

# ENSAIOS IN SITU

## Ensaaios in situ

- Sondagens de penetração/Ensaaios *in situ* em solos
  - SPT
  - CPT/CPTU
  - DPL/DPSH
  - Molinete
  - Pressiómetro
  
- Os que são feitos de forma sistemática, contribuem para o zonamento do maciço
- Permitem avaliar parâmetros geomecânicos do terreno
- Envolvem maiores volumes do que os ensaios de laboratório

## Standard Penetration Test

## Ensaaios in situ

### □ Standard Penetration Test (SPT)

- É um ensaio de penetração dinâmica, criado em 1927
- Consiste na cravação de um amostrador tubular constituído por duas meias canas, com medidas normalizadas, por queda de um pilão normalizado e de queda livre constante
- Pilão:  $63,5 \pm 0,5$  kg
- Altura de queda:  $760 \pm 10$  mm
- Conta-se o número de pancadas para penetrar:
  - 15 cm (pré-cravação), em solo remexido, fornece um valor apenas indicativo; este valor é desprezado
  - 15+15 cm (**N**) – resistência à penetração

## Standard Penetration Test (SPT)

- É um ensaio expedito e pouco dispendioso que se usa principalmente para determinar propriedades mecânicas de solos incoerentes (arenosos)
- Realiza-se no interior de sondagens com diâmetro de perfuração compreendido entre 56 mm e 162 mm, após limpeza dos detritos de perfuração do fundo do furo.
- O modo de realização do ensaio, frequentemente com grande influência sobre os resultados, é bastante variável com o operador, equipamento de acionamento da massa, varas, e normas e práticas específicas em uso em diferentes países.

## Standard Penetration Test (SPT)

- Permite obter um valor N de resistência à penetração, que pode ser correlacionado com parâmetros geotécnicos:
  - Densidade relativa
  - Ângulo de atrito
  - Tensão admissível
  - Assentamentos, em materiais granulares
  - Caso não penetre a profundidade definida, designa-se por **NEGA**, e assinala-se o número de centímetros penetrados

## Standard Penetration Test (SPT)

- O número máximo de pancadas admissível para cada fase do ensaio varia segundo os países e as normas utilizadas:
  - **EM PORTUGAL** – 60 pancadas
  - Norma ASTM D 1586-99 – 100 pancadas
  - Norma Europeia (**EN ISO 22476-3**) – 50 pancadas; 100 para rochas brandas
  - Hong Kong, em perfis de alteração de granito – 250 pancadas

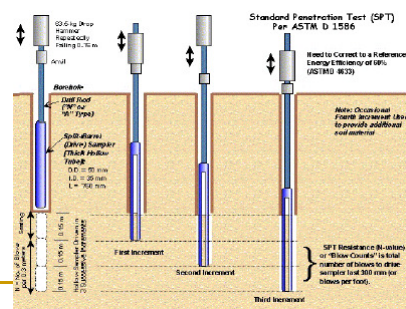
### Logo:

Fase 1: nº de pancadas para atingir 15 cm ou penetração conseguida com 30 pancadas

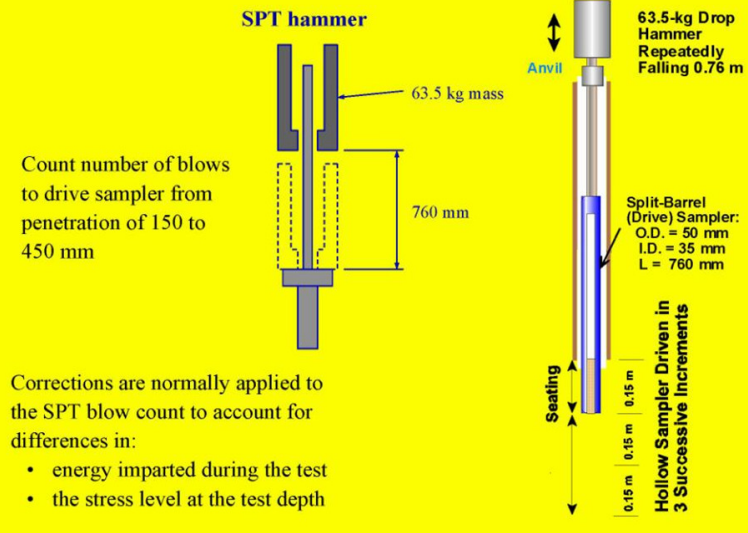
Fase 2: nº de pancadas para atingir 30 cm ou penetração conseguida com 60 pancadas (repartido em 2 medições)

## Standard Penetration Test (SPT)

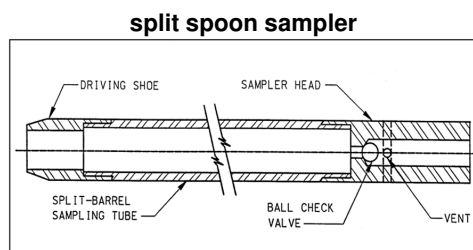
- Realizado de forma sistemática
- Adequado a todos os tipos de solos e a rochas muito alteradas, embora seja mais aplicado em solos de baixa coesão (granulares)
- Com colheita de amostra – amostrador em 2 meias-canas



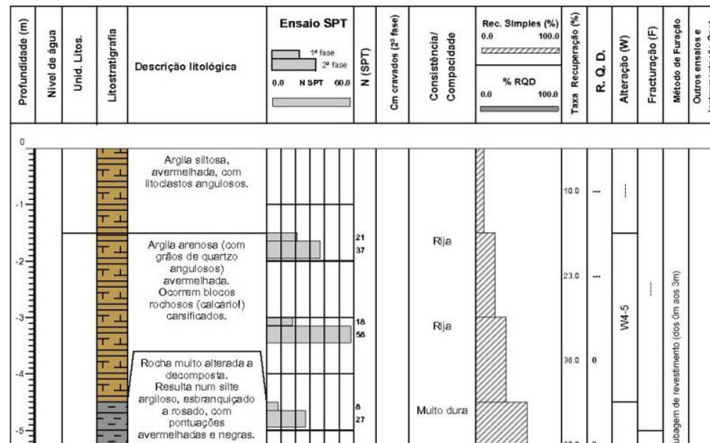
## Standard Penetration Test (SPT)



## Standard Penetration Test (SPT)



## Standard Penetration Test (SPT)



## Standard Penetration Test (SPT)

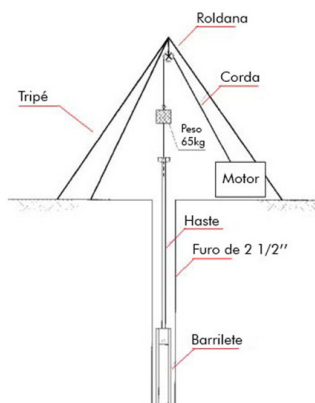
- Influência do equipamento:
  - Relaciona-se com a energia transmitida ao amostrador
    - Martelo – energia transferida pelos mecanismos de de levantamento e libertação da queda e massa do martelo
    - Hastes – peso e rigidez, perda de energia nas ligações
    - Amostrador – integridade da sapata cortante

## Standard Penetration Test (SPT)

- Correções de medidas de  $N_{SPT}$ 
  - A energia transmitida ao amostrador não é a energia de queda livre transmitida pelo martelo (ex há perdas por atrito). É ~60% (para disparo manual, esta percentagem é mais baixa, ou seja, há maiores perdas de energia)
  - Considerando as tensões geoestáticas *in situ* em solos granulares: a resistência à penetração aumenta linearmente com a profundidade e com o quadrado da densidade

## Standard Penetration Test (SPT)

### Ensaio de penetração dinâmica SPT



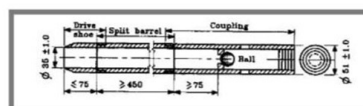
Factores correctivos:

$$(N_1)_{60} = ER/60 \cdot \lambda \cdot C_N \cdot N \dots$$

$ER_r$  – eficiência

$\lambda$  - factor de correcção do comprimento das varas

$C_N$  – factor de correcção da tensão efectiva de recobrimento (areias)



## Standard Penetration Test (SPT)

- O EC7 recomenda que o N seja multiplicado por um factor de correcção, considerando a profundidade de ensaio (número de varas):

Comprimento das varas abaixo do batente (m)	Factor de correcção ( $\lambda$ )
>10	1,0
6-10	0,95
4-6	0,85
3-4	0,75

## Standard Penetration Test (SPT)

- Quando se realiza abaixo do nível freático, em solos pouco permeáveis, deve ser usada a correcção:
  - $N=15 + [(N' - 15)/2]$
  - em que N é o valor corrigido e N' o valor medido



## Standard Penetration Test (SPT)

- Factor correctivo relacionado com a tensão efectiva de recobrimento (EC7)

Tipo de areia	Compacidade relativa $I_D$ (%)	$C_N$
Normalmente consolidadas	40 a 60	$2/(1+\sigma'_v)$
	60 a 80	$3/(2+\sigma'_v)$
Sobreconsolidadas		$1,7/(0,7+\sigma'_v)$

Nota:  $\sigma'_v$  em kPa  $\times 10^{-2}$ , assim para uma tensão efectiva de recobrimento de 100 kPa vem  $\sigma'_v = 1$  e  $C_N = 1$   
 Não são recomendáveis valores de  $C_N$  superiores a 2 (ou preferivelmente 1,5)

Skempton, 1986:  $N_{60} = I_D^2 (a + b \sigma'_v)$  (a,b material)

## Standard Penetration Test (SPT)

Exemplo:

Terreno arenoso (NC) com  $\gamma=20\text{kN/m}^3$

$z=4\text{m}$ , obteve-se  $N_{60}=10$

$z=20\text{m}$ , obteve-se  $N_{60}=20$

Aplicando os factores correctivos:

$z=4\text{m}$ ,  $(N_1)_{60} = 0,75 \times 200 / (100 + 4 \times 20) \times 10 = 8,3 !$

$z=20\text{m}$ ,  $(N_1)_{60} = 1,0 \times 200 / (100 + 20 \times 20) \times 20 = 8,0 !$

$$(N_1)_{60} = ER_r / 60 \cdot \lambda \cdot C_N \cdot N$$

Magda Roque, 2015

### Relação entre $N_{SPT}$ e a densidade relativa

Material	Índice de resistência à penetração	Designação
Areias ( $N_1$ ) <sub>60</sub>	0-3	Muito fofa/muito solta
	3-8	Fofa/solta
	8-25	Média
	25-42	Densa/compacta
	42-58	Muito densa/muito compacta
Argilas $N_{60}$	0-4	Muito mole
	4-8	Mole
	8-15	Firme
	15-30	Dura
	30-60	Muito dura
	>60	Rija
Rochas brandas $N_{60}$	0-80	Muito brandas
	80-200	Brandas
	>200	Moderadamente brandas
NOTA:	$N_1$ valor de $N_{SPT}$ corrigido para tensão de referência de 100 kPa $N_{60}$ valor de $N_{SPT}$ corrigido para 60% de energia teórica de queda livre $(N_1)_{60}$ valor de $N_{SPT}$ corrigido para energia e nível de tensões	

Classificação de solos e rochas (Clayton, 1983)

## Standard Penetration Test (SPT)

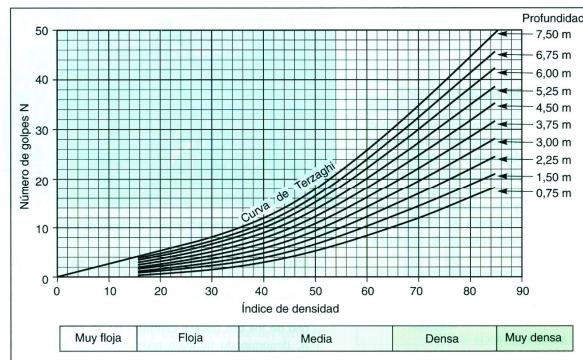
Classificação quanto à consistência de argilas

Consistência	$N_{SPT}$	$q_u$ (kPa)
Muito mole	< 2	< 30
Mole	2 – 4	30 – 50
Média	4 – 8	50 – 100
Dura	8 – 15	100 – 200
Muito dura	15 – 30	200 – 400
Rija	> 30	> 400

$q_u$  – resistência à compressão simples  
 O factor  $C_N$  não é aplicável a solos argilosos

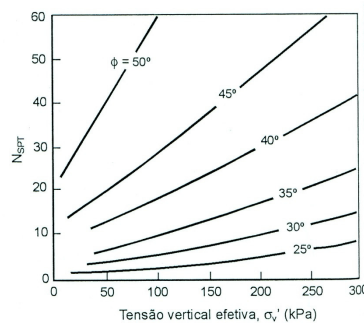
## Standard Penetration Test (SPT)

- Relação entre  $N_{SPT}$  e a compacidade relativa, considerando a profundidade



## Standard Penetration Test (SPT)

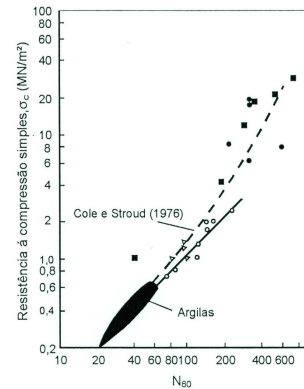
- Relação entre  $N_{SPT}$  e o ângulo de atrito em solos **granulares**, abaixo de 2 m de profundidade



(b) Mitchell e outros (1978)

## Standard Penetration Test (SPT)

- Relação entre  $N_{SPT}$  e a resistência à compressão uniaxial para rochas brandas
- Para resistência à compressão superior a 4 MPa, a relação deverá ser:
  - $\sigma_c \geq 10N_{60}$  (kPa)



Stroud, 1989, para argilas

## Standard Penetration Test (SPT)

- Desvantagens:
  - Diversidade de procedimentos
  - Depende do operador
  - Pouco rigoroso
  - Não utilizável com seixos
  - Não tem registo contínuo
  - Má correlação para argila

## Standard Penetration Test (SPT)

- Vantagens:
    - Simplicidade de equipamento
    - Baixo custo
    - Permite amostragem
    - Grande experiência (base de dados)
    - Obtenção de um valor numérico que pode ser relacionado com regras empíricas de projecto.
- 

## Standard Penetration Test (SPT)

- Factores que influenciam os resultados:
    - Técnica de perfuração
    - Equipamento utilizado
    - Perfuração revestida e não preenchida totalmente por água
    - Uso de bentonite
    - Revestimento cravado até ao limite de cravação
    - Ensaio realizado no trecho revestido
    - Características do solo
-

## Standard Penetration Test (SPT)

Factor	Influência
Índice de vazios (e)	<e, >resistência à penetração
Dimensão das partículas	>dimensão, >resistência à penetração
Coeficiente de uniformidade	>uniformidade, <resistência à penetração
Pressão neutra	Solos finos fofos podem liquefazer
Angularidade das partículas	>angularidade, >resistência à penetração
Cimentação	>resistência
Nível de tensões	> $\sigma_h$ ou $\sigma_v$ , >resistência à penetração
Idade	>idade, >resistência à penetração

## Standard Penetration Test (SPT)

### Os ensaios SPT permitem:

- Avaliar a **compacidade** de solos incoerentes (areias) e o **ângulo de atrito interno**;

*Aspecto muito importante visto que é extraordinariamente difícil (ou mesmo impossível) colher amostras indeformadas de areias, em especial abaixo do nível freático, pelo que a caracterização geotécnica em ensaios de laboratório é necessariamente deficiente.*

- Avaliar a **consistência** e a **resistência à compressão uniaxial** de solos argilosos
- Realizar zonamento dos maciços terrosos em termos de resistência à penetração

*Aspecto muito importante para a definição de soluções de projecto, para fundações e estabilização de taludes (artificiais) ou encostas (naturais), nomeadamente:*

- Definição da profundidade de fundações (sapatas, pegões, estacas e microestacas)
- Definição de zonas para implantação dos bolbos de selagem de ancoragens (estabilização de taludes e de paredes de escavação)

- Avaliar o potencial de **liquefação** de areias

Magda Roque, 2015

## Standard Penetration Test (SPT)

- Aplicações do ensaio SPT:
    - Determinação do perfil de subsolo e identificação das camadas (material colhido no amostrador)
    - Fornecem uma informação qualitativa que permite avaliar parâmetros geotécnicos
- 

## Standard Penetration Test (SPT)

- Tensões admissíveis (método empírico!):
    - $\sigma_{adm} = k N_{SPT}$
    - Em que k depende de:
      - Tipo de solo
      - Geometria do problema
      - Sensibilidade da estrutura a assentamentos
-

## Standard Penetration Test (SPT)

- Correlação entre  $N_{SPT}$  e a tensão admissível para solos granulares (Milititsky & Schnaid, 1995)

Descrição (compacidade)	$N_{SPT}$	Provável tensão admissível (kN/m <sup>2</sup> )		
		L = 0,75m *	L = 1,50m *	L = 3,0 m *
Muito compacto	> 50	> 600	> 500	> 450
Compacto	30 - 50	300 - 600	250 - 500	200 - 450
Med. Compacto	10 - 30	100 - 300	50 - 250	50 - 200
Pouco compacto	5 - 10	50 - 100	< 50	< 50
Fofo	< 5		a estudar	

\* Menor dimensão da fundação

## Standard Penetration Test (SPT)

- Correlação entre  $N_{SPT}$  e a tensão admissível para solos coesivos (Milititsky & Schnaid, 1995)

Descrição (consistência)	$N_{SPT}$	Provável tensão admissível (kN/m <sup>2</sup> )		
		L = 0,75m *	L = 1,5m *	L = 3,0m *
Dura	> 30	500	450	400
Muito rija	15 - 30	250 - 500	200 - 450	150 - 400
Rija	8 - 15	125 - 250	100 - 200	75 - 150
Média	4 - 8	75 - 125	50 - 100	25 - 75
Mole	2 - 4	25 - 75	<50	-
Muito mole	< 2		a estudar	

\* Menor dimensão da fundação

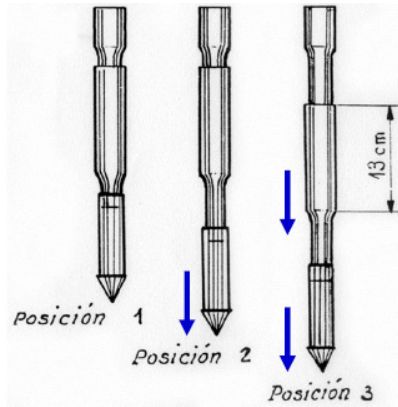


## Cone Penetration Test

## Cone Penetration Test

- ❑ Consiste na cravação no terreno de uma ponteira cônica (60° de abertura) a uma velocidade constante de 20 mm/s.
- ❑ Rugosidade da ponteira < 0,001 mm
- ❑ O cone tem secção transversal de 10 cm<sup>2</sup> (35,7 mm de diâmetro), podendo atingir 15 cm<sup>2</sup> (43,6 mm).
- ❑ A cravação é contínua, acionada por um motor.
- ❑ **Permite determinar:**
  - Resistência de ponta ( $q_c$ )
  - Resistência lateral ( $f_s$ )
  - Razão de atrito:  $R_f = f_s / q_c$

# Cone Penetration Test

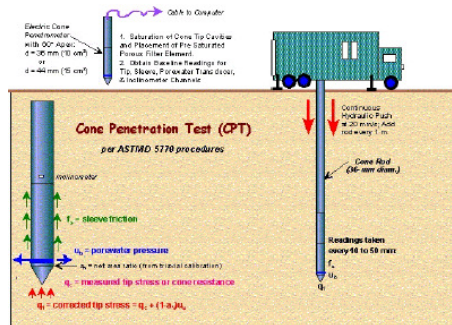
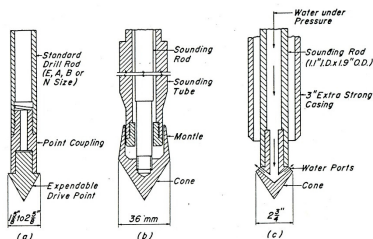


Ponteira de Begemann

Permite medir a **resistência de ponta**, a **resistência de ponta mais o atrito lateral local**, e por diferença, o atrito lateral local

# Cone Penetration Test

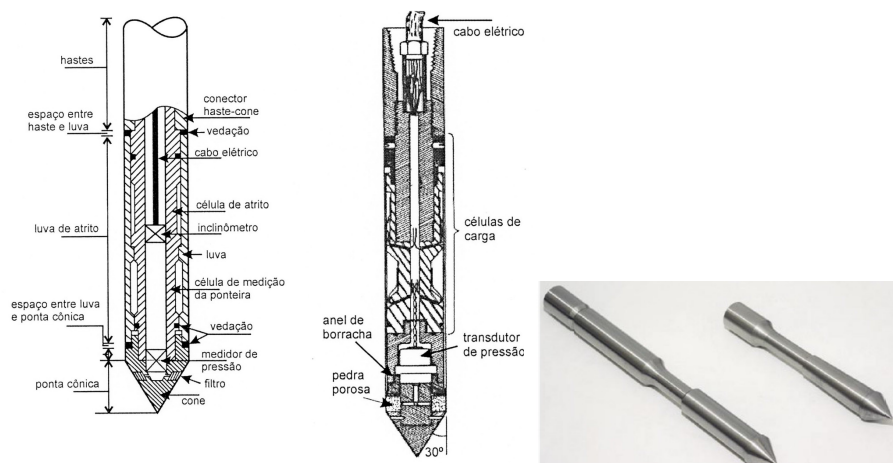
- ❑ Cone Penetration Test (CPT)
- ❑ CPTU (undrained) ou piezocone



## Cone Penetration Test

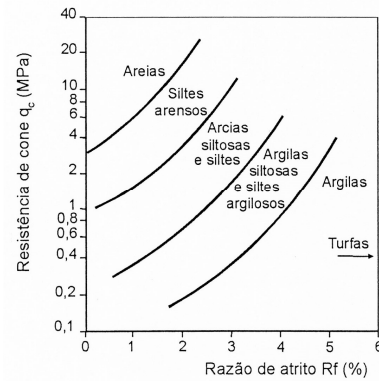
- Obtém-se registo contínuo da resistência à penetração, com registo a cada 2 cm
- Pequena perturbação do solo
- Não tem influência do operador
- Adequado a solos moles, aluvionares, areias finas e médias
- Sem colheita de amostra
- Mede resistência de ponta ( $q_t$ ) e de atrito ( $f_s$ ) e pressão neutra ( $u$ )
- Utilizado em fundações, pontes e estradas

## Cone Penetration Test



## Cone Penetration Test

- Classificação de solos com base nos resultados do CPT:



(Robertson & Campanella, 1983)

## Cone Penetration Test

- CPTU – piezocone com medição contínua da pressão intersticial

- Resistência de ponta corrigida:

- $q_t = q_c + (1-a) \times u_2$
  - com  $a = A_N / A_C$

- Atrito lateral corrigido:

- $f_t = f_s - (u_2 A_{sb}) / A_l + (u_3 A_{st}) / A_l$

- Em que:

- $f_t$  é o atrito lateral corrigido
    - $A_{sb}$ ,  $A_{st}$  são as áreas da base e topo da luva de atrito
    - $A_l$  é a área lateral da luva de atrito

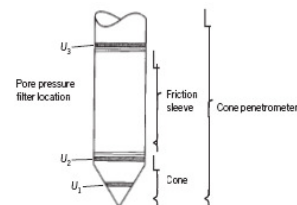
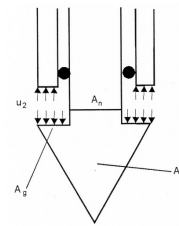


Figure 8 Piezocone penetrometer

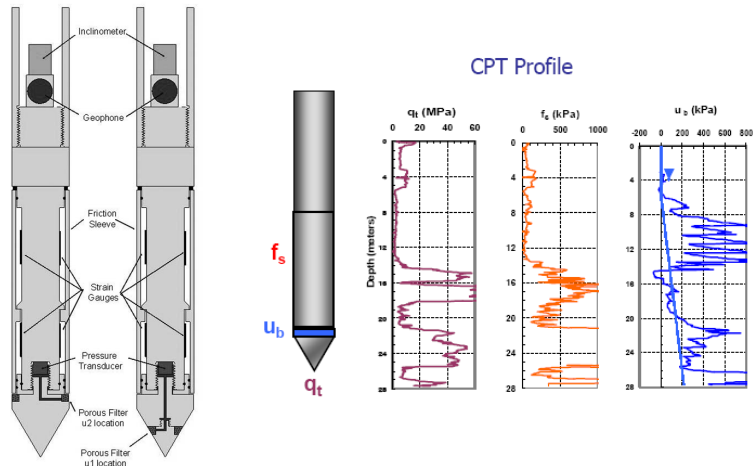
## Cone Penetration Test

- O piezocone (CPTU) é um CPT com medição adicional de pressão neutra em 1 ou mais locais da superfície do penetrómetro ( $u_1$ ,  $u_2$  e  $u_3$ )
- Fornece uma informação mais correcta da estratigrafia de um solo do que o CPT tradicional e permite melhor interpretação dos resultados em termos de propriedades mecânicas dos solos
- Permite avaliar:
  - Resistência ao corte
  - Características de deformação e de consolidação
  - Os resultados podem ser usados directamente no projecto de estacas em argilas
  - Detecta camadas drenantes de poucos centímetros de espessura

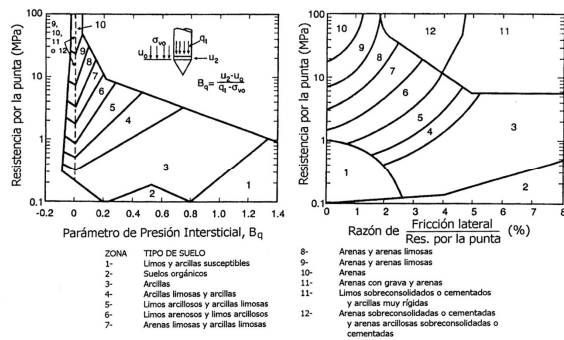
## Cone Penetration Test

- Questões relacionadas com o piezocone:
  - Falta de consenso quanto à localização do elemento filtrante:
    - $u_1$  – ponta
    - $u_2$  – base
    - $u_3$  – luva
  - $u_3$  é raramente medido, pelo que a correcção do atrito lateral não é, em geral, efectuada

# Cone Penetration Test



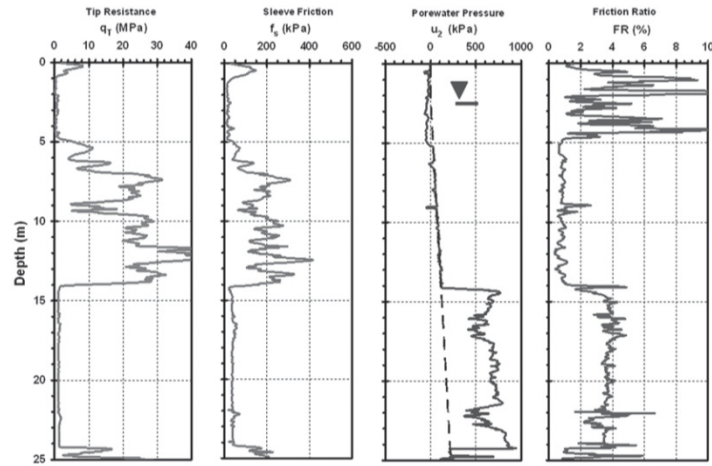
# Cone Penetration Test



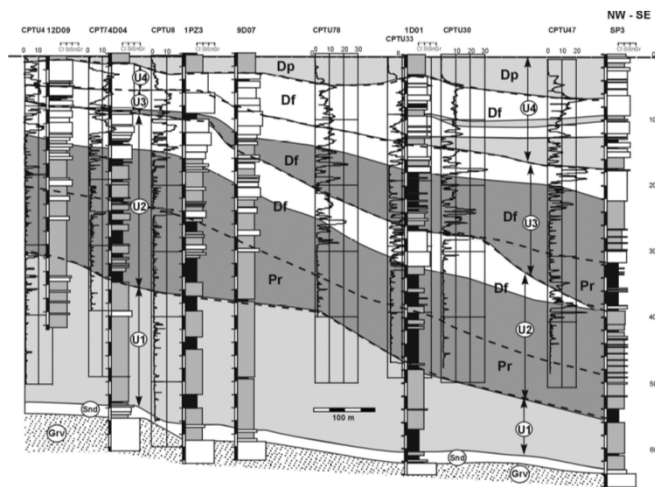
Classificação de solos baseada nos resultados de piezocone (Robertson et al, 1986)

# Cone Penetration Test

Apresentação de resultados:



# Cone Penetration Test



## Cone Penetration Test

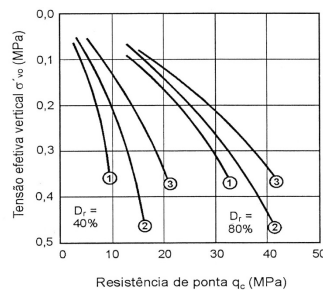
### Potencialidades do CPT e CPTU

Investigação	CPT	CPTU
Perfil do solo	Alta	Alta
Estrutura do solo	Baixa	Moderada a alta
História de tensões	Baixa	Moderada a alta
Variação espacial das propriedades mecânicas	Alta	Alta
Propriedades mecânicas	Moderada a alta	Moderada a alta
Características de adensamento	-	Alta
Condições do nível de água	-	Alta
Potencial de liquefação	Moderada	Alta
Economia no custo das investigações	Alta	Alta

## Cone Penetration Test

### ■ Avaliação da densidade relativa

$$\square D_r = -98 + 66 \log_{10} q_c / (\sigma'_{vo})^{0,5}$$



- ① Schmertmann (1976)  
Areia de Hilton Mines
- ② Baldi e outros (1982)  
Areia de Ticino
- ③ Villet & Mitchell (1981)  
Areia de Monterey

Robertson & Campanella, 1983)

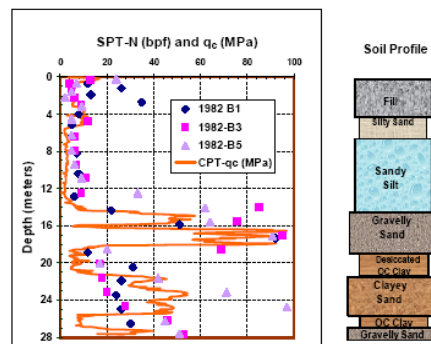


## Cone Penetration Test

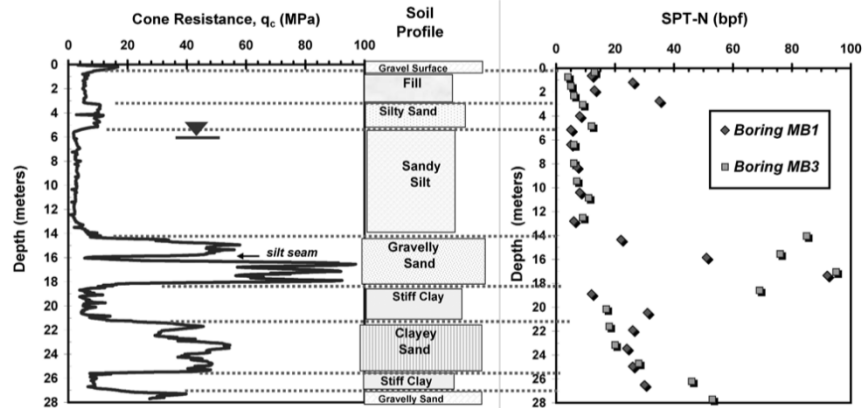
- Relação como módulo de Young (Schmertmann, 1978):
  - $E = 2,5 q_c$

## Cone Penetration Test

- Correlação SPT/CPT – tem sido estudada por vários investigadores mas não é de resolução simples. Depende do tamanho das partículas.



## Cone Penetration Test



## Cone Penetration Test

### VANTAGENS

- Permite efectuar a caracterização geotécnica de solos de **consistência muito mole até intermédia, ou de compactidade baixa a intermédia** até profundidades bastante superiores à dezena de metros;
- Permite **caracterização praticamente contínua** (em segmentos de cerca de 7cm a 13cm) de toda a coluna de solos;
- O ensaio é relativamente rápido e os equipamentos modernos de controle do avanço da ponteira e de registo das forças aplicadas permite precisões elevadas e **disponibilidade quase imediata da informação** (possibilidade de avaliar as características dos terrenos imediatamente após a realização do ensaio, o que permite estabelecer adaptações à campanha de prospecção subsequente);
- O ensaio de penetração estático (CPT - Cone penetration test) com a utilização da **ponteira de Begemman** permite a obtenção de estimativas fiáveis das características de resistência ao corte não drenado ( $c_u$ ) de solos argilosos e do ângulo de atrito de solos arenosos;

Magda Roque, 2015

## Cone Penetration Test

### VANTAGENS (continuação)

- A **ponteira de Begemman** permite classificar os solos de acordo com as suas características texturais e de sobreconsolidação, a partir da relação entre a resistência de ponta e a razão de atrito, o que possibilita a aplicação mais ou menos segura de correlações empíricas para a determinação de  $c_u$  e  $\phi$ , que são específicas de cada tipo de solo.
- Constituem o método de eleição para a **caracterização geotécnica de solos moles (lodos) e pouco compactos (areias lodosas)**, no contexto de enchimentos sedimentares holocénicos de vales aluviais e fluvio-marinhos

Magda Roque, 2015

## Cone Penetration Test

### INCONVENIENTES

- As camadas superficiais de solos moles podem apresentar-se pesadamente **sobreconsolidadas por dessecação**, que podem mesmo conduzir à impossibilidade de perfuração dessas mesmas camadas em especial se incluírem elementos maiores (conchas e seixos)
- Os resultados são extremamente sensíveis à presença de **níveis grosseiros** (cascalheiras, conchas) ou outros obstáculos à sua progressão (blocos em aterros)
- A sua utilização **requer conhecimento prévio da natureza das formações** a atravessar, ou por análise geológica do contexto, ou pela realização prévia de sondagens que permitam reconhecer a coluna de sedimentos a atravessar
- O ensaio é **muito sensível aos cuidados postos na sua execução** - o bom estado e limpeza das varas e ponteira são fundamentais para a obtenção de resultados fiáveis - Em especial a profundidades elevadas, os atritos mobilizados ao longo de trens de varas em mau estado de conservação pode acarretar desvios significativos dos resultados (em sentido contrário ao da segurança).

Magda Roque, 2015

## Dynamic Probing (DPL, DPM, DPH, DPSH)

## PENETRÓMETRO DINÂMICO

Ensaios realizados com equipamentos de diferentes configurações (*leigos e pesados*) e tipos de accionamento muito variável (*manual, pneumático, mecânico*)

São idênticos ao ensaio SPT, consistindo na cravação contínua de uma ponteira cónica por acção da queda de um pilão de massa e altura de queda pré-estabelecidas, contabilizando-se o número de quedas/pancadas, N, para cada intervalo de penetração, e, definido de acordo com cada ensaio (ex. DPL, DPM, DPH, DPSH).

As diferenças básicas, comparativamente com o ensaio SPT, residem na substituição do *amostrador por uma ponteira cónica*, de dimensões padronizadas, cuja secção transversal é de dimensão superior à secção transversal das varas e no facto de o ensaio ser *realizado de forma contínua*.

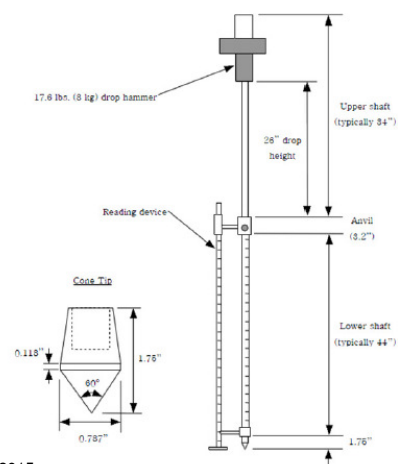
Estas diferenças permitem a medição de *uma resistência de ponta dinâmica*, o estabelecimento de *um perfil contínuo da resistência do solo* e a *ausência da necessidade de execução de um furo de sondagem*.

Magda Roque, 2015

## PENETRÓMETRO DINÂMICO

- Utilizado em locais de difícil acesso e taludes
- Cravação por queda de um peso
- Atinge pequenas profundidades (em função da massa, permite aumentar a profundidade de ensaio)
- Fornece informação qualitativa relativamente à resistência à penetração
- Os resultados são apresentados em nº de pancada vs profundidade
- Realizado com muita frequência – grande experiência; utilizado em fundações e obras lineares
- Aplicado também para avaliar a eficiência de um tratamento de terreno (antes e depois)

## PENETRÓMETRO DINÂMICO



Magda Roque, 2015

# PENETRÓMETRO DINÂMICO

Tipo	Sigla	M, Massa do pilão (kg)
Ligeiro ou leve	DPL	$M \leq 10$
Médio	DPM	$10 < M < 40$
Pesado	DPH	$40 \leq M \leq 60$
Super-pesado	DPSH	$60 < M$

CARACTERÍSTICA	DPL	DPM	DPH	DPSH
M-Massa do pilão (kg)	10	30	50	63,5
H-Altura de queda (m)	0,5	0,5	0,5	0,75
A-Área da base do cone (cm <sup>2</sup> )	10	10	15	20
Ângulo no vértice do cone (graus)	90	90	90	90
L-Comprimento de penetração (cm)	10	10	10	20
MgH/A-Energia específica por pancada (kJ/m <sup>2</sup> )	50	150	167	238

Quadro 2.2: Dimensões e massas para os quatro tipos de penetrômetros dinâmicos

	DPL (leve)	DPM (médio)	DPH (pesado)	DPSH (super- pesado)
<b>Dispositivo de cravação</b>				
Pilão massa m (kg)	$10 \pm 0,1$	$30 \pm 0,3$	$50 \pm 0,5$	$63,5 \pm 0,5$
Altura de queda h (mm)	$500 \pm 10$	$500 \pm 10$	$500 \pm 10$	$750 \pm 20$
Razão comprim/diâm. ( $D_0$ )	$\geq 1 \leq 2$	$\geq 1 \leq 2$	$\geq 1 \leq 2$	$\geq 1 \leq 2$
<b>Batente</b>				
Diâmetro d (mm)	$100-d \pm 0,5 D_0$	$100-d \pm 0,5 D_0$	$100-d \pm 0,5 D_0$	$100-d \pm 0,5 D_0$
Massa (kg) (máx.) (vara gusa incluída)	6	18	18	30
<b>Cone de 90°</b>				
Área d base nominal $A_{cm^2}$	10	10	15	20
Diâm. da base (D) nov (mm)	$35,7 \pm 0,3$	$35,7 \pm 0,3$	$43,7 \pm 0,3$	$51 \pm 0,5$
Diâmetro da base, usado (mm) min	34	34	42	49
Comprim. da manga (mm)	$35,7 \pm 1$	$35,7 \pm 1$	$43,7 \pm 1$	$51 \pm 2$
Comprimento, da ponta do cone (mm)	$17,9 \pm 0,1$	$17,9 \pm 0,1$	$21,9 \pm 0,1$	$25,3 \pm 0,4$
Desgaste máx. da ponta mm	3	3	4	5
<b>Varas</b>				
Massa (kg/m) (máx.)	3	6	6	6
Diâmetro OD (mm) (máx.)	22	32	32	32
Desvio da vara: 5m inferiores %	0,1	0,1	0,1	0,1
restante %	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Energia específica por pancada</b>				
(mgh/A) em kJ/m <sup>2</sup>	50	150	167	238

$$N_{10} (DPH) = N_{30} (DPSH)$$

a) Input: DPH results

$$N_{10L} = 3 N_{10H}$$

$$\text{Range of validity: } 3 \leq N_{10H} \leq 20$$

b) Input: DPL results

$$N_{10H} = 0,34 N_{10L}$$

$$\text{Range of validity: } 3 \leq N_{10L} \leq 50$$

$$N_{20}(DPH) = 0,832 \text{ NSPT}$$

Magda Roque, 2015

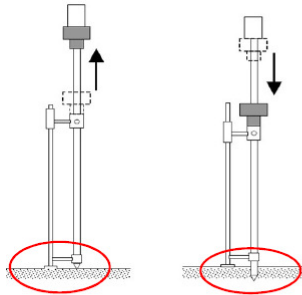
## PENETRÓMETRO DINÂMICO

- Dynamic Probing Light (DPL)
  - Ensaio ligeiro realizado até 8m, com queda de um pilão de 10 kg, de uma altura de 0,50 m.
  - A área do cone é de 10 cm<sup>2</sup>
  - Conta-se o número de pancadas para penetrar 10 cm ( $N_{10}$ )
  - Faz-se leitura com intervalos de 10 cm.
  
- Dynamic Probing Medium (DPM)
  - Profundidade até 20 m, com um pilão de 30 kg e altura de queda de 0,50 m
  - Obtém-se  $N_{10}$

## PENETRÓMETRO DINÂMICO

- Dynamic Probing Heavy (DPH)
  - Para profundidades de 20-25 m
  - Queda de uma massa de 50 kg de uma altura de 0,50 m
  - Obtém-se  $N_{10}$
  
- Dynamic Probing Super High (DPSH)
  - Pode utilizar-se para profundidade superior a 25 m
  - Massa de 63,5 kg de uma altura de 0,75 m
  - Obtém-se  $N_{20}$  (penetração de 20 cm)

# PENETRÓMETRO DINÂMICO



Fórmula Holandesa (CPT)

$$q_f = \frac{N}{e} \times \frac{M^2 h}{s(M+p)} = R_p$$

$q_f$  – resistência à penetração ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )       $M$  – massa do pítão (kg)  
 $R_p$  – resistência à penetração ( $\text{kg.cm}^{-2}$ )       $h$  – altura de queda (cm)  
 $N$  – número de pancadas       $s$  – seção transversal da  
 $e$  – avanço conseguido (cm)      ponta cônica ( $\text{cm}^2$ )  
 $p$  – massa do penetrômetro (kg)

Magda Roque, 2015

## EC7

a) areia de grão uniforme ( $U \leq 3$ ) acima do nível freático (1.2.1)

$$I_D = 0.10 + 0.435 \log N_{10} \text{ (DPH)}$$

b) areia de grão uniforme ( $U \leq 3$ ) abaixo do nível freático (1.2.2)

$$I_D = 0.23 + 0.380 \log N_{10} \text{ (DPH)}$$

c) areia média a grossa bem graduada ( $U \geq 6$ ) (1.2.3)

$$I_D = -0.14 + 0.550 \log N_{10} \text{ (DPH)}$$

O mesmo EC7, pag. 120, faz depois a correlação entre o índice de densidade  $I_D$  e o ângulo de atrito.

Quadro 1.2.5

Tipo de solo	Graduação	$I_D$ %	Angulo de atrito $\phi$
Areia fina	Grão uniforme	15-35 (solta)	30°
Areia média	$U < 6$	35-65 (densidade média)	32,5°
Areia média a grossa		>65 (densa)	35°
Areia média	Bem graduada	15-35 (solta)	30°
Areia grossa e seixo	$6 \leq U \leq 15$	35-65 (densidade média)	34°
		>65 (densa)	36°



# PENETRÓMETRO DINÂMICO

## Compacidade de solos granulares

Table 2. Compacity of granular soils evaluated from DPL

Blows $N_{10}$	Compacity
< 1	Very loose
< 7	Loose
7 - 83	Medium
> 83	Dense

## Consistência de solos argilosos

Table 3. Consistence of fine soils evaluated from DPL

Blows $N_{10}$	Consistence
< 3	Very soft
3 - 6	Soft
6 - 12	Medium
13 - 22	Stiff
23 - 45	Very stiff
> 45	Hard

## Resistência do solo à penetração (USDA, 1993)

CLASSES	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO MPa
<i>Pequena</i>	< 0,1
Extremamente pequena	< 0,01
Muito baixa	0,01-0,1
<i>Intermediária</i>	0,1 - 2
Baixa	0,1 - 1
Moderada	1 - 2
<i>Grande</i>	> 2
Alta	2 - 4
Muito alta	4 - 8
Extremamente alta	≥ 8

Magda Roque, 2015

## Vane Test

## Ensaaios in situ

### ■ Vane test

- Criado na Suécia em 1919
- Realiza-se no fundo de uma sondagem em execução ou após a sua conclusão
- Necessário conhecimento prévio da natureza do solo
- Utiliza-se para determinar a resistência ao corte sem drenagem de terrenos coesivos brandos, de granulometria fina (argilas)
- Adequado para solos saturados
- Sendo um ensaio rápido, obtém-se a resistência não drenada, ou seja, a coesão
- De seguida mede-se a resistência residual, quando ocorre estabilização após a rotura

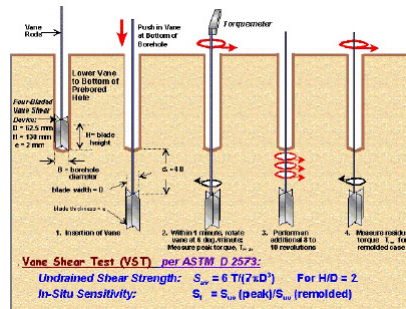
## Ensaaios in situ

### □ Vane test (molinete)

- Cravação no terreno a profundidade pré-definida, no fundo do furo, de quatro pás (palheta de secção cruciforme) soldadas a uma vara central
- A cravação é feita até profundidade de  $5xH$ , sendo  $H$  a altura das pás ( $H=2D$ )
- Movimento de torção com velocidade constante de  $0,1^{\circ}/s$
- Mede-se o momento de torção necessário para romper o solo
- Pode variar na altura das palhetas e diâmetro. Em geral:  $D=65$  mm,  $H=130$  mm; espessura da lâmina=2 mm
- Equipamento electrónico (não tem influência do operador)

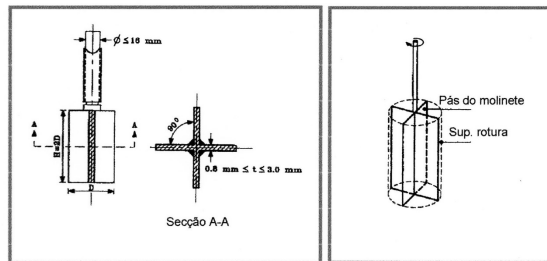
## Ensaaios in situ

- Equipamento simples
- Vasta base de dados
- Determinação da resistência ao corte:
  - $S_u = 6M / 7\pi D^3$
  - $S_t = S_{u(max)} / S_{u(residual)}$
- sendo M o momento (em kNm), D o diâmetro do molinete (em m),  $S_{u(max)}$  a resistência de pico ( $\text{kN/m}^2$ ) e  $S_{u(residual)}$  a resistência residual do solo até à estabilização de T (momento de torção)



## Ensaaios in situ

Caracterização de solos moles ( $N < 4$ , máx  $\approx 7$ )



Para obter a resistência residual, fazem-se 10 rotações rápidas após rotura de pico e inicia-se de novo o ensaio

# Ensaaios in situ

Admitindo as hipóteses de base do EC7 tem-se:

Na superfície lateral

$$M1 = \tau \times \text{Área lateral} \times \text{braço} = \tau (\pi D H) D/2 = \tau \pi D^2 H/2$$

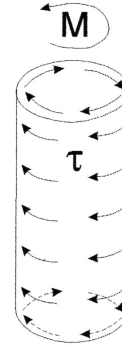
Nas superfícies do topo e da base

$$M2 = 2 \int_0^R (2 \pi r) r dr = \tau 4/3 \pi R^3$$

Atendendo a que  $H = 2D$  e  $\tau = c_u$

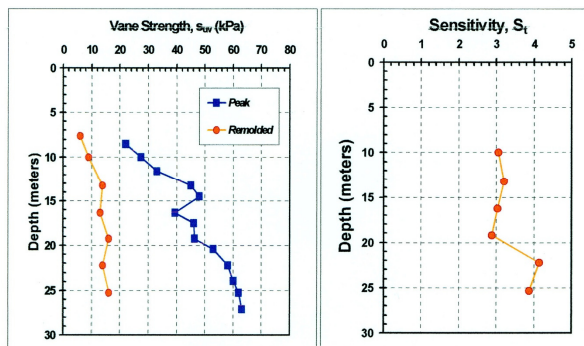
$$M = M1 + M2 = c_u D^3 7/6 \pi, \text{ ou seja,}$$

$$c_u = (6/7 M) / (\pi D^3) = (0.86 M) / (\pi D^3)$$



# Ensaaios in situ

Resultados de uma ensaio (Vane test)



## Pressiómetro (PMT)

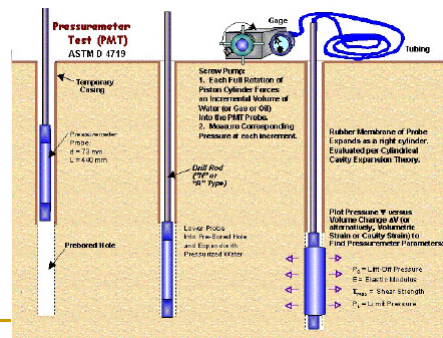
## Ensaaios in situ

- Equipamento cilíndrico e alongado que expande radialmente, criado em 1955
- Monitorizando o volume de líquido introduzido e a pressão exercida sobre o solo, obtém-se uma curva tensão-deformação-resistência
- Em solos introduz-se água ou gás, em rochas brandas usa-se óleo
- Medidas mais comuns: 35 a 73 mm de diâmetro e razão comprimento/diâmetro de 4 a 6.

## Ensaaios in situ

### □ Pressiometer Test (PMT)

- Aplicado em furos de sondagem
- Introdução de uma manga de borracha que pressiona o maciço em volta do furo
- Avalia tensão-deformação
- Desvantagens
  - mede parâmetro na horizontal
  - necessita de informação prévia sobre a estratigrafia no local
  - limitado em solos anisotrópicos
  - caro e demorado
  - Exige técnicos experientes



## Ensaaios in situ

### ■ Elastic modulus

$$\square E_{PMT} = 2(1+\nu)(V/\Delta V) \Delta P$$

- Onde  $V = V_0 + \Delta V$ ,  $V_0$  o volume inicial do equipamento,  $\Delta P$  a variação de pressão na zona elástica,  $\Delta V$  a variação de volume,  $\nu$  o coeficiente de Poisson

## Dilatómetro Plano (DMT)

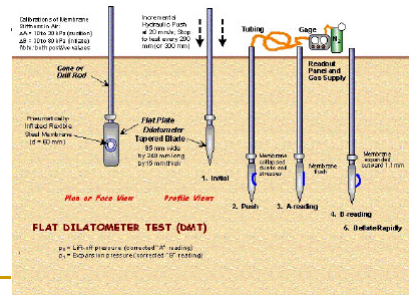
## Ensaios in situ

- DMT
  - Usa medições de pressão a partir da inserção de uma placa para obter:
    - Estratigrafia
    - Módulo de elasticidade
    - Resistência ao corte de areias, silte e argila
  - Consiste na cravação de uma placa com lâmina de ângulo 18°, com intervalos de 20 cm a uma velocidade de 20 mm/s
  - Dimensões da lâmina: 240 mm comprimento, 95 mm de largura, 15 mm de espessura
  - Uma membrana flexível existente num dos lados da lâmina é dilatada pneumáticamente e fornece 2 medições:
    - A medição zero, ou de contacto
    - A medição correspondente à pressão de expansão de 1 mm no centro da membrana (as leituras são feitas em poucos segundos)

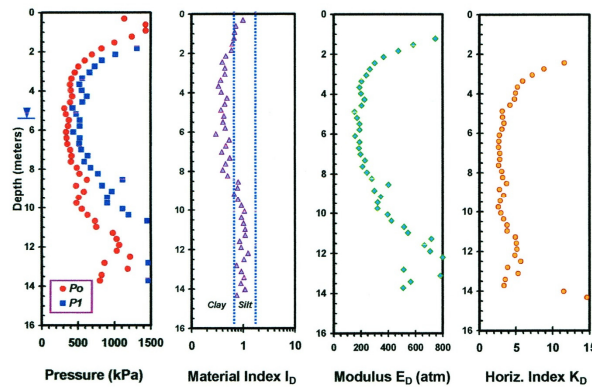
# Ensaio in situ

## □ Dilatômetro plano

- Informação em registo contínuo
- Simples e rápido; sem interferência do operador
- Maciço pouco perturbado
- Desvantagens:
  - Intersecta pequeno volume de maciço
  - Difícil em rocha
  - Não obtém amostra
  - Necesita de calibração para cada local



# Ensaio in situ



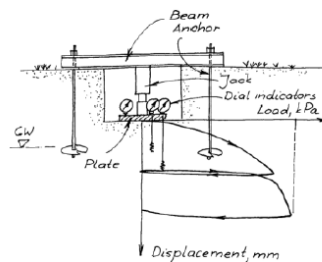
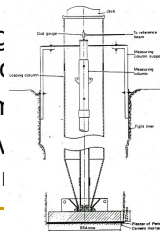
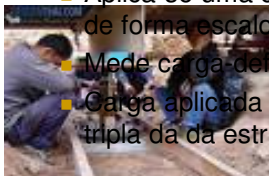


## Ensaio de Placa

## Ensaios in situ

### Ensaio de placa

- Simula a sapata de um edifício
- Diâmetro de 30 a 100 cm
- Realizam-se em poços ou sanjas
- Avalia assentamentos
- Utilização em solos granulares
- Aplica-se uma carga de forma escalonada
- Mede carga de orn
- Carga aplicada de triplicada da da estrutu



## Ensaio in situ

- Ensaio de permeabilidade tipo Lefranc
  - Ao longo dos furos de sondagem
  - Solos permeáveis e semi-permeáveis, granulares e em rochas muito fracturadas
  - Injecção de água numa cavidade de forma definida
    - Nível constante (solos permeáveis)
    - Nível variável (caudal constante) (solos menos permeáveis)

## Ensaio in situ

Ensayos *in situ*: propiedades geotécnicas y tipo de material

Propiedad geotécnica	Tipo de material	
	Suelos	Rocas
Resistencia	— Penetración estándar (SPT)*. — Penetración dinámica (Borros y otros tipos). — Penetración estática y CPTU. — Molinete ( <i>vane test</i> )*.	— Martillo Schmidt. — Carga puntual. — Corte directo.
Deformabilidad	— Placa de carga. — Presiómetros*.	— Dilatómetros*. — Placa de carga. — Gato plano.
Permeabilidad	— Lefranc*. — Gilg Gavard*. — Matsuo**. — Haefeli**.	— Ensayo Lugeon*.

\* Ensayos en sondeos; \*\* Ensayos en calicatas y zanjas.

## Ensaaios in situ

- Ensaaios em rocha
  - Avaliação de:
    - Resistência à ruptura
    - Deformabilidade
    - Permeabilidade
    - Estado de tensão
  
  - *In situ*
  - Em laboratório