

# Aula 1: Ensaio Geotécnicos de Campo



Prof. Mauricio Abramento

## **1- Introdução**

Superestrutura: materiais são escolhidos (inclusive barragens)  
Fundações/Solos: não se conhecem os materiais

**Finalidades das investigações:**

- a) Viabilidade técnica e econômica do local
- b) Determinação das características do subsolo
- c) Previsão de dificuldades construtivas
- d) Disponibilidade e adequabilidade de materiais de construção (aterro, por exemplo)
- e) Investigações de causas de acidentes ocorridos: obras já construídas ou natureza

**Objetivos da investigação:**

- a) **Tipos de solos encontrados:** identificação e classificação através de identificação visual-táctil, ou ensaios de caracterização.
- b) **Disposição e espessura das camadas.**
- c) **Nível d'água:** gravitacional, lençóis artesianos, suspensos.
- d) **Estado do solo:** consistência das argilas  
compacidade das areias  
índices físicos  
resistência, deformabilidade, permeab.

**Determinação:** correlações ou ensaios específicos.

**Planejamento:** depende do tipo e importância da obra, da natureza local, prazos e custos. Exemplos:

- a) **Obras compactas (edifícios):** maior nº de sondagens, profundas
- b) **Obras lineares (estradas, túneis, canais):** sondagens mais espaçadas, eventualmente mais rasas.

## **2- Classificação das investigações**

### **2.1. Investigações de superfície:**

- a) inspeção visual
- b) topografia e aerofotos
- c) geologia regional
- d) registros de obras anteriores

### **2.2. Exploração subterrânea**

#### **a) Métodos geofísicos**

Sísmicos: velocidade de propagação da onda =  $f(E, v, \gamma)$

Eletroresistividade: camadas, salinidade

- b) **Poços ou trincheiras:** permite exame visual in situ ou extração de blocos para ensaios de laboratório.

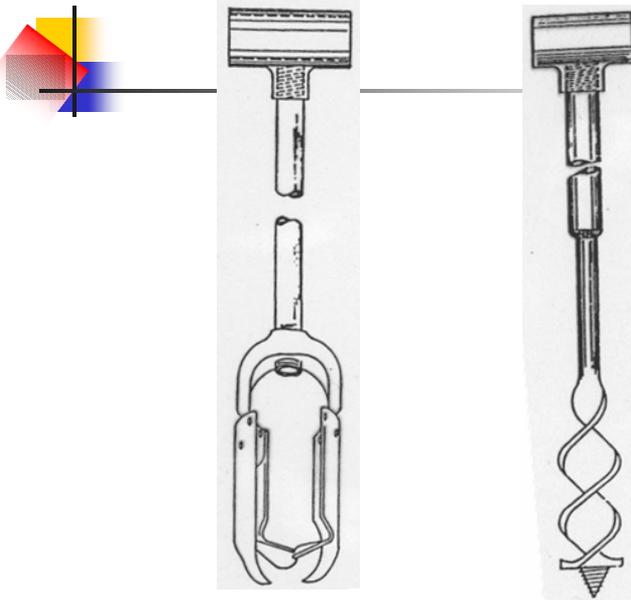
## c) Sondagens mecânicas: deformadas

### c.1) Sondagens a trado

- manual ou mecânico
- trado helicoidal ou espiral
- trado concha
- trado cavadeira

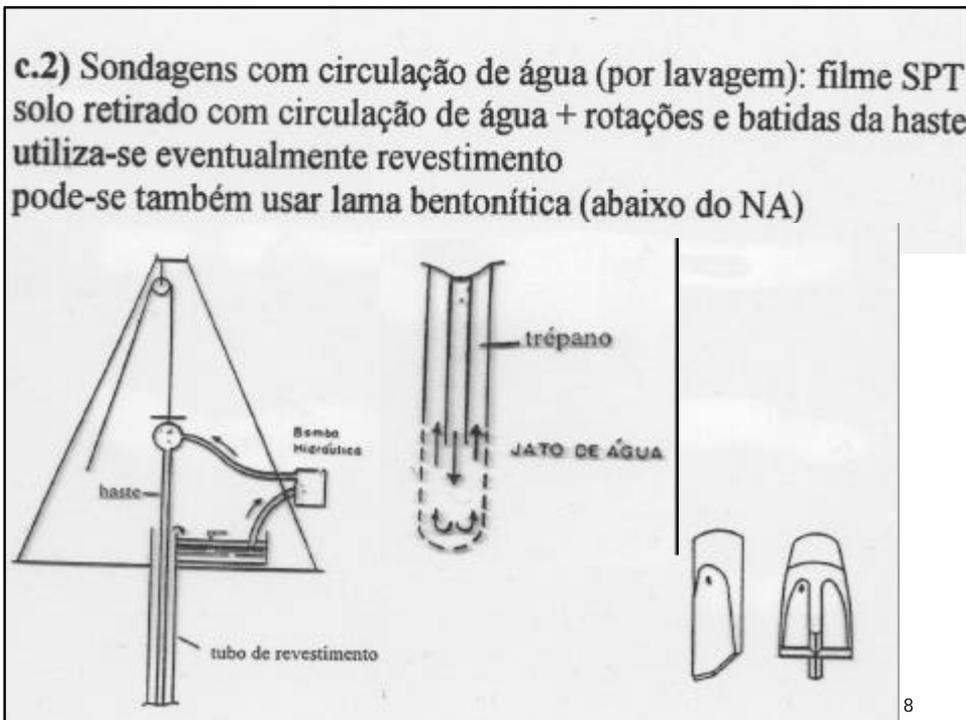
limitações: amostragem deformada  
argilas moles e médias  
areias e siltes acima do NA

## Trados cavadeira e helicoidal





7



8

**c.3) Sondagens de simples reconhecimento SPT:**

filme e NBR-6484/80, NBR-7250/82

trecho inicial: sondagem a trado, até o NA

a cada metro: colhe-se amostra, amostrador padronizado

amostra: possível ensaios de caracterização (LL, LP, gran., h)

avanço por lavagem após NA

**c.4) Sondagens rotativas: rocha**

- sapata com incrustação de diamante industrial ou vídea
- barrilete amostrador: testemunho
- circulação de água para refrigeração

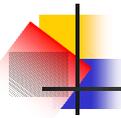
9



## Barrilete amostrador



10



# Testemunhos



11

## c.5) Amostradores

- avanço por trado ou lavagem até cota de interesse
- solos argilosos de baixa e média resistência: Shelby  
tubo de latão  
espessura parede 1,0 a 1,5mm (problema de flambagem)  
diâmetros: 2", 3", 4", 5", 6"  
ocorre amolgamento ao longo da parede do amostrador
- solos arenosos: difícil amostragem indeformada  
Bishop e Denison

12

## Sonda rotativa

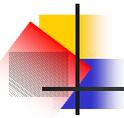


13

## Denison e Shelby



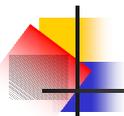
14



## Ensaaios Geotécnicos de Campo

- SPT (Standard Penetration Test)
- CPT/CPTU (Cone Penetration Test)
- Vane Test (Ensaio de Palheta)
- Ensaio Pressiométrico
- DMT (Ensaio Dilatométrico)
- Prova de carga em placa

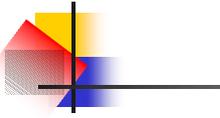
15



## Ensaaios de Campo - Vantagens

- Amostragem desnecessária
- Representatividade
- Grande número ao longo de perfil (\$)
- Condições de contorno bem definidas
- Tempo de realização do ensaio

16



| Grupo        | Equipamento                     | Identificação |        |   |         | Parâmetros |       |       |       |   |       |            |     |                   |  |  |
|--------------|---------------------------------|---------------|--------|---|---------|------------|-------|-------|-------|---|-------|------------|-----|-------------------|--|--|
|              |                                 | Tipo solo     | Perfil | u | $\phi'$ | $S_u$      | $D_r$ | $m_v$ | $c_v$ | K | $G_0$ | $\sigma_h$ | OCR | $\sigma-\epsilon$ |  |  |
| Penetrômetro | Dinâmico                        | C             | B      | - | C       | C          | C     | -     | -     | - | C     | -          | C   | -                 |  |  |
|              | Mecânico                        | B             | A/B    | - | C       | C          | B     | C     | -     | - | C     | C          | C   | -                 |  |  |
|              | Elétrico (CPT)                  | B             | A      | - | C       | B          | A/B   | C     | -     | - | B     | B/C        | B   | -                 |  |  |
|              | Piezocone (CPTU)                | A             | A      | A | B       | B          | A/B   | B     | A/B   | B | B     | B/C        | B   | C                 |  |  |
|              | Sísmico (SCPT/SCPTU)            | A             | A      | A | B       | A/B        | A/B   | B     | A/B   | B | A     | B          | B   | B                 |  |  |
|              | Dilatômetro (DMT)               | B             | A      | C | B       | B          | C     | B     | -     | - | B     | B          | B   | C                 |  |  |
|              | Standard Penetration Test (SPT) | A             | B      | - | C       | C          | B     | -     | -     | - | C     | -          | C   | -                 |  |  |
|              | Resistividade                   | B             | B      | - | B       | C          | A     | C     | -     | - | -     | -          | -   | -                 |  |  |
| Pressiômetro | Pré-furo (PBP)                  | B             | B      | - | C       | B          | C     | B     | C     | - | B     | C          | C   | C                 |  |  |
|              | Auto-perfurante (SBP)           | B             | B      | A | B       | B          | B     | A     | B     | A | A/B   | B          | A/B |                   |  |  |
|              | Cone-pressiômetro (FDP)         | B             | B      | - | C       | B          | C     | C     | C     | - | A     | C          | C   | C                 |  |  |
| Outros       | Palheta                         | B             | C      | - | -       | A          | -     | -     | -     | - | -     | B/C        | B   |                   |  |  |
|              | Ensaio de placa                 | C             | -      | - | C       | B          | B     | B     | C     | C | A     | C          | B   | B                 |  |  |
|              | Placa helicoidal                | C             | C      | - | C       | B          | B     | B     | C     | C | A     | C          | B   | -                 |  |  |
|              | Permeabilidade                  | C             | -      | A | -       | -          | -     | -     | B     | A | -     | -          | -   |                   |  |  |
|              | Ruptura hidráulica              | -             | -      | B | -       | -          | -     | -     | C     | C | -     | B          | -   |                   |  |  |
|              | Sísmico                         | C             | C      | - | -       | -          | -     | -     | -     | - | A     | -          | B   | -                 |  |  |

Aplicabilidade: A = alta; B = moderada; C = baixa; - = inexistente

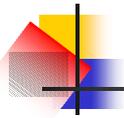
**Legenda dos parâmetros:**  
u = poro pressão *in situ*;  $\phi'$  = ângulo de atrito efetivo;  
 $S_u$  = resistência ao cisalhamento não-drenada;  $m_v$  = coeficiente de variação volumétrica;  
 $c_v$  = coeficiente de consolidação; k = coeficiente de permeabilidade;  
 $D_r$  = densidade relativa;  $G_0$  = módulo cisalhante a pequenas deformações;  
 $\sigma_h$  = tensão horizontal; OCR = razão de sobre-adensamento;  
 $\sigma-\epsilon$  = relação tensão-deformação.



## SPT – Características Gerais

- Mais popular dos ensaios *in situ* no Brasil e no mundo
- Compacidade de solos arenosos
- Consistência dos solos argilosos
- Medida de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento

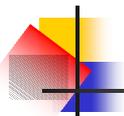
18



## SPT – Procedimento

- Perfuração por tradagem e circulação de água e trépano
- Cravação de amostrador padrão com diâmetro externo 50mm
- Peso 65kgf de uma altura de 75cm
- Amostras representativas retiradas a cada metro com amostrador padrão
- N: número de golpes para o amostrador penetrar 30cm após cravação inicial de 15cm

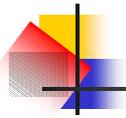
19



## SPT – Vantagens

- Simplicidade
- Baixo custo
- Obtenção de valor numérico para correlações
- Padronizado NBR-6484/80

20



## SPT – Fatores Intervenientes

- Diversas técnicas em diferentes países
- Fluido estabilizante
- Diâmetro do furo
- Mecanismo de levantamento e liberação do martelo
- Rigidez das hastes
- Geometria do amostrador
- Método de cravação

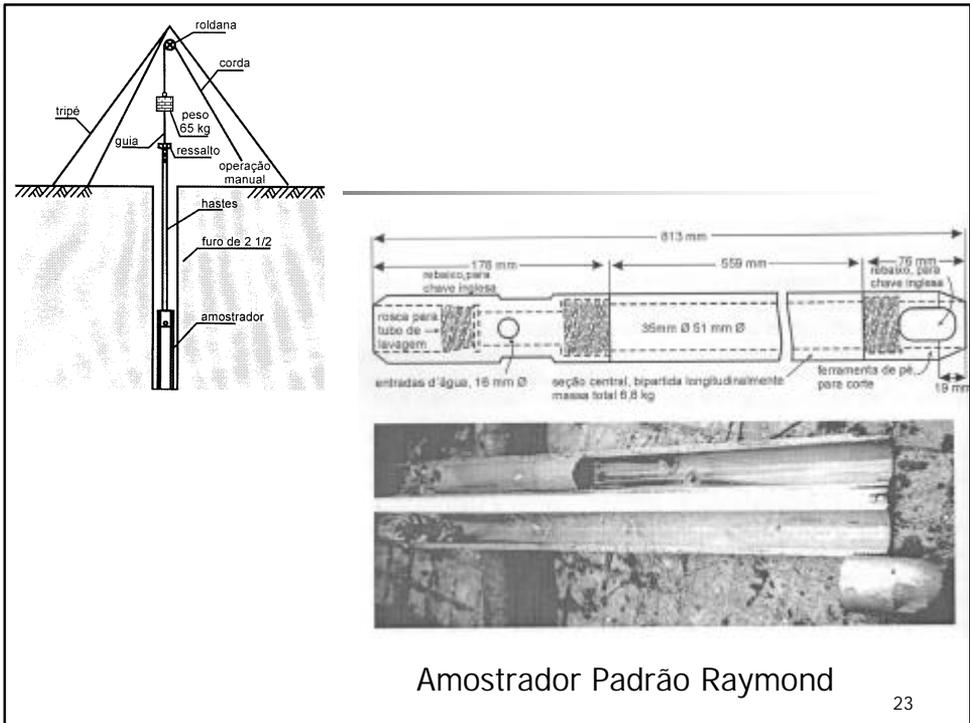
21



## SPT – Qualidade da sondagem

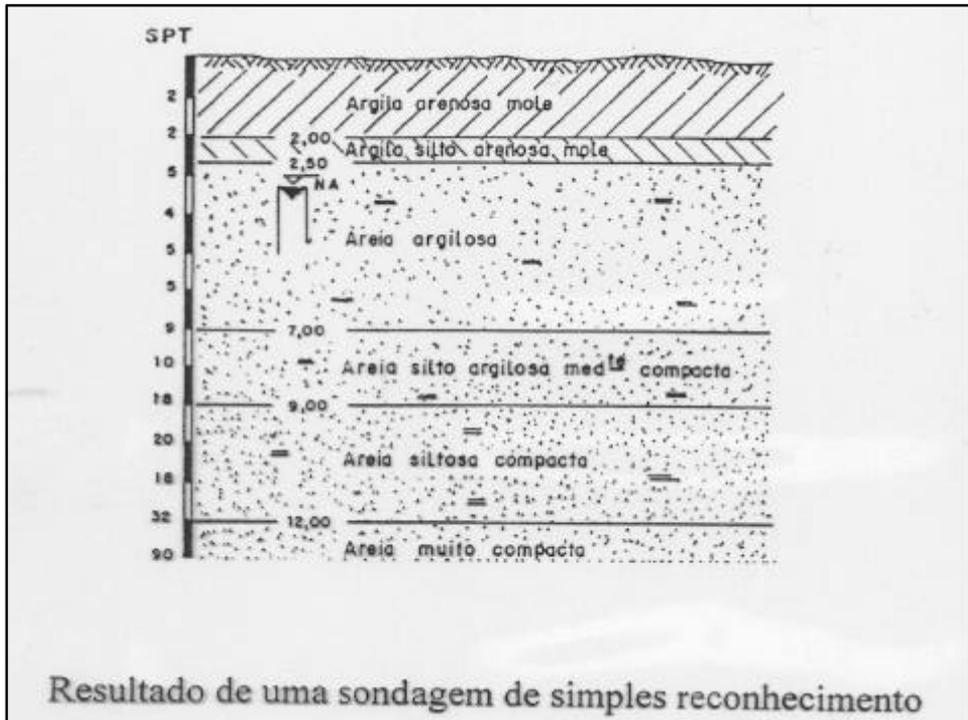
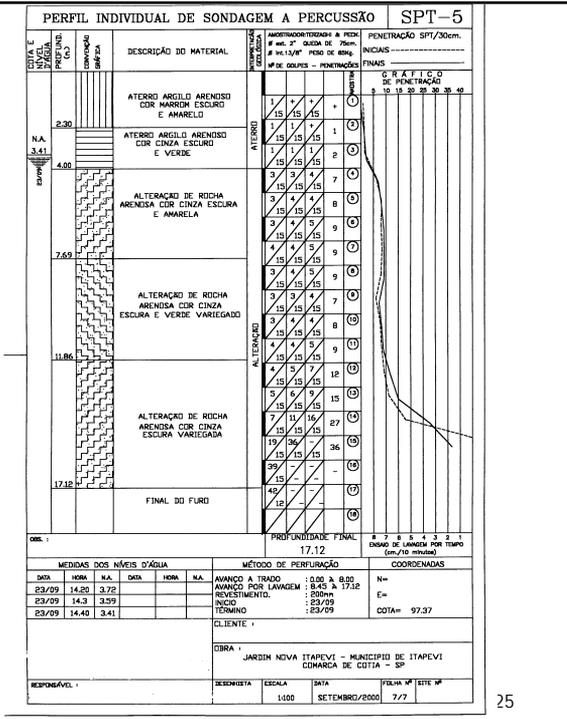
- Procedimento de ensaio (NBR)
- Planta de locação dos furos
- Datas e horários
- Convenção e indicação do material
- Informações gerais na planilha
- Nível d'água (datas e horários)
- Cota da boca do furo
- N iniciais e finais
- Gráfico N
- Responsável

22

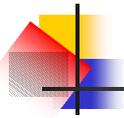




Resultado típico de Sondagem SPT







## Célula de carga e M.N.A.



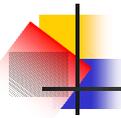
29



## Cone (CPT)-Piezocone (CPTU)

- Desenvolvido nos anos 30, Holanda
- Brasil: 1950, projeto plataformas petróleo; 1990, crescente interesse comercial.
- Estratigrafia e propriedades, principalmente solos moles

30



## CPT/CPTU-Princípio de ensaio

- Cravação de ponteira cônica ( $60^\circ$ ) com velocidade 20mm/s.
- Medidas: resistência de ponta  $q_c$   
resistência lateral  $f_s$   
pressão neutra  $u$
- Seção transversal: 10 a 15cm<sup>2</sup>
- Estrutura de reação: caminhão, utilitário ou reboque, capacidade 10 a 20tf.
- Cravação de hastes com comprimento 1,0m
- Problema: amostragem

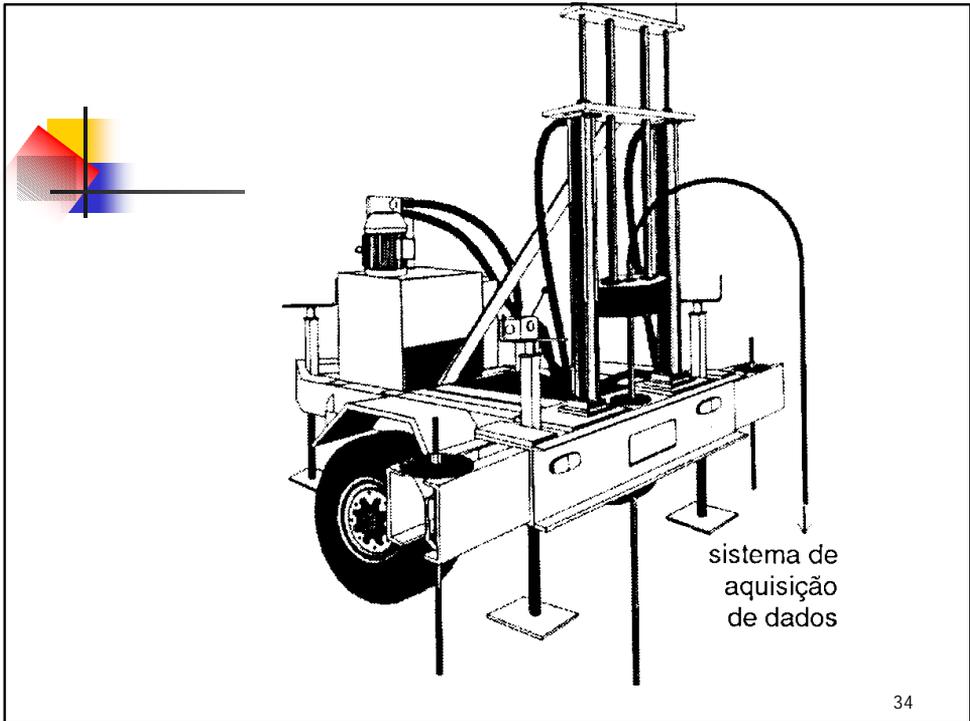
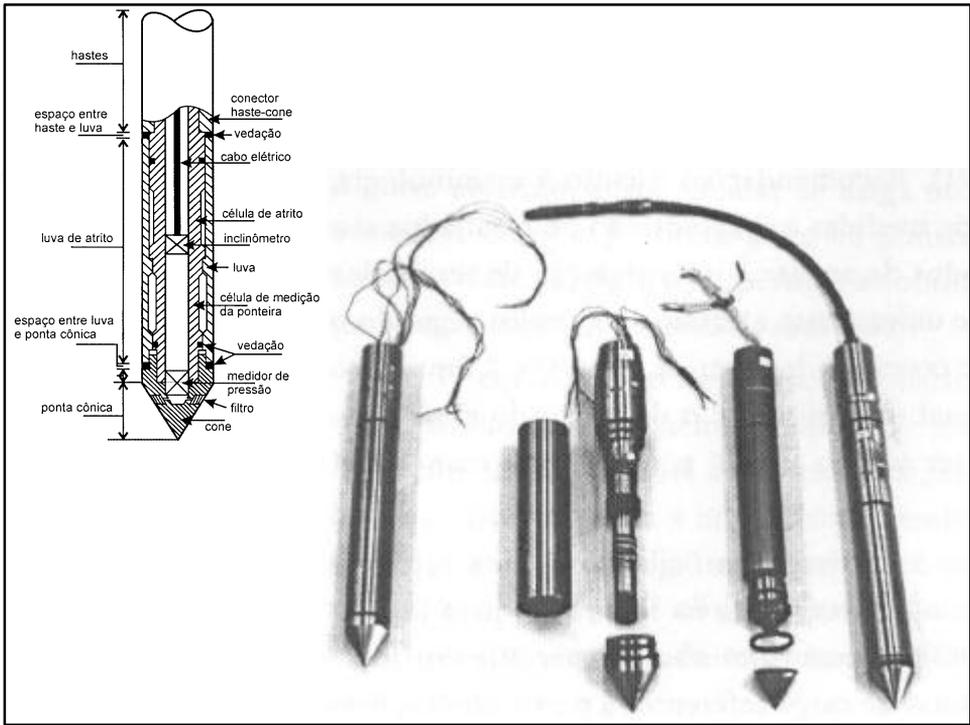
31

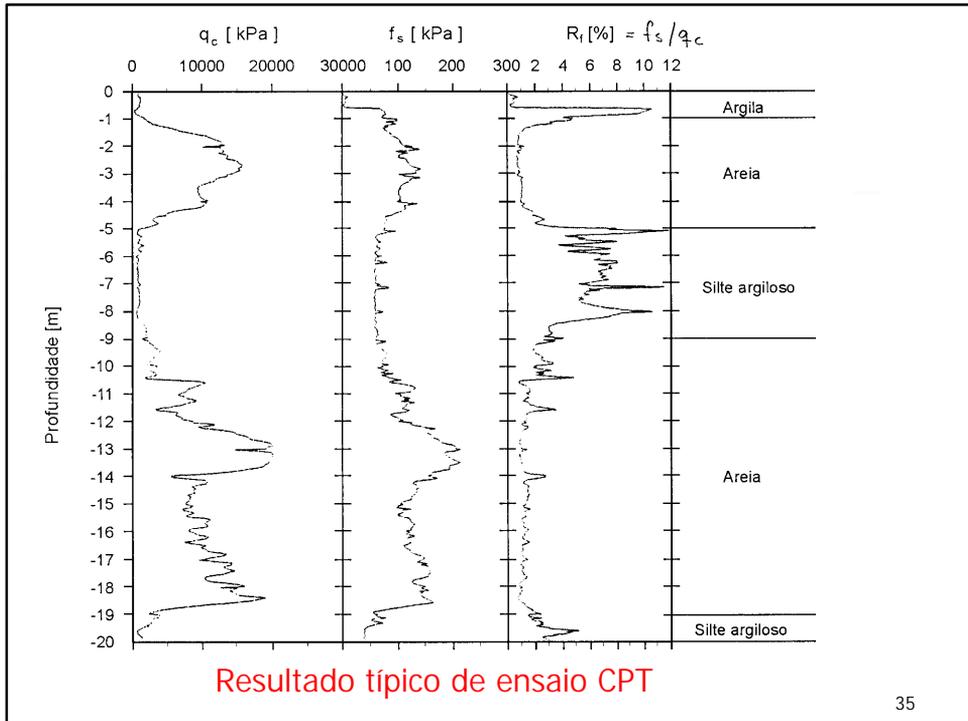


## CPT/CPTU-Tipos

- Cone mecânico: medições do esforço para cravar o cone ( $q_c$ ,  $f_s$ ) realizadas na superfície do terreno
- Cone elétrico: células de carga na ponteira permitem determinar  $q_c$  e  $f_s$  diretamente
- Piezocone: cone elétrico + medida contínua de pressões neutras durante a cravação
- Problema: diferentes tipos-padronização
- ASTM (79), ISSMFE (89), ABNT MB3406 (91)

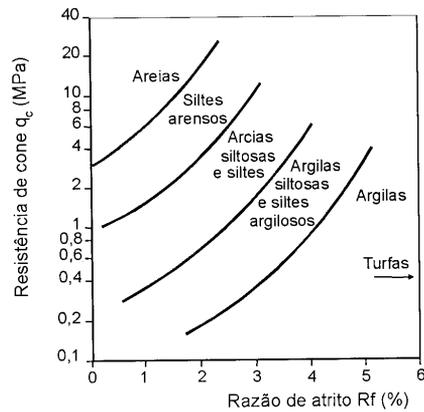
32

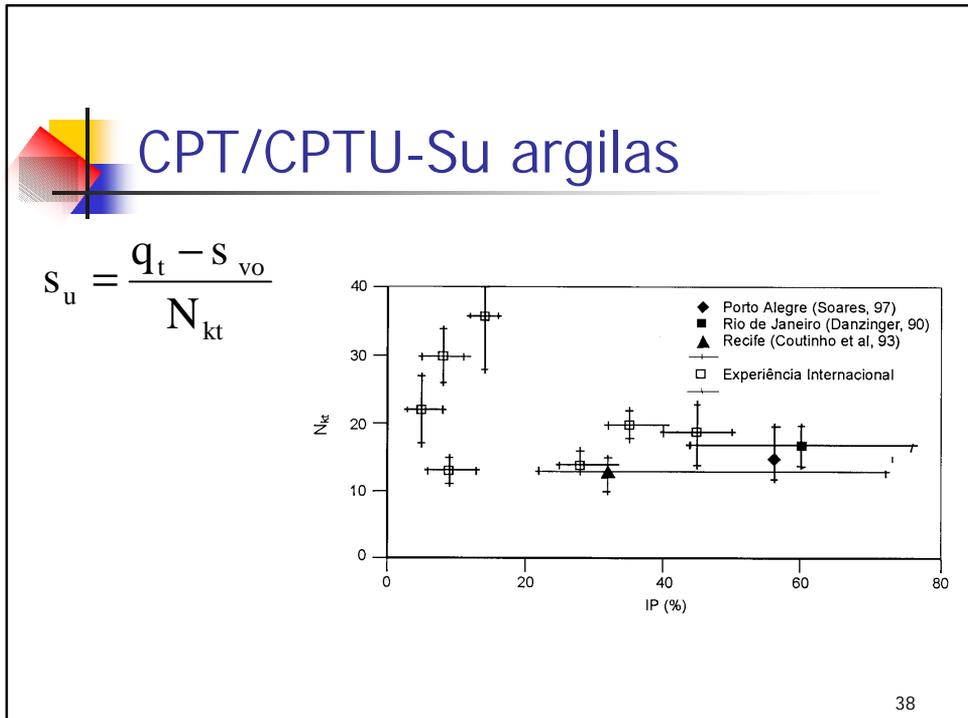
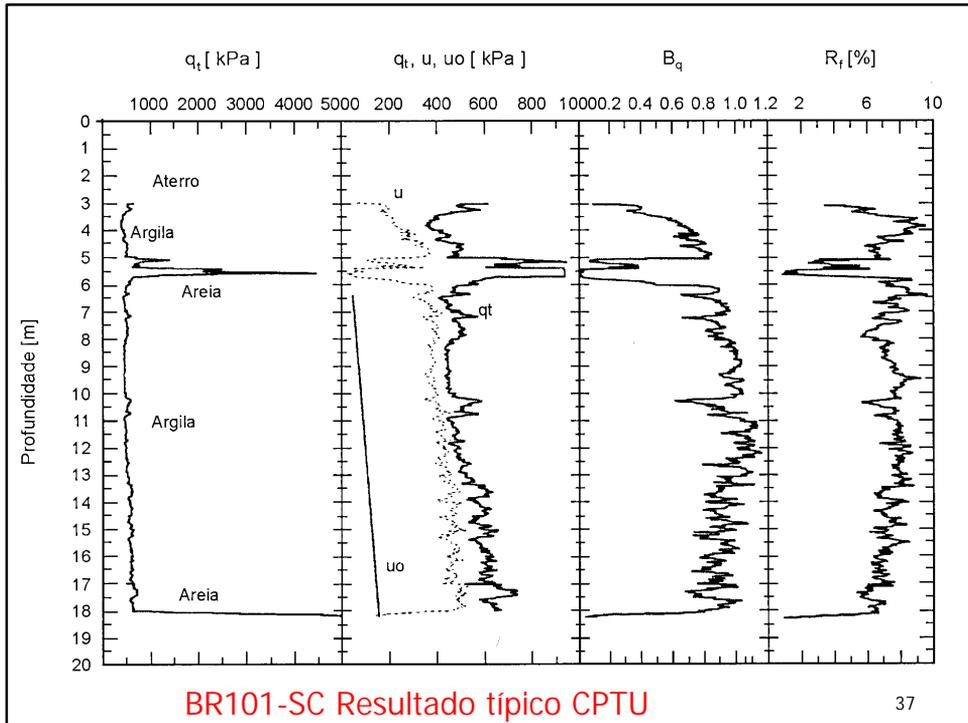


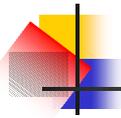


## CPT/CPTU-Resultados Típicos

- CPT: ábacos para classificação do solo em função de  $q_c$  e  $R_f = f_s/q_c$  (%)







## CPT/CPTU-ch argilas

- Parâmetro importante para previsão t

$$T^* = \frac{c_h t}{R^2 \sqrt{I_r}}; c_h = \frac{T^* R^2 \sqrt{I_r}}{t}; I_r = G/S_u$$

| 1 - u<br>(%) | Posição do filtro |              |              |                       |                        |
|--------------|-------------------|--------------|--------------|-----------------------|------------------------|
|              | Vértice do cone   | Face do cone | Base do cone | 5 raios acima da base | 10 raios acima da base |
| 20           | 0,001             | 0,014        | 0,038        | 0,294                 | 0,378                  |
| 30           | 0,006             | 0,032        | 0,078        | 0,503                 | 0,662                  |
| 40           | 0,027             | 0,063        | 0,142        | 0,756                 | 0,995                  |
| 50           | 0,069             | 0,118        | 0,245        | 1,110                 | 1,460                  |
| 60           | 0,154             | 0,226        | 0,439        | 1,650                 | 2,140                  |
| 70           | 0,345             | 0,463        | 0,804        | 2,430                 | 3,240                  |
| 80           | 0,829             | 1,040        | 1,600        | 4,100                 | 5,240                  |

Valores de T\*

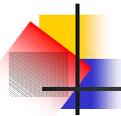
39



## Ensaio de Palheta – Vane Test

- Importante para Su
- Depósitos argila mole
- Criado na Suécia: John Olsson (1919)
- Aperfeiçoamentos na década de 40, permaneceram até hoje
- Brasil: introduzido pelo IPT e Geotécnica (1949)
- ABNT MB3122 (1989)

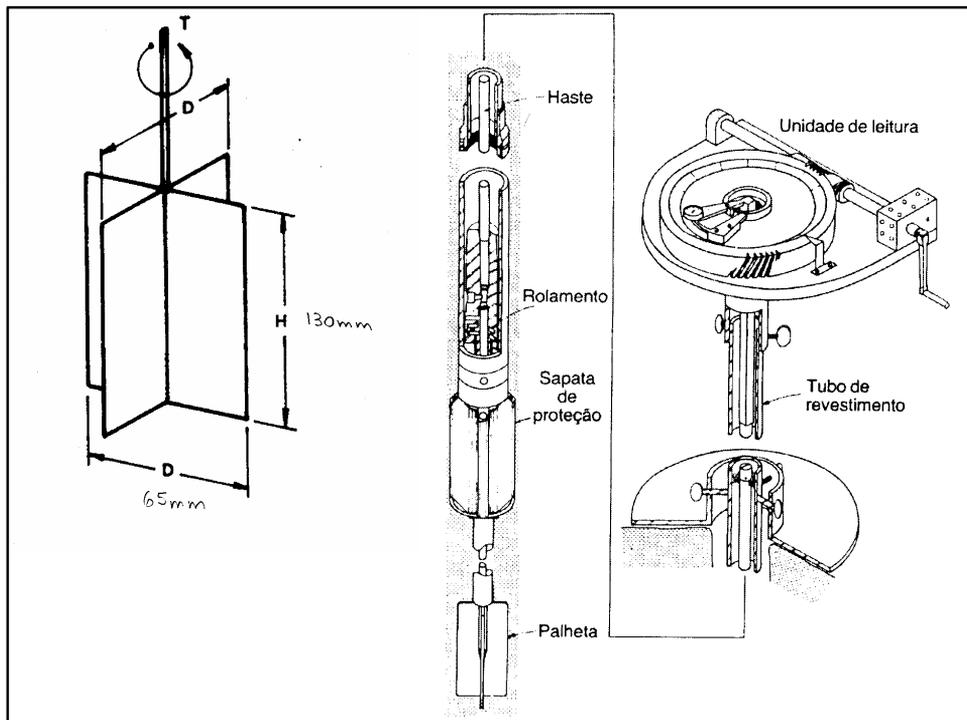
40

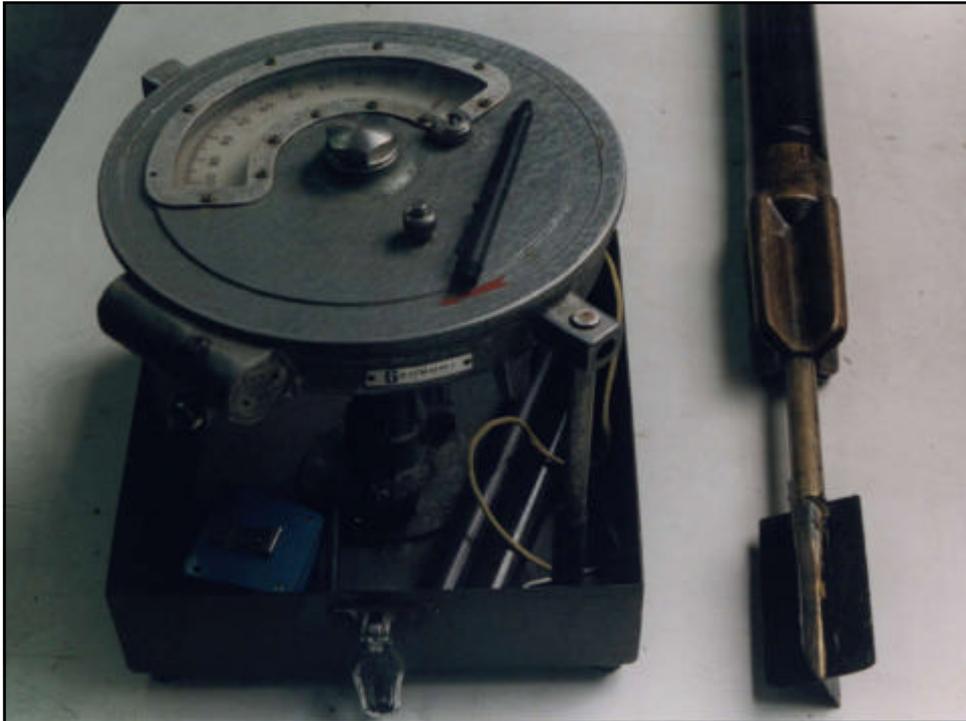


## Vane-Procedimento

- Palheta cruciforme cravada no terreno (mínimo de 0,5m da sapata)
- Rotação da palheta (manual ou autom.)
- Cisalhamento do solo mole
- Torque:  $6^\circ/\text{min}$
- Deve iniciar-se até 5 min após cravação
- Leituras a cada  $2^\circ$  para curva T x rot.
- Equip. Tipo A: cravada diretamente
- Equip. Tipo B: pré-furo

41



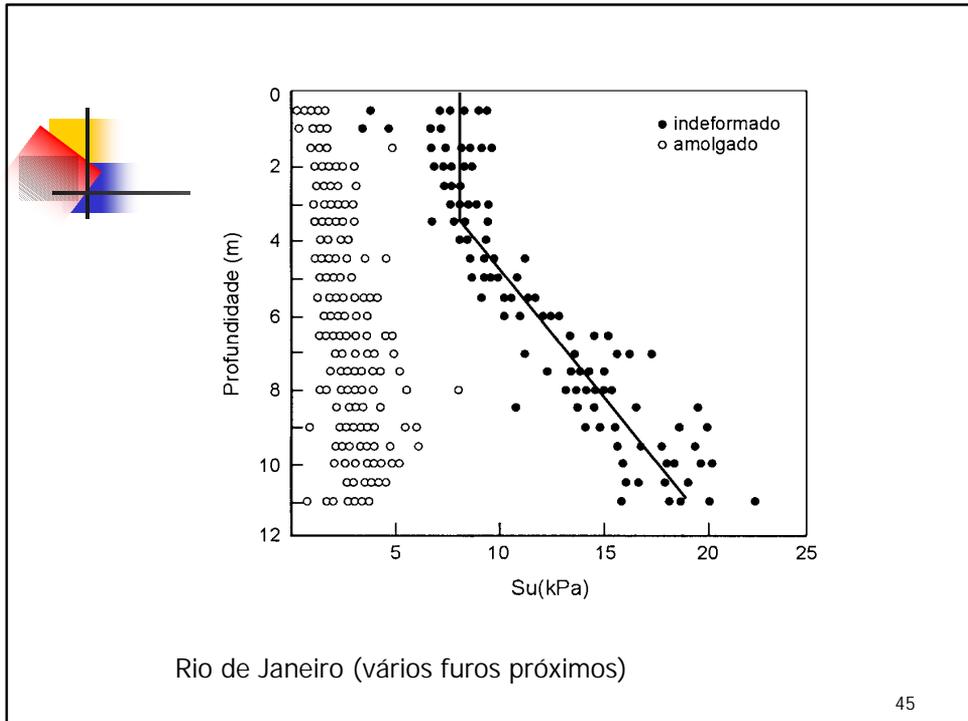


## Vane-Cálculos

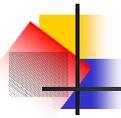
- Resistência não-drenada  $S_u$
- $T$ =torque kN.m
- $D$ =diâmetro da palheta

$$S_u = \frac{0,86T}{pD^3} \quad (H=2D)$$

- Resistência amolgada  $S_{ur}$ : ensaio repetido após dez revoluções completas na palheta
- Sensibilidade:  $S = S_u/S_{ur}$

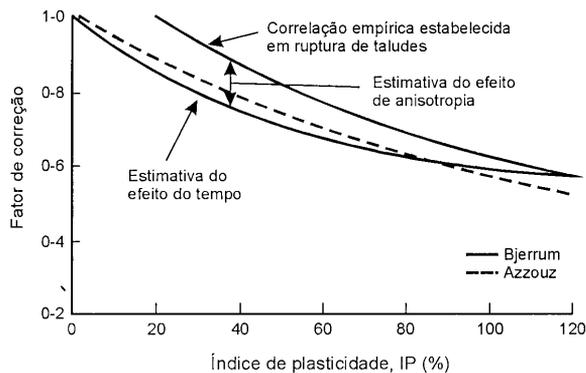


- 
- ## Vane – Fatores de Influência
- Condição de drenagem: velocidade de ensaio deve obedecer à norma
  - Anisotropia ( $S_{uh}$ ,  $S_{uv}$ )
  - Amolgamento devido à inserção da palheta
  - Efeito do tempo após inserção
- 46



## Vane – Correção de Bjerrum

$$S_{u, \text{corrigido}} = \mu S_{u, \text{palheta}}$$



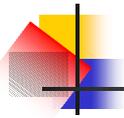
47



## Pressiômetro

- Köegler e Scheidig ('30): L=125cm  
D=10cm
- Desenvolvimento ('60): Louis Ménard (França)
- Definição: equipamentos cilíndricos para aplicar pressões uniformes nas paredes de um furo através de uma membrana flexível

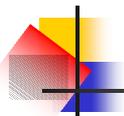
48



## Pressiômetro-Parâmetros

- Parâmetros de projeto possíveis de serem obtidos:
  - deformabilidade (G)
  - tensões horizontais in situ ( $\sigma_h$ )
  - resistência drenada (f) e não-drenada ( $S_u$ )
  - permeabilidade e ch
- Vantagens
  - parâmetros a partir de um único ensaio
  - condições de contorno bem definidas

49



## Pressiômetro - Tipos

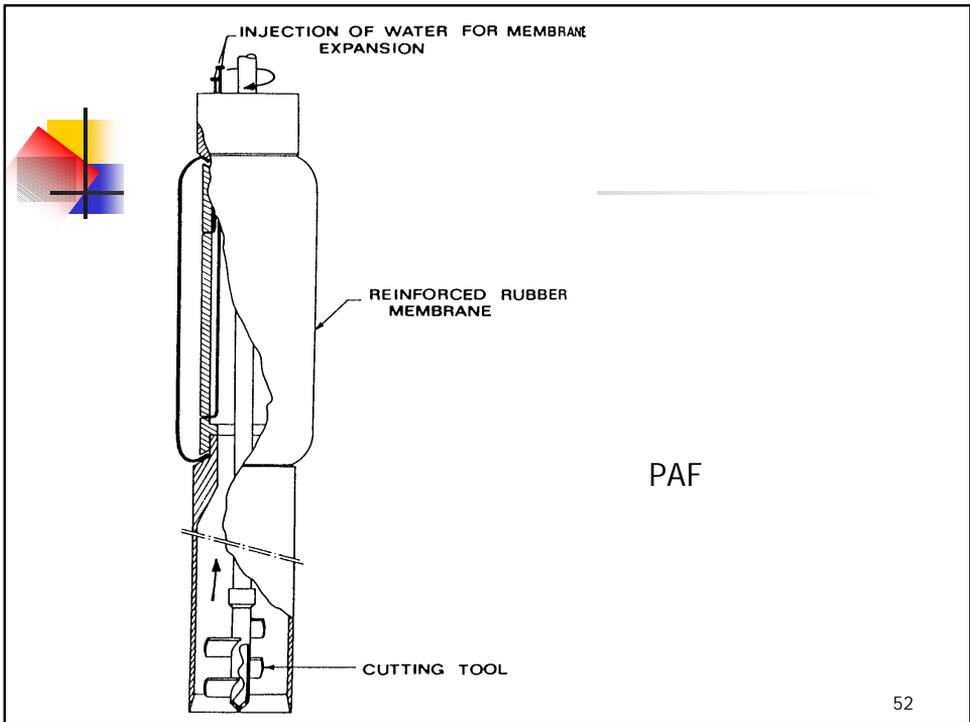
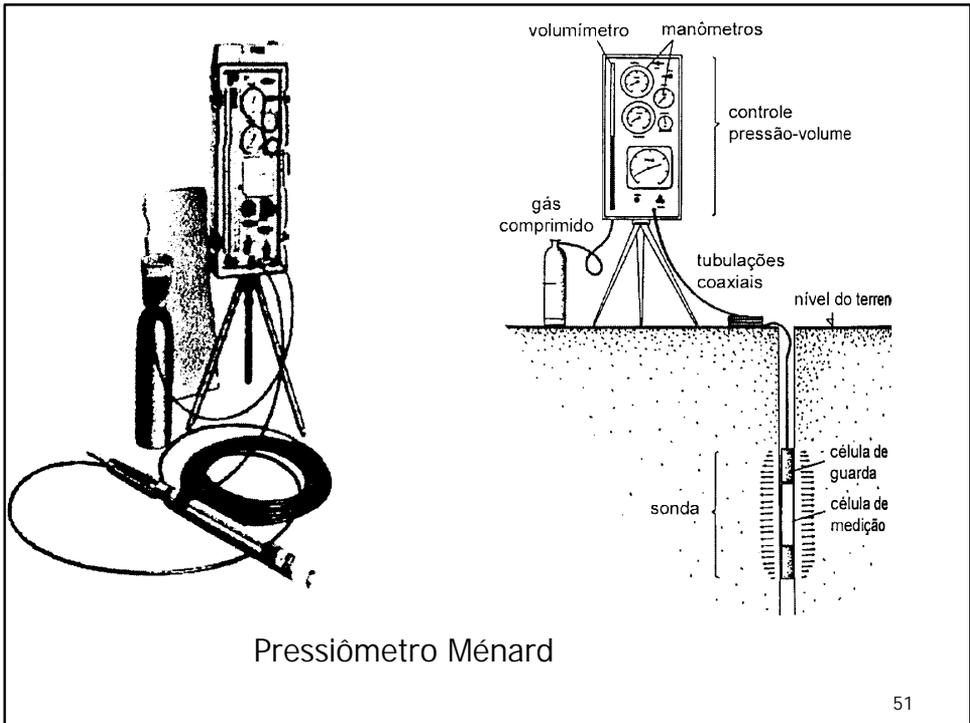
- Ménard (MPM): instalado em pré-furo
- Auto-perfurante (SBP)
  - a) PAF
  - b) Camkometer

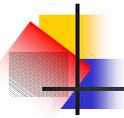
Em geral:

$2,5 < P < 10$ MPa em solo

$10 < P < 20$ MPa em rocha

50





## Ménard



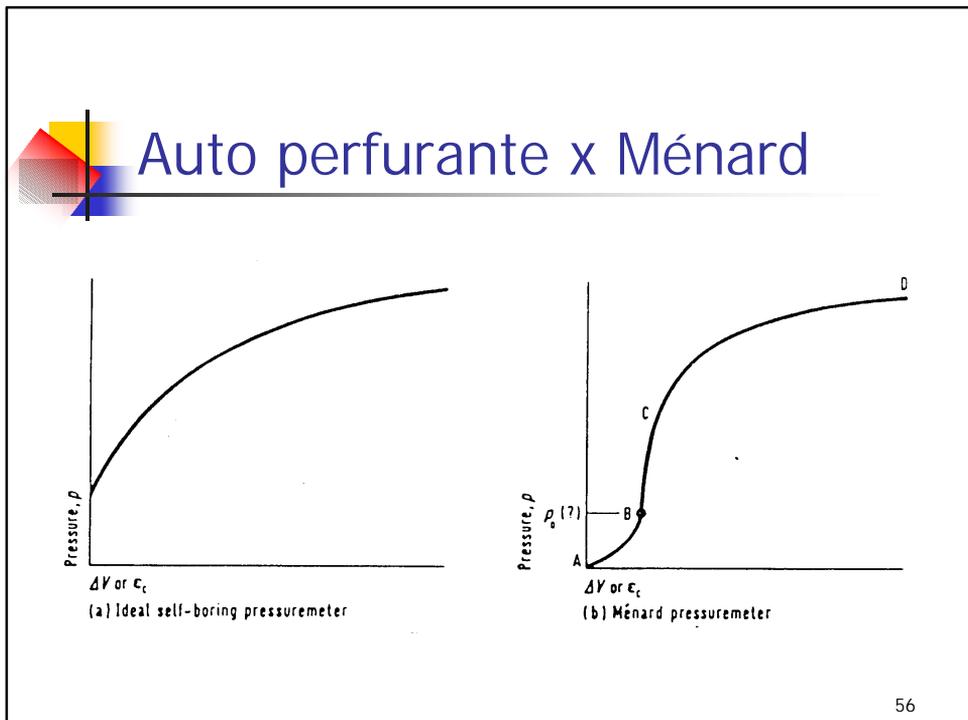
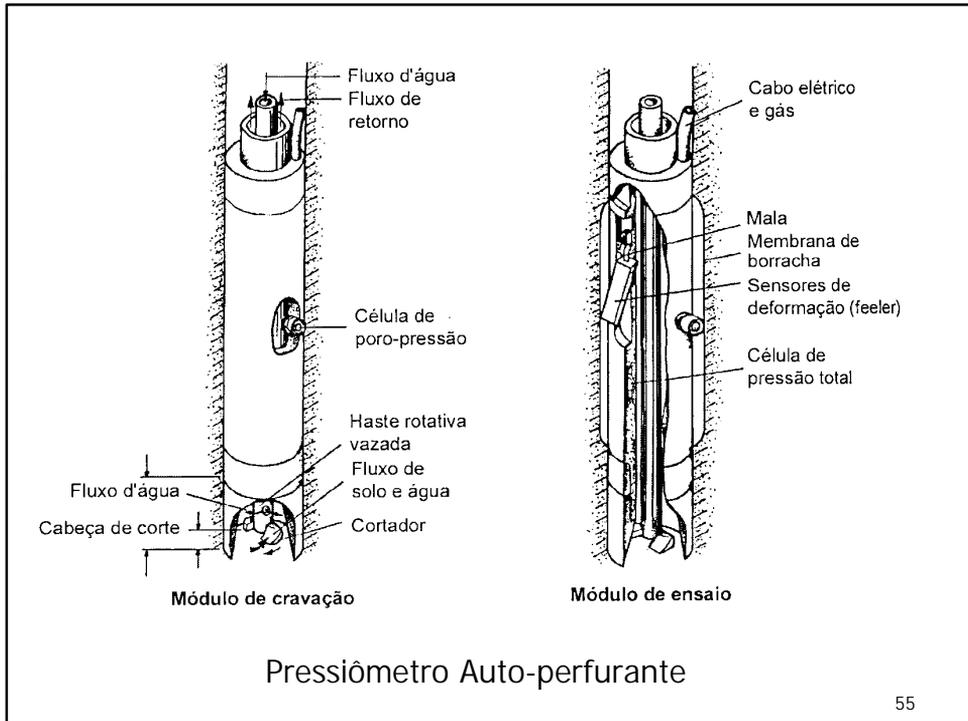
53

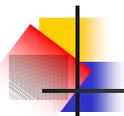
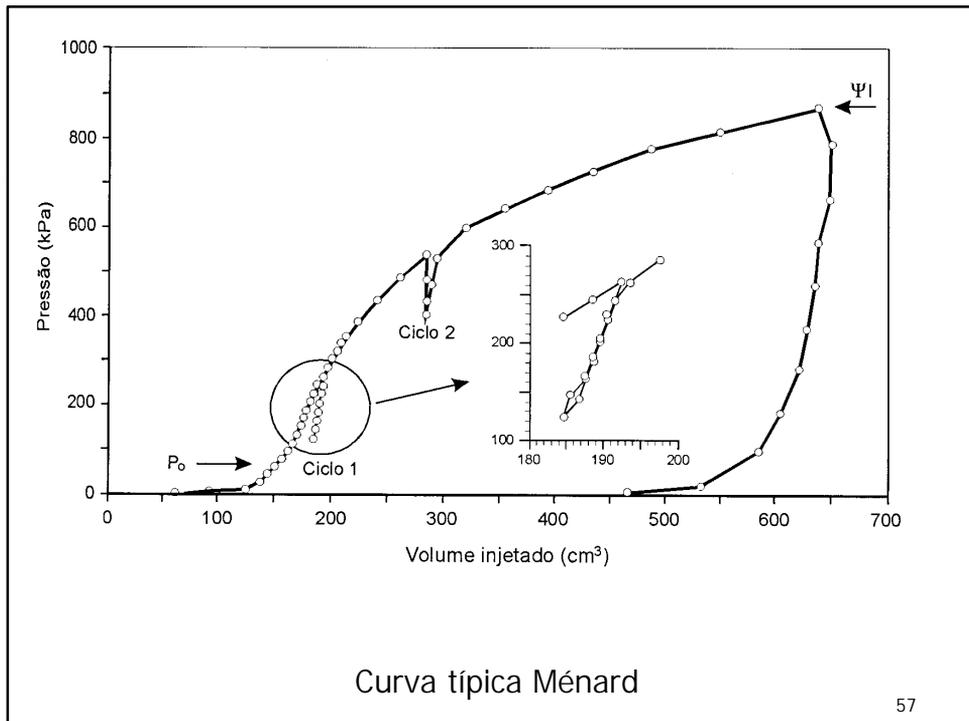


## Pressiômetro – SBP

- Camkometer (**Cambridge-Ko-Meter**)
- expansão da membrana através de gás (N<sub>2</sub>)
- deslocamento da parede através de braços
- cilindro rígido
- lâmina cortante acionada através de haste ligada ao topo (rotativa)

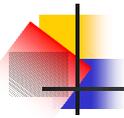
54





## Ensaio Dilatométrico - DMT

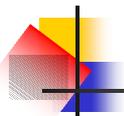
- Concebido por Marchetti (1975)
- Patenteada em 1977 na Itália
- Normalizada nos EUA e Europa
- Estimativa semi-empírica:  $K_0$ ,  $E$ ,  $OCR$ ,  $S_u$ ,  $\phi'$
- Estimativa do tipo de solo
- Brasil: pouca experiência



## DMT - Características

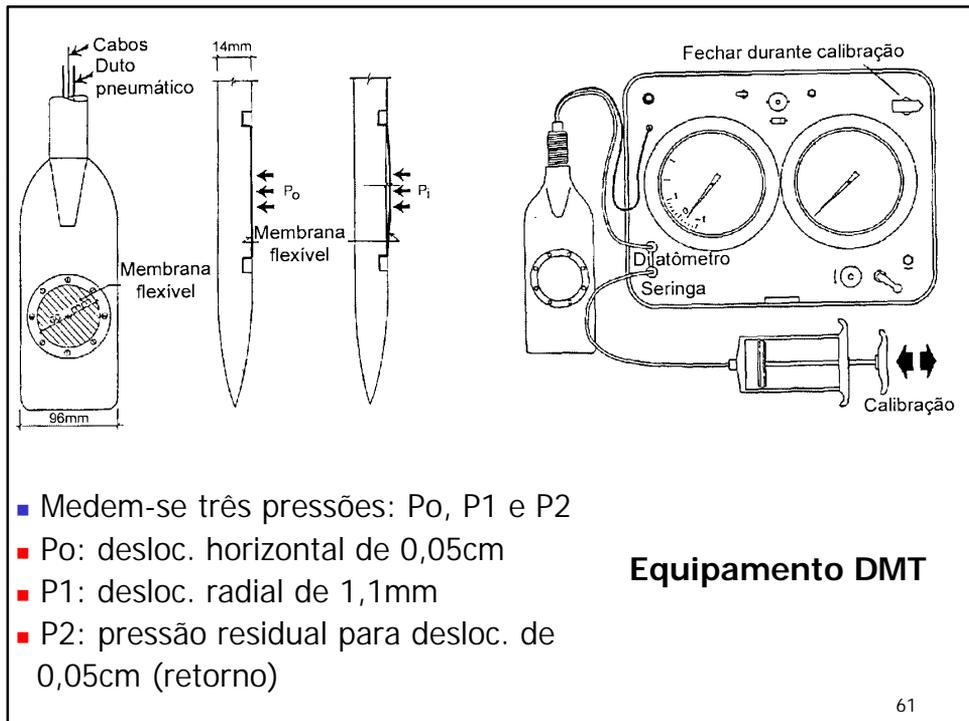
- Lâmina dilatométrica
- Unidade de controle de pressões
- Cabo elétrico-pneumático
- Penetração estática da lâmina(2 a 4cm/s)
- Penetração interrompida a cada 20cm para injeção de gás e medidas de pressões

59



Equipamento DMT





61



## DMT - Correlações

- $P_0$  -> Tensão horizontal in situ ( $K_0$ )
- $P_1 - P_0$  -> Módulo Elástico  $E$
- $P_2$ : excesso de poro-pressão na cravação

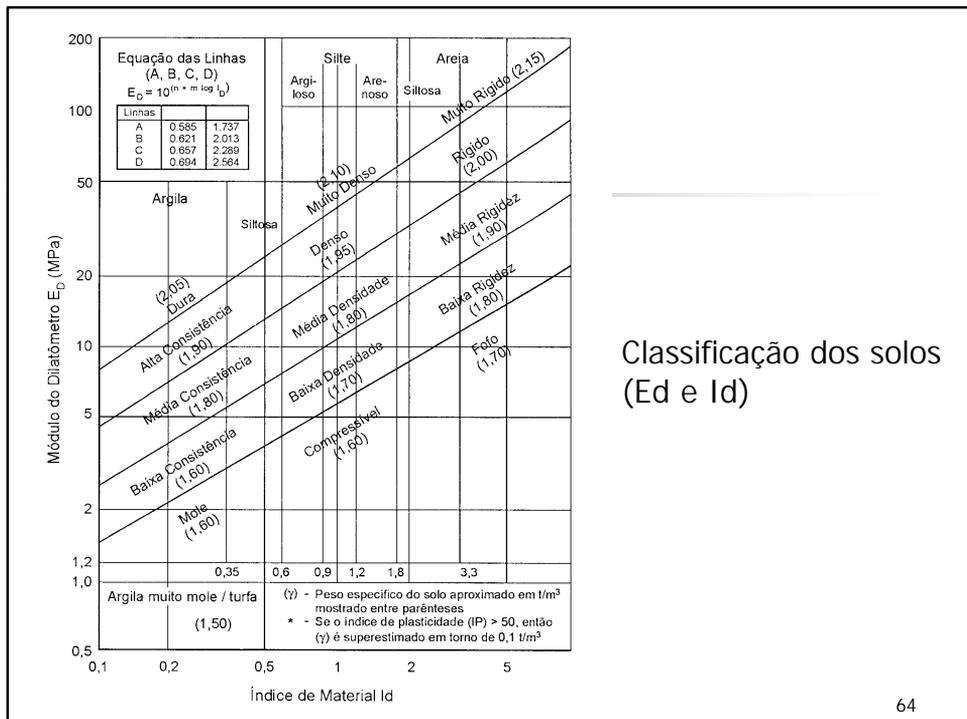
62



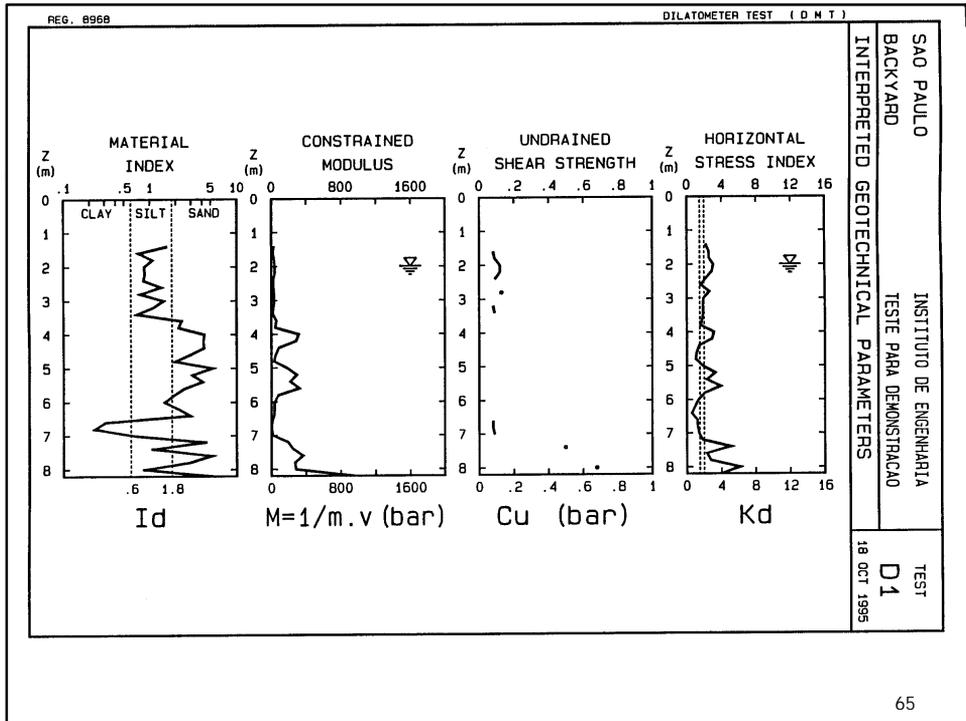
# DMT – Índices Dilatométricos

- Módulo dilatométrico  $E_d = 34,7(P1 - P_0)$
- Índice de material:  $I_d = (P1 - P_0) / (P_0 - u_0)$
- Índice da tensão horiz.:  $K_d = P_0 - u_0 / \sigma'v$

63

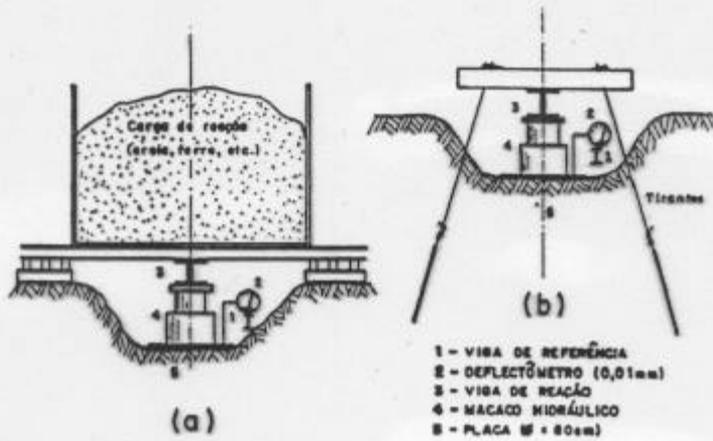


64



## Prova de Carga

- Carregamento sobre uma placa metálica circular sobre o solo
- Brasil (NBR-6489): placa diâmetro 80cm
- EUA: placa quadrada de 30cm de lado
- Resultado: tensão x recalque
- Influenciados por:
  - dimensão e forma da placa
  - velocidade carga
- A tensão de ruptura  $\sigma_r$  definida na seguinte ordem:
  - Tensão de ruptura patente; ou
  - Tensão para recalque de 25mm; ou
  - Tensão máxima atingida no ensaio
- A tensão admissível é:  $\sigma_{adm} = \sigma_r / FS$ , onde  $FS=2$  (em geral)
- Coeficiente de recalque ou reação  $K_s = P/\rho$  ( $tf/m^2/cm$ )
- Para estudo de ruptura: carregamento rápido
- Para estudo de recalque: carregamento lento



Execução de prova de carga em placa

67



Resultado de uma prova de carga

68



## Programação de sondagens SPT para fundações de edifícios

- NBR 8036/88: número, localização e profundidade
- Número função da área projetada A em m<sup>2</sup>:
  - A < 200: 2 sondagens
  - 200 < A < 400: 3 sondagens
  - 400 < A < 1200: 1 para cada 200m<sup>2</sup> que exceder 400m<sup>2</sup>
  - 1200 < A < 2400: 1 para cada 400m<sup>2</sup> que exceder 1200m<sup>2</sup>
  - A > 2400: função do projetista

Máxima distância 100m, mínimo 3 sondagens.

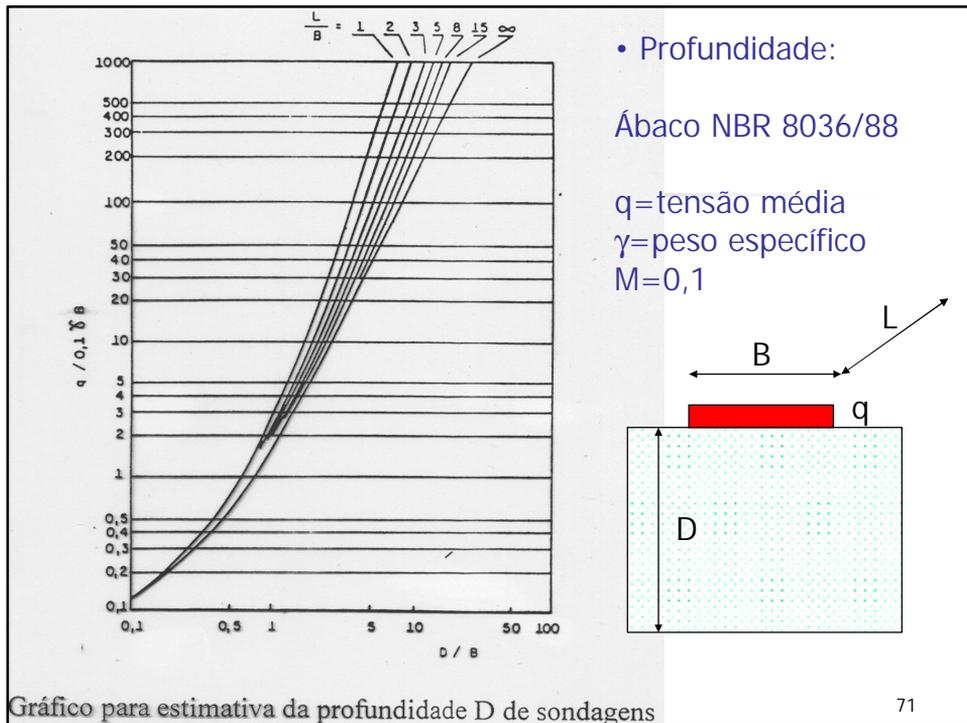
69



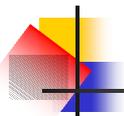
## Programação de sondagens SPT para fundações de edifícios

- Localização:
  - Distribuição homogênea
  - Distâncias iguais
  - Evitar extrapolações
  - Três ou mais furos: nunca alinhar em uma reta

70



71



## Exemplo

- Projetar número, posição e profundidade das sondagens para:
  - a) Residência térrea com carga sobre o terreno de 12kPa.
  - b) Edifício de 10 pavimentos com carga sobre o terreno de 120kPa.

Dimensões da área projetada: 10x30m

Área do terreno: 15x40m

72