspondentes, γ_s . A curva resultante deve ter um formato aproximadamente parabólico.



GRÃOS DE SOLOS QUE PASSAM NA PENEIRA DE
4,8 mm - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

BIBLIOTECA

02.453

NBR 6508

OUT/1984

Método de ensaio

SUMÁRIO

- 1 Objetivo
- 2 Normas complementares
- 3 Aparelhagem
- 4 Execução do ensaio
- 5 Resultados

ANEXO - Tabela**1 OBJETIVO**

Esta Norma prescreve o método de determinação da massa específica dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm (de acordo com a NBR 5734), por meio de picnômetro, através da realização de pelo menos dois ensaios.

2 NORMAS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 5734 - Peneiras para ensaio - Especificação

NBR 6457 - Preparação de amostras de solo para ensaio de compactação e ensaios de caracterização - Método de ensaio

3 APARELHAGEM

A aparelhagem ou dispositivo com o qual se executa o ensaio é a que se segue:

- a) estufa capaz de manter a temperatura entre 60 e 65°C e entre 100 e 110°C;
- b) aparelho de dispersão (Figura 1), com hélices metálicas (Figura 2) e copo munido de chicanas metálicas (Figura 3);
- c) picnômetro de 500 ou 1000 cm³, calibrado a 20°C, com a respectiva curva de calibração (variação da massa do picnômetro cheio de água, até a marca da referência, em função da temperatura);
- d) bomba de vácuo com registros, vacuômetro e conexões, capaz de aplicar um vácuo de 88 kPa (66 cm de Hg a 0°C), para remoção do ar aderente às partículas do solo;
- e) termômetro graduado em 0,1°C, de 0 a 50°C;

Origem: Projeto NBR 6508/84

CB-2 - Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-2:04.02 - Comissão de Estudo de Identificação e Compactação de Solos

Esta Norma substitui a NBR 6508/80

SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS

©

Palavras-chave: solo, peneira.

NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

CDU: 624.131.3

Todos os direitos reservados

8 páginas

- f) balança que permita pesar nominalmente até 1,5 kg, com resolução de 0,01 g e sensibilidade compatível;
- g) funil de vidro;
- h) conta-gotas.

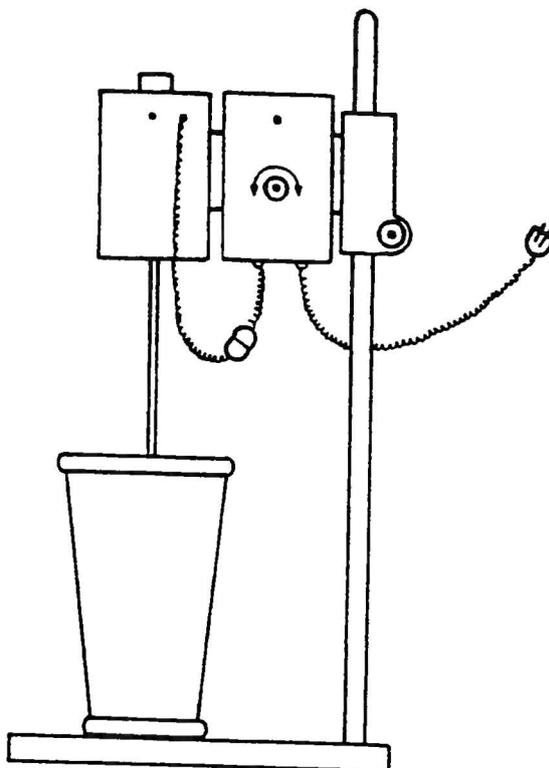


FIGURA 1 – Aparelho de dispersão

Registro n. n112



Biblioteca/Minerpar

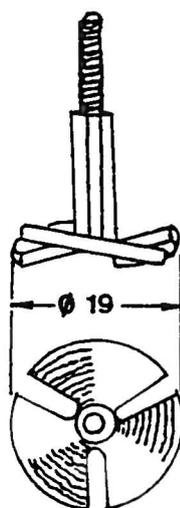


FIGURA 2 – Detalhe de hélice

MINEROPAR
BIBLIOTECA

Reg. 112 Data 09.03.94

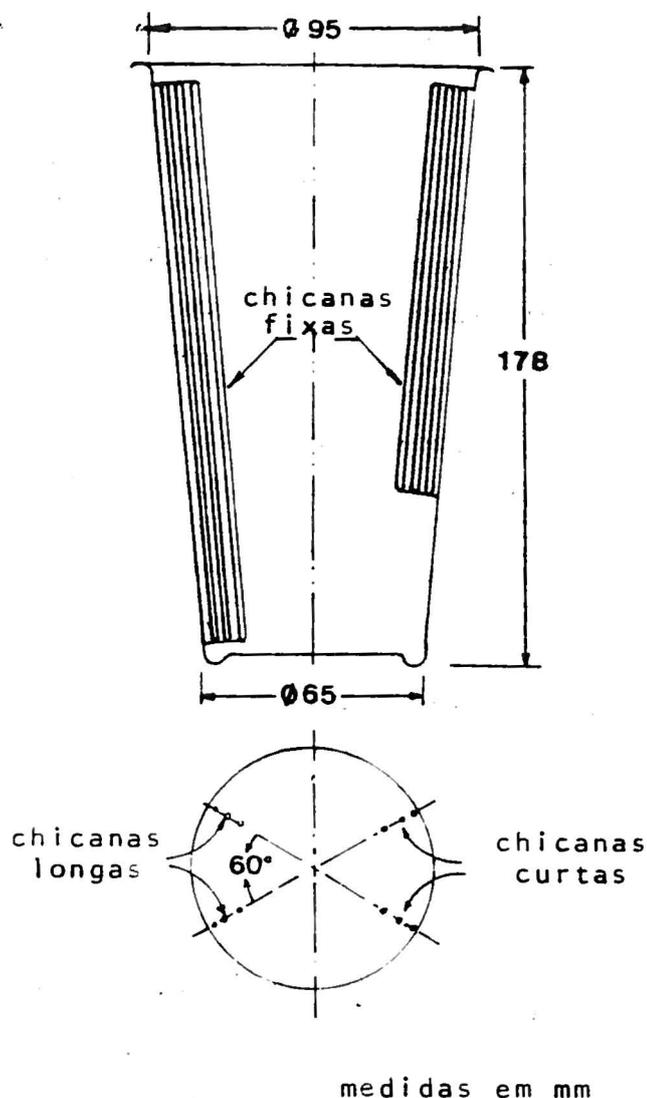


FIGURA 3 – Copo de dispersão

Nota: Na calibração do picnômetro, observar que:

- seja utilizada água destilada e se aplique vácuo de, no mínimo, 88 kPa (66 cm de Hg a 0°C) ao conjunto picnômetro + água destilada, durante dois intervalos de tempo de 15 min cada, sendo que no primeiro intervalo a água destilada deve ocupar cerca de metade do picnômetro e no segundo o nível deve estar cerca de 1 cm abaixo da base do gargalo, antes do início da calibração;
- as massas sejam determinadas com resolução de 0,01 g e as temperaturas com resolução de 0,1°C;
- as curvas de calibração permitam a obtenção de valores com resolução de 0,01 g.

4 EXECUÇÃO DO ENSAIO

4.1 Na preparação da amostra para o ensaio, tomar cerca de 250 g da amostra pre

parada de acordo com o disposto na NBR 6457. A quantidade restante é utilizada para o segundo ensaio.

4.2 Homogeneizar a amostra e pesar, com resolução de 0,01 g, quantidade tal que a massa seca esteja em torno de 50 g para solos argilosos e siltosos, e de 60 g para solos arenosos, quando for empregado picnômetro de 500 cm³, e anotar a massa como M_1 . Quando o ensaio for realizado com picnômetro de 1000 cm³, as quantidades de material a serem tomadas são aproximadamente o dobro.

4.3 Colocar a amostra a ser ensaiada em cápsula com água destilada em quantidade suficiente para completa imersão do material, durante 12 h, no mínimo.

4.4 Com o restante do material efetuar a determinação da umidade, de acordo com a NBR 6457.

4.5 Transferir a amostra para o copo de dispersão, lavando-se a cápsula com água destilada para completa remoção do material, tomando-se a precaução de evitar perda do mesmo.

4.6 Acrescentar água destilada até cerca de metade do volume do copo e dispersar durante 15 min.

4.7 Transferir a amostra para o picnômetro, com auxílio do funil de vidro, lavando-se o copo de dispersão e o funil com água destilada para completa remoção do material, tomando-se a precaução de evitar perda do mesmo.

4.8 Adicionar água destilada até cerca de metade do volume do picnômetro. A seguir, aplicar vácuo de, no mínimo, 88 kPa (66 cm de Hg a 0°C), durante 15 min, agitando o picnômetro em intervalos regulares de tempo.

4.9 Acrescentear água destilada até cerca de 1 cm abaixo da base do gargalo e aplicar a pressão de vácuo já referida, durante o mesmo intervalo de tempo. No caso de não se obter a remoção total do ar aderente às partículas de determinados tipos de solo, deve-se colocar o picnômetro em banho-maria durante 30 min, no mínimo, adicionando-se água destilada para compensar a evaporação.

4.10 Adicionar água destilada até cerca de 1 cm abaixo da marca de calibração do picnômetro.

4.11 Deixar, em seguida, o picnômetro em repouso até que a temperatura do mesmo se equilibre com a do ambiente.

4.12 Com o auxílio de um conta-gotas, adicionar água destilada no picnômetro até que a base do menisco coincida com a marca de referência.

- 4.13 Enxugar a parte externa do picnômetro e a parte interna do gargalo acima do menisco.
- 4.14 Pesar o conjunto picnômetro + solo + água, com resolução de 0,01 g, e anotar como M_2 .
- 4.15 Determinar, logo a seguir, com resolução de 0,1°C, a temperatura T do conteúdo do picnômetro. Com esse valor, obter na curva de calibração correspondente, com resolução de 0,01 g, a massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, e anotar como M_3 .
- 4.16 Calcular a massa específica dos grãos do solo utilizando-se a fórmula:

$$\delta = \frac{M_1 \times 100 / (100 + h)}{\left[M_1 \times 100 / (100 + h) \right] + M_3 - M_2} \times \delta_T$$

Onde:

- δ = massa específica dos grãos do solo, em g/cm³
- M_1 = massa do solo úmido
- M_2 = massa do picnômetro + solo + água, na temperatura T de ensaio
- M_3 = massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio
- h = umidade inicial da amostra
- δ_T = massa específica da água, na temperatura T de ensaio, dada na tabela em Anexo

5 RESULTADOS

- 5.1 Considerar os ensaios satisfatórios quando os seus resultados não diferirem de mais que 0,02 g/cm³.
- 5.2 O resultado final, média obtida de pelo menos dois ensaios considerados satisfatórios conforme 5.1, deve ser expresso com três algarismos significativos em g/cm³.
- 5.3 Deve ser indicado o processo de preparação da amostra (com secagem prévia ao ar ou sem secagem prévia).

6	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
7	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
8	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
9	99	99	99	99	99	98	98	98	98	98	98
10	98	98	98	98	98	98	98	98	97	97	97
11	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9996	0,9996
12	96	96	96	96	96	96	96	96	95	95	95
13	95	95	95	95	95	95	95	95	94	94	94
14	94	94	94	94	94	93	93	93	93	93	93
15	93	93	92	92	92	92	92	92	92	92	91
16	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990	0,9990
17	90	90	89	89	89	89	89	89	89	88	88
18	88	88	88	87	87	87	87	87	87	87	86
19	86	86	86	86	85	85	85	85	85	85	85
20	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83	83
21	0,9982	0,9982	0,9982	0,9982	0,9981	0,9981	0,9981	0,9981	0,9981	0,9981	0,9980
22	80	80	80	80	79	79	79	79	79	78	78
23	78	78	78	77	77	77	77	77	76	76	76
24	76	75	75	75	75	74	74	74	74	74	74
25	73	73	73	73	72	72	72	72	72	71	71
26	0,9971	0,9970	0,9970	0,9970	0,9970	0,9969	0,9969	0,9969	0,9969	0,9969	0,9968
27	68	68	68	67	67	67	67	66	66	66	66
28	65	65	65	65	64	64	64	64	63	63	63
29	63	62	62	62	61	61	61	61	61	60	60
30	60	59	59	59	59	58	58	58	58	57	57

/continua

resolução

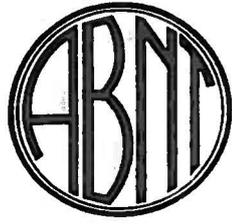
continuação

TABELA – Massa específica da água, em g/cm³, entre 0°C - 40°C

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
30	0,9957	0,9956	0,9956	0,9956	0,9956	0,9955	0,9955	0,9955	0,9954	0,9954
31	54	53	53	53	52	52	52	51	51	51
32	51	50	50	50	49	49	49	48	48	48
33	47	47	47	46	46	46	45	45	45	44
34	44	44	43	43	43	42	42	42	41	41
35	0,9941	0,9940	0,9940	0,9940	0,9939	0,9939	0,9939	0,9938	0,9938	0,9937
36	37	37	36	36	36	35	35	35	34	34
37	34	33	33	32	32	32	31	31	31	30
38	30	30	29	29	28	28	28	27	27	27
39	26	26	25	25	25	24	24	24	23	23
40	22									

Registro N. n112
Biblioteca/Interopar

IMPRESSA NA ABNT – RIO DE JANEIRO



ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Telex: (021) 34333 ABNT - BR
Endereço Telegráfico:
NORMATECNICA

Copyright © 1995.
ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas
Printed in Brazil
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

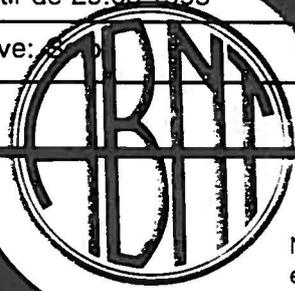
ABR 1995 NBR 13292

Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares sob carga constante

Método de ensaio

Origem: Projeto 02:004.02-017/10
CB-02 - Comitê Brasileiro de Cimentação e Compactação de Solos
CE-02:004.02 - Comissão de Estudos de Cimentação e Compactação de Solos
NBR 13292 - Soil - Determination of permeability of granular soil by constant-head - Método de ensaio
Descriptors: Soil. Permeability
Válida a partir de 29.05.1995

Palavra-chave: Permeabilidade de solos granulares | 8 páginas



1 Objetivo

1.1 Esta Norma prescreve o método de determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares com a água percolando através de um corpo-de-prova de escoamento laminar. A aplicação é restrita a solos granulares, contendo menos de 5% em massa de material que passa na peneira de 75 µm.

1.2 A realização do ensaio de escoamento laminar, pressupõe as seguintes condições:

- a) contendo um gradiente hidráulico constante, sem variações de volume de água durante o ensaio;
- b) com um corpo-de-prova:

1.3 O ensaio deve ser realizado em regime permanente, sem variação do gradiente hidráulico durante a sua realização.

1.4 Deve haver uma relação de proporcionalidade direta entre as velocidades de fluxo e os gradientes hidráulicos.

2 Referências complementares

Para a interpretação desta Norma é necessário consultar:

- NBR 5734 - Peneiras para ensaio com tela de tecido metálico - Especificação

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

NBR 6458 - Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água - Método de ensaio

NBR 6508 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica - Método de ensaio

NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica - Método de ensaio

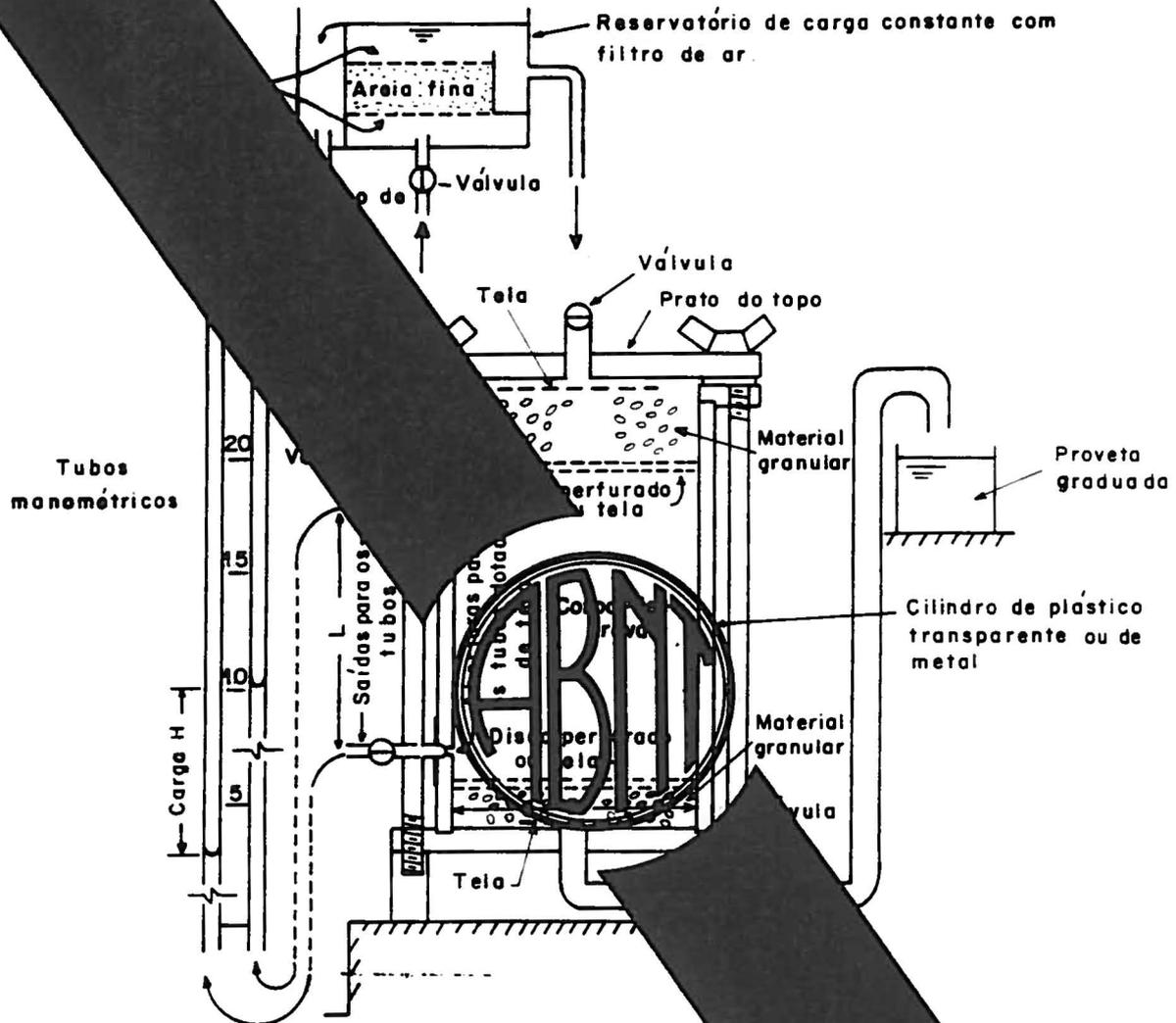
NBR 12051 - Solo - Determinação do índice de vazios mínimos de solos não-coesivos - Método de ensaio

3 Aparelhagem

A aparelhagem necessária à execução do ensaio é descrita em 3.1 a 3.10.

3.1 Permeâmetro

3.1.1 O permeâmetro do tipo 1 ou 2 a ser utilizado, ilustrado respectivamente nas Figuras 1 e 2, deve ter diâmetro interno no mínimo de 8 a 12 vezes a dimensão máxima dos grãos maiores, conforme indicado na Tabela 1. A sua altura útil deve ser de 1,5 a 2 vezes o diâmetro interno.



Registro n. n118
 Biblioteca/Mineropor

Figura 1 - Permeômetro do tipo 1 - Esquema de montagem do

Tabela 1 - Diâmetro interno do permeômetro

Dimensões dos maiores grãos presentes na amostra (mm)	Diâmetro interno mínimo do permeômetro (mm)			
	Menos que 35% retidos na peneira de		Mais que 35% retidos na peneira de	
	2 mm	9,5 mm	2 mm	9,5 mm
Inferior a 9,5	80	-	120	-
Entre 9,5 e 19	-	150	-	230

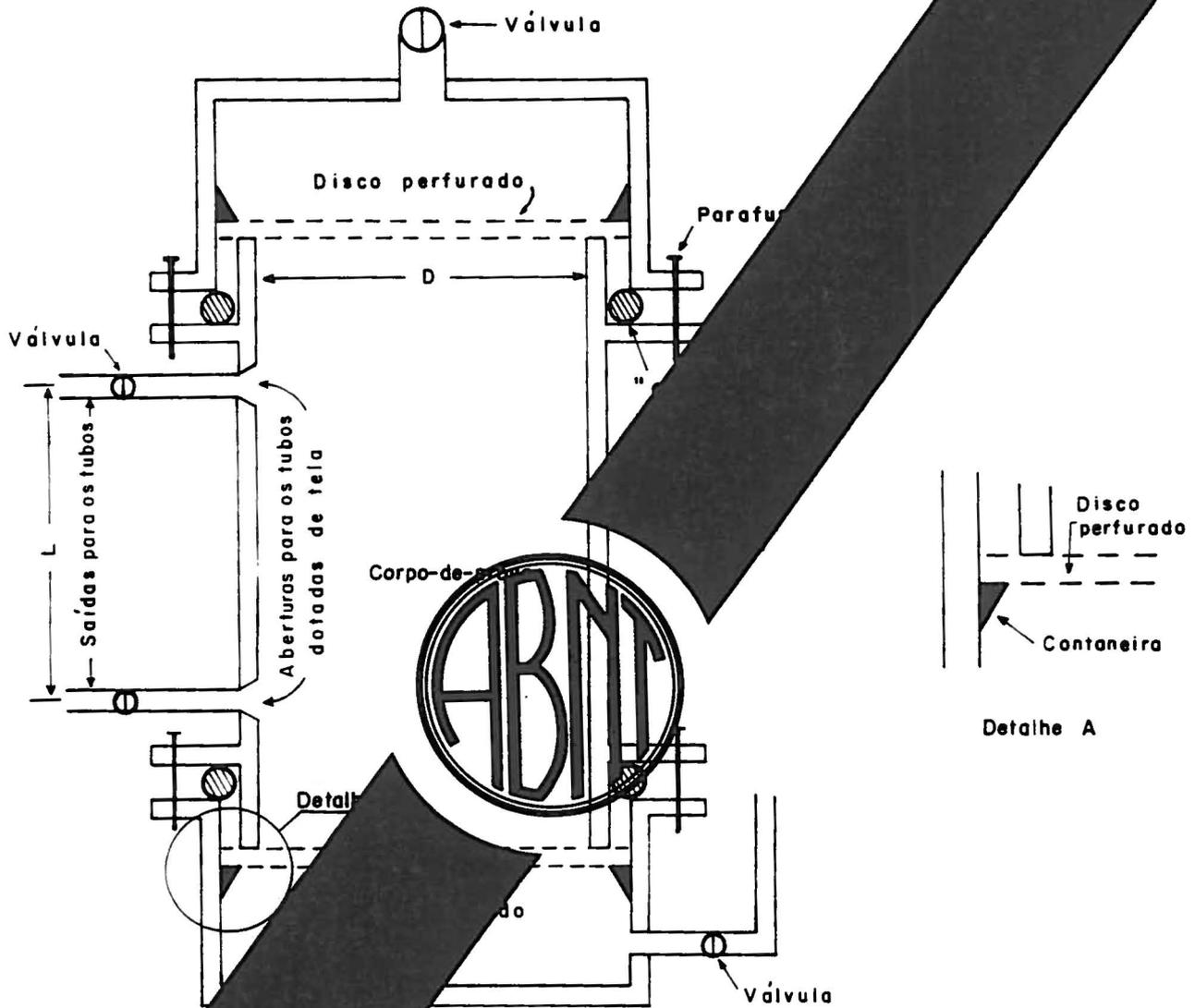


Figura 2 - Permeâmetro do tipo 2

3.1 O permeâmetro deve ser dotado de:

a) disco perfurado ou tela adequadamente reforçada (no permeâmetro do tipo 2, utiliza-se apenas disco perfurado), instalado sobre o topo do corpo-de-prova e com permeabilidade superior a do corpo-de-prova, com abertura de malha suficientemente pequena para evitar a passagem de partículas. A colocação de gaze ou geotêxtil, de pequena espessura, entre o corpo-de-prova e o disco (ou tela) pode auxiliar na redução deste efeito. No permeâmetro do tipo 1, entre a face inferior do permeâmetro e o disco perfurado (ou tela) deve ser colocada uma camada compactada de material granular, de granulometria uniforme, com altura entre 1 cm e 3 cm, conforme a granulometria do material que estiver sendo en-

saiado, e permeabilidade superior a do corpo-de-prova;

b) saídas para os manômetros, visando a determinação da perda de carga H , ao longo do comprimento L , o qual deve ser igual ou superior ao diâmetro interno do permeâmetro. As aberturas para os tubos manométricos devem ser dotadas de telas ou de pedras porosas moldadas com areia e cola à base de resina epóxi, misturadas em proporções adequadas;

c) disco perfurado ou tela adequadamente reforçada (no permeâmetro do tipo 2, utiliza-se apenas disco perfurado), instalado sobre o topo do corpo-de-prova e com as mesmas características do

do na base. No permeâmetro do tipo 1, entre o disco perfurado (ou tela) e a face superior do corpo-de-prova deve ser colocada uma camada de material angular, com características semelhantes ao material a ser ensaiado na face inferior, com altura tal, que permita a passagem de água pelo prato superior do permeâmetro, sem compactar o material subjacente.

3.2 Reservatório

O reservatório deve ser de carga constante, mostrado na Figura 3, e deve conter um filtro, constituído por uma camada de material angular, com características semelhantes ao material a ser ensaiado, para retenção de parte do ar contido na água do sistema.

Nota: Quando disposto para utilização de água deaerada.

3.3 Funil

Para verter o material no permeâmetro deve ser utilizado um funil grande, dotado de um orifício no topo superior à altura total do permeâmetro. O orifício deve ser de 13 mm ou 25 mm, dependendo da dimensão dos grãos maiores seja o material a ser ensaiado.

3.4 Equipamento para compactação

Se necessário, pode ser utilizado um equipamento para compactação do corpo-de-prova. Sugere-se a utilização de:

- sapata metálica rígida de 5 cm de diâmetro, conectada a um sistema vibratório;
- sapata metálica rígida de 5 cm de diâmetro, fixada na extremidade de uma haste-guia. A compactação é provocada por um peso, com massa variando entre 0,1 kg para areias e 1 kg para solos com elevado teor de pedregulhos, que desliza ao longo da haste-guia, a qual deve permitir a ajustagem da altura de queda entre 10 cm para areias e 20 cm para solos com elevado teor de pedregulhos.

3.5 Bomba de vácuo

Para remoção de ar e saturação do corpo-de-prova, deve ser utilizada uma bomba de vácuo (ver Figura 3), capaz de aplicar um vácuo de no mínimo 67 kPa (50 cm Hg). Entre o permeâmetro e a bomba, deve ser instalado um dispositivo ou reservatório adequado, para evitar a entrada de água na bomba.

3.6 Tubos manométricos

Os tubos manométricos devem ser dotados de escala graduada em milímetros, para medição das cargas hidráulicas.

3.7 Balanças

Balanças que permitem pesar nominalmente 2 kg, 10 kg e 40 kg, com resoluções de 1 g, 2 g e 5 g, respectivamente, e sensibilidades compatíveis.

3.8 Barra de calibração

A barra de calibração deve ser metálica, rígida, com dimensões uniformes e de comprimento superior ao diâmetro do permeâmetro.

3.9 Peneiras

As peneiras devem ser de 19,0 mm, 9,5 mm, 2 mm e 0,075 mm, de acordo com a NBR 5734.

3.10 Equipamentos diversos

Outros equipamentos necessários são constituídos por reservatório de água (ver Figura 3), concha metálica com capacidade de cerca de 100 g de solo, termômetro, cronômetro com indicação de segundos, proveta de vidro com capacidade de 250 cm³ e resolução de 2 cm³, repartidor de amostras, bandejas metálicas, paquímetro, etc.

4 Execução do ensaio

4.1 Preparação da amostra

4.1.1 Utilizando-se o repartidor de amostra, ou por quarteramento, obter uma quantidade suficiente de material, de modo a satisfazer ao prescrito em 4.1.2 a 4.1.4. A amostra deve ser previamente seca ao ar e conter menos que 10% de material passante na peneira de 0,075 mm.

4.1.2 Antecedendo o ensaio de permeabilidade, proceder à análise granulométrica do material, de acordo com a NBR 1181. Determinar, ainda, a massa específica dos grãos de solo, de acordo com a NBR 6508 ou NBR 6458.

4.1.3 Por peneiramento, separar os grãos retidos na peneira de 19,0 mm, os quais não devem ser utilizados no ensaio de permeabilidade.

4.1.4 Do material passante na peneira de 19,0 mm, selecionar, pelo repartidor de amostra ou por quarteramento, uma quantidade aproximadamente igual a necessária para preencher o permeâmetro e a bandeja.

4.2 Preparação do corpo-de-prova

4.2.1 Selecionar o material de acordo com o prescrito em 3.1.

4.2.2 Com o uso da barra de calibração, medir e registrar o diâmetro interno D em quatro posições igualmente espaçadas entre os centros das aberturas para o fluxo de água, com exatidão de 0,1 cm. Calcular a área média S da seção interna S do permeâmetro, utilizando as medidas de D .

4.2.2.1 No permeâmetro do tipo 1, a barra de calibração apoiada nas bordas do disco perfurado do permeâmetro, medir e anotar, com a barra de calibração apoiada nas bordas do disco perfurado, a profundidade compreendida entre a barra de calibração e o topo do disco perfurado, temporariamente colocada sobre o disco perfurado. No caso de utilização de gaze ou geotêxtil, estes devem ser inseridos. Subjacente ao disco perfurado deve ser colocada a camada de material granular prescrito em 3.1.2-a). Efetuar as medições em posições simetricamente espaçadas, mudando a posição da barra de calibração. Anotar a média das medidas, com exatidão de 0,1 cm.

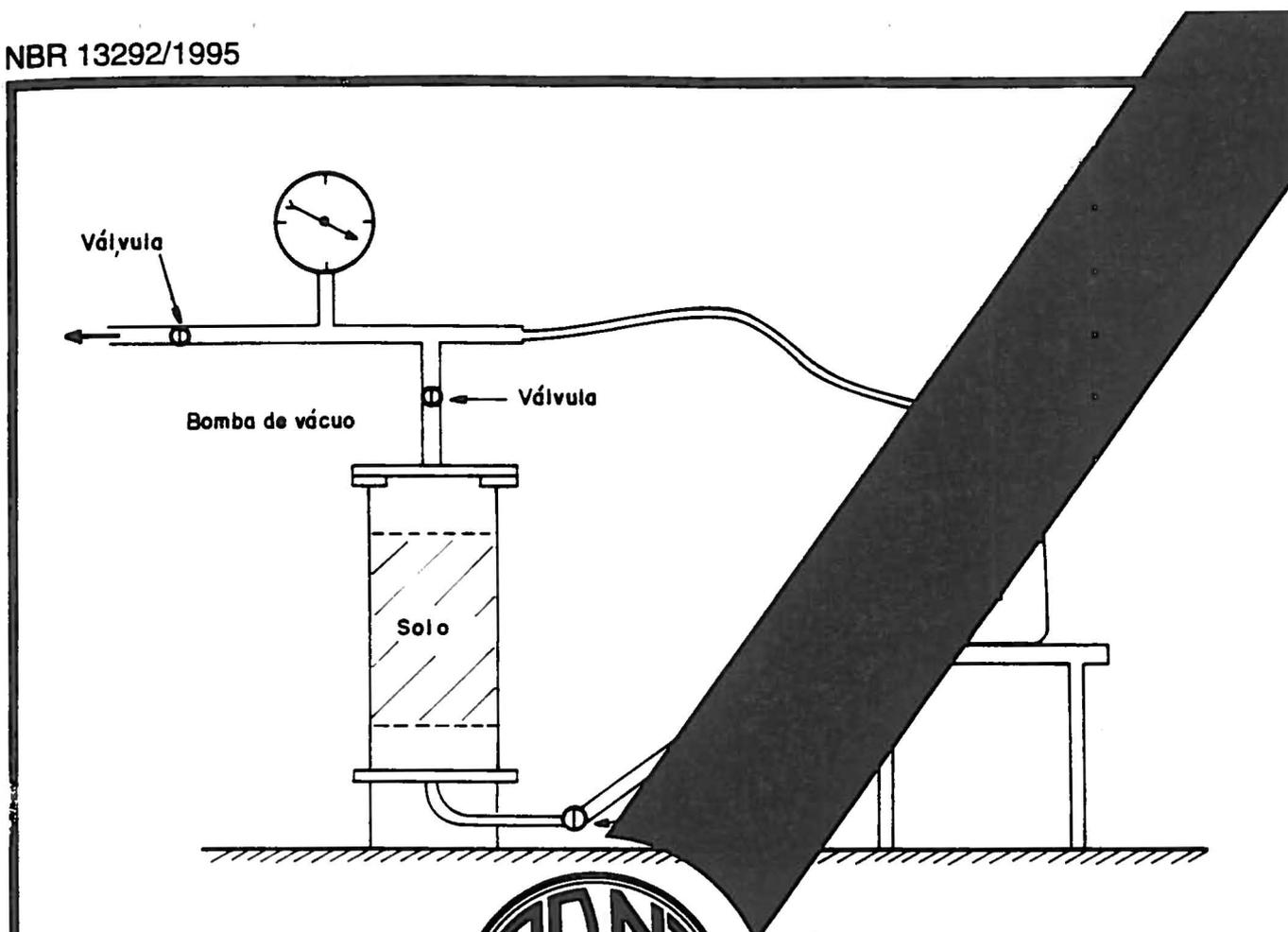


Figura 3 - Esquema de montagem para saturação do corpo-de-prova

4.2.2.2 No permeâmetro do tipo 2, a altura do corpo-de-prova A corresponde aproximadamente à altura do cilindro central do permeâmetro. Efetuar quatro medições, determinar a média e calcular a altura do corpo-de-prova levando-se em consideração a espessura total da placa ou geotêxtil, superior e inferior. A precisão deve ser de exatidão de 0,1 cm.

4.2.3 Tomar uma pequena amostra separada como prescrito em 4.1.4. Determinar o teor de umidade h , de acordo com o método prescrito em 3.7, se for utilizado o tipo 1.

4.2.4 Colocar o material de acordo com um dos procedimentos descritos em 4.2.4.1 e 4.2.4.2, em camadas uniformes, de modo que, após a compactação, a espessura resultante seja de 2 cm.

4.2.4.1 Para solos com diâmetro máximo dos grãos igual ou inferior a 9,5 mm, a colocação deve ser efetuada com o uso de uma concha mantida pouco acima do disco ou tela inferior, ou da camada anteriormente formada, de forma que a deposição não seja efetuada por queda. Misturar e homogeneizar o solo remanescente na bandeja, antes da formação de cada camada, de modo a minimizar a segregação.

4.2.4.2 Para solos com diâmetro máximo superior a 9,5 mm, a colocação deve ser efetuada com uma concha mantida pouco acima do disco ou tela inferior, ou da camada anteriormente formada, de forma que a deposição não seja efetuada por queda. Misturar e homogeneizar o solo remanescente na bandeja, antes da formação de cada camada, de modo a minimizar a segregação.

4.2.5 Compactar cada camada de solo, de forma a obter a compactação relativa desejada, através de um procedimento adequado, como descrito em 4.2.5.1 a 4.2.5.3. No caso do permeâmetro do tipo 1, o topo do corpo-de-prova, assim formado, deve situar-se cerca de 2 cm acima da abertura para o tubo manométrico superior. No caso do permeâmetro do tipo 2, a colocação de material deve ultrapassar o topo do cilindro central do permeâmetro, após isto, o excesso deve ser rasado com o uso de régua metálica biselada.

4.2.5.1 Compactação relativa próxima de zero

Prosseguir com a colocação de material em camadas sucessivas, por um dos processos descritos em 4.2.4.1 e 4.2.4.2, até atingir a altura recomendada.

4.2.5.2 Compactação relativa próxima de 100%

4.2.5.2.1 Compactação com sapata vibratória

Compactar cada camada de solo com o uso de sapata vibratória, cobrindo uniformemente toda a superfície da camada, segundo um traçado regular. A pressão de contato e o tempo de atuação da vibração, em cada ponto, devem ser tais, que não haja fuga do material subjacente às bordas da sapata, o que tenderia a afogar o solo. O número de passadas deve ser suficiente para se atingir compactação relativa próxima de 100%, o que se evidencia pelo movimento, quase não perceptível, da superfície do material adjacente às bordas da sapata.

compactação por peso desilzante

A compactação da camada através de golpes uniformes sobre a sua superfície, usando um martelo, deve ser feita a altura de queda e aplicar o peso necessário para obter a compactação desejada, de modo a se obter compactação de 100%.

4.2.5.2 Compactação por outros processos

A compactação do corpo-de-prova pode ser efetuada por outros processos, por exemplo, um equipamento vibratório, conforme indicado na NBR 12051. Cuidados devem ser tomados para que se obtenha um corpo-de-prova com a mesma distribuição de partículas.

4.2.5.3 Compacidade de 100%

Por tentativa, em recipiente permeômetro que o operador deseja obterem valores repetitivos da compactação desejada. Proceder a compactação do corpo-de-prova. Pode-se prescindir deste processo de compactação e efetuar a compactação diretamente no corpo-de-prova, desde que o operador tenha experiência.

Nota: Para abranger as várias situações relativas, que podem ocorrer nos depósitos em aterros compactados, sugere-se a realização de uma série de ensaios, impondo-se distintos valores de compactação relativa.

4.2.6 Preparação do corpo-de-prova para o ensaio de permeabilidade

4.2.6.1 Preparação no permeômetro do tipo 1

4.2.6.1.1 Nivelar o topo do corpo-de-prova, imprimindo um leve movimento de rotação ao disco perfurado ou tela superior (e sob este a gaze ou geotêxtil, se for o caso) colocado em sua posição.

4.2.6.1.2 Com a barra de calibração apoiada nas bordas da parte superior do permeômetro, medir e anotar, com auxílio do paquímetro, a profundidade compreendida entre a parte superior da barra de calibração e o topo do disco perfurado ou tela superior. Efetuar as medições em quatro posições simetricamente espaçadas, mudando a posição da barra, e anotar a média das medidas, como A_2 , com exatidão de 0,1 cm. A altura do corpo-de-prova é dada por $(A_1 - A_2)$ e a sua massa, na condição seca ao ar, por $(M_1 - M_2)$, onde M_2 é a massa do material remanescente na bandeja, após a formação do corpo-de-prova.

4.2.6.1.3 Proceder a colocação de material granular, como prescrito em 3.1.2-c), e do prato superior do permeômetro.

4.2.6.1.4 Efetuar as ligações como mostra a Figura 3. Com a válvula da base fechada e a válvula do topo aberta, utilizando a bomba de vácuo, aplicar um vácuo gradualmente crescente, até atingir 67 kPa (50 cm Hg), o qual deve ser mantido durante 10 min, para remover o ar dos vazios. Este vácuo é aplicado também no reservatório, sendo que a água nele contida deve ser destilada previamente deaerada, empregando-se equipamentos para este fim ou mesmo a bomba de vácuo, com vácuo superior a 80 kPa (60 cm Hg).

Nota: A saturação do corpo-de-prova pode ser mantida mais adequadamente, durante a execução do ensaio, pelo uso de água deaerada. No ensaio, deve ser utilizada água com baixo teor de minerais ou mesmo água natural, ou

seja, aquela que ocorre ou virá a ocorrer no material *in situ*. Isto, se possível, pois o uso de água natural, normalmente, pode ser um refinamento não factível assim como o uso de água deaerada. De qualquer forma, a água utilizada deve ser isenta de sólidos em suspensão.

4.2.6.1.5 Com o vácuo aplicado, abrir a válvula da base e proceder a saturação do corpo-de-prova, elevando-se gradualmente o reservatório de água. Esta elevação deve ser feita de modo que o máximo gradiente hidráulico atuante no corpo-de-prova seja da ordem de um. A entrada de água no corpo-de-prova se realizará somente pela ação da gravidade, de baixo para cima e sob condições de vácuo, de modo a remover o ar remanescente nele.

4.2.6.1.6 Após a saturação do corpo-de-prova e o preenchimento do permeômetro com água, reduzir gradualmente o vácuo aplicado no corpo-de-prova e no reservatório de água, até que ele se anule.

4.2.6.1.7 Fechar a válvula da base do permeômetro e desconectar as ligações com o reservatório de água e com a bomba de vácuo. Cuidados devem ser tomados para assegurar que o permeômetro e o sistema de manômetros estejam livres de ar e trabalhando satisfatoriamente. Para tanto, preencher com água o tubo de ligação do reservatório de carga constante com o topo do permeômetro e estabelecer a conexão deste tubo com a válvula do topo do permeômetro, que deve estar saturada. A seguir, abrir lentamente as válvulas dos manômetros, para permitir a passagem de água livre de ar. Conectar, os tubos manométricos às válvulas correspondentes, de forma a preenchê-los com água. Aguardar que os níveis de água nos tubos manométricos atinjam uma condição estável e, se igualarem, o que deve ocorrer aproximadamente na cota da água no reservatório de carga constante.

4.2.6.2 Preparação no permeômetro do tipo 2

4.2.6.2.1 Com o excesso de material, como prescrito em 3.1.2-c), determinar a massa de massa, entre a situação antes e depois do material no permeômetro, determinando a massa do corpo-de-prova M com a resolução de 0,01 g.

4.2.6.2.2 Proceder a colocação do disco perfurado superior e da parte superior do permeômetro.

4.2.6.2.3 A seguir, proceder como prescrito em 4.2.6.1.4 a 4.2.6.1.7.

4.3 Ensaio

4.3.1 Com todas as válvulas fechadas (Figura 1), aguardar que as cargas se estabilizem. Registrar as variações apreciáveis nos níveis dos tubos manométricos. Medir e registrar a carga H (a diferença dos níveis dos tubos manométricos), a temperatura T do topo e o volume percolado neste tempo t , de 0,1 cm, 0,1°C, 1 s e 2 cm³, respectivamente.

4.3.2 Aumentando-se a carga de 0,5 cm em 1 cm, o procedimento descrito em 4.3.1, de modo a adequadamente a região do fluxo laminar, na qual a velocidade ($v=Q/St$) é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico ($i = H/L$). Quando houver indicações de que a relação entre a velocidade e o gradiente deixou de ser linear, e o regime não é mais laminar, os incrementos de carga podem ser realizados de 1 cm em 1 cm, de forma a

definir a região onde o fluxo se processa em regime turbulento, caso seja relevante para as condições a ocorrerem no campo.

Nota: Para assegurar a ocorrência de fluxo, em regime laminar, requer-se a imposição de gradientes hidráulicos muito baixos. Sugerem-se os seguintes valores de gradiente inicial: 0,2 a 0,3, para materiais fofos, e 0,3 a 0,5, para materiais compactos, sendo o menor valor para materiais grãos e o maior para os finos.

4.3.3 Finalizado o ensaio, drenar o corpo-de-prova e verificar, visualmente, se ele apresenta-se homogêneo e isotrópico em suas características. Horizontes alternando

tonalidades claras e escuras constituem de segregação de finos. É recomendada uma verificação da sua altura final.

5 Resultados

5.1 Cálculos

5.1.1 Calcular a velocidade $v_{20°C}$. Referir esta velocidade à temperatura T usando-a pela relação de viscosidade (Tabela 2) $V_T/V_{20°C}$, onde T é a temperatura do ensaio. Desta forma, obtém-se $v_{20°C}$.

Tabela 2 - Relação de viscosidades da água

Temperatura (°C)	$V_T/V_{20°C}$									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
8	1,374	1,370	1,366	1,362	1,358	1,354	1,350	1,348	1,344	1,340
9	1,336	1,332	1,328	1,325	1,321	1,317	1,314	1,310	1,306	1,302
10	1,298	1,294	1,292	1,288	1,284	1,280	1,277	1,273	1,269	1,266
11	1,262	1,259	1,256	1,252	1,249	1,245	1,241	1,238	1,234	1,231
12	1,227	1,224	1,221	1,218	1,214	1,211	1,208	1,205	1,202	1,198
13	1,195	1,192	1,189	1,186	1,183	1,180	1,177	1,174	1,170	1,167
14	1,165	1,162	1,159	1,156	1,153	1,150	1,147	1,144	1,141	1,138
15	1,135	1,132	1,129	1,126	1,123	1,121	1,118	1,115	1,112	1,109
16	1,106	1,103	1,100	1,098	1,095	1,092	1,089	1,086	1,084	1,081
17	1,078	1,075	1,072	1,070	1,067	1,064	1,062	1,059	1,056	1,054
18	1,051	1,048	1,045	1,043	1,041	1,038	1,035	1,033	1,030	1,028
19	1,025	1,022	1,019	1,018	1,015	1,013	1,010	1,008	1,005	1,003
20	1,000	0,997	0,995	0,993	0,991	0,989	0,986	0,984	0,982	0,979
21	0,975	0,972	0,971	0,968	0,966	0,964	0,961	0,959	0,957	0,954
22	0,950	0,947	0,948	0,945	0,943	0,941	0,939	0,937	0,934	0,932
23	0,925	0,922	0,928	0,926	0,923	0,921	0,919	0,917	0,915	0,910
24	0,900	0,897	0,906	0,904	0,902	0,900	0,898	0,895	0,893	0,889
25	0,875	0,872	0,885	0,883	0,881	0,879	0,877	0,875	0,873	0,869
26	0,850	0,847	0,867	0,865	0,863	0,861	0,859	0,857	0,855	0,849
27	0,825	0,822	0,847	0,845	0,843	0,841	0,839	0,838	0,836	0,830
28	0,800	0,797	0,828	0,826	0,825	0,823	0,821	0,820	0,818	0,813
29	0,775	0,772	0,809	0,807	0,806	0,804	0,802	0,800	0,798	0,795
30	0,750	0,747	0,793	0,791	0,789	0,788	0,786	0,784	0,782	0,777
31	0,725	0,722	0,776	0,775	0,773	0,772	0,770	0,768	0,767	0,762

...otos sanitários, submetidos à aprovação da autoridade competente, deve constar o projeto de instalação e disposição dos efluentes, devidamente

B-7 ... à autoridade competente só expedir o ... quando o projeto mencionado em B-7 atende a esta Norma.

B-8 Inspeção

B-8.1 As valas de infiltração e os sumidouros devem ser inspecionados regularmente.

B-8.2 Observada a redução da capacidade de absorção das valas de infiltração, as novas unidades devem ser construídas para repor a capacidade perdida.

B-9 Determinação da capacidade de absorção do solo

B-9.1 Descrição do ensaio de infiltração

B-9.1.1 Em três pontos do terreno a ser avaliada a posição do efluente da fossa séptica, devem ser feitas escavações com dimensões suficientes para a realização do ensaio descrito nas seções subsequentes. No fundo de cada uma das três escavações, deve ser aberta uma cova de seção quadrada de 30 cm de lado e 30 cm de profundidade.

B-9.1.2 Em caso de utilização de sumidouro, as escavações previstas em B-9.1.1 devem ter profundidades diferentes, sendo que a escolha destas profundidades pode ser feita a partir de um pré-dimensionamento, utilizando-se os coeficientes de infiltração definidos na Tabela 7.

B-9.1.3 Em caso de utilização de valas de infiltração, a seção do fundo das covas previstas em B-9.1.1 deve estar a uma profundidade, em relação ao nível do terreno, de no mínimo 0,60 m e no máximo 1 m.

B-9.1.4 Optar entre a utilização de valas de infiltração e sumidouros, levando-se em conta o nível do lençol freático. É prudente que o fundo da vala ou do sumidouro esteja no mínimo a 1,50 m acima do nível máximo do lençol freático.

B-9.1.5 Raspar o fundo e os lados da cova, de modo que fiquem ásperos. Retirar da cova todo material solto e cobrir o seu fundo com uma camada de 5 cm de brita nº 1.

B-9.1.6 No primeiro dia de ensaio, manter as covas cheias de água durante 4 h.

B-9.1.7 No dia seguinte, encher as covas com água e aguardar que estas se infiltrem totalmente.

B-9.1.8 Encher novamente as covas com água até a altura de 15 cm e cronometrar o período de rebaixamento de 15 cm até 14 cm, correspondente às alturas da água em cada cova. Quando este intervalo de tempo para rebaixa-

mento de 1 cm se der em menos de 3 min, refazer o ensaio cinco vezes, adotando o tempo da quinta medição.

B-9.1.9 Com os tempos determinados na operação de B-9.1.8, obter os coeficientes de infiltração do solo (L/m² x dia) na curva da Figura 14. Adotar o menor dos coeficientes determinados nos ensaios.

B-10 Determinação da área de infiltração do solo

A área de infiltração necessária pode ser calculada pela fórmula:

$$A = \frac{V}{C_1}$$

Onde:

A = área de infiltração necessária, em m², para o sumidouro ou vala de infiltração

V = volume de contribuição diária, em L/dia, que resulta da multiplicação do número de contribuintes (N) pela contribuição unitária de esgotos (C_u), conforme a Tabela 1

C₁ = coeficiente de infiltração (L/m² x dia) obtido no gráfico da Figura 14, conforme B-11

B-11 Gráfico para determinação do coeficiente de infiltração

O coeficiente de infiltração em função do tempo de infiltração para 1 cm de rebaixamento pode ser determinado por meio do gráfico da Figura 15.

B-12 Ensaio de infiltração através de cova cilíndrica (emprego de trado)

... na determinação da capacidade de absorção, a necessidade da escavação de valas de infiltração quando há necessidade de atingir níveis

B-12.1 Em três pontos do terreno a ser utilizado para disposição do efluente da fossa séptica em sumidouro, fazer perfurações verticais de 30 cm de diâmetro, em profundidades determinadas a partir de um pré-dimensionamento, utilizando-se os coeficientes de infiltração dispostos na Tabela 7.

B-12.2 Devem ser observados nas perfurações os mesmos cuidados recomendados em B-9.1.4, B-9.1.5, B-9.1.6 e B-9.1.7 (ver Figura 14).

B-12.3 Em seguida, encher cada cova com água até a altura de 19 cm, cronometrar o tempo necessário para o rebaixamento da água de 19 cm a 18 cm, isto é, de 18 cm a 17,7 cm. Quando o tempo for menor que 3 min, refazer o ensaio cinco vezes, adotando o tempo da quinta medição.

B-12.4 Com os tempos determinados, construir a curva de rebaixamento e obter os coeficientes de infiltração do solo em cada ponto da curva da Figura 15.



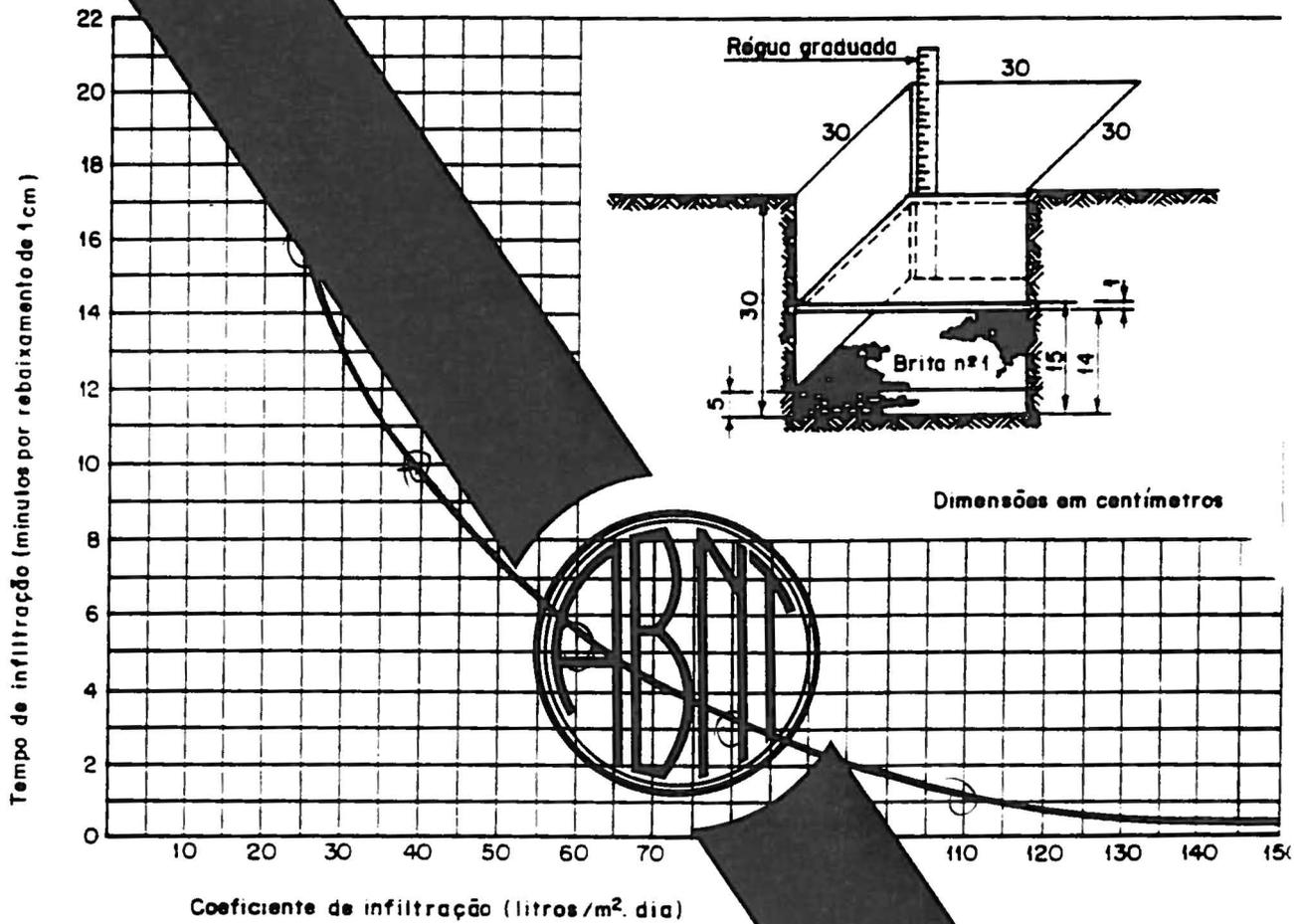


Figura 15 - Gráfico para determinação do coeficiente de infiltração

Revisão -