

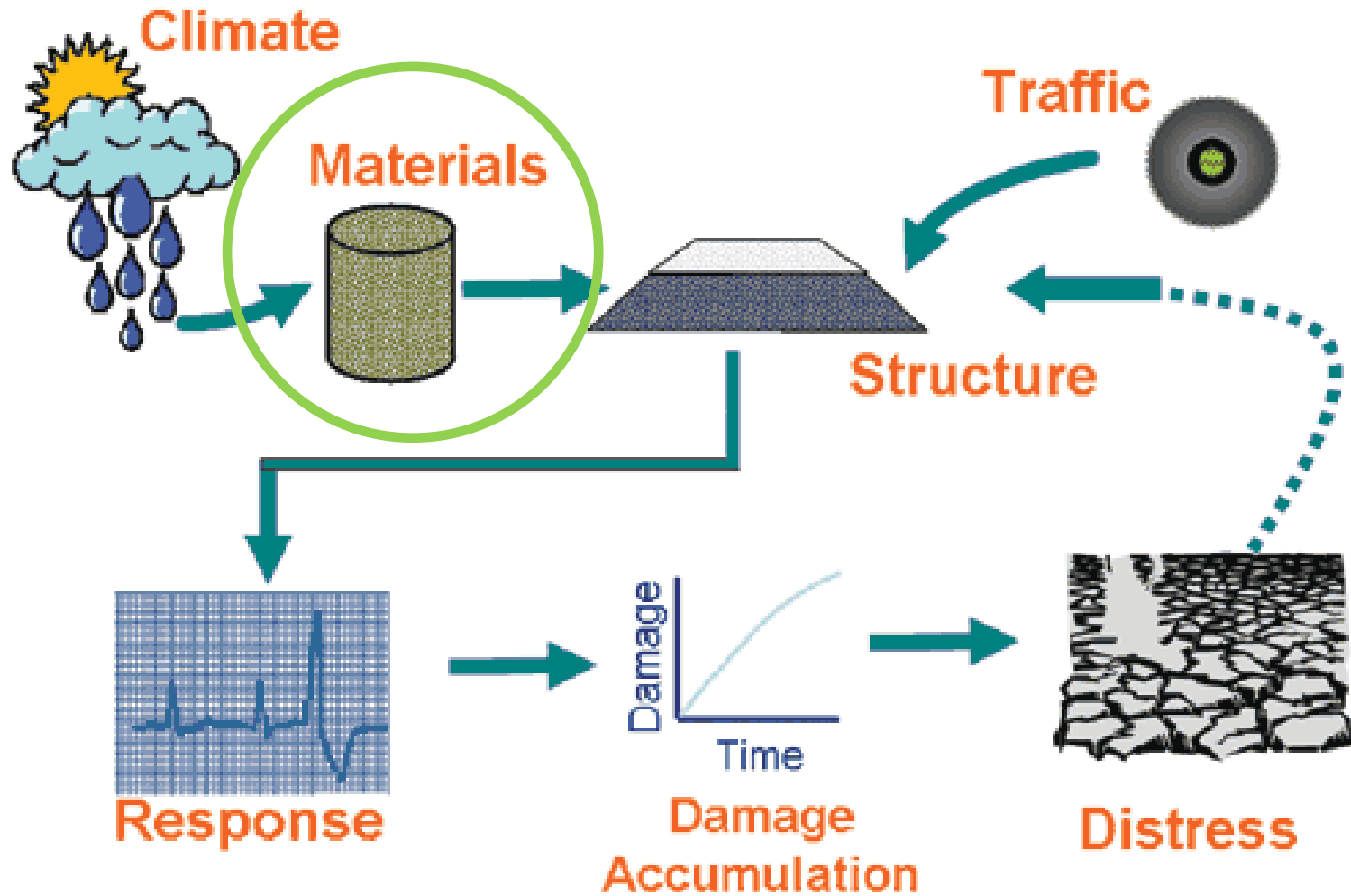
Compactação

Conceitos

equipamentos de laboratório
equipamentos de campo
controle tecnológico

PTR 3322

- Pavimentos: materiais***



Um pouco de história:

- Na Califórnia, em 1929, perguntou-se porque havia pavimentos em **bom estado** e pavimentos com **defeitos e problemas** de performance.
- Uma grande pesquisa de campo mostrou **três pontos de diagnóstico:**
 - 1) **Falta de Compactação**
 - 2)(aguarde....você saberá)
 - 3)(aguarde....você saberá).

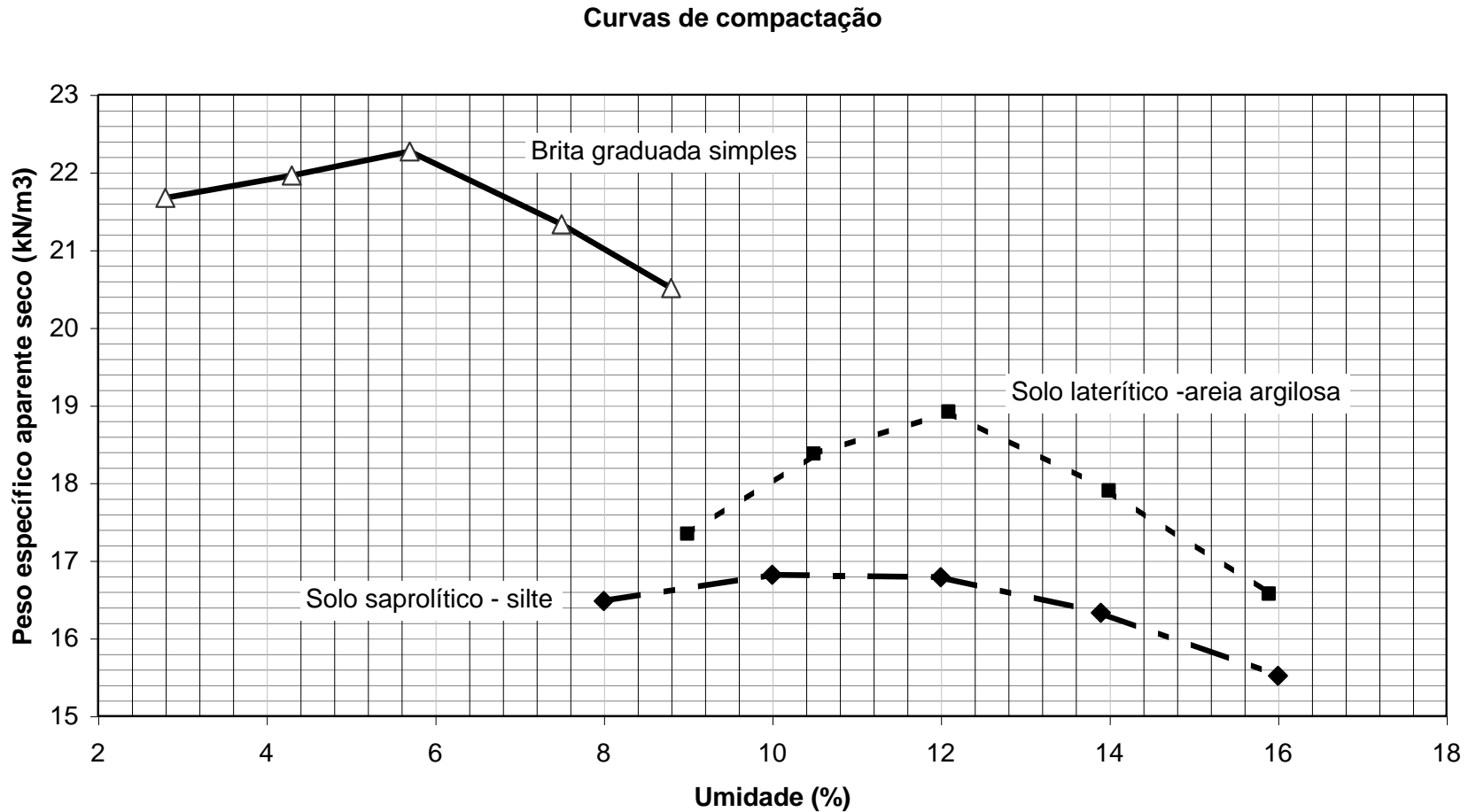
Compactação

Responda às seguintes questões:

- 1) O que é compactar um solo, um material para obras viárias?
 - 2) Por quê se compacta um material para uso em obras viárias?
- É o processo pelo qual se obtém uma maior densificação dos materiais, maior peso específico, maior resistência, e principalmente maior estabilidade (Milton Vargas)
 - A compactação dos solos, materiais granulares, etc depende intrinsecamente da umidade

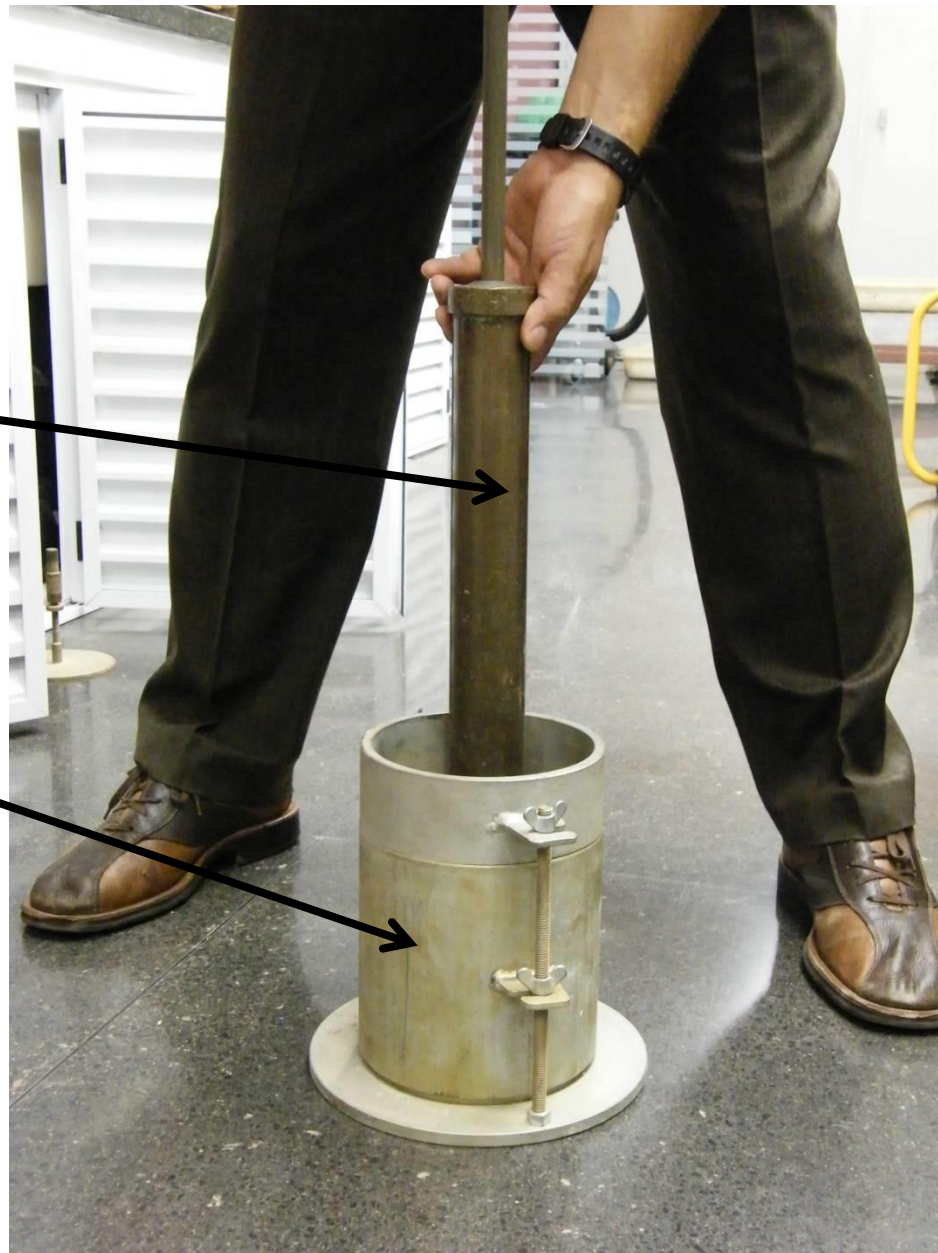
Responda às seguintes questões:

3) Determine os pesos específicos aparentes secos máximos e umidade ótima de ambos solos e da brita graduada simples (FIGURA 3)



**Soquete
de compactação**

Cilindro metálico



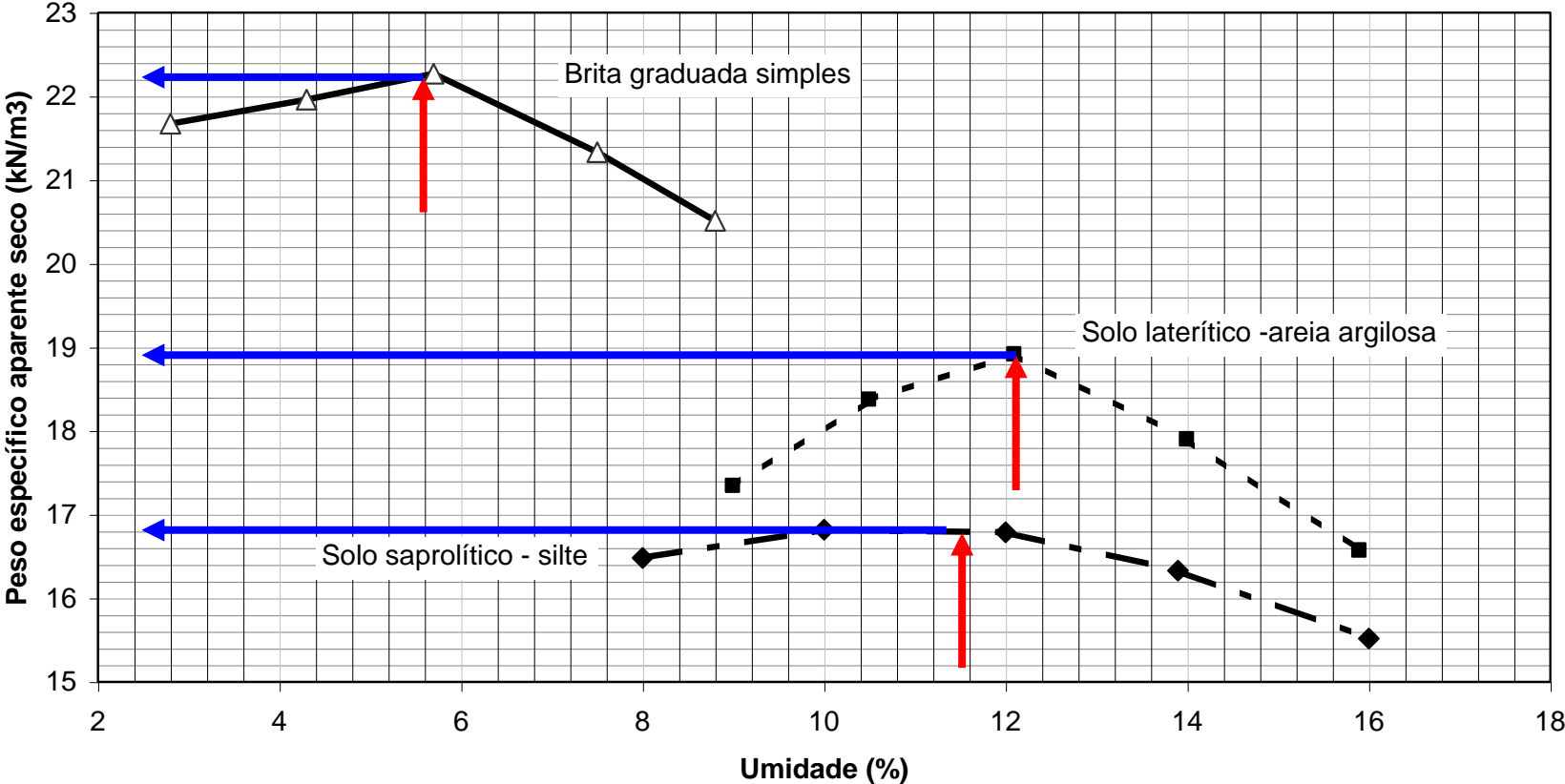
**Soquetes
de compactação**

Cilindros metálicos



RESPOSTAS

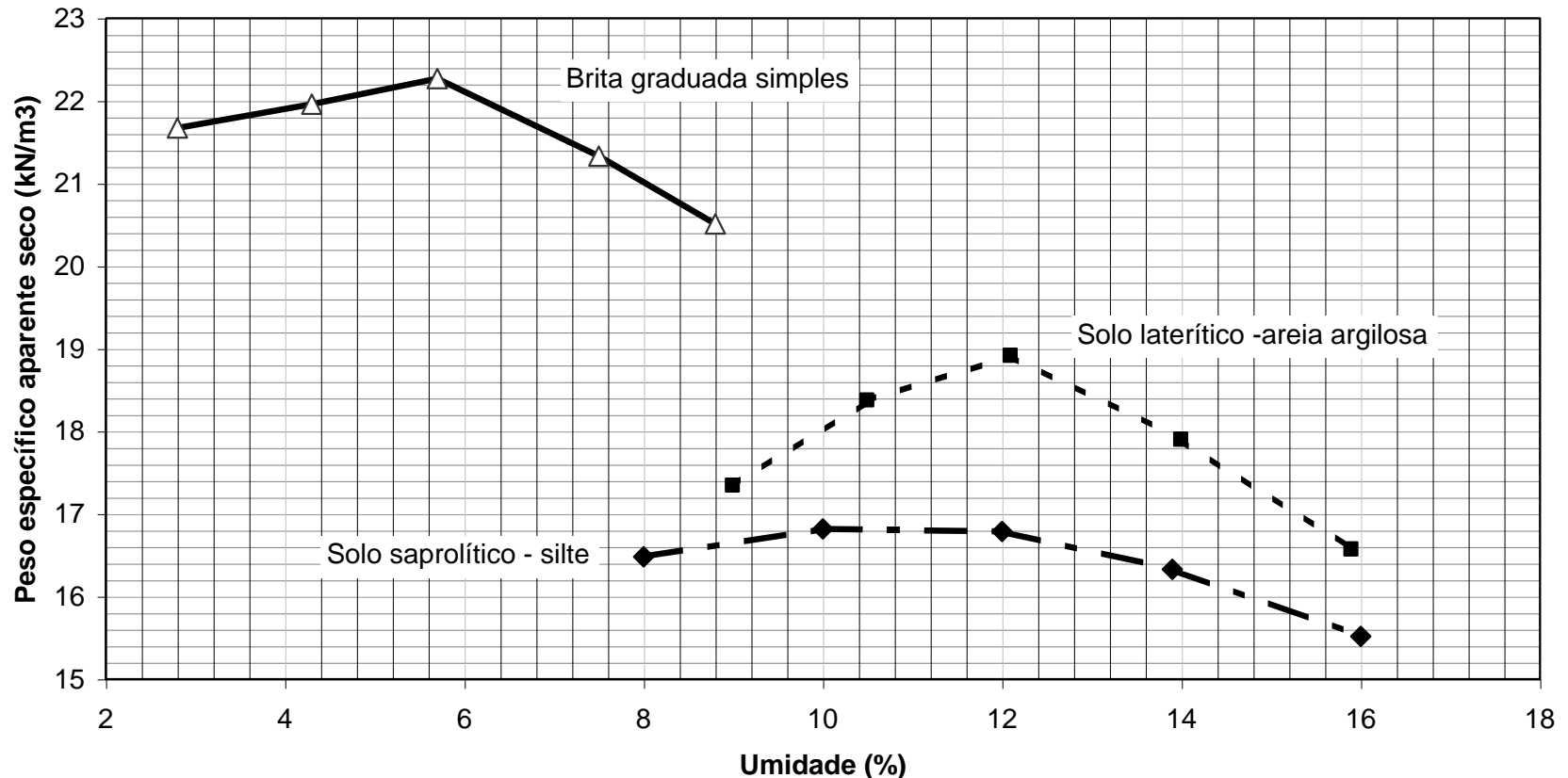
Curvas de compactação

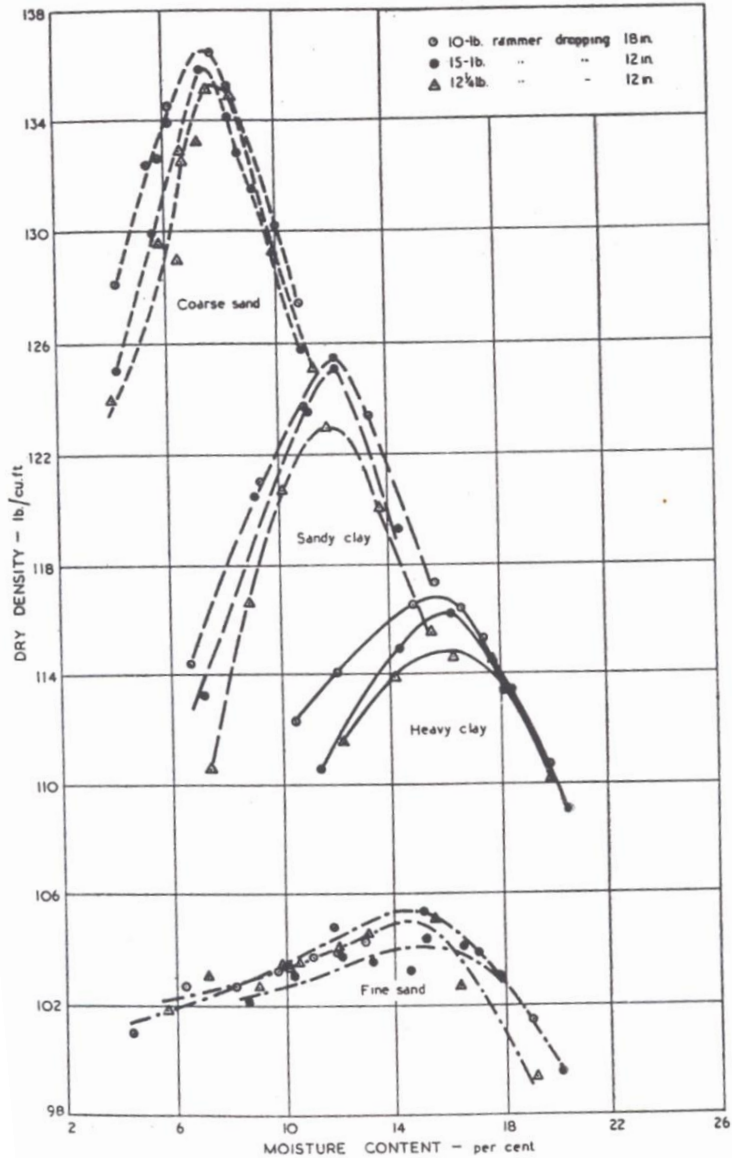


Responda às seguintes questões:

- 4) a) Compare os valores de peso específico aparente seco dos solos e da brita. Veja se há relação entre a presença de material granular ou de material mais fino no peso específico aparente seco.
- b) Compare os valores de umidade ótima dos solos e da brita. Veja se há relação entre a presença de material granular ou de material mais fino na umidade ótima de compactação.

Curvas de compactação

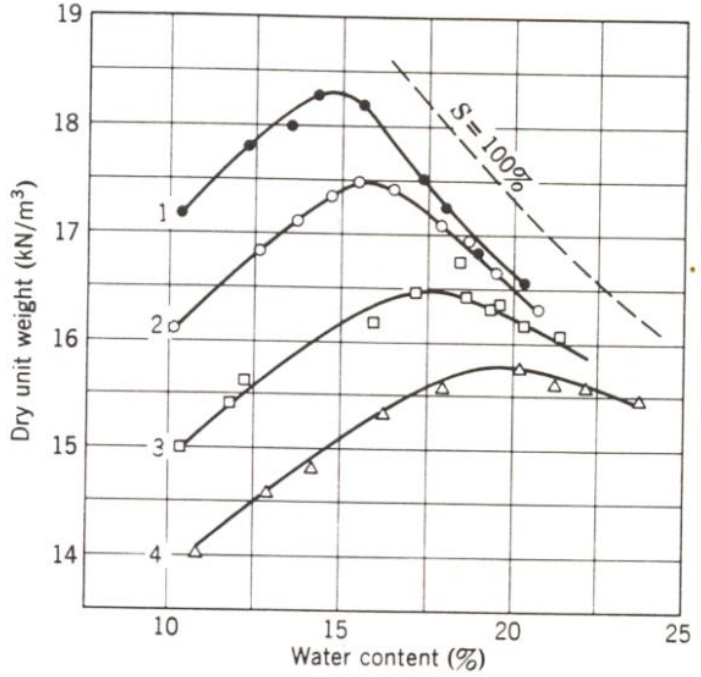




Diferentes solos
Diferentes texturas

IG. 9-11 DRY DENSITY/MOISTURE CONTENT RELATIONSHIPS FOR FOUR SOIL TYPES USING RAMMERS OF DIFFERENT WEIGHTS DROPPING THROUGH DIFFERENT HEIGHTS

Energia de compactação



Resposta às seguintes questões:

5) A umidade ótima varia com a energia de compactação?
 Por quê?

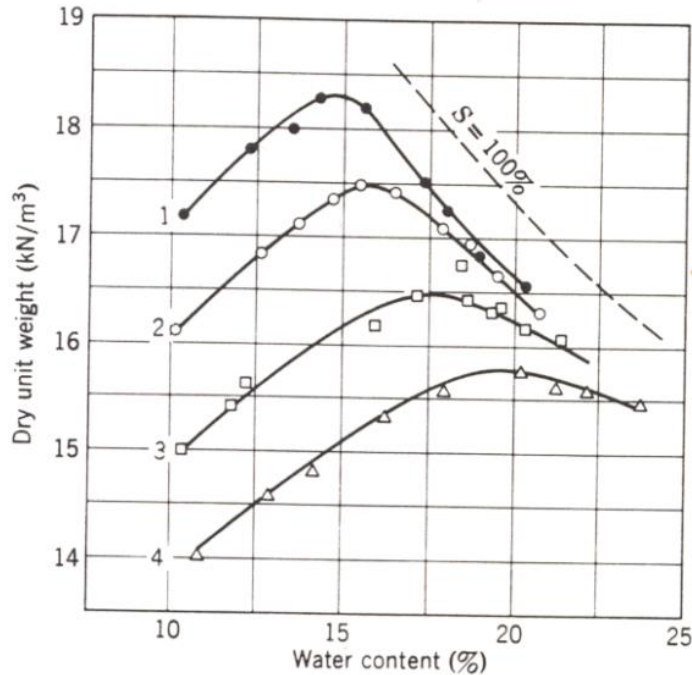
No. Layers	Blows per Layer	Hammer Mass	Hammer Drop
1	5	4.54 kg	457 mm (mod. AASHO)
2	5	4.54	457
3	5	4.54	457 (std. AASHO)
4	3	2.50	305

Note. 150 mm diameter mold used for all tests.

Fig. 34.2 Dynamic compaction curves for a silty clay. (From Turnbull, 1950).

Energia de compactação

Veja porque a umidade ótima reduz com a maior energia de compactação?



No.	Layers	Blows per Layer	Hammer Mass	Hammer Drop
1	5	55	4.54 kg	457 mm (mod. AASHO)
2	5	26	4.54	457
3	5	12	4.54	457 (std. AASHO)
4	3	25	2.50	305

Note. 150 mm diameter mold used for all tests.

Fig. 34.2 Dynamic compaction curves for a silty clay. (From Turnbull, 1950).

Compactação em campo



Remoção de solos moles ou de baixa resistência

pode substituir por solo “importado” ou colocar rachão para reforçar

Alguns equipamentos usados para misturar de aditivos para estabilização de solos ou misturas



Equipamentos de Campo: Transporte e Distribuição de Materiais



Distribuição de solos ou agregados com motoniveladora



Distribuição de Materiais: motoniveladora



**Para materiais como BGS e
BGTC também se usa
acabadoras (é melhor)**



Equipamentos de Campo: Distribuição de Materiais com vibroacabadora



Alguns equipamentos usados na compactação das camadas de solo (silte e argila)

Rolo pé de carneiro



Alguns equipamentos usados na compactação das camadas de solo (silte e argila)

Rolo pé de carneiro e motoniveladora



**Se umidade do solo baixa:
aumentar com caminhão pipa e
homogeneizar com rotativa**



Compactação de alguns tipos de solos e materiais granulares:



Uso de rolos de pneus para a compactação de materiais granulares e areias: construção de base



Uso de rolos lisos para a compactação de materiais granulares: construção de base



Alguns equipamentos usados na construção das camadas de solo



CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

**Alguns equipamentos usados no
controle de compactação, logo
após a construção das camadas**

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

- **Peso específico aparente úmido**
- **Umidade**
- **Grau de compactação**

Exercício 4:

In Situ, foi feito controle tecnológico, determinando-se a umidade em campo e o Grau de Compactação. Foram utilizados o solo laterítico no reforço do subleito e a BGS na base.

Para o solo do reforço, o projetista solicitou: **$GC \geq 97\%$** da energia intermediária e **$\pm 2\%$ de umidade** em relação à ótima.

Para a BGS, o projetista solicitou: **$GC \geq 97\%$** da energia modificada e **$\pm 0,5\%$** de umidade em relação à ótima.

Exercício 4:

a) Em um determinado trecho de 100 metros de extensão, a **média da umidade de campo foi de 10% e o grau de compactação de 94%** para o solo laterítico. Você, se fosse o fiscal da obra, liberaria o trecho? Quais seriam os eventuais problemas e por quê?

b) No trecho subsequente, o controle indicou **16% e grau de compactação de 97%**. Você, se fosse o fiscal da obra, liberaria o trecho? Quais seriam os eventuais problemas e por quê?

Exercício 4c:

Como proceder aos controles de umidade e de grau de compactação? Como seriam os ensaios *in situ* para esta finalidade?

Controle da umidade (para verificar se está na faixa próxima da ótima)

Controle de peso específico aparente seco para verificar se está próximo do máximo

grau de compactação **GC** = $(g_{\text{campo}}/g_{\text{max de laboratório}}) \times 100 (\%)$
GC ≥ valor especificado pelo projetista

Poços de Sondagem com Medição de “Densidade” (peso específico aparente umido) com Frasco de Areia





Controle de umidade

- Uso de ampolas de carbureto de Cálcio
- Peso de solo pré-determinado em função do tipo
- Pressão na reação água do solo com carbureto – forma um gás de acetileno



Controle de grau de compactação e umidade

Equipamento nuclear



Apud: Edson Moura

Exercício 4d:

Modernamente, tem-se solicitado dados de **resistência** e/ou **deformabilidade** da camada compactada.

Como você conceberia os ensaios para medir estas propriedades?

Por que a determinação destas propriedades mecânicas são importantes para a garantia de boa execução?

Cone Sul-africano (DCP)

RESISTÊNCIA



Controle deflectométrico com VB

DEFORMABILIDADE



Levantamento de Deslocamentos Recuperáveis (não destrutivo)

FWD



Placa e geofones



**DEFORMABILIDADE
(DEFLEXÃO)**

Fotos: Abdou

CBR

**Ensaaios de
Resistência**

Propriedades Mecânicas

Resistência e Deformabilidade:

1. Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou California Bearing Ratio (CBR) - resistência
2. Módulo de resiliência - deformabilidade

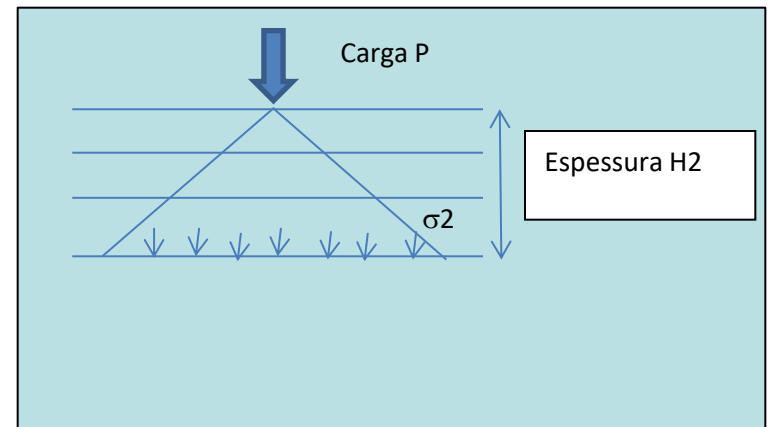
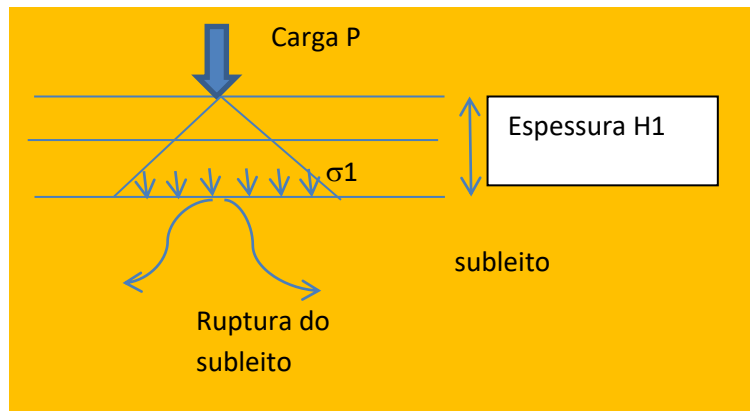
Materiais: Propriedades Mecânicas

RESISTÊNCIA

1. Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou **California Bearing Ratio (CBR)**:
 - Concepção no final da década de 20 para avaliar o potencial de ruptura do subleito - a resistência do material frente a deslocamentos significativos, sendo obtida por meio de ensaio penetrométrico em laboratório - resposta combina a coesão com o ângulo de atrito do material
 - Valor de referência ou padrão, equivalente a 100%
 - ISC é a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo-de-prova de solo ou material granular e a pressão necessária para produzir a mesma penetração no material padrão

Década de 20 na Califórnia

- Observação de PORTER



$H2 > H1$, e $\sigma_2 \ll \sigma_1$

Portanto, Espessura Total em função da
Capacidade de Suporte do Subleito, dada pelo CBR

Concepção original:

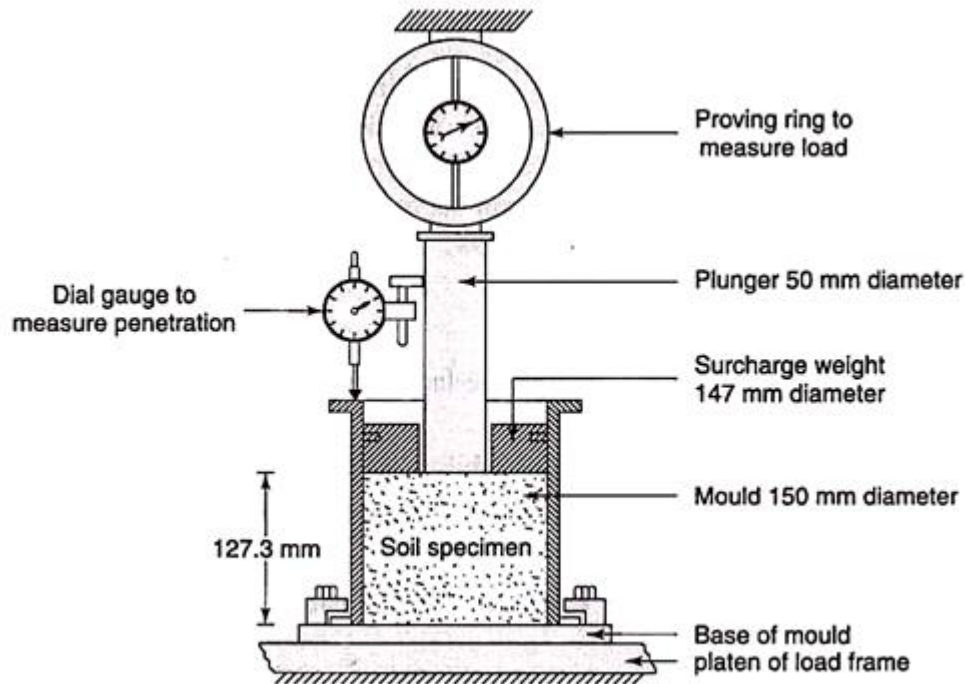


Fig. 10.10 Schematic diagram of CBR test.

https://www.soilmanagementindia.com/wpcontent/uploads/2018/05/clip_image020-3.png

$$CBR = \frac{p}{p_s} \cdot 100\%$$

p = measured pressure for site soils [N/mm²]

p_s = pressure to achieve equal penetration on standard soil [N/mm²]

Materiais: Propriedades Mecânicas

1. Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou California Bearing Ratio (CBR)

Etapas do ensaio laboratorial:



1º. Compactação do corpo-de-prova



2º. Imersão dos corpos-de-prova em tanque de água por 96 horas e medida de expansão axial



Fotos: Rosângela Motta

3º. Ensaio de penetração de pistão padrão no corpo-de-prova e medida penetração e resistência

CBR

Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou California Bearing Ratio (CBR)

Ensaio automatizado:



3º. Ensaio de penetração de pistão padrão no corpo-de-prova e medida penetração e resistência

CBR

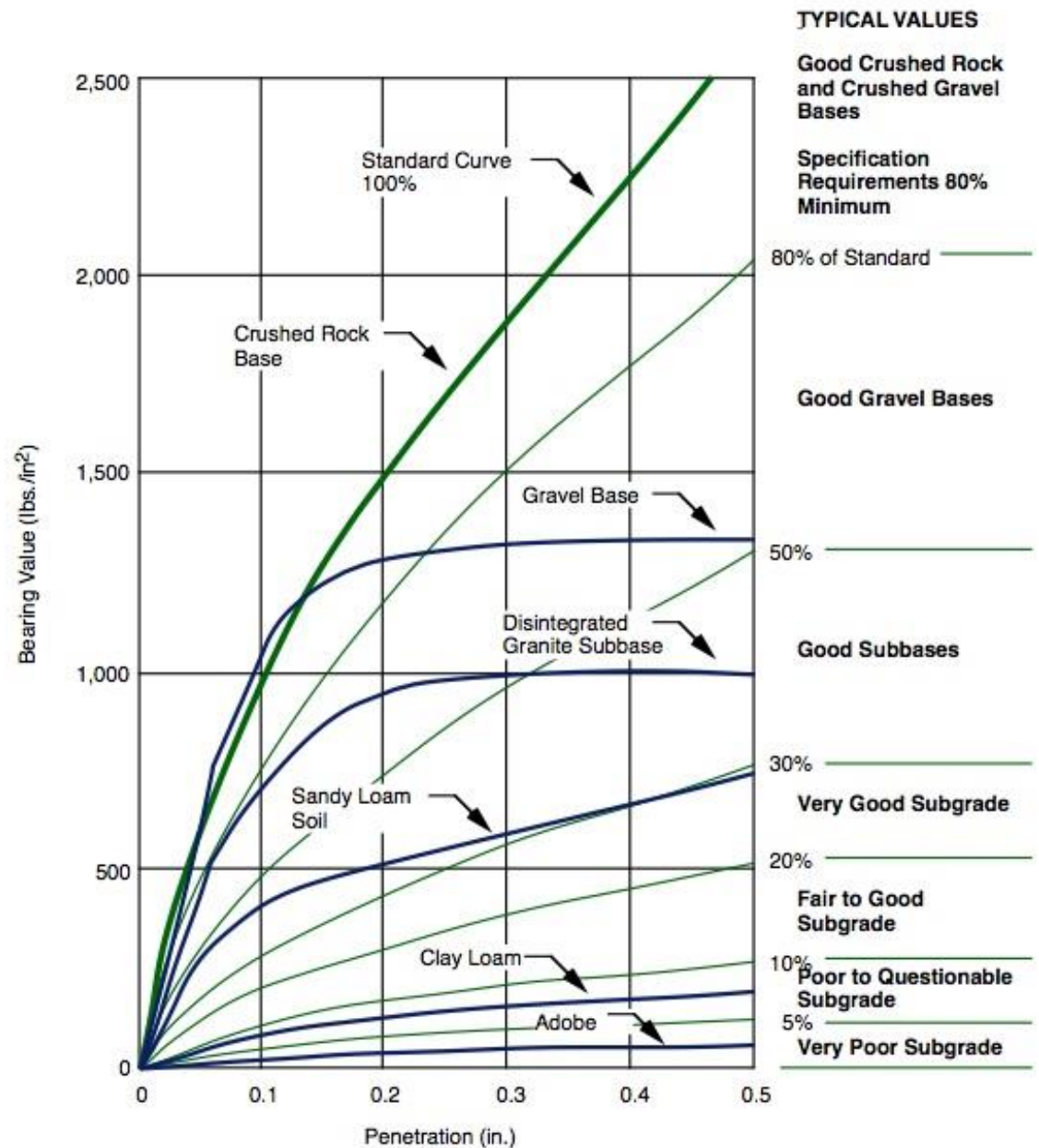


Figura 4: Material padrão (100%) e vários tipos de material (<http://www.pavementinteractive.org/>)

Exercício 6:

2 solos (laterítico e saprolítico)

Tempo decorrido de ensaio (horas)	Solo L (L-leitura em mm)	Expansão (%) $(L_{final}-L_{inicial})/H_{inicial}$ do CP	Solo S (L-leitura em mm)	Expansão (%) $(L_{final}-L_{inicial})/H_{inicial}$ do CP
0	0		0	
24	0,193		1,01	
48	0,208		1,83	
72	0,250		2,35	
96	0,251		2,62	

Tempo decorrido de ensaio (horas)	Solo L (L-leitura em mm)	Expansão (%) $(L_{final}-L_{inicial})/H_{inicial}$ do CP	Solo S (L-leitura em mm)	Expansão (%) $(L_{final}-L_{inicial})/H_{inicial}$ do CP
0	0	0%	0	0%
24	0,193	0,15%	1,01	0,81%
48	0,208	0,17%	1,83	1,46%
72	0,250	0,20%	2,35	1,88%
96	0,251	0,20%	2,62	2,10%

Exercício 7:
2 solos (laterítico e saprolítico)

$$CBR 1 (\%) = \frac{\text{tensão } (\sigma_{0,1''}) \times 100}{70}$$

$$CBR 2 (\%) = \frac{\text{tensão } (\sigma_{0,2''}) \times 100}{105}$$

Adota-se o maior dos valores entre os CBR1 e CBR2.
 Tensão dada em kgf/cm².

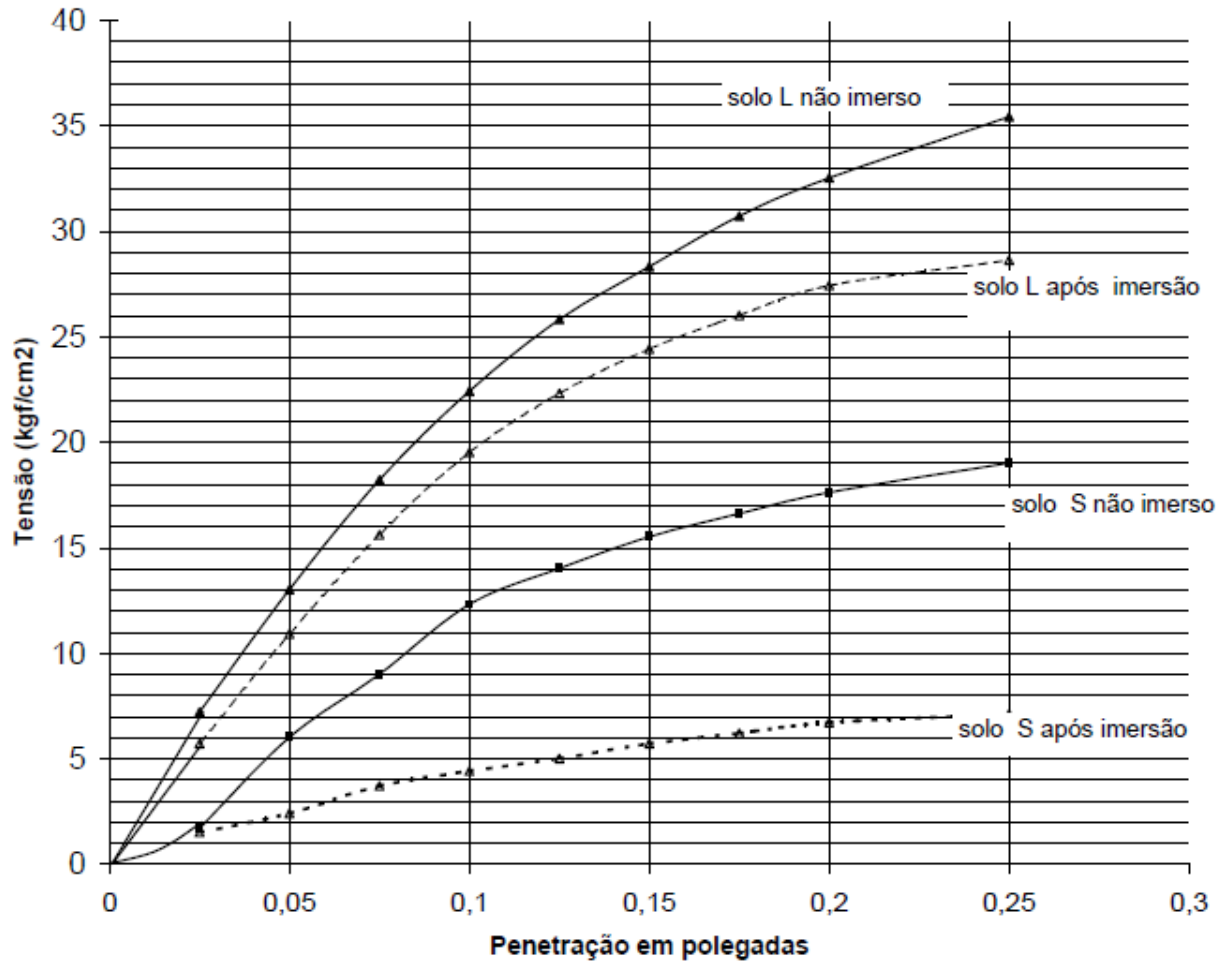


Figura 5: resultados de ensaio de CBR (curvas tensão x penetração)

Exercício 7:

LATERÍTICO

$$\text{CBR 1 (\%)} = \frac{\text{tensão } (\sigma_{0,1''}) \times 100}{70}$$

$$\text{CBR 1} = 27\%$$

$$\text{CBR 2 (\%)} = \frac{\text{tensão } (\sigma_{0,2''}) \times 100}{105}$$

$$\text{CBR 2} = 25\%$$

Adota-se o maior dos valores entre os CBR1 e CBR2.
Tensão dada em kgf/cm².

SAPROLÍTICO

$$\text{CBR 1 (\%)} = \frac{\text{tensão } (\sigma_{0,1''}) \times 100}{70}$$

$$\text{CBR 1} = 6\%$$

$$\text{CBR 2 (\%)} = \frac{\text{tensão } (\sigma_{0,2''}) \times 100}{105}$$

$$\text{CBR 2} = 6\%$$

Adota-se o maior dos valores entre os CBR1 e CBR2.
Tensão dada em kgf/cm².

CBR

Exercício 8:

BRITA GRADUADA SIMPLES (BGS)

Curva de compactação - Brita Graduada Simples

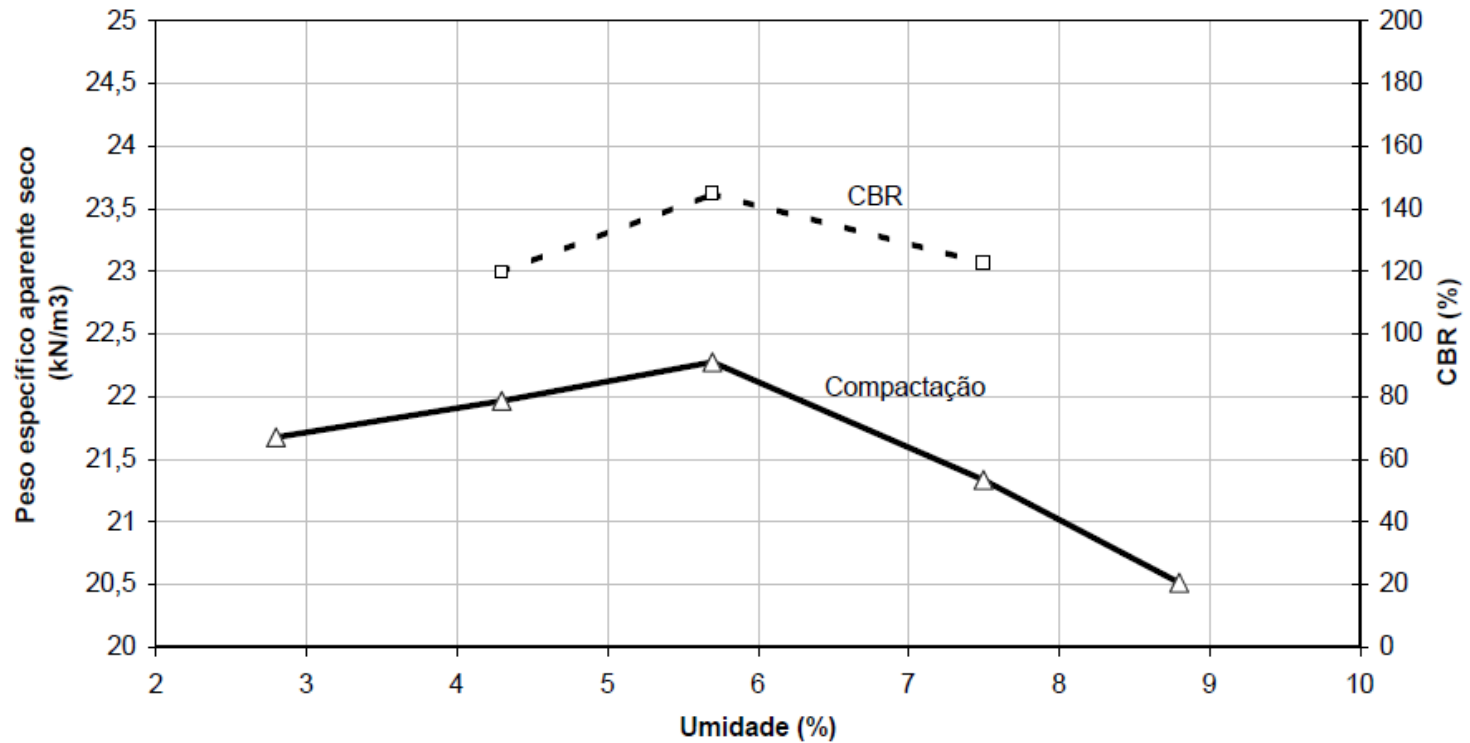
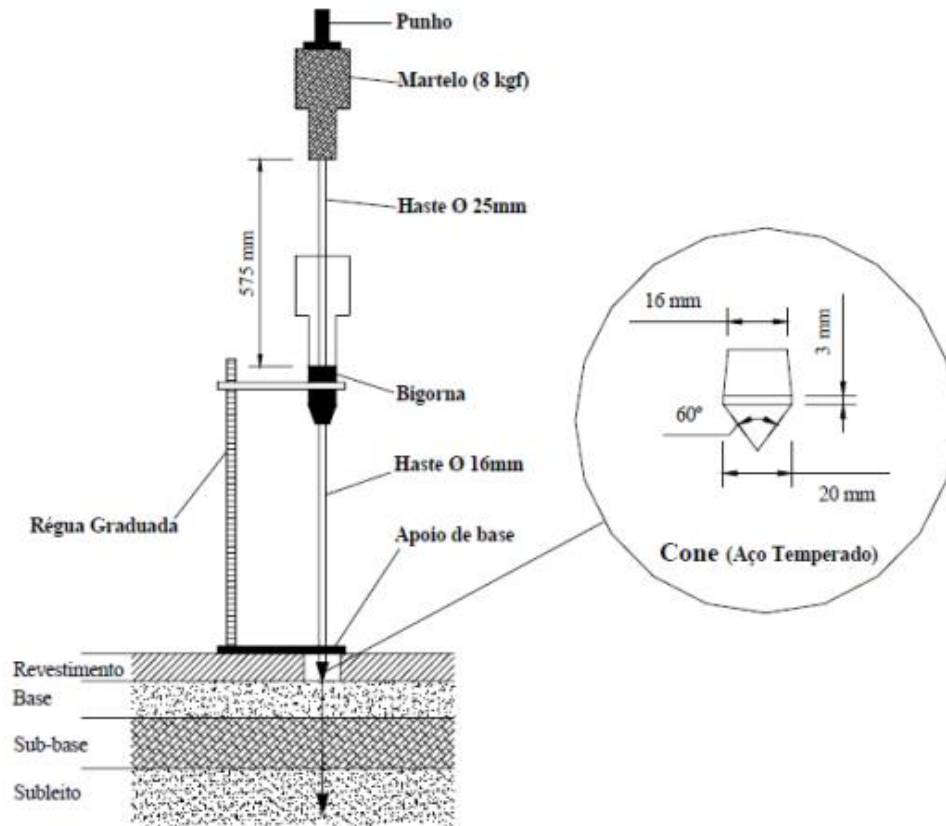


Figura 6: resultados de ensaio de CBR e a curva de compactação da brita graduada simples

Cone Penetrométrico

Ensaaios de Resistência

Cone Sul-Africano (DCP)



Fonte: Lima, 2000

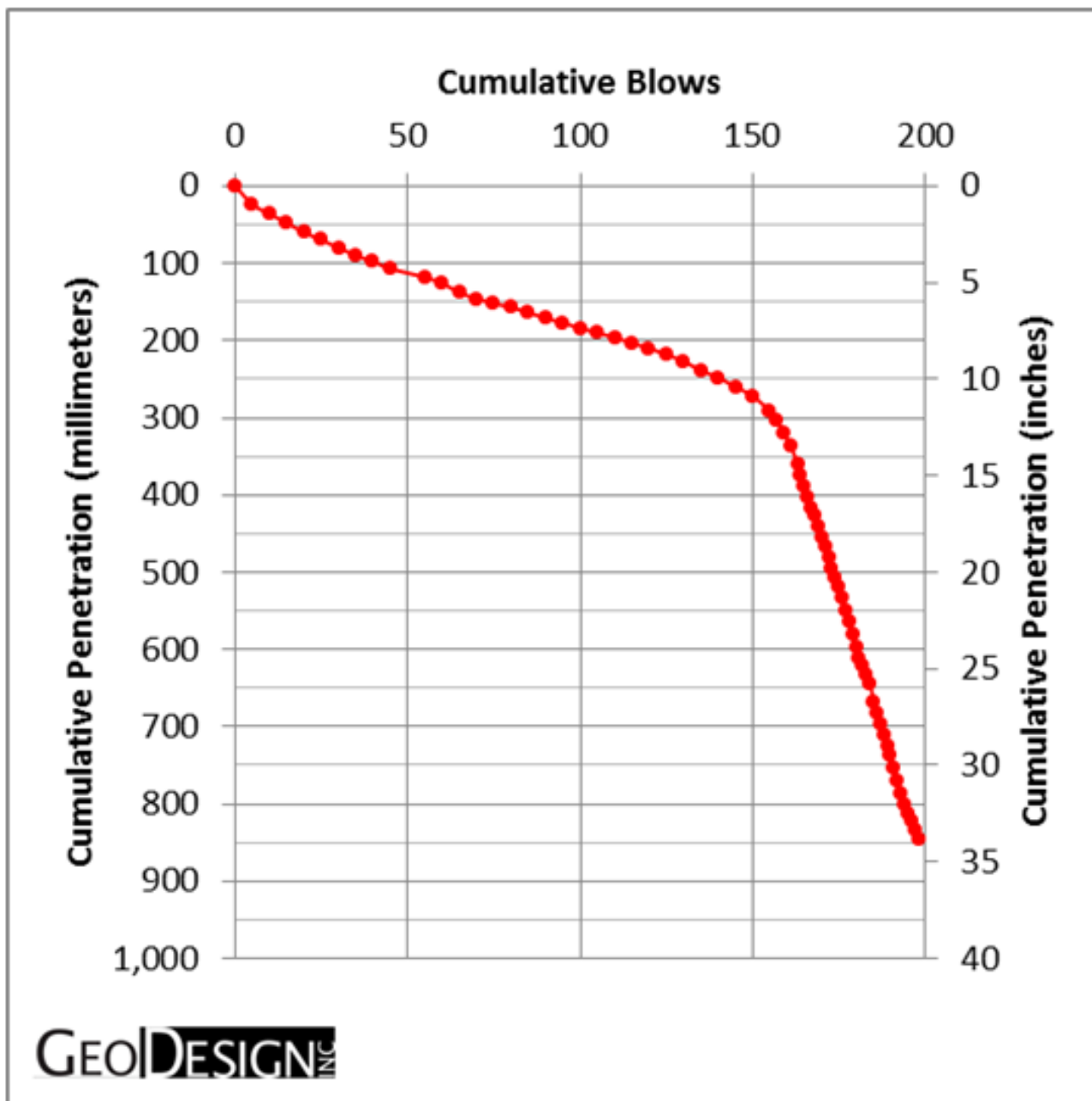


Figura 8: Resultado em campo de teste de DCP

Tabela 3 - Correlações da Norma D6951-09

CORRELAÇÕES	TIPO DE SOLO
$CBR = \frac{292}{DN^{1,12}}$	Para todos os solos exceto para Argilas com baixa plasticidade com CBR<10% e argilas altamente plásticas.
$CBR = \frac{1}{(0,432283 \times DN)^2}$	Para Argilas com baixa plasticidade com CBR<10%.
$CBR = \frac{1}{(0,002871 \times DN)}$	Para Argilas altamente plásticas.

Fonte: Adaptado pelo autor ASTM,2009, p. 4.

DN = profundidade penetrada em mm por golpe
Correlações entre CBR e DN (profundidade/golpes)
(apud: Fernandes, 2015)

Atenção: Segunda equação em polegadas/golpes!!!