



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria da Educação

ESCOLA ESTADUAL DE
EDUCAÇÃO PROFISSIONAL - EEEP
ENSINO MÉDIO INTEGRADO À EDUCAÇÃO PROFISSIONAL

CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES

MECÂNICA DOS SOLOS



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**

Secretaria da Educação

Governador

Cid Ferreira Gomes

Vice Governador

Francisco José Pinheiro

Secretária da Educação

Maria Izolda Cela de Arruda Coelho

Secretário Adjunto

Maurício Holanda Maia

Secretário Executivo

Antônio Idilvan de Lima Alencar

Assessora Institucional do Gabinete da Seduc

Cristiane Carvalho Holanda

Coordenadora de Desenvolvimento da Escola

Maria da Conceição Ávila de Misquita Vinãs

Coordenadora da Educação Profissional – SEDUC

Thereza Maria de Castro Paes Barreto

MECÂNICA DOS SOLOS

1 INTRODUÇÃO

A mecânica dos solos é a aplicação das leis da mecânica e da Hidráulica aos problemas de Engenharia relacionados com sedimentos e outros depósitos não consolidados de partículas sólidas produzidas pela desintegração mecânica ou química das rochas, prescindindo ou não elementos constituídos por substâncias orgânicas.

Os problemas que se apresentam no projeto e execução das fundações e obras de terra distinguem-se em dois tipos fundamentais: os que se referem à deformação do solo e os que consideram a ruptura de uma massa de solo.

O primeiro abrange o estudo dos recalques das obras, o segundo envolve as questões relativas à capacidade de carga do solo, estabilidade do maciço terroso e empuxos de terra.

Todas essas questões são resolvidas a partir do conhecimento das propriedades físicas e identificação do solo onde se vai construir.

1.1 EMPREGO DO SOLO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

- Solo como material de construção: Aterros, Barragens de Terra, Base e Sub-base de Pavimentos, etc.
- Solo como suporte de fundação: Valas, Sapatas, Blocos, Estacas, Tubulões, Subleito, etc.

2 ORIGEM E FORMAÇÃO DOS SOLOS

Os solos são materiais que resultam da deterioração da **rocha** através de um processo denominado **intemperismo**, ou seja, a ação do tempo.

Os solos são resultantes da decomposição das rochas, mas não quer dizer que seja constituído somente de **elementos minerais**. Nele encontramos água, ar e organismos vegetais e animais que fornecem a matéria orgânica.

2.1 Rocha

Agregado de um ou mais minerais, que é impossível de escavar manualmente, e que necessita de explosivo para o seu desmonte.

2.2 INTEMPERISMO

É o conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que ocasionam a desintegração e decomposição das rochas e dos minerais, formando solos.

2.2.1 Intemperismo Físico (ou Mecânico)

É o processo de decomposição da rocha sem alteração química dos seus componentes. Os principais são:

- Variação de Temperatura;
- Congelamento de Água;
- Alívio de Pressões.

2.2.2 Intemperismo Químico

É o processo de decomposição da rocha onde os vários processos químicos alteram, solubilizam e depositam os minerais das rochas transformando-a em solo, ou seja, ocorre a alteração química dos componentes. Neste caso há modificação na constituição mineralógica da rocha, originando solos com características próprias. Este tipo é mais freqüente em climas quentes e úmidos e, portanto muito comum no Brasil.

2.2.3 Intemperismo Biológico

É o processo no qual a decomposição da rocha se dá graças a esforços mecânicos produzidos por vegetais através de raízes, escavação de roedores, etc.

2.3 INFLUÊNCIA DO INTEMPERISMO NO TIPO DE SOLO

Os vários tipos de intemperismo e a intensidade com que atuam no processo de formação dos solos dão origem a diferentes tipos de solo.

Os fatores que mais influenciam na formação dos solos são: clima, tipo de rocha, vegetação, relevo e o tempo de atuação destes fatores. Dentre estes, destaca-se o clima. A mesma rocha poderá formar solos completamente diferentes se a decomposição ocorrer sob clima diferente. Por outro lado, diferentes rochas podem formar solos semelhantes. Pode-se dizer que, sob o mesmo clima, a tendência forma-se o mesmo tipo de solo ainda que as rochas sejam diferentes.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Os solos classificam-se quanto a origem em:

- Solos Residuais;
- Solos Sedimentares;
- Solos Orgânicos.

2.4.1 Solos Residuais

Solos residuais são os solos que permanecem no local de decomposição da rocha que lhes deu origem. Para a sua ocorrência é necessário que a velocidade de decomposição da rocha.

A rocha que mantém as características originais, ou seja, a rocha sã é a que ocorre em profundidade. Quanto mais próximo da superfície do terreno, maior é o efeito do intemperismo. Sobre a rocha sã encontra-se a rocha alterada, em geral muito fraturada e permitindo grande fluxo de água através de descontinuidades.

2.4.2 Solos Sedimentares

Os solos sedimentares ou transportados são aqueles que foram levados de seu local de origem por algum agente de transporte e lá depositados. As características dos solos sedimentares dependem do agente de transporte.

Os agentes de transporte são:

- Vento (solos eólicos);
- Água (solos aluvionares);
- Água dos Oceanos e Mares (Solos Marinhos);

Água dos Rios (Solos Fluviais);

- Água das Chuvas (Solos Pluviais);

- Geleiras (Solos Glaciais);
- Gravidade (Solos Coluvionares).

2.4.2.1 Solos Eólicos

Transporte pelo vento. Devido ao atrito os grãos dos solos transportados possuem forma arredondada. A ação do vento se restringe ao caso das areias e dos siltes. Um exemplo de solo eólico são os solos de dunas.

2.4.2.2 Solos Aluvionares

O agente de transporte é a água. A sua textura depende da velocidade de transporte da água.

CARACTERÍSTICAS:

- Grãos de diversos tamanhos;
- Mais grossos que os eólicos;
- Sem coesão.

2.4.2.3 Solos Glaciais

Formados pela ação das geleiras.

2.4.2.4 Solos Coluvionares

Formados pela ação da gravidade. Grande variedade de tamanhos. Dentre os solos podemos destacar o TALUS, que é solo formado pelo deslizamento de solo do topo das encostas.

2.4.3 Solos Orgânicos

São solos de origem essencialmente orgânica, seja de natureza vegetal (plantas e raízes), seja de animal (conchas). Possuem uma quantidade mínima de 10% de húmus (material resultante da decomposição dos restos de animais e vegetais).

Possuem cor escura e cheiro forte.

Podemos citar como exemplo as TURFAS, que são solos que incorporam florestas soterradas em estado avançado de decomposição.

Não se aplicam as teorias da Mecânica dos Solos.

3 TEXTURA E ESTRUTURA DOS SOLOS

3.1 TAMANHO E FORMA DAS PARTÍCULAS

A textura de um solo é o tamanho relativo e a distribuição das partículas sólidas que o formam. O estudo da textura dos solos é realizado por intermédio o ensaio de granulometria. Pela sua textura os solos podem ser classificados em solos grossos e solos finos.

3.1.1 Solos Grossos

Solos com $\Phi \geq 0,007$ mm e suas partículas tem forma arredondada poliédrica e angulosa.

Os solos grossos são os PEDREGULHOS e as AREIAS.

3.1.2 Solos Finos

Solos $\Phi \geq 0,007$ mm.

Os solos finos são os SILTES e as ARGILAS.

A fração granulométrica classificada como ARGILA possui diâmetro inferior a 0,005 mm e se caracteriza pela sua plasticidade marcante e elevada resistência

3.2 TERMINOLOGIA DOS SOLOS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) normalizou a terminologia dos solos para manter uma só denominação no país, evitando assim, os nomes de caráter regional.

Então temos:

- Bloco de rocha: Pedaco de rocha com diâmetro médio superior a 1 metro.
- Matação: Pedaco de rocha com diâmetro médio superior a 25 cm e inferior a 1 metro.
- Pedra: Pedaco de rocha com diâmetro médio entre 7,6 cm e 25 cm.
- Pedregulhos: Cristais grandes ou fragmentos de rocha que resistem à decomposição, cuja maioria tem diâmetro compreendido entre 76 mm e 4,8 mm.
- Areias: Grãos minerais (grãos de quartzo), cuja maioria tem diâmetro compreendido entre 4,8 mm e 0,05 mm. Subdividem-se em:
 AREIAS GROSSAS: Grãos com diâmetros compreendidos entre 4,8 mm e 0,84 mm.
 AREIAS MÉDIAS: Grãos com diâmetros compreendidos entre 0,84 mm e 0,25 mm.
 AREIAS FINAS: Grãos com diâmetros compreendidos entre 0,25 mm e 0,05 mm.
- Siltes: Sílica coloidal ou cristais grandes de argila ou impurezas, cuja maioria dos seus grãos tem diâmetro entre 0,05 mm e 0,005 mm, possuindo apenas a coesão necessária para formar, quando secos, torrões facilmente desagregáveis por pressão dos dedos.
- Argilas: Cristais de argila mineral com diâmetro abaixo de 0,005 mm. As argilas apresentam características bem marcantes de plasticidade, pois, quando suficientemente úmidas, moldam-se facilmente em diferentes formas e quando secas, apresentam coesão bastante para constituir torrões dificilmente desagregáveis por pressão dos dedos.
- Solos mistos: São aqueles compostos de mais de um tipo de solo. Estes solos são designados primeiramente pelo nome do solo cuja características e propriedades sejam predominantes, seguidos dos adjetivos correspondentes aos nomes dos outros tipos de solos que completam o solo misto. Exemplo: areia siltosa indica um solo que é predominantemente arenoso, mas contem certa quantidade de silte; argila arenosa é um solo que apresenta as propriedades da argila, mas contem uma quantidade apreciável de areia.

TERMINOLOGIA		LIMITES (ABNT)
Bloco de rocha	Rocha	Acima de 1 m
Matação		De 25 cm a 1 m
Pedra		De 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	Solo	De 4,8 mm a 76 mm
Areia Grossa		De 0,84 mm a 4,8 mm
Areia Média		De 0,25 mm a 0,84 mm
Areia Fina		De 0,05 mm a 0,25 mm
Silte		De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila		Inferior a 0,005 mm

Tabela 1 – Classificação dos Solos segundo a ABNT

3.3 COMPORTAMENTO DOS SOLOS

O comportamento dos solos finos é definido pelas forças de atração moleculares e elétricas e pela presença de água.

O comportamento dos solos grossos são governados pelas forças gravitacionais. Os SILTES apesar de serem classificados como finos, o seu comportamento é governado pelas forças gravitacionais (mesmas dos solos grossos).

4 REGRAS DE APROXIMAÇÃO

4.1 REGRAS GERAIS

1º REGRA: Se o algarismo que ocupar a casa de ordem “N + 1” for igual a 0, 1, 2, 3 ou 4, então o algarismo que ocupar a casa de ordem “N” não sofrerá alteração. Exemplos:

$$\frac{17}{7} = 2,428571429 \text{ com } N = 1 \iff \frac{17}{7} = 2,4$$

$$\frac{11}{23} = 0,478260869 \text{ com } N = 3 \iff \frac{11}{23} = 0,478$$

2º REGRA: Se o algarismo que ocupar a casa de ordem “N + 1” for igual a 5, 6, 7, 8 ou 9, então o algarismo que ocupar a casa de ordem “N” será acrescido de uma unidade. Exemplos:

$$\frac{17}{7} = 2,428571429 \text{ com } N = 1 \iff \frac{17}{7} = 2,429$$

$$\frac{11}{23} = 0,478260869 \text{ com } N = 3 \iff \frac{11}{23} = 0,5$$

4.2 REGRAS ESPECÍFICAS PARA A DISCIPLINA

PORCENTAGENS: Serão sempre aproximadas para uma casa decimal. Exemplos:

$$P = 3,2412589 \% \iff P = 3,2\%$$

$$h = 10,682362 \% \iff h = 10,7\%$$

PESOS ESPECÍFICOS: Se a unidade em que está expresso o peso específico for g/cm^3 , adotar $N = 2$. Se a unidade for Kg/m^3 adotar $N = 0$. Exemplos:

$$\gamma_s = 4,2548578 \text{ g/cm}^3 \iff \gamma_s = 4,25 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_h = 1982,6087 \text{ kg/m}^3 \iff \gamma_h = 1983 \text{ kg/m}^3$$

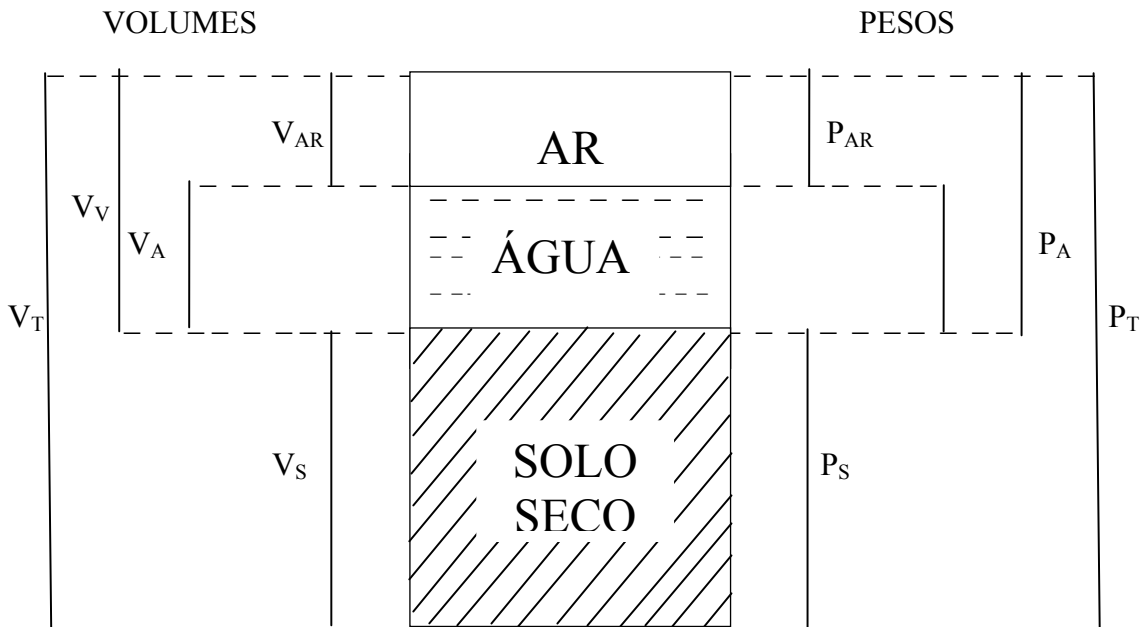
5 ÍNDICES FÍSICOS

5.1 ESTUDO DO SOLO

Quando vamos fazer um estudo sobre os solos, levamos em conta que dois elementos quase sempre estão presentes. Estes elementos são a água e o ar.

5.2 COMPONENTES DO SOLO

Uma partícula sólida completa (apresenta-se com todos os seus componentes) pode ser representada conforme abaixo:



Significado da simbologia:

P_S = Peso da parte seca ou da parte sólida ou do solo seco

P_A = Peso da parte líquida ou peso da água

P_{AR} = Peso do ar, que é considerado nulo, ou seja, igual a zero

P_T = Peso do solo úmido ou natural ou peso total

V_S = Volume da parte seca ou da parte sólida ou do solo seco

V_A = Volume da parte líquida ou volume da água

V_{AR} = Volume do ar

V_V = Volume de vazios. É todo volume não sólido, isto é, água e ar

V_T = Volume total

5.3 RELAÇÕES FUNDAMENTAIS

$$P_T = P_S + P_A + P_{AR}$$

Mas $P_{AR} = 0$ logo:

$$P_T = P_S + P_A$$

$$V_T = V_S + V_A + V_{AR}$$

$$V_V = V_A + V_{AR}$$

$$V_T = V_S + V_V$$

5.4 PESO ESPECÍFICO DO SOLO

Quando estamos calculando **peso específico** dos solos, devemos considerar dois tipos. Um chamado de **aparente** e outro chamado de **real**. O primeiro leva em conta na sua obtenção as partes sólidas e não sólidas. Enquanto que o real leva em conta apenas a parte sólida propriamente dita. O aparente ainda pode ser úmido ou seco.

Um peso específico é sempre a relação entre um peso e um volume e o representamos pela letra grega gama (γ).

As unidades mais freqüentes são g/cm^3 , Kg/dm^3 e Kg/m^3 .

5.5 PESO ESPECÍFICO APARENTE DO SOLO ÚMIDO (γ_h)

É a razão existente entre o peso do solo úmido ou peso total (P_T) e o volume total (V_T).

$$\gamma_h = \frac{P_T}{V_t}$$

5.6 PESO ESPECÍFICO APARENTE DO SOLO SECO (γ_s)

É a razão existente entre o peso do solo seco (P_S) e o volume total (V_T).

$$\gamma_s = \frac{P_S}{V_t}$$

5.7 PESO ESPECÍFICO REAL OU DOS GRÃOS (γ_s)

É a razão existente entre o peso do solo seco (P_S) e o volume do solo seco (V_S).

$$\gamma_G = \frac{P_S}{V_S}$$

5.8 TEOR DE UMIDADE (h)

É a razão, dada em porcentagem, entre o peso ou quantidade de água existente numa amostra de solo úmido (P_A) e o peso desta amostra depois de seca (P_S).

$$h = \frac{P_A \times 100}{P_S}$$

Podemos determinar o teor de umidade de um solo qualquer através de três modos distintos: **método de álcool, método de estufa e método de Speedy**.

O que vai nos dizer se um solo está mais úmido e comparação com outro tipo de solo na é a quantidade de água contida em cada um deles e sim aquele que possuir o **maior teor de umidade**.

É importante ressaltar que o peso específico da água é igual à 1 g/cm^3 ou 1 kg/m^3 .

5.9 ÍNDICE DE VAZIOS

É um número dado pela razão entre o volume de vazios (V_v) e o volume da parte sólida ou parte seca (V_s).

O índice de vazios é representado pela letra grega épsilon (ϵ).

$$\epsilon = \frac{V_v}{V_s}$$

OBS: Se $V_v = V_s \implies \epsilon = 1$

Se $V_v > V_s \implies \epsilon > 1$

Se $V_v < V_s \implies \epsilon < 1$

Por norma, calcula-se o índice de vazios com 2 casas decimais.

5.10 POROSIDADE (n)

É a razão, dada em porcentagem, entre o volume de vazios (V_v) e o volume total (V_T).

$$n = \frac{V_v \times 100}{V_T}$$

Como índice de vazios e porosidade apresenta fórmulas com aspectos comuns, pode-se prever uma relação entre ambos. Vamos demonstrar:

Temos que $n = \frac{V_v \times 100}{V_T}$ e por definição $V_T = V_s + V_v$.

Então $n = \frac{V_v}{V_s + V_v} \times 100$ se dividirmos ambos os membros da expressão V_s

$$\text{teremos } n = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{\frac{V_s + V_v}{V_s}} \times 100 \text{ melhorando a expressão temos } n = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{\frac{V_s}{V_s} + \frac{V_v}{V_s}} \times 100$$

Sabemos que $\epsilon = \frac{V_v}{V_s}$ substituindo na expressão anterior obtemos

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

5.11 GRAU DE SATURAÇÃO (S)

É a razão, dada em porcentagem, entre o volume da parte líquida ou da água (V_A) e o volume vazios (V_v).

$$S = \frac{V_A}{V_v} \times 100$$

Dizemos que um solo está saturado se a água ocupa todos os vazios existentes, ou seja, $V_A = V_V$. Com isso, $S = 100\%$

5.12 GRAU DE AERAÇÃO (A)

É a razão, dada em porcentagem, entre o volume do ar (V_{AR}) e o volume de vazios (V_V).

$$A = \frac{V_{AR}}{V_V} \times 100$$

Pode-se facilmente demonstrar que:

$$A = 1 - S$$

ou

$$A = 100 - S \text{ em porcentagem}$$

5.13 PESO ESPECÍFICO DA ÁGUA (γ_a)

O peso específico da água é a relação entre o peso da água (P_A) e o volume da água (V_A).

$$\gamma_a = \frac{P_A}{V_A}$$

Mas sabemos que $\gamma_a = 1 \text{ g/cm}^3$

O que nos indica que numericamente $P_A = V_A$, ou seja, 50 g de água ocupa um volume de 50 cm^3 , 100 g de água ocupa um volume de 100 cm^3 , etc.

5.14 DENSIDADE RELATIVA (δ)

É a razão entre o peso específico real (γ_G) e o peso específico da água (γ_a).

$$\delta = \frac{\gamma_G}{\gamma_a}$$

Como $\gamma_a = 1 \text{ g/cm}^3$, temos δ e γ_G são expressos pelo mesmo número, sendo que δ é adimensional e γ_G tem dimensão. Por exemplo, a densidade relativa do quartzo é 2,67 e o seu peso específico real é $2,67 \text{ g/cm}^3$.

O valor de δ depende do constituinte mineralógico da partícula. Para a maioria dos solos seu valor varia de 2,65 a 2,85.

5.15 RELAÇÃO ENTRE OS PESOS ESPECÍFICOS APARENTE ÚMIDO E SECO

Por definição temos que:

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_T}$$

Dividindo por P_T ambos os termos da fração e notando que $P_T = P_s + P_A$, tem-se:

$$\gamma_s = \frac{\frac{P_s}{P_s + P_A}}{\frac{V_T}{P_T}}$$

Chegaremos a seguinte expressão:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{1 + h}$$

5.16 OUTRAS EXPRESSÕES:

$$\varepsilon = \frac{\gamma_G - \gamma_s}{V_s}$$

$$S = \frac{h \cdot \delta}{\varepsilon}$$

6 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DOS SOLOS

Conforme já foi dito, podemos determinar de um solo qualquer através de três modos: método da estufa, método speedy e método do álcool.

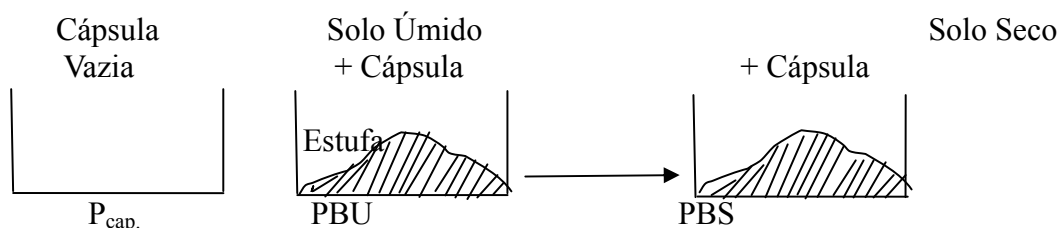
6.1 MÉTODO DA ESTUFA

Neste método faz-se a secagem do solo em estufa convencional com temperaturas variando de 105 a 110°C durante um período de 12 a 24 horas.

a) Procedimentos:

- Pesamos a cápsula de alumínio vazia ($P_{cáp.}$)
- Pesamos a amostra de solo úmido + cápsula (PBU – peso bruto úmido)
- Colocamos a amostra para secar na estufa
- Pesamos a amostra de solo seco + cápsula (PBS – peso bruto seco)

b) Cálculos:



- Peso da água (P_A): $P_A = PBU - PBS$

- Peso do Solo Seco (P_s) = $PBS - P_{cap}$.
- Teor de Umidade: $h = \frac{P_A}{P_s} \times 100$

Para uma melhor precisão e confiabilidade dos resultados deverão ser feitas pelo menos três determinações, calculando-se a média aritmética das umidades.

6.2 MÉTODO SPEEDY

Deve ser utilizado o método de ensaio ME/DNER 52-64 constante da apostila de ensaios.

6.3 MÉTODO DO ÁLCOOL

Deve ser utilizado o método de ensaio ME/DNER 88-64 constante da apostila de ensaios.

7 EMPOLAMENTO DE UM SOLO

Chama-se empolamento de um solo, o acréscimo de volume (inchamento) por ter sido o mesmo submetido a um removimento.

7.1 FINALIDADE: Tem-se como principal finalidade, a obtenção do orçamento de transporte de terra, ou seja, saber o custo do volume de solo transportado através da porcentagem de empolamento.

7.2 PORCENTAGEM DE EMPOLAMENTO: É a porcentagem da acréscimo de volume do solo em relação ao seu volume compacto.

7.3 DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE EMPOLAMENTO: Podemos afirmar que o volume compacto (V_{corte} = volume de corte) corresponde a 100%. Assim como o volume acrescido (ΔV_{corte}) corresponde a porcentagem de empolamento (E%), ou seja:

$$\begin{aligned} V_{corte} &\implies 100\% \\ \Delta V_{corte} &\implies E \quad \text{onde } \Delta V_{corte} \text{ é o vol } V_{corte} \text{ me do solto menos o volume de corte} \end{aligned}$$

Então:

$$E = \frac{V_{solto} - V_{corte}}{V_{corte}} \times 100 \quad (1)$$

Como a obtenção do volume solto, através das suas dimensões é impraticável, colocaremos a porcentagem de empolamento em função dos pesos específicos aparentes do solo seco, a partir do desenvolvimento da equação (1):

$$E = \frac{V_{solto} - V_{corte}}{\frac{P_s}{P_s}} \times 100 \quad \text{onde } P_s \text{ é o peso do solo seco}$$

$$\frac{V_{corte}}{PS}$$

$$E = \frac{\frac{1}{\gamma_{S(\text{solto})}} - \frac{1}{\gamma_{S(\text{corte})}}}{\frac{1}{\gamma_{S(\text{corte})}}} \times 100$$

$$E = \frac{\frac{\gamma_{S(\text{corte})} - \gamma_{S(\text{solto})}}{\gamma_{S(\text{solto})} - \gamma_{S(\text{corte})}}}{\frac{1}{\gamma_{S(\text{corte})}}} \times 100$$

$$E = \frac{\gamma_{S(\text{solto})} - \gamma_{S(\text{corte})}}{\gamma_{S(\text{solto})}} \times \gamma_{S(\text{corte})} \times 100$$

$$E = \frac{\gamma_{S(\text{corte})} - \gamma_{S(\text{solto})}}{\gamma_{S(\text{solto})}} \times 100 \quad (2)$$

Define-se o fator de conversão (FC) como sendo:

$$FC = \frac{V_{\text{corte}}}{V_{\text{solto}}} \quad \text{ou} \quad FC = \frac{\gamma_{S(\text{solto})}}{\gamma_{S(\text{corte})}}$$

Substituindo na equação (2) obtemos:

$$E = 1 - \frac{FC \times 100}{FC}$$

O fator de conversão é um número adimensional menor que 1, que multiplicado pelo volume solto resulta no volume de corte, ou que multiplicado pelo peso específico aparente seco de corte resulta no peso específico aparente seco solto.

8 PLASTICIDADE E CONSISTÊNCIA DOS SOLOS

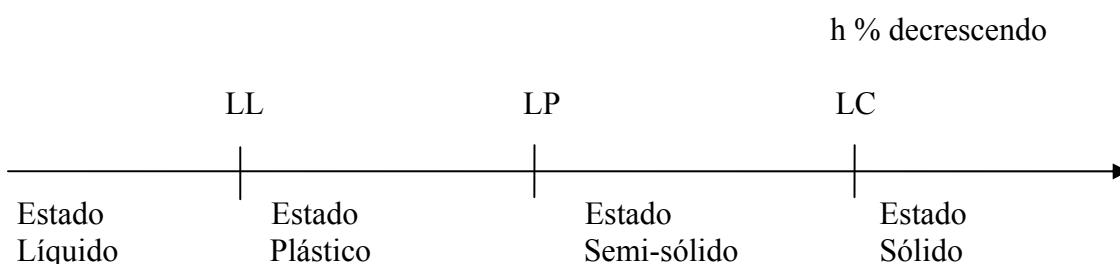
A plasticidade é normalmente definida como uma propriedade dos solos, que considera na maior ou menor capacidade de serem eles moldados, sob certas condições de umidade, sem variação de volume. Trata-se de uma das mais importantes propriedades das argilas.

Para a caracterização de um solo, não é suficiente conhecermos apenas a forma e o diâmetro de seus grãos. Devemos considerar os estados de consistência ou estados físicos dos solos. Os estados físicos ou de consistência são:

<p style="text-align: center;">ESTADO LÍQUIDO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umidade muito elevada • Apresenta-se como fluído denso • Escorre com facilidade • Não pode ser moldado 	<p style="text-align: center;">ESTADO PLASTICO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umidade elevada • Perde a propriedade de fluir (escorrer) • Pode ser moldado conservado a forma dada sem se romper
<p style="text-align: center;">ESTADO SEMI-SÓLIDO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pouca umidade • Não pode ser moldado ou manuseado, pois se rompe facilmente. • Solo se contrai muito (perde volume) ao secar rapidamente 	<p style="text-align: center;">ESTADO SÓLIDO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umidade próxima de zero • Solo não mais se contrai ao secar

8.1 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Os limites de físicos ou de consistência são determinados nos pontos de transição de um estado físico para outro. Dessa forma temos:



LL \implies Limite de Liquidez \implies É o teor de umidade que separa o solo no estado líquido para o estado plástico.

LP \implies Limite de Plasticidade \implies É o teor de umidade que separa o solo no estado plástico para o estado semi-sólido.

LC \implies Limite de Contração \implies É o teor de umidade que separa o solo no estado semi-sólido para o estado sólido.

8.2 LIMITE DE LIQUIDEZ

Determinaremos o limite de liquidez utilizando o método de ensaio ME/DNER 44-71, constante da apostila de ensaios.

8.3 LIMITE DE PLASTICIDADE

Determinaremos o limite de plasticidade utilizando o método de ensaio ME/DNER 82-63, constante da apostila de ensaios.

8.4 LIMITE DE CONTRAÇÃO

É obtido através de ensaio rígido pelas normas do DNER-DPTM 87-64, podendo ser obtido teoricamente através da seguinte expressão:

$$LC = \left[\frac{\gamma_a - 1}{\gamma_s \delta} \right] \times 100$$

Onde:

γ_a = Peso específico da água na temperatura ambiente

γ_s = Peso específico aparente do solo seco

δ = Densidade real do solo na temperatura ambiente.

8.5 ÍNDICE DE PLASTICIDADE

Denomina-se índice de plasticidade à diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade.

Logo:

$$IP = LL - LP$$

Ele define a zona em que o terreno se acha no estado plástico e, por ser máximo para as argilas e mínimo, ou melhor, nulo para as areias, fornece um critério para se ajuizar do caráter argiloso de um solo; assim, quanto maior for o IP, tanto mais plástico será o solo.

Quando um material não tem plasticidade (areia, por exemplo), considera-se o índice de plasticidade nulo e escreve-se $IP = NP$ (não plástico).

Sabe-se que uma pequena porcentagem de matéria orgânica eleva o valor do LP, sem elevar simultaneamente o valor do LL. Tais solos apresentam, pois, baixos valores para o IP.

Sabe-se ainda que as argilas são tanto mais compressíveis quanto maior for o IP.

Quanto ao índice de plasticidade, os solos classificam-se em:

- Fracamente plástico: $0\% < IP \leq 7\%$
- Mediamente plástico: $7\% < IP \leq 15\%$
- Altamente plástico: $IP > 15\%$

8.6 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

A consistência de um solo no seu estado natural, com teor de umidade h , é expressa numericamente pela relação:

$$IC = \frac{LL - h}{IP}$$

Este é o chamado índice de consistência (IC).

9 PROPRIEDADES DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS

9.1 NATUREZA DAS PARTÍCULAS

O solo é constituído de grãos minerais, podendo ainda, conter matéria orgânica.

No solo, as frações grossas são silicosas, enquanto que as finas são argilosas.

Os solos que contêm matéria orgânica podem ser identificados visualmente. A coloração dos solos varia do cinza escuro ao claro e do marrom escuro ao claro.

Um solo que contêm matéria orgânica tem seu peso reduzido observado que seus valores geralmente estão próximos de 2,65.

9.2 PESO ESPECÍFICO DAS PARTÍCULAS

O peso específico das partículas é, por definição

Donde: P_s – peso das partículas sólidas
 V_s – volume das partículas sólidas

$$\gamma_g = \frac{P_s}{V_s}$$

9.3 DENSIDADE RELATIVA DAS PARTÍCULAS DO SOLO

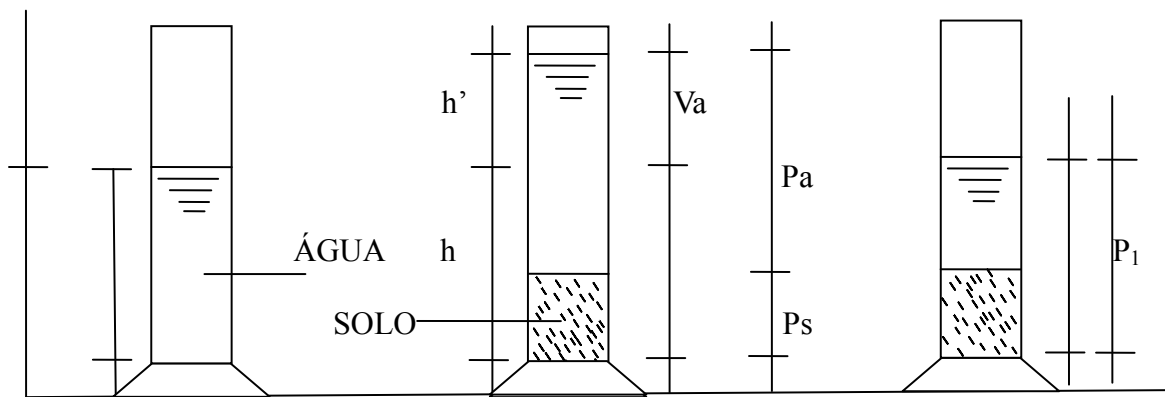
É definida como a relação entre o peso específico das partículas e o peso específico da água a 4° C. Tem-se então:

$$\delta = \frac{\gamma_g}{\gamma_c}$$

O peso específico da água a 4° C é $\delta = 1 \text{ g/cm}^3$.

9.4 DENSIDADE REAL DO SOLO NO LABORATÓRIO

A densidade real do solo é obtida no laboratório pelo método do PICNÔMETRO. O fundamento teórico é ilustrado na fig. 2.1.



A Fig. 2.1a ilustrar uma proveta com água até a altura h e de peso Pa.

A Fig. 2.1b ilustra a mesma proveta com água, porém com solo de peso Ps; o peso do conjunto é (Pa + Ps). O volume de água deslocada pelo solo é V'a e a altura da coluna é (h h').

A Fig. 2.1c ilustra a mesma proveta, na qual adiciona-se; solo com o mesmo peso, Ps, e completa-se com água até a altura h. O peso total do conjunto é P1.

Pela Fig.2,1b, tem-se:

$$\gamma_g = \frac{P_s}{V'_a} \quad \text{Porque } V_a = V$$

$$\text{Também } V'_a = \frac{P_a}{\gamma_{aT}} \quad \text{(B)}$$

Em que γ_{aT} é o peso específico da água à temperatura T°C.

Da (B), tem-se:

$$\gamma_g = \frac{P_s}{\frac{P'_a}{\gamma_{aT}}} \quad \gamma_g = \frac{P_s \cdot \gamma_{aT}}{P'_a} \quad \text{(D)}$$

Conforme na fig. 2.1.b e 2.1.c

$$P'_a = P_a + P_s - P_1 \quad \text{(E)}$$

Inserindo-se a expressão (E) na (D), tem-se:

$$\gamma_g = \frac{P_s}{P_a + P_s - P_1} \gamma_{aT} \quad \text{(F)}$$

Por definição:

$$\delta = \frac{\gamma_g}{\gamma_a} \quad \text{E} \quad \delta_{aT} = \frac{\gamma_{aT}}{\gamma_a} \quad \gamma_g = \delta \gamma_a \quad \text{E} \quad \gamma_{aT} = \gamma_a \delta_{aT}$$

Substituindo-se as duas últimas expressões na (F), tem-se:

$$\delta = \frac{P_5}{P_a + P_5 - P_1} \gamma_{aT}$$

Que é a expressão da DENSIDADE REAL.

9.5 FORMAS DAS PARTÍCULAS

As formas mais evidenciadas das partículas dos solos são: Arredondadas ou com forma poliédrica, lamelares e fibrilares.

- Arredondadas ou de forma poliédrica são: pedregulhos, areias e siltes.
- Lamelares em forma de lamelas ou escamas: as argilas.
- Fibrilares em forma de fibras: são os solos turfosos.

A forma das partículas tem grande influência nas propriedades dos solo.

9.6 ADSORÇÃO

As frações finas do solo, como são as argilas, tem as superfícies de suas partículas sólidas dotadas de carga elétrica negativa cuja intensidade depende de sua característica mineralógicas (Fig. 2.2.).

As partículas sólidas do solo em contato com a água fazem com que as moléculas desta fiquem polarizadas (H, OH), resultando na atração dos íons positivos da água H pelas cargas elétricas existentes na superfície da partícula sólida do solo, fixando a água em forma pelicular.

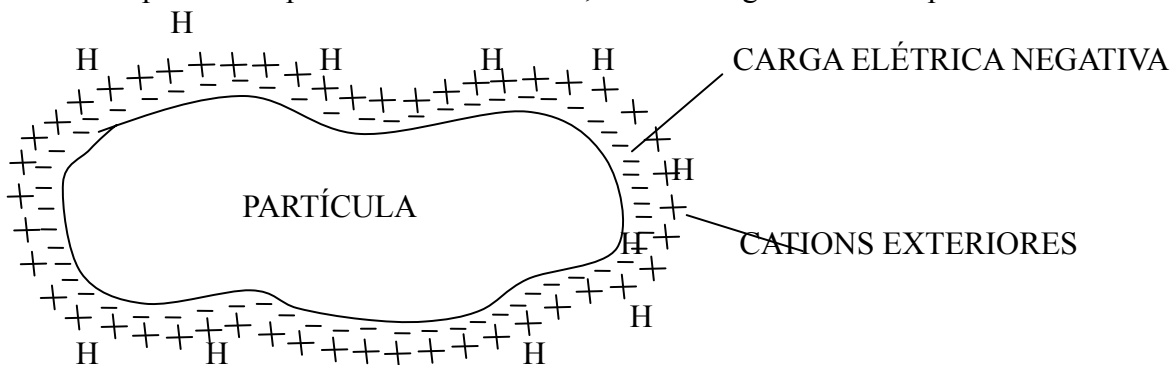


Fig. 2.2. H

A propriedade desta forma de fixação da água na superfície da partícula sólida denomina-se adsorção.

Atividade Superficial é o conjunto de atividades físico-químicas decorrentes da adsorção.

A atividade superficial, segundo Skempton, define-se pela relação:

$$AS = \frac{IP}{S}$$

Donde: IP = índice de plasticidade da argila

B = percentagem, em peso, das partículas com diâmetro menor do que 0,002 mm

Em termos de atividade superficial, as argilas podem ser Normais, Ativas e Inativas.

Normais, Ativas e Inativas.

NORMAIS $0,75 < AS < 1,25$

ATIVAS $AS > 1,25$

INATIVAS $AS < 0,75$

9.7 TROCA DE BASE E CAPACIDADE DE TROCA

TROCA DE BASE é a permuta de cátions adsorvidos na superfície da argila.

Esta permuta ocorre devido a forte ligação entre os cátions adsorvidos na superfície das argilas como se esta forte ligação fosse uma combinação entre os referidos cátions adsorvidos e os elementos que estão na superfície da argila, muito embora as estruturas das partículas sejam absolutamente idênticas, tais como as argilas sódicas, as cálcias, e etc.

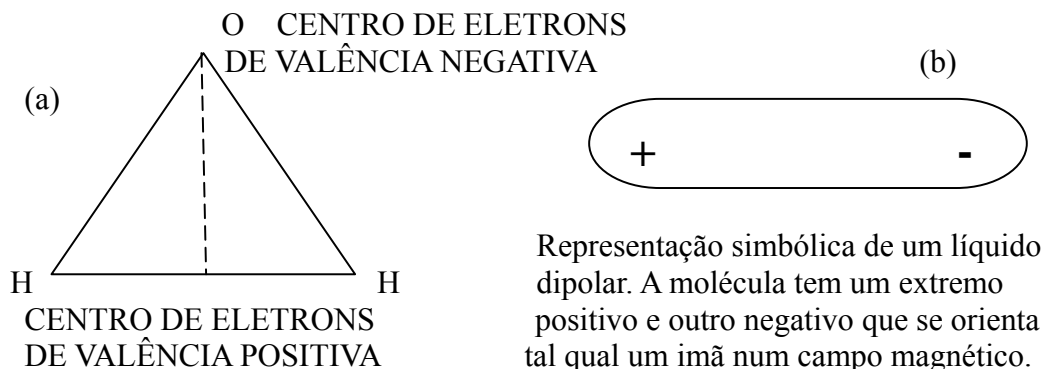
A argila tem propriedades que diferem uma das outras; em decorrência disso nem todos os cátions são permutáveis. Tem-se, como exemplo, o hidrogênio que é fixado mais fortemente na superfície da argila do que o cálcio. A essa intensidade de fixação é o que se chama **capacidade de troca**.

9.8 A ÁGUA COMO LIQUIDO DIPOLAR-HIDRATAÇÃO DE ÍONS

9.8.1 A Água Como Líquido Dipolar

Na molécula de água não existem cargas elétricas livres, nem positivas, nem negativas, isto é, a molécula de água é neutra, em decorrência disso não é adsorvida pela argila como o foi anteriormente estudada.

A molécula de água é representada simbolicamente conforme ilustrado na Fig.23



Representação simbólica de um líquido dipolar. A molécula tem um extremo positivo e outro negativo que se orienta tal qual um ímã num campo magnético.

Diagrama representativo da molécula d'água, mostrando sua simetria, digo, assimetria. O diagrama mostra que água é um dipolo.

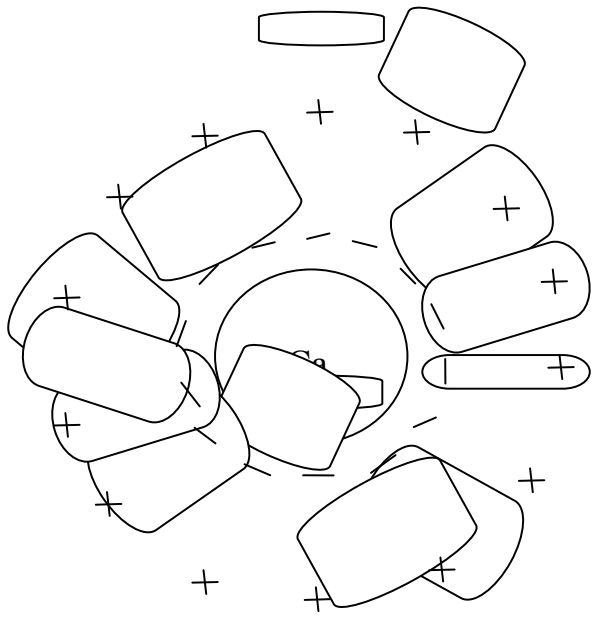
Fig. 2.3.

Um líquido que contém DIPOLOS é um líquido DIPOLAR.

Entre os líquidos dipolares podem ser citados a água, a acetona, etc.

A água em contato com a argila contendo determinado teor de umidade lhe confere o estado de plasticidade, em contato com a argila o mesmo não acontece como no caso da água com a argila; não há estado plástico na argila, e esta comporta-se como uma areia úmida. A causa é que para haver plasticidade na argila é necessário que o líquido seja dipolar.

Um ÍON submerso em um LÍQUIDO DIPOLAR, atrai em redor de si um enxame de DIPOLAR que o encerram como uma cápsula, como mostra a Fig. 2.4. Se o líquido é a água, diz-se que o íon está hidratado.



REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA
DE UM ÍON HIDRATADO DE CÁLCIO.

Fig. 2.4.

9.9 COESÃO-TIXOTROPIA

9.9.1 Coesão

Para que seja iniciado o movimento de deslizamento entre as partículas de argila é necessário romper suas mútuas ligações moleculares.

Estas mútuas ligações são formadas por moléculas depolares e cátions, resultantes de ações físico-químico, e serão tanto mais próximos quanto mais próximas estiverem estas partículas de argila entre si.

Portanto, entre essas partículas se manifestam uma resistência que alcança, com freqüência, valores considerados. Em decorrência disso, para separar duas partículas é necessário um certo esforço.

O solo é capaz de resistir a trações. Esta resistência a tração é denominada COESÃO. Veja a Fig. 2.5

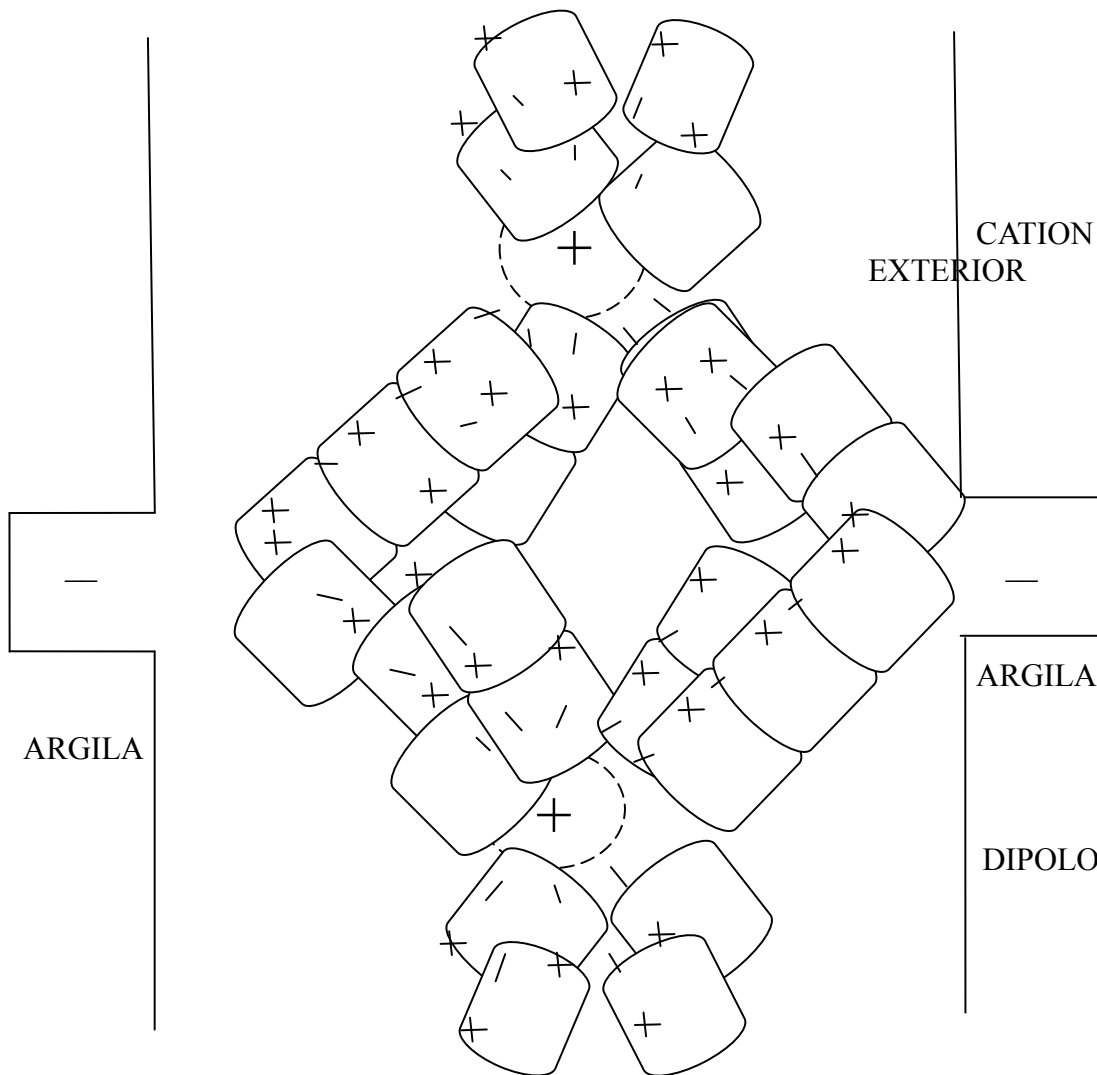


Fig. 2.5.

9.9.2 Tixotropia

Se tomarmos uma porção de argila com apreciável teor de umidade e amassá-la energicamente durante esta operação as partículas deslizam umas sobre as outras, tornando fracas suas ligações físico-químicas momentaneamente. Estas ligações bastante fracas voltam pouco a pouco ao seu estado primitivo conforme vão restabelecendo-se suas ligações. A este fenômeno se denomina TIXOTROPIA.

Algumas argilas demoram mais que outras para completar o fenômeno de tixotropia, porque suas ligações físico-químicas não são iguais; umas são mais suscetíveis que outras, portanto a essa condição de variar de uma argila para outra, é que se chama SUSCETIBILIDADE TIXOTRÓPICA.

A SUSCETIBILIDADE TIXOTRÓPICA pode ser conhecida através da relação entre a resistência à compensação simples da amostra indeformada de argila e a resistência da mesma energicamente amassada.

9.10 GRANULOMETRIA DOS SOLOS

Os solos podem ser: pedregulho, areia, silte e argila. Raramente o pedregulho, a areia, o silte e a argila constituem sozinhos um solo puro. Eles se apresentam como FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS

de um solo. Este é identificado quantitativamente pela percentagem por peso dos seus componentes, denominada de COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA.

As frações de solo são identificadas pelos diâmetros de suas partículas, não existe um sistema único para identificar uma fração de solo pelo tamanho de sua partícula. Existem vários sistemas de classificação de solo de uso corrente que variam de uma região para outra.

Dois sistemas importantes podem ser enumerados: O sistema unificado de classificação de solos (S.U.C.S) e o HIGHWAY RESEARCH BOARD (H.R.P).

Os tamanhos de partículas adotadas pelo S.U.C.S são:

PEDREGULHO: diâmetro compreendido entre 76 e 4,8 mm

AREIA GROSSA: diâmetro compreendido entre 4,8 e 0,42 mm

AREIA FINA: diâmetro compreendido entre 0,42 e 0,05 mm

SILTE: diâmetro compreendido entre 0,05 e 0,005 mm

ARGILA: diâmetro menor que 0,005 mm

Os tamanhos das partículas adotadas pelo H.R.B são:

PEDREGULHO: diâmetro compreendido entre 76 e 2,0 mm

AREIA GROSSA: diâmetro compreendido entre 2,0 e 0,42 mm

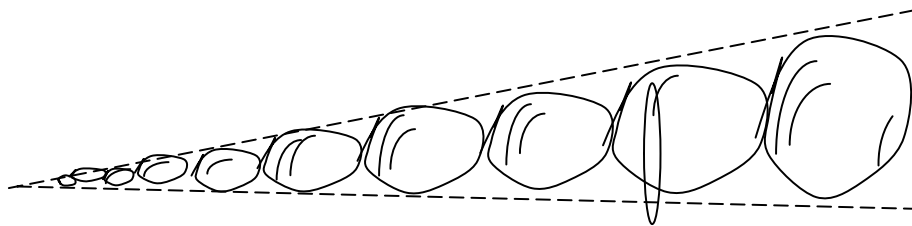
AREIA FINA: diâmetro compreendido entre 0,42 e 0,05 mm

SILTE: diâmetro compreendido entre 0,05 e 0,005 mm

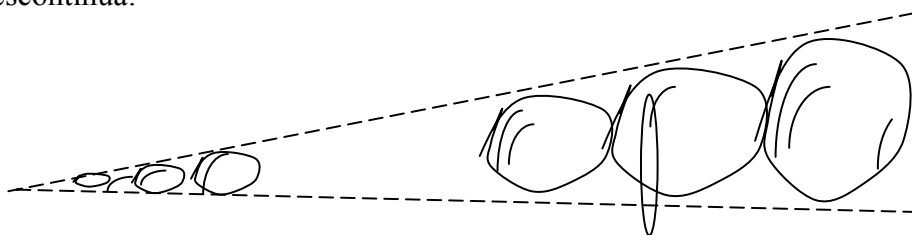
ARGILA: diâmetro menor que 0,005 mm

GRANULOMETRICAMENTE OS SOLOS PODEM SER:

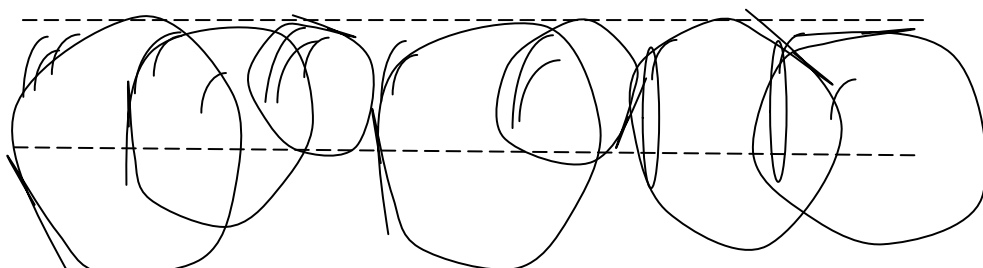
De granulometria contínua:



De granulometria descontínua:

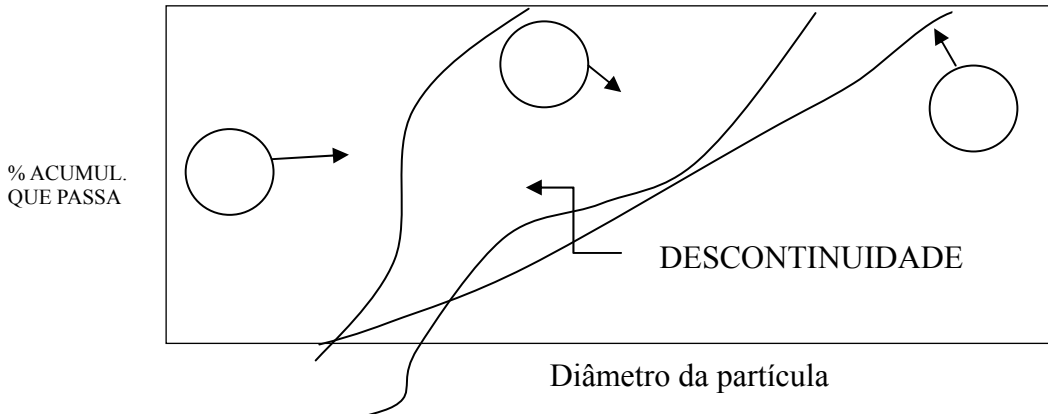


De Granulometria uniforme:



Granulometria densa é aquela continua cuja gama de finos vai ao máximo de finura considerando as frações do solo.

A figura abaixo ilustra as curvas granulométricas das granulometrias contínua (curva A), descontínua (curva B) e uniforme (curva C).



9.11 PRINCIPAIS CLASSES DE SOLO

Conforme os constituintes dos solos pelas suas formas e tamanhos, eles se apresentam com as formas mais diversas, como segue:

LOAM (Termo inglês que significa barro) – é um solo constituído de areia, silte e argila, podendo conter, ainda, matéria orgânica.

AREIA SILTOSA OU ARGILOSA – Para indicar que essa areia contém certa quantidade de silte ou argila.

LAMA – É uma mistura pastosa ou viscosa de solo e matéria orgânica.

CALIÇA – É um termo geralmente empregado para designar formações argila, areia, pedregulho e cimento, cujo material cimentante é o carbonato de cálcio deixado pelas águas subterrâneas ao evaporar-se durante as variações de nível.

MARGA – É uma argila calcária, mais homogênea do que a caliça.

TURFA – É a decomposição de vegetação.

TERRA TURFOSA – É uma turfa impura, isto é, contém grandes quantidades de agregados inorgânicos.

9.12 GRANULOMETRIA E CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Um solo pode fracionar-se de acordo com o tamanho das partículas que o constituem, esta divisão constitui a ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS.

O tamanho dos grãos do solo é de importância na construção de barragens de terra ou de terraplenagem para ferrovias e rodovias, donde a terra deve satisfazer especificações definidas. Na fundação de estruturas, os dados de apresentação da análise granulométrica são, em geral, somente ilustrativos, e tem maior importância em algumas outras propriedades do solo, como a resistência ao corte ou compressibilidade.

A análise granulométrica tem que ser realizada considerando o seguinte:

- As frações grossas do solo se separam por meio de peneiras. A fração grossa é tomada, por conveniência de método, ao retido na peneira de abertura de 2 mm (Nº 10).
- As frações finas são conhecidas por processos de análise por via úmidas, através das partículas do solo numa suspensão com água. A velocidade das partículas de solo na suspensão tem base na **lei de Stokes**, cuja expressão é:

$$V = \frac{2}{9} \frac{(\gamma_g - \gamma_a) d^2}{n} \quad (2.1)$$

Donde:

n = coeficiente de viscosidade do meio dispersor (variando com a temperatura)

d = “diâmetro equivalente” da partícula, o qual significa uma esfera de peso específico igual ao das partículas do solo e sedimentando com a mesma velocidade

γ_g = peso específico das partículas de solo

γ_a = peso específico do meio dispersor (no caso a água)

V = velocidade de sedimentação da esfera.

Tirando-se o valor de d , em 2.1, tem-se:

$$d = \sqrt{\frac{1800 n V}{\gamma_g - \gamma_a}} \quad (2.2)$$

γ_g é representado comumente no laboratório por δ e γ_a , por δ a ($\gamma_a = 1$) assim:

$$d = \sqrt{\frac{1800 n V}{\gamma_g - \gamma_a}}, \quad \text{ou } d = \sqrt{A \cdot V}, \quad \text{sendo } A = \sqrt{\frac{1800 u}{\delta - 1}}$$

Conhecido os valores do diâmetro pela sedimentação com tempo controlado, a percentagem, P , das partículas correspondentes ao diâmetro é conhecida através da expressão:

$$P = \frac{100}{P_s} \frac{\delta}{\delta - 1} (L_D + C_T)$$

Onde:

P_s = peso do solo na suspensão

L = Leitura do decímetro

C_T = correção da leitura do decímetro devida a temperatura é obtida pela expressão:

$$(\gamma_c - \gamma_a) - \alpha (T - T_c) = C_T \cdot 10^3$$

Onde:

T_c = Temperatura de calibração do decímetro

γ_c = peso específico a temperatura de calibração do decímetro

α = coeficiente de deformação volumétrica do vidro.

A lei de Stokes é válida apenas para partículas menores do que 0,2 mm, muito embora, na prática, a amostra para sedimentação seja tomada aquela que passa na peneira de 2,0 mm de abertura (Nº 10).

Realizado o ensaio de granulometria, a curva granulométrica pode ser construída, tomando-se um gráfico na qual a ordenada representa a percentagem acumulada que passa. E a abscissa representa o logaritmo do diâmetro Fig. 2.6.

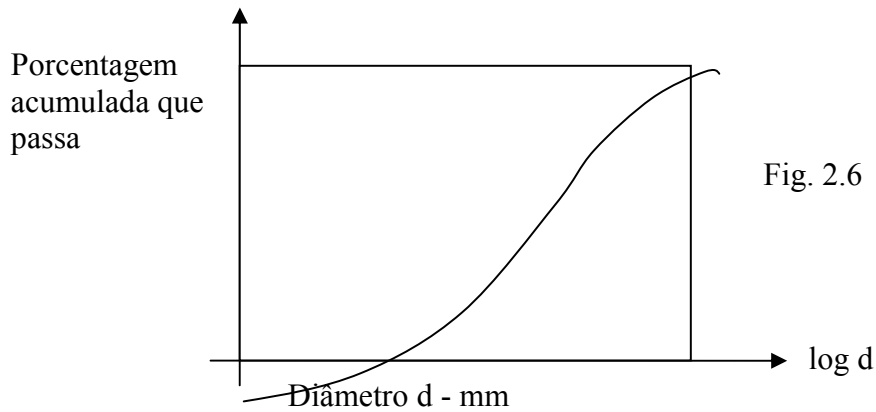
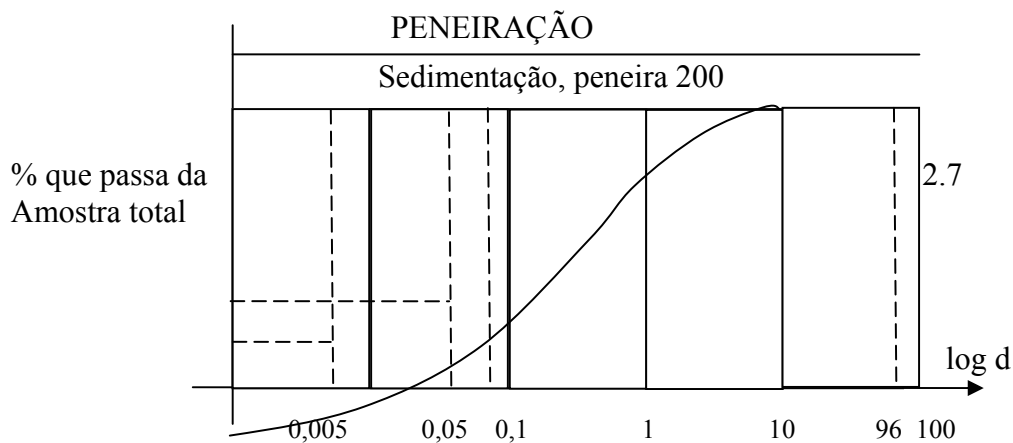


Fig. 2.6

Construída a curva granulométrica, podem ser conhecidos:

- 1) A composição granulométrica, em percentagem por peso da amostra total seca.
- 2) O DIÂMETRO EFETIVO, O COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE E O ÍNDICE DE GRADUAÇÃO. (Coeficiente de curvatura).

A composição granulométrica até a peneira de abertura de 0,075 (N° 200), é obtida por peneiramento, enquanto que a parte fina passando na peneira n° 200 da curva granulométrica (fig. 2.7), obtêm-se, por interpolação dos diâmetros desejados e conseqüentemente suas respectivas percentagens acumuladas.



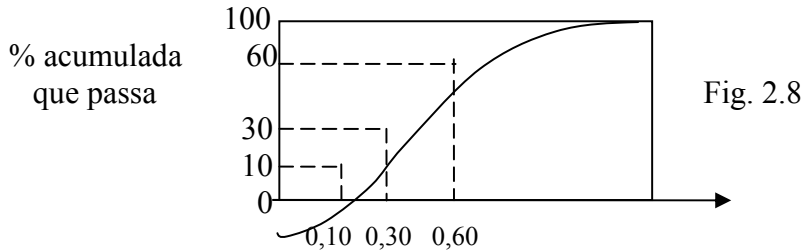
2.7

Na fig. 2.7, no diâmetro $d = 0,05$ mm, a percentagem correspondente a todas as partículas menores que esse diâmetro (Silte, Argila), no diâmetro $d = 0,05$ mm a percentagem correspondente a todas as partículas menores do que esse diâmetro (argila).

Conhecida a percentagem B, de argila (por interpolação tomada no diâmetro de 0,05 mm), a percentagem ($C = A = B$) de silte pode também ser conhecida.

Antes de conhecermos os coeficientes de graduação e uniformidade e o diâmetro efetivo, vamos conhecer o significado dos termos e com o auxílio da fig. 2.8.

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS



DIAMETRO EFETIVO, d_{ef} é o diâmetro correspondente a 10% por peso, de todas as partículas menores que ele. d_{ef} é o mesmo que d_{10} .

COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE, C_u , é obtido pela expressão:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Quando o solo é muito uniforme: $C_u < 5$

Quando o solo é de uniformidade média: $5 < C_u < 15$

Quando o solo é desuniforme: $15 < C_u < 50$

ÍNDICE DE GRADUAÇÃO, I_G , é obtido pela expressão:

$$I_G = \frac{d_{60} - d_{10}}{d_{10}}$$

Um solo é BEM GRADUADO quando $1 \leq I_G \leq 3$

A FIG. 2.9 ilustra o modo de obtenção da composição granulométrica através da CURVA GRANULOMÉTRICA, como se segue

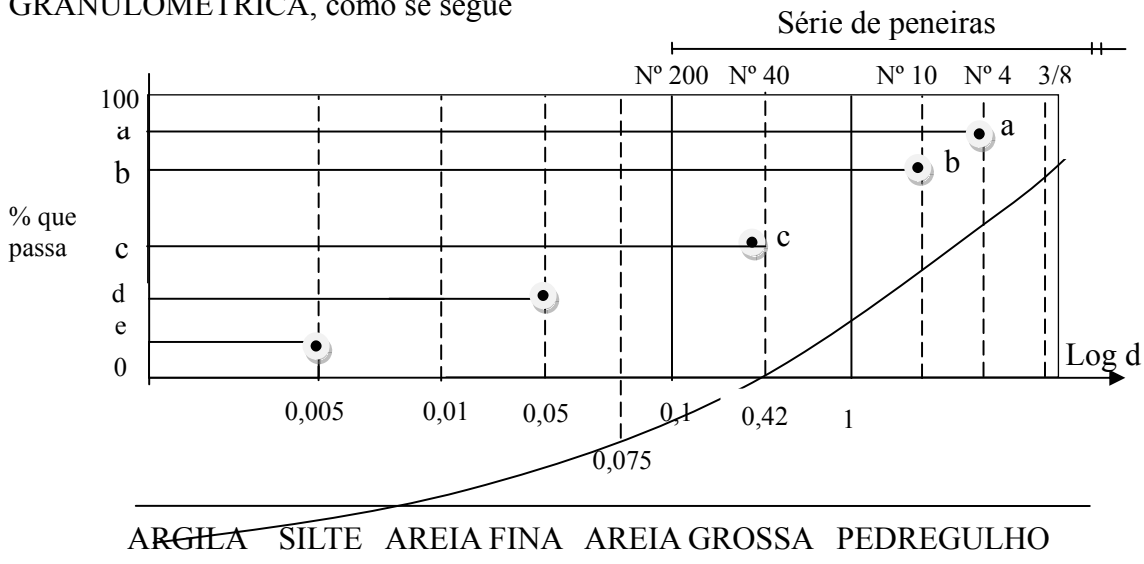


Fig. 2.9

PEDEGULHO	100-a
AREIA GROSSA	a - c
AREIA FINA	c - d
SILTE	d - e
ARGILA	e

O método de determinação da composição granulométrica, na fase de sedimentação, é realizado

pelo método do decímetro de BOYOUCÓS. Este método consiste nas leituras dessimétricas numa proveta de vidro (capacidade de 1000 mm) contendo uma suspensão composta de solo e uma solução de água e silicato de sódio de densidade 1,023 a 20° C.

Durante o ensaio, para as leituras serão feitas anotações de tempo e temperatura (o peso específico da partícula deve ser conhecido com antecedência) (Fig. 2.10)

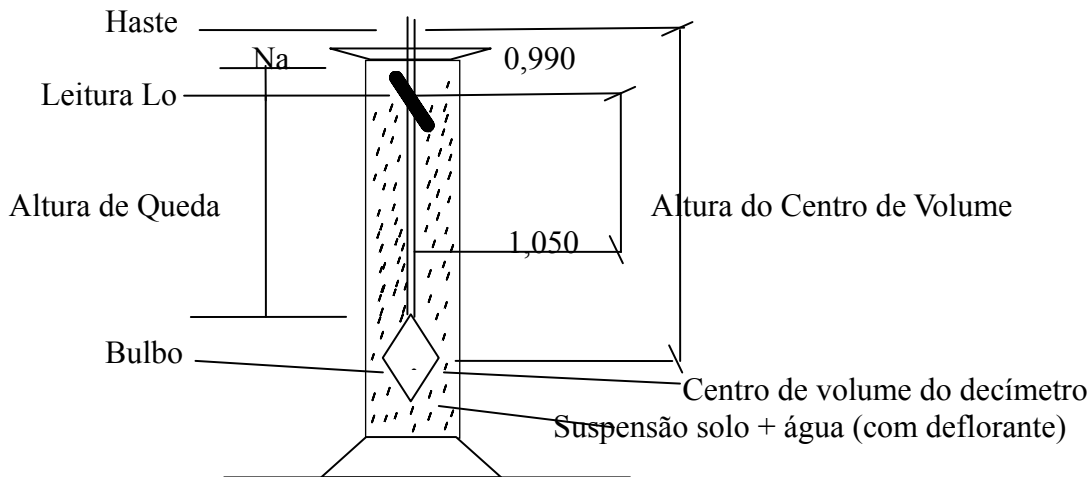


Fig. 2.10

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAS TÉCNICAS (ABNT) adota e especifica a maneira de proceder para realização do ensaio de sedimentação. Antes, porém, citaremos adiante a expressão da percentagem retida da fração de solo em cada peneira relativa ao peso da amostra total seca.

$$P_f \% = \frac{P_f}{P_s} \times 100$$

Onde:

P_f = peso da fração de solo retida em cada peneira
 P_s = peso da amostra total seca do solo

No PENEIRAMENTO, a quantidade de solo com UMIDADE NATURAL, P_h , pode ser tomado em cerca de 1000 a 1500 gramas. Na determinação da UMIDADE HIGROSCÓPICA (natural), parte-se do princípio de que o solo retido na peneira de abertura de 2 mm (N° 10), não está sujeita a umidade higroscópica, porém à UMIDADE DE ABSORÇÃO. Já que a absorção na fração grossa de solo é tão pequena que pode ser desprezada. Em decorrência disso a fração grossa do solo (retida na peneira n° 10) é considerada seca.

O peso total da amostra de solo, P_h , é:

$$P_h = P_1 + P_2$$

Onde:

P_1 = peso da fração de solo retida na peneira n° 10
 P_2 = peso da fração de solo passando na peneira n° 10 com umidade higroscópica, h .

O peso do solo seco, P₃, passando na peneira n° 10 é:

$$P_3 = \frac{100P_2}{100 + h}$$

Exemplo:

Uma amostra total de solo com umidade higroscópica pesa 1000 gramas. A fração de solo retida na peneira n° 10 pesa 450 g. A fração de solo, com umidade higroscópica de 2 %, passando na peneira n° 10 pesa 550 g. Pede-se o peso da amostra total seca.

$$P_1 = 450 \text{ g} \quad P_2 = 550 \text{ g} \quad h = 2 \%$$

$$P_s = \frac{100 \times 550}{100 + 2} = 539,2 \text{ g}$$

O peso total do solo seco é:

$$P_s = P_1 + P_3 \quad P_3 = 450 + 539,2 = 989,2 \text{ g}$$

A amostra total foi peneirada até a peneira n° 10, apresentando seguinte resultado:

PENEIRA	MATERIAL ?			% QUE PASSA
	PESO	% E/PENEIRA		
2''	0	0	0	100,00
1''	50	5,05	5,05	94,95
3/8''	100	10,11	15,16	84,84
N° = 4	120	12,13	27,46	73,24
N° = 10	180	18,00	46,46	54,54(N)

A percentagem que passa na peneira n° 10, nós convencionamos chamar de N e que será empregado, mais adiante na fase de sedimentação.

FASE DE SEDIMENTAÇÃO – para a realização dessa fase de ensaio, a quantidade de amostra parcial passando na peneira n° 10 é de 70 a 100 g, com umidade higroscópica (solo argiloso 70 g e solo arenoso 100 g).

A amostra parcial seca é calculada pela seguinte expressão:

$$P_s = \frac{100P_2}{100 + h}$$

Onde:

Ph = o peso da amostra parcial úmida

Conhecido o peso da amostra parcial seca, com auxílio da umidade h, põe-se a amostra a saturar durante 24 h. Depois de saturada coloca-se num dispersor mecânico a amostra com água defloculante (silicato de sódio). A seguir a mesma é colocada em uma proveta de 1000 ml, até o traço de referencia

1000 ml. A seguir, coloca-se o decímetro na suspensão e são feitas leituras, levando em consideração leituras do tempo e da temperatura. Realizadas as operações acima descritas, procede-se como se segue:

- 1) Após as leituras feitas, toma-se a amostra e leva-se a mesma peneira nº200 e põe-se a secá-la na estufa. Enquanto isso se determina o peso da amostra parcial seca; ainda, tomando-se o mesmo exemplo anterior, tem-se:

Amostra parcial úmida 100 g

Umidade higroscópica 2 %

O peso da amostra parcial seca é (se o Ph é igual a 100)

$$P_s = \frac{100P_2}{100 + h} \quad P_s = \frac{100 \times 100}{100 + 2} \quad P_s = 98,04 \text{ g}$$

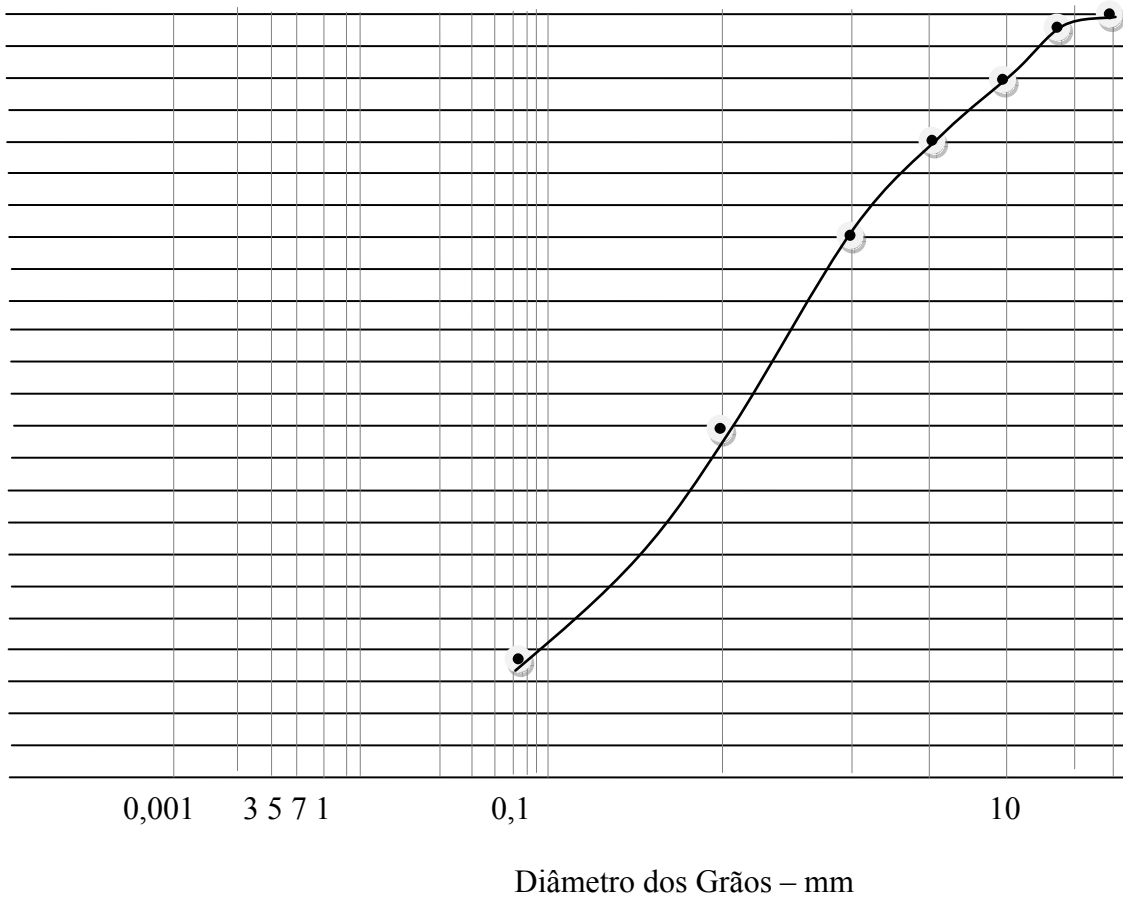
Depois de seca a amostra é retirada da estufa e submetida ao peneiramento. A seguir fazem-se os cálculos das percentagens. Antes porém, sabe-se que a percentagem que passa na peneira nº10, N, deve ser considerada. Vamos considerar o valor de N do exemplo anterior. Assim:

$$N = 54,54 \%$$

Após o peneiramento da amostra parcial, o cálculo das percentagens é feito e mostrado no exemplo abaixo.

PENEIRA	MATERIAL RETIDO			MATERIAL QUE PASSA	
	peso	% com peneira	% acumulada	amostra ?	Amost. total
nº 40	50,94	51,96	48,04	48,04	26,20
nº 100	9,00	61,14	61,14	38,86	15,43

Realizando o peneiramento da amostra total seca, calcula-se as percentagens que passam e traça-se parcialmente a curva granulométrica, considerando-se os exemplos anteriores, e conforme abaixo.



- 2) Realizadas as operações de peneiramento parcial, serão conhecidos: a percentagem em suspensão das partículas (acumuladas) e seus diâmetros limites. A cada leitura do decímetro corresponde uma percentagem em suspensão e seu respectivo diâmetro limite.

O cálculo da percentagem em suspensão é feita pela expressão:

$$Q = N \times \frac{\delta}{\delta - 1} \times \frac{1000 (Lc - 1)}{Ps}$$

Onde:

N = % da amostra total que passa na peneira n° 10

Ps = peso da amostra parcial que passa na peneira n° 10

Lc = leitura corrigida do decímetro na parte superior do menisco e R é a correção devida ao menisco e avaliação de densidade devido ao meio dispersor, proveniente da adição de defloculante e da variação de temperatura obtida da calibração do decímetro utilizado no ensaio.

O diâmetro das partículas do solo em suspensão no momento da leitura do decímetro é dado pela expressão abaixo:

$$d = \sqrt{\frac{1800 n \theta}{\delta - \delta_{a.t}}}$$

Onde:

n = coeficiente de viscosidade do meio dispersor (água em g. seg/ cm²) com valores mostrados na tabela I.

θ = Altura de queda das partículas correspondentes a leitura do decímetro, em cm.

t = tempo de sedimentação em segundos

δ = massa específica real do solo passando na peneira nº 10, g/cm^3

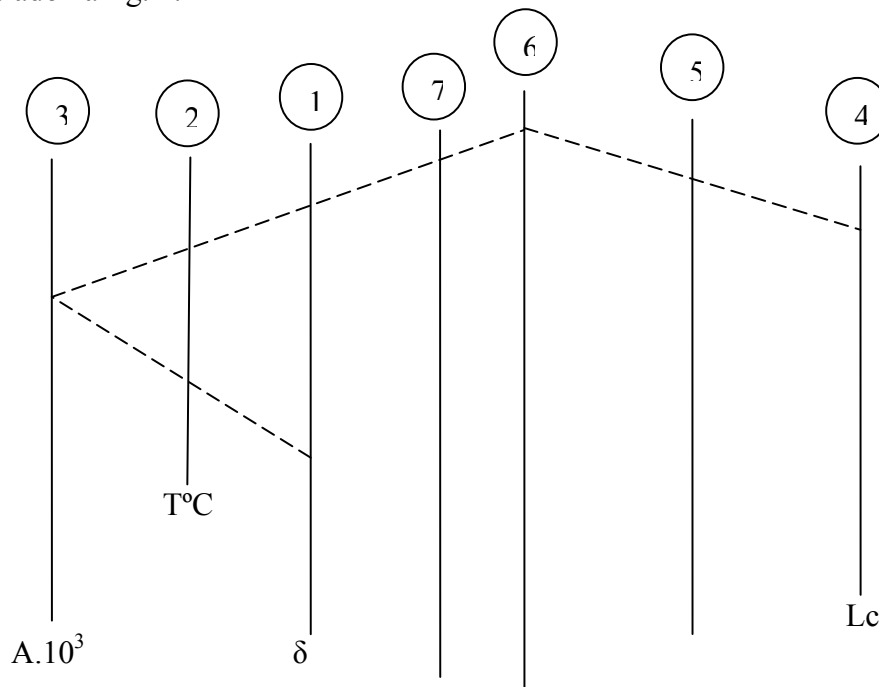
δ_a = massa específica do meio dispersor, g/cm^3

Tabela I

T (° C)	K
31	0,88
30	0,89
29	0,90
28	0,91
27	0,92
26	0,93
25	0,94

A altura de queda das partículas é medida pela distancias entre o centro de volume do decímetro e a superfície livre da suspensão.

A obtenção dos valores do diâmetro pode ser obtido pelo nomograma de CASAGRANDE, mostrado na fig. 2.11



A ABNT apresenta uma tabela (fig. 2.12) que dá os diâmetros, d , das partículas correspondentes aos tempos, t , de sedimentação, admitidos os seguintes valores na forma de STOKES.

$a = 20 \text{ cm}$

$n = 1,03 \times 10^{-5} \text{ g.seg/cm}^2$ (água a 20°C)

$\delta = 2,65 \text{ g/cm}^3$

$\delta_a = 1,00 \text{ g/cm}^3$ (água a 20°C)

t - minuto	d - mm	t - horas	d - mm
0,5	0,087	1	0,0079
1,0	0,061	2	0,0056
2,0	0,045	4	0,0039
4,0	0,031	8	0,0028
8,0	0,022	25	0,0016
15,0	0,016	50	0,0011
30,0	0,011	-	-

Quando os valores que se tem para o ensaio de sedimentação deferirem das constantes acima a, n, δ , δ_a , os valores dos diâmetros constantes na fig. 2.12 devem ser corrigidos.

Se $a \neq 20$ cm, a correção será $K_a = \sqrt{\frac{20}{a}}$

Se $\delta \neq 2,65$ g/cm, a correção será: $K_\delta = \sqrt{\frac{1,65}{\delta - 1}}$

Se $n \neq 1,03 \times 10^{-5}$. seg/cm², a correção será: $K_n = \sqrt{\frac{n \times 10^5}{1,03}}$

Exemplo de cálculo: Sejam as condições: $t = 1$ min, $a = 15$ cm, $\delta = 2,56$ g/cm e $T = 21$ °C ($n = 0,95 \times 10^{-5}$ g/seg/cm)

Na tabela da fig. 2.12, para $t = 1$ min o diâmetro correspondente é:

0,0061 m, então:

$$k_a = \sqrt{\frac{15}{20}} = 0,87; K_\delta = \sqrt{\frac{1,65}{2,56 - 1}} = 1,03 \text{ e } K_n = \sqrt{\frac{0,95 \times 10^5}{1,03}}$$

$$= 0,99$$

O diâmetro corrigido, d_c , será:

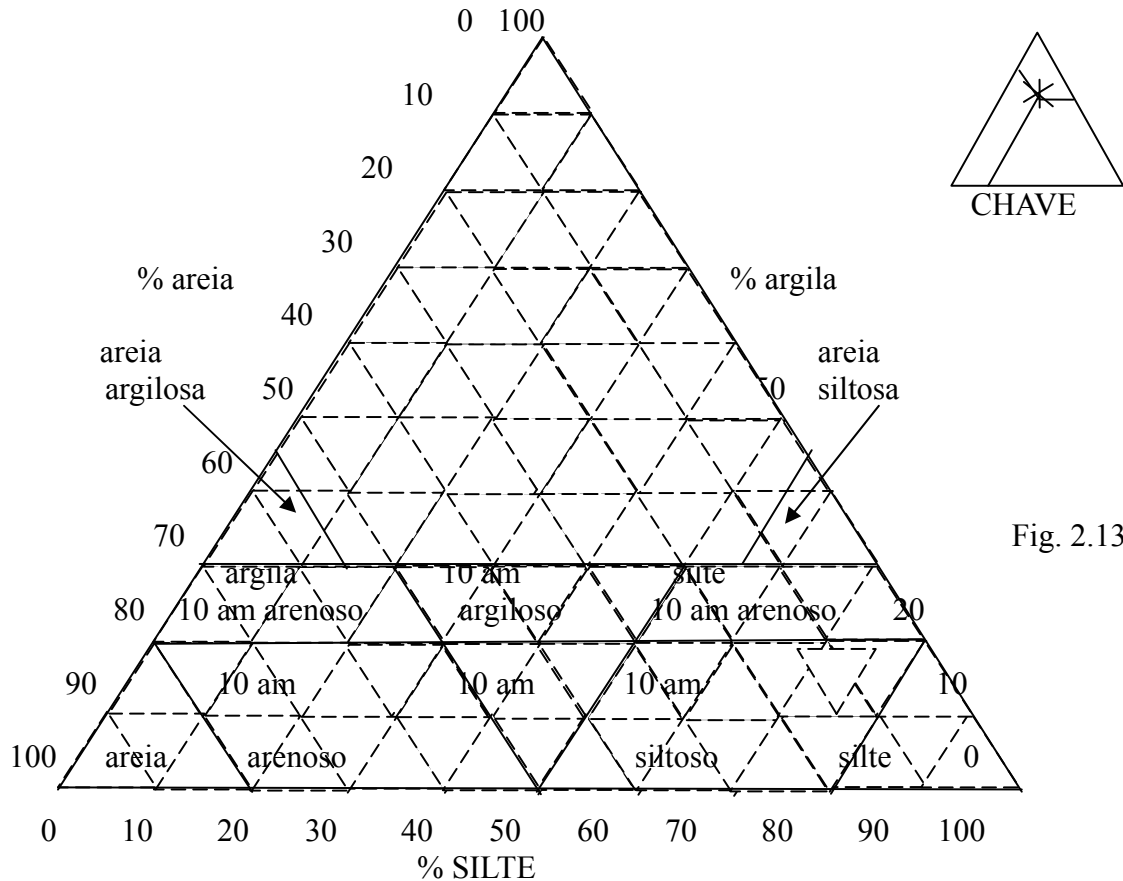
$$d_c = K_a \cdot K_\delta \cdot K_n \cdot d$$

$$d_c = 0,87 \times 1,03 \times 0,99 \times 0,0061$$

$$d_c = 0,054 \text{ mm}$$

9.13 CLASSIFICAÇÃO TRILINEAR DO SOLO

A classificação trilinear do solo feita por este sistema admite 3 constituintes básicas do solo: Areia, silte e argila. Ela é obtida com o auxílio do gráfico da fig. 2.13.



EXEMPLO DE APLICAÇÃO – Deseja-se determinar a classificação trilinear cuja composição granulométrica do solo é:

Areia 45%
 Silte 15%
 Argila 40%

Solução: indo-se ao gráfico da fig. 2.13, procurando-se aplicar a chave, tem-se um solo classificado argila.

Se o solo, além de argila, silte e areia, contém pedregulho, um artifício tem que ser feito para ser classificado pela CLASSIFICAÇÃO TRILINEAR.

EXEMPLO: Deseja-se classificar um solo com pedregulho cuja composição granulométrica é:

Pedregulho 14%
 Areia 21%
 Silte 56%
 Argila 9%

- Verificar a quantidade percentual de argila, silte e areia; esta quantidade é: $100 - 14 = 86$
- Multiplica-se as percentagens, menos a do pedregulho pelo índice $100/86$ de ordem a expressar essas percentagens em termos do peso do material excluindo o pedregulho, a composição granulométrica pode ser assim obtida:

$$\text{Areia } 21 \times \frac{100}{86} = 24\%$$

$$\text{Silte } 56 \times \frac{100}{86} = 65\%$$

$$\text{Argila } 9 \times \frac{100}{86} = 11\%$$

Realizadas as operações acima, aplica-se o gráfico da fig. 2.1 e obtêm-se a classificação do solo, que é LOAM SILTOSO. Como o solo contém pedregulho, a classificação final será LOAM SILTO PEDREGULHOSO.

10 ESTRUTURA DO SOLO

10.1 DEFINIÇÃO

Chama-se estrutura do solo a maneira como suas partículas se agrupam.

A atual evolução na pesquisa do solo tem permitido aos geólogos emitirem novos conceitos sobre a estrutura dos solos. Entretanto, os resultados de novos estudos não tem sido amplamente divulgados sobre o assunto. Por esta razão, aqui são considerados os tipos tradicionais de estrutura do solo.

10.2 TIPOS DE ESTRUTURAS DO SOLO

Os tipos de estrutura do solo são: Granular simples, Alveolar, Floculenta e em Esqueleto.

No estudo de estruturas do solo para maior compreensão, consideraremos a solo, e numa suspensão com água, sedimentado.

Estrutura granular simples – As partículas são agrupadas dependendo da gravidade, isto é, apóiam-se diretamente umas sobre as outras. As areias e os pedregulhos caracterizam este tipo de estrutura.

Estruturas alveolares – São aquelas quando sedimentam observamos nela formação de alvéolos ou favos de mel. Tal fenômeno ocorre devido a que as forças de atração entre si, das partículas, serem menor do que as forças de atração da gravidade. Os siltes e as areias com um máximo de finura caracterizam este tipo de estrutura, (Fig. 4.1)

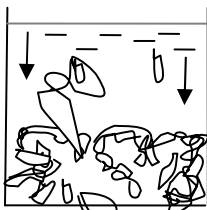


Fig. 4.1

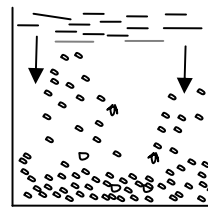


Fig. 4.2

Estruturas Floculentas – São aquelas quando sedimentam, agrupam-se em forma de flores a força de atração entre si das partículas. Os flocos são dispostos em arcos ao completarem a sedimentação. Isto ocorre devido as ações iônicas que se desenvolvem nestas estruturas. A causa desta formação é devido as estruturas moleculares sendo abertas, terem sempre como que uma carga elétrica sempre disponível a receber mais partículas de solo (Fig. 4.2), Dando-lhe forma de floculência. As argilas caracterizam estes tipos de estrutura.

Estruturas em Esqueleto – São aquelas quando as partículas flocculentas, juntas na sedimentação, atraem-se entre si, dando estas estruturas a forma de esqueleto (Fig. 4.3). As das partículas de silte, como um exemplo. Argilas siltosas e siltes argiloso são exemplo desses tipos de estruturas.

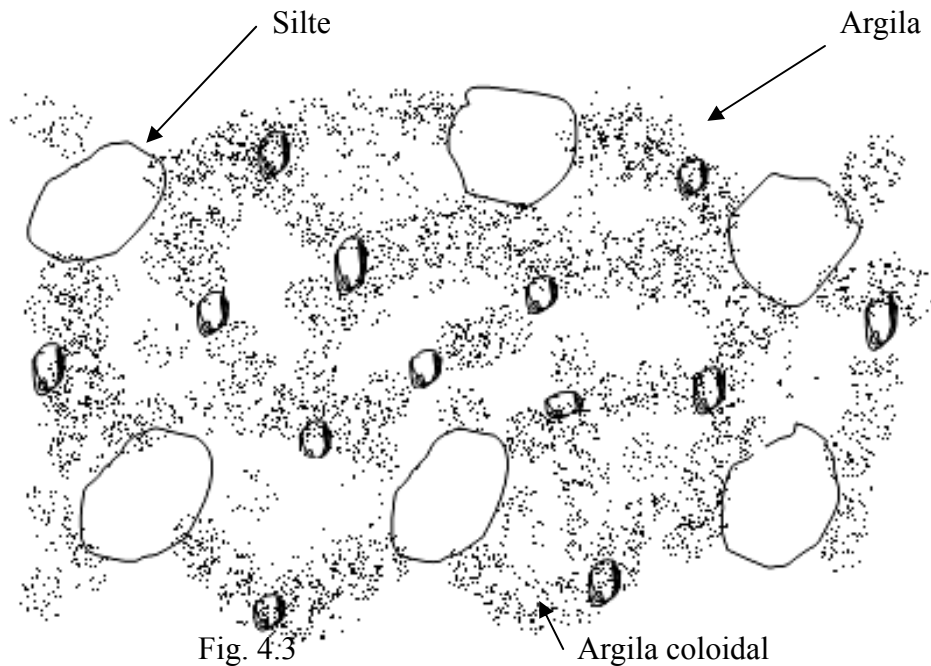


Fig. 4.3

Argila coloidal

10.3 AMOLGAMENTO

É a operação de destruição da estrutura do solo, com a conseqüente perda de sua estrutura, digo, sua resistência. Nos solos argilosos o amolecimento nas cavas de fundação produz a formação de lama, devido as repetidas pisadas dos operários, da ação do sol e da chuva de modo intermitente.

10.4 GRAU DE SENSIBILIDADE

É definida como a razão entre a resistência à compressão simples de uma amostra indeformada e a resistência à compressão simples da mesma amostra depois de amolgada. Assim, tem-se:

$$GS = \frac{R_C}{R'_C}$$

Donde: R_C = resistência a compressão simples da amostra indeformada

R'_C = resistência a compressão simples da amostra amolgada

Uma argila é:

Insensível

quando $GS < 1$

De baixa sensibilidade

quando $1 < GS < 2$

De média sensibilidade

quando $2 < GS < 4$

Extra sensível

quando $GS > 8$

11 COMPACTAÇÃO DOS SOLOS

Muitas vezes na prática da engenharia geotécnica, o solo de um determinado local não apresenta as condições requeridas pela obra. Ele pode ser pouco resistente, muito compressível ou apresentar características que deixam a desejar do ponto de vista econômico. Uma das possibilidades é tentar melhorar as propriedades de engenharia do solo local.

A compactação é um método de estabilização e melhoria do solo através de processo manual ou mecânico, visando reduzir o volume de vazios do solo. A compactação tem em vista estes dois aspectos: aumentar a intimidade de contato entre os grãos e tornar o aterro mais homogêneo melhorando as suas características de resistência, deformabilidade e permeabilidade.

A compactação de um solo é a sua densificação por meio de equipamento mecânico, geralmente um rolo compactador, embora, em alguns casos, como em pequenas valetas até soquetes manuais podem ser empregados. Um solo, quando transportado e depositado para a construção de um aterro, fica num estado relativamente fofo e heterogêneo e, portanto, além de pouco resistente e muito deformável, apresenta comportamento diferente de local para local.

A compactação é empregada em diversas obras de engenharia, como aterros para diversas utilidades, camadas constitutivas dos pavimentos, construção de barragens de terra, preenchimento com terra do espaço atrás de muros de arrimo e reenchimento das inúmeras valetas que se abrem diariamente nas ruas das cidades.

Os tipos de obra e de solo disponíveis vão ditar o processo de compactação a ser empregado, a umidade em que o solo deve se encontrar na ocasião e a densidade a ser atingida.

O início da técnica de compactação é creditado ao engenheiro Ralph Proctor, que, em 1933, publicou suas observações sobre a compactação de aterros, mostrando ser a compactação função de quatro variáveis:

- a) Peso específico seco;
- b) Umidade;
- c) Energia de compactação;
- d) Tipo de solo.

A compactação dos solos tem uma grande importância para as obras geotécnicas, já que através do processo de compactação consegue-se promover no solo um aumento de sua resistência e uma diminuição de sua compressibilidade e permeabilidade.

11.1 DIFERENÇAS ENTRE COMPACTAÇÃO E ADENSAMENTO

Pelo processo de compactação, a diminuição dos vazios do solo se dá por expulsão do ar contido nos seus vazios, de forma diferente do processo de adensamento, onde ocorre a expulsão de água dos interstícios do solo. As cargas aplicadas quando compactamos o solo são geralmente de natureza dinâmica e o efeito conseguido é imediato, enquanto que o processo de adensamento é deferido no tempo (pode levar muitos anos para que ocorra por completo, a depender do tipo de solo) e as cargas são normalmente estáticas.

11.2 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Aplicando-se certa energia de compactação (certo número de passadas de um determinado equipamento no campo ou certo número de golpes de um soquete sobre o solo contido num molde), a massa específica resultante é função da umidade em que o solo estiver. Quando se compacta com umidade baixa, o atrito as partículas é muito alto e não se consegue uma significativa redução de vazios. Para umidades mais elevadas, a água provoca certo efeito de lubrificação entre as partículas, que deslizam entre si, acomodando-se num arranjo mais completo.

Na compactação, as quantidades de partículas e de água permanecem constantes; o aumento da

massa específica corresponde à eliminação de ar dos vazios. Há, portanto, para a energia aplicada, certo teor de umidade, denominado umidade ótima, que conduz a umidade ótima, que conduz a um peso específico máximo, ou uma densidade máxima.

De maneira geral, os solos argilosos apresentam densidades secas baixas e umidade ótimas elevadas. Solos siltosos apresentam também valores baixos de densidade, freqüentemente com curvas de laboratório bem abatidas. As areias com pedregulhos, bem graduados e pouco argilosos, apresentam densidades secas máximas elevadas e umidades ótimas baixas.

11.3 ENERGIA DE COMPACTAÇÃO

O peso específico seco máximo e a umidade ótima determinada no ensaio descrito como Ensaio Normal de Compactação ou Ensaio Proctor Normal não são índices físicos do solo. Estes valores dependem da energia aplicada na compactação. Chama-se energia de compactação ou esforço de compactação ao trabalho executado, referido a unidade de volume de solo após compactação. A energia de compactação é dada pela seguinte fórmula:

Sendo:

$$EC = \frac{M.H.Ng.Nc}{V}$$

M – Massa do soquete;
H – Altura de queda do soquete;
Ng – o número de golpes por camada;
Nc – número de camadas;
V – volume.

11.4 EQUIPAMENTOS DE CAMPO

Os princípios que estabelecem a compactação dos solos no campo são essencialmente os mesmos discutidos anteriormente para os ensaios em laboratórios. Assim, os valores de peso específico seco máximo obtidos são fundamentalmente função do tipo solo, da quantidade de água utilizada e da energia específica aplicada pelo equipamento que será utilizado, a qual depende do tipo de peso do equipamento e do número de passadas sucessivas aplicadas.

A energia de compactação no campo pode ser aplicada, como em laboratório, de três maneiras diferentes: por meio de esforços de pressão, impacto, vibração ou por uma combinação destes. Os processos de compactação e campo geralmente combinam a vibração com a pressão, já que a vibração utilizada isoladamente se mostra pouco eficiente, sendo a pressão necessária para diminuir, com maior eficácia do volume de vazios interpartículas do solo.

11.4.1 Soquetes

São compactadores de impacto utilizados em locais de difícil acesso para os rolos compressores, como em valas, trincheiras, etc. Possuem peso mínimo de 15 Kgfc, podendo ser manuais ou mecânicos (sapos). A camada compactada deve ter 10 a 15 cm para o caso dos solos finos e em torno de 15 cm para o caso dos solos grossos.

11.4.2 Rolos estáticos

Os rolos estáticos compreendem os rolos pé de carneiro, os rolos lisos de roda de aço e os rolos pneumáticos.

11.4.2.1 Pé-de-Carneiro

Os rolos pé-de-carneiro são constituídos por cilindros metálicos com protuberâncias (patas) solidarizadas, em forma tronco-cônica e com altura de aproximadamente de 20 cm. Podem ser alto propulsivos ou arrastados por trator. É indicado na compactação de outros tipos de solo que não a areia e promove um grande entrosamento entre as camadas compactadas.

A camada compactada possui geralmente 15 cm, com número de passadas variando entre 4 e 6 para solos finos e de 6 e 8 para solos grossos.

As características que afetam a performance dos rolos pé-de-carneiro são a pressão de contato, a área de contato de cada pé, o número de passadas por cobertura e estes elementos dependem do peso total do rolo, o número de pés em contato com o solo e do número de pés por tambor.

11.4.2.2 Rolo Liso

Trata-se de um cilindro oco de aço, podendo ser preenchido por areia úmida ou água, a fim de que seja aumentada a pressão aplicada. São usados em bases de estradas, em capeamentos e são indicados para solos arenosos, pedregulhos e pedra britada, lançadas em espessuras inferiores a 15 cm.

Esse tipo de rolo compacta bem camadas finas de 5 a 15 cm com 4 a 5 passadas. Os rolos lisos possuem peso de 1 a 20 t e freqüentemente são utilizados para o acabamento superficial das camadas compactadas. Para a compactação de solos finos utiliza-se rolos com três rodas com pesos em torno de 7 toneladas para materiais de baixa plasticidade e 10 toneladas, para materiais de alta plasticidade.

EXERCÍCIOS

1. O que estuda a mecânica dos solos? Especifique.
2. Defina os processos de formação dos solos.
3. Qual a diferença entre intemperismo físico e químico?
4. Em que pode influenciar o tipo de intemperismo na formação dos solos?
5. Classifique os solos quanto a sua origem.
6. Classifique os solos quanto a forma e o tamanho das partículas.
7. O que são minerais argílicos?
8. Qual a influencia das formas lamelares nas argilas?
9. Defina superfície específica dos solos?
10. Quais as principais composições químicas componentes dos solos grossos?
11. Uma amostra de argila saturada tem um volume de 162 cm^3 e pesa 290 g. Sendo $\delta = 2,79$. Determine o índice de vazios, a porosidade, o teor de umidade e o peso específico do material.
12. Sendo dados o peso específico úmido, igual a $1,8 \text{ g/cm}^3$, e o teor de umidade $h=10\%$, pede-se determinar γ_s , S e ε tomando-se $J=2,67$.
13. Uma amostra de solo tem um peso de 132,2 g e um volume de $62,3 \text{ cm}^3$ no estado natural. O seu peso seco é de 118,2 g. O peso específico das partículas é $2,67 \text{ g/cm}^3$. Calcular: umidade, índice de vazios, porosidade e grau de saturação.
14. Sendo conhecido $P_t = 5,10 \text{ Kg}$, $V_t = 260 \text{ cm}^3$, $h = 13,6 \%$ e $\gamma_g = 2,65 \text{ cm}^3$. Determine γ_s , ε , N e S .
15. Conhecidos $A = 51,7\%$, $h = 12,4\%$ e $\delta = 2,70$, pede-se calcular n .
16. Dados:
 - Peso total de uma amostra de solo = 72,49 Kg
 - Peso após secagem em uma estufa = 61,28 Kg

-Peso da cápsula = 32,54 g.

-Densidade das partículas = 2,69.

Determine: teor de umidade, porosidade, índice de vazios, peso específico aparente.

Hino Nacional

Ouviram do Ipiranga as margens plácidas
De um povo heróico o brado retumbante,
E o sol da liberdade, em raios fúlgidos,
Brilhou no céu da pátria nesse instante.

Se o penhor dessa igualdade
Conseguimos conquistar com braço forte,
Em teu seio, ó liberdade,
Desafia o nosso peito a própria morte!

Ó Pátria amada,
Idolatrada,
Salve! Salve!

Brasil, um sonho intenso, um raio vívido
De amor e de esperança à terra desce,
Se em teu formoso céu, risonho e límpido,
A imagem do Cruzeiro resplandece.

Gigante pela própria natureza,
És belo, és forte, impávido colosso,
E o teu futuro espelha essa grandeza.

Terra adorada,
Entre outras mil,
És tu, Brasil,
Ó Pátria amada!
Dos filhos deste solo és mãe gentil,
Pátria amada, Brasil!

Deitado eternamente em berço esplêndido,
Ao som do mar e à luz do céu profundo,
Fulguras, ó Brasil, florão da América,
Iluminado ao sol do Novo Mundo!

Do que a terra, mais garrida,
Teus risonhos, lindos campos têm mais flores;
"Nossos bosques têm mais vida",
"Nossa vida" no teu seio "mais amores."

Ó Pátria amada,
Idolatrada,
Salve! Salve!

Brasil, de amor eterno seja símbolo
O lábaro que ostentas estrelado,
E diga o verde-louro dessa flâmula
- "Paz no futuro e glória no passado."

Mas, se ergues da justiça a clava forte,
Verás que um filho teu não foge à luta,
Nem teme, quem te adora, a própria morte.

Terra adorada,
Entre outras mil,
És tu, Brasil,
Ó Pátria amada!
Dos filhos deste solo és mãe gentil,
Pátria amada, Brasil!

Hino do Estado do Ceará

Poesia de Thomaz Lopes
Música de Alberto Nepomuceno
Terra do sol, do amor, terra da luz!
Soa o clarim que tua glória conta!
Terra, o teu nome a fama aos céus remonta
Em clarão que seduz!
Nome que brilha esplêndido luzeiro
Nos fulvos braços de ouro do cruzeiro!

Mudem-se em flor as pedras dos caminhos!
Chuvas de prata rolem das estrelas...
E despertando, deslumbrada, ao vê-las
Ressoa a voz dos ninhos...
Há de florar nas rosas e nos cravos
Rubros o sangue ardente dos escravos.
Seja teu verbo a voz do coração,
Verbo de paz e amor do Sul ao Norte!
Ruja teu peito em luta contra a morte,
Acordando a amplidão.
Peito que deu alívio a quem sofria
E foi o sol iluminando o dia!

Tua jangada afoita enfune o pano!
Vento feliz conduza a vela ousada!
Que importa que no seu barco seja um nada
Na vastidão do oceano,
Se à proa vão heróis e marinheiros
E vão no peito corações guerreiros?

Se, nós te amamos, em aventuras e mágoas!
Porque esse chão que embebe a água dos rios
Há de florar em meses, nos estios
E bosques, pelas águas!
Selvas e rios, serras e florestas
Brotem no solo em rumorosas festas!
Abra-se ao vento o teu pendão natal
Sobre as revoltas águas dos teus mares!
E desfraldado diga aos céus e aos mares
A vitória imortal!
Que foi de sangue, em guerras leais e francas,
E foi na paz da cor das hóstias brancas!



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria da Educação