

APLICAÇÕES PRÁTICAS DOS ENSAIOS DMT E CPTU

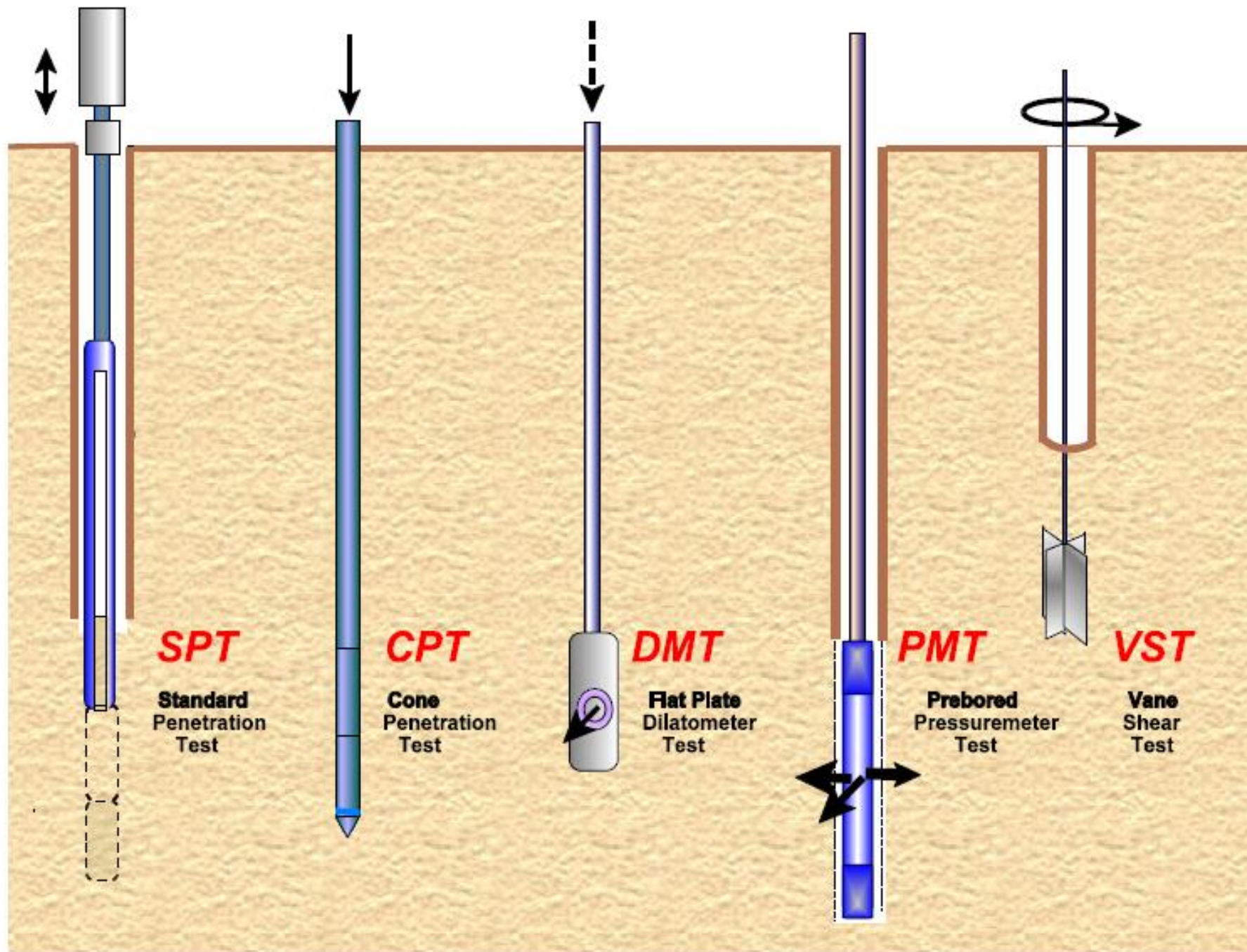
Prof. Dr. Antônio Sérgio Damasco Penna

Prof. Dr. Antônio Sérgio Damasco Penna

- **Graduado** em Engenharia Civil em 1974, na Escola de Engenharia Mauá;
- **Mestre** em Engenharia de Solos e Fundações, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 1983;
- **Doutor** em Engenharia de Solos e Fundações na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 1993;
- **Professor Titular** das disciplinas de "**Mecânica dos Solos, Obras de Terra**", e "**Fundações**", da **Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie**, durante 37 anos, desde 1976 até 2013,
- **Diretor** da empresa **DAMASCO PENNA - Engenheiros Associados S/C Ltda** desde 1980 - Empresa de Consultoria e Investigações Geotécnicas – Responsável técnico por 6.000 projetos de engenharia.

TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

- Sondagem a percussão “**SPT**”
- Dilatômetro de Marchetti “**DMT**”
- Ensaio de penetração de cone estático com medidas de pressões neutras “**CPTu**”
- Ensaio de palheta “Vane – Test” “**VST**”
- Pressiômetro de Ménard “**PMT**”



PRÁTICA PROFISSIONAL

- Com toda a certeza, a maior parte dos problemas geotécnicos está vinculada à precariedade do reconhecimento do terreno e às incertezas relativas ao comportamento das camadas condicionantes.
- Devemos pensar sempre, em cada projeto :

“Será que, de fato, temos as informações suficientes e confiáveis que representem as características do terreno ?

NBR 6122 /2019 – PROJETO E EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES

4.3 Investigação geotécnica preliminar

Para qualquer edificação deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo por sondagens a percussão (com SPT), visando a determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração N_{SPT} , de acordo com a ABNT NBR 6484. Na classificação dos solos deve ser empregada a ABNT NBR 6502.

Para a programação de sondagens de simples reconhecimento para fundações de edifícios, deve ser empregada a ABNT NBR 8036.

4.4 Investigação geotécnica complementar

Em função dos resultados obtidos na investigação geotécnica preliminar, devido a peculiaridades do subsolo ou do projeto, ou ambos, ou ainda, no caso de dúvida quanto à natureza do material impenetrável a percussão, pode ser necessária uma investigação complementar, através da realização de sondagens adicionais, instalação de indicadores de nível d'água, piezômetros, ou outros ensaios de campo (sondagens rotativas, CPT, CPTU, DMT, geofísicas e outros) e de laboratório.

Independentemente da extensão da investigação geotécnica preliminar realizada, devem ser feitas investigações adicionais sempre que, em qualquer etapa da execução da fundação, forem constatadas diferenças entre as condições locais e as indicações fornecidas pela investigação preliminar, de tal forma que as divergências fiquem completamente esclarecidas.

PADRONIZAÇÕES DOS ENSAIOS

- **SPT** – Standard Penetration Test (diferente em cada lugar do mundo, em cada equipamento e em cada equipe);
- Ensaio especiais (**CPTu, DMT, VST e PMT**) seguem um mesmo padrão, que é internacional e usado no mundo todo;
- Os resultados dos ensaios especiais independem do operador.

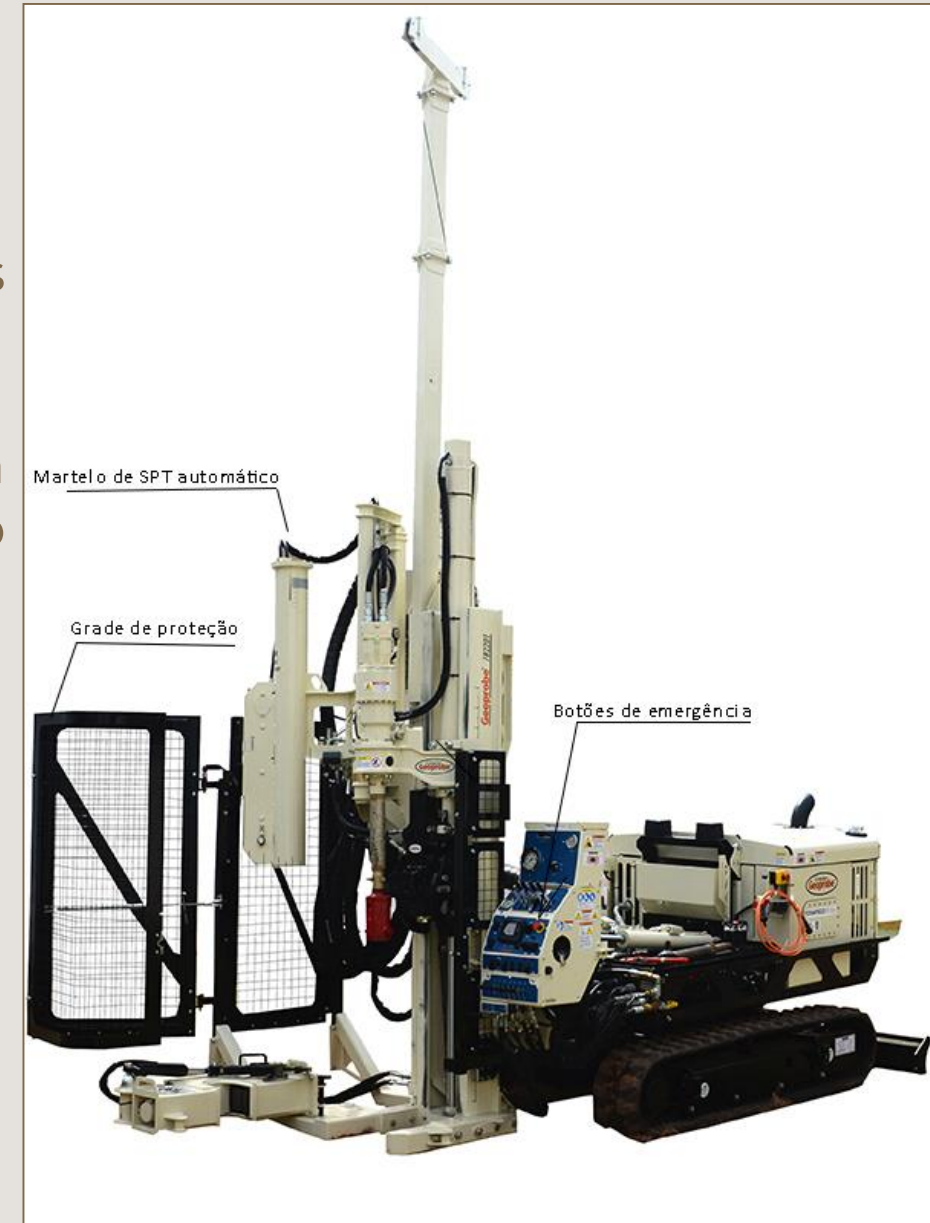
O HÁBITO BRASILEIRO

Sondagem a percussão com equipamento manual



A NOVA NORMA DE SONDAGENS

- ABNT NBR – 6484 – 2020 – Sondagem de simples reconhecimento com SPT;
- Permite a execução de sondagem a percussão com equipamento mecanizado, dotado de martelo automático.



DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA



SPT MANUAL

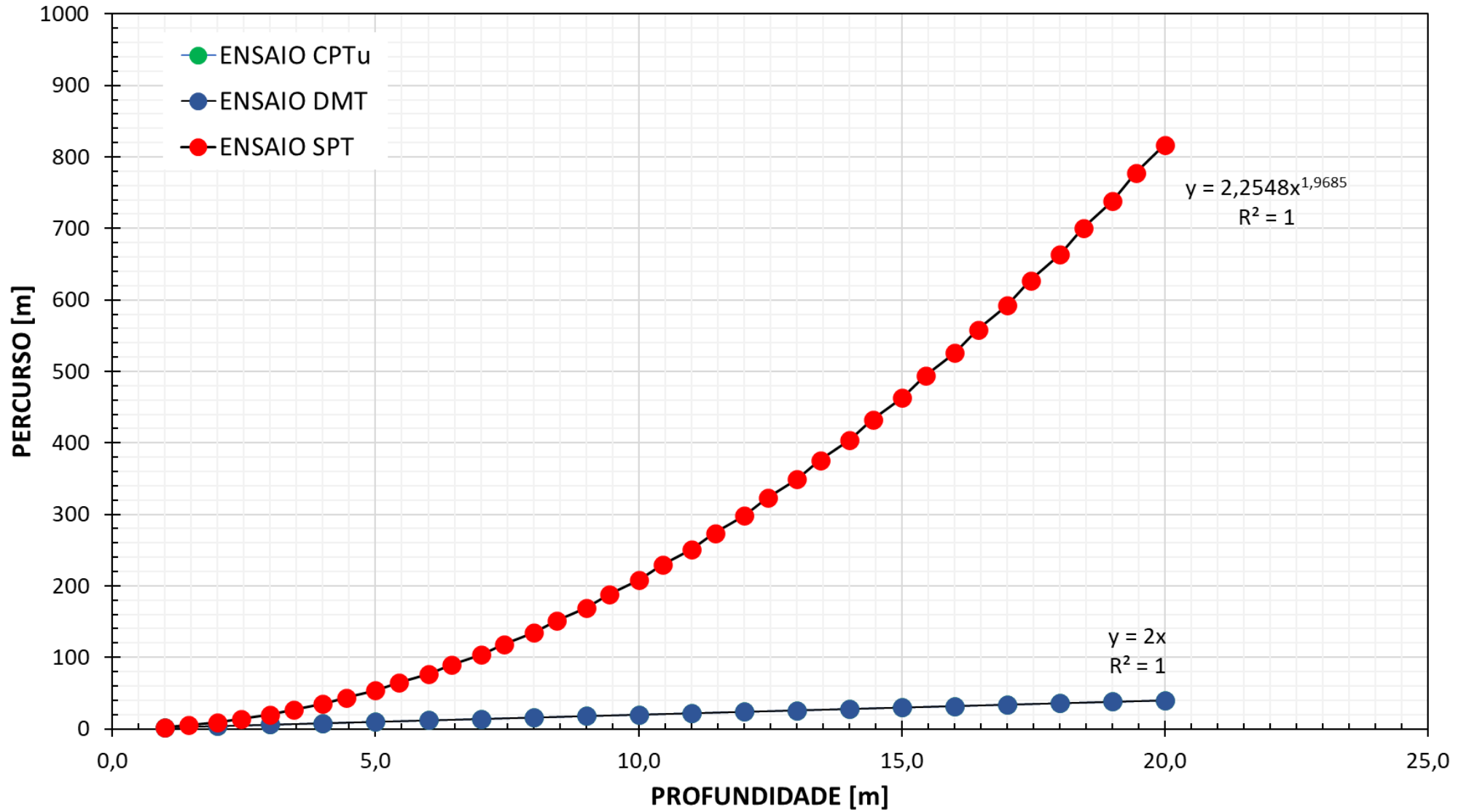


DMT, PMT, CPTU, VST

COMPARAÇÕES DE PERCURSOS DOS ENSAIOS DE CAMPO

- Sondagem a percussão “**SPT**”
- Dilatômetro de Marchetti “**DMT**”
- Ensaio de penetração de cone estático com medidas de pressões neutras “**CPTu**”

PERCURSO DE ENSAIOS GEOTÉCNICOS

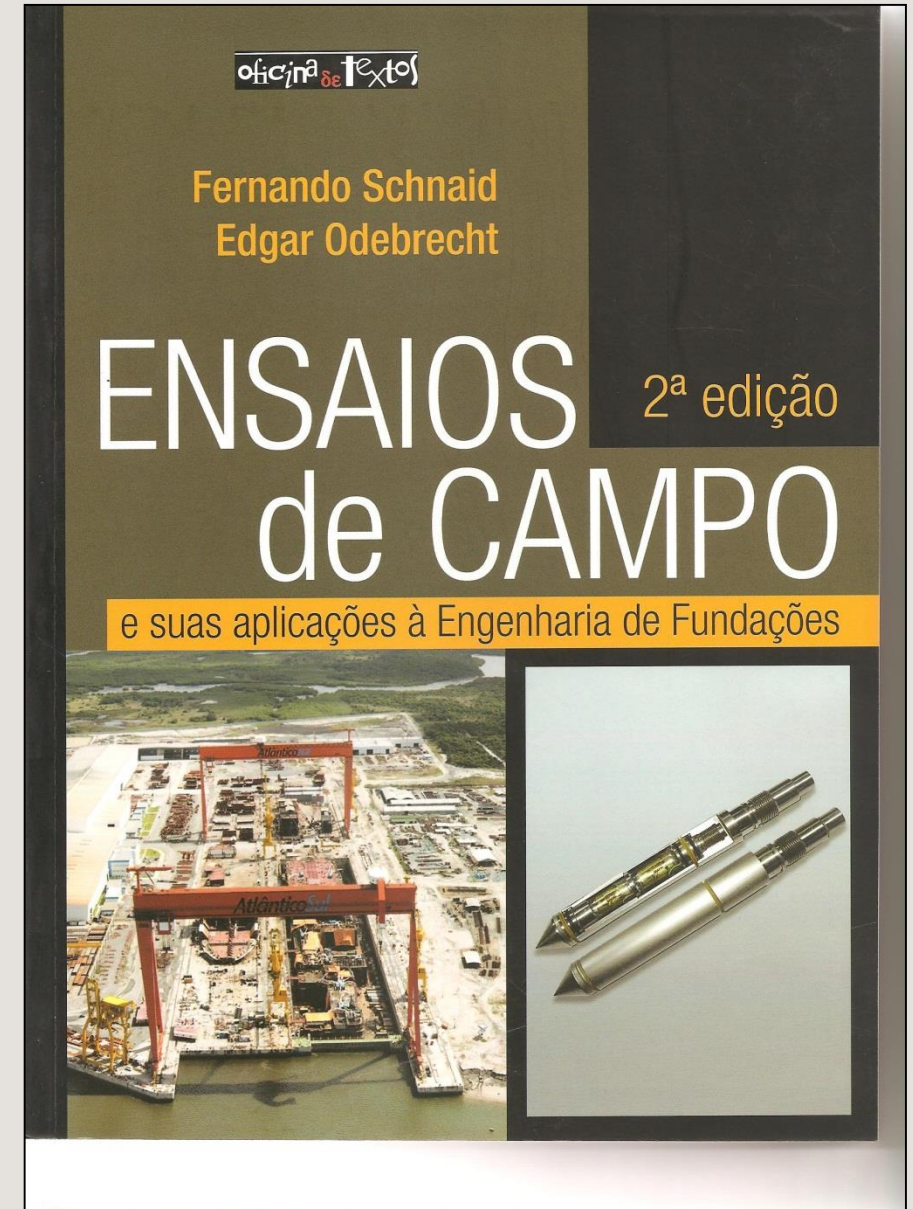


ENSAIOS DE CAMPO X ENSAIOS DE LABORATÓRIO

- **LABORATÓRIO** : poucas amostras, pouca representatividade do todo, mas são ensaios mais precisos, com medidas diretas dos parâmetros geotécnicos;
- **CAMPO** : são menos precisos, mas a amostragem é quase integral, todas as camadas são reconhecidas e são registradas as interfaces de cada camada;
- **CONCLUSÃO** : Hoje em dia, o maior uso e o maior desenvolvimento das técnicas, está concentrado nos ensaios de campo.

BIBLIOGRAFIA NACIONAL

- Prof. Fernando Schnaid e Prof. Edgar Odebrecht;
- Editora Oficina de Texto – 2012;
- www.ofitexto.com.br/home;
- SPT ; CPTu ; DMT ; VST ; PMT.



CONE PENETRATION TEST (CPTu)

- Reconhecimento das camadas do terreno;
- Medidas a cada 1,0 cm;
- Leituras de três parâmetros (f_s , q_c , u);
- Avaliações das características de resistência e de deformabilidade dos solos;
- Avaliações das características de tempo de adensamento;
- Alta produtividade;
- Repetitividade de resultados;
- Dados confiáveis;
- Sem dependência do operador;



CONE PENETRATION TEST (CPTu)

EQUIPAMENTOS DE CRAVAÇÃO:



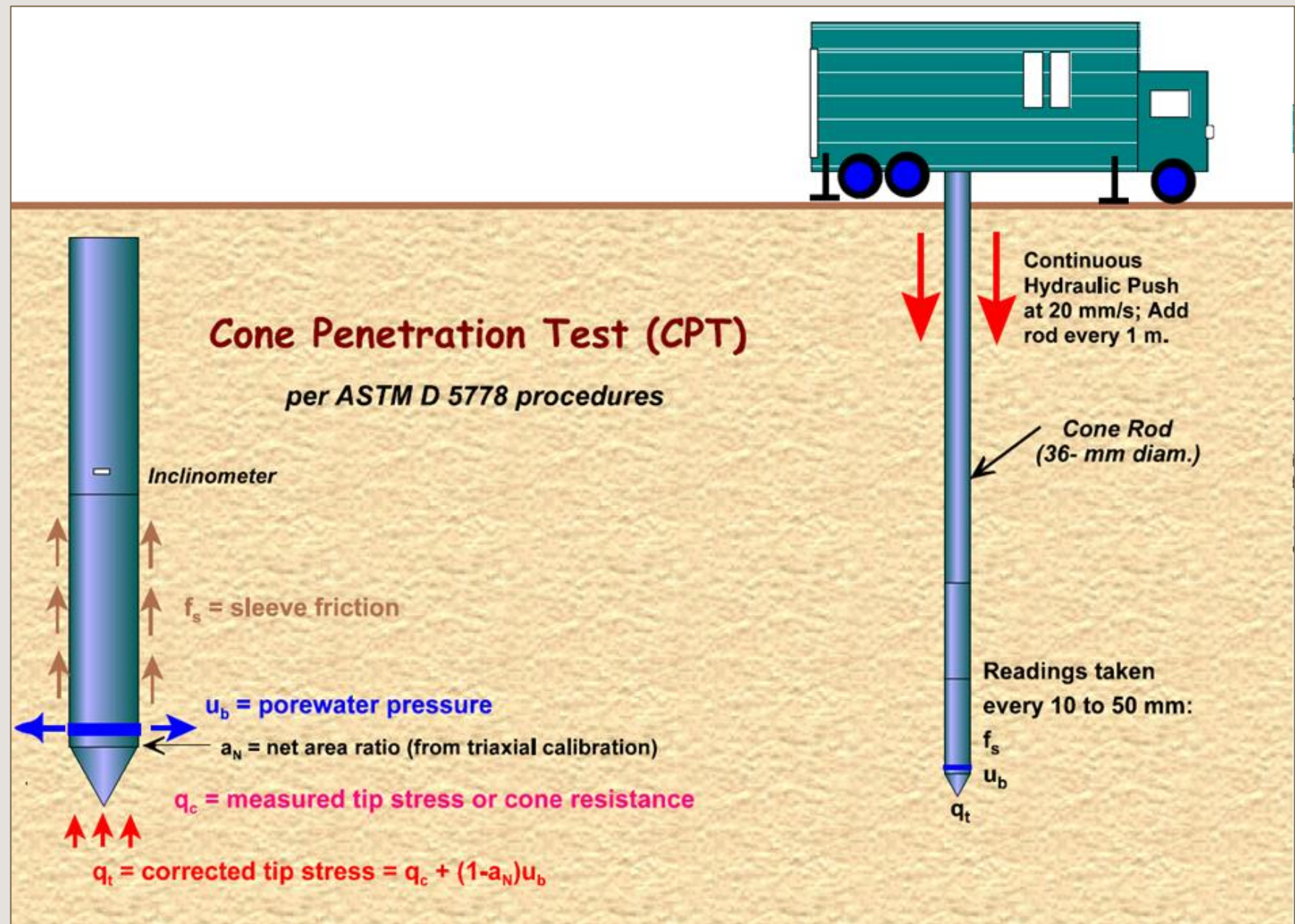
SOBRE ESTEIRAS
10 tf



SOBRE ESTEIRAS
20 tf



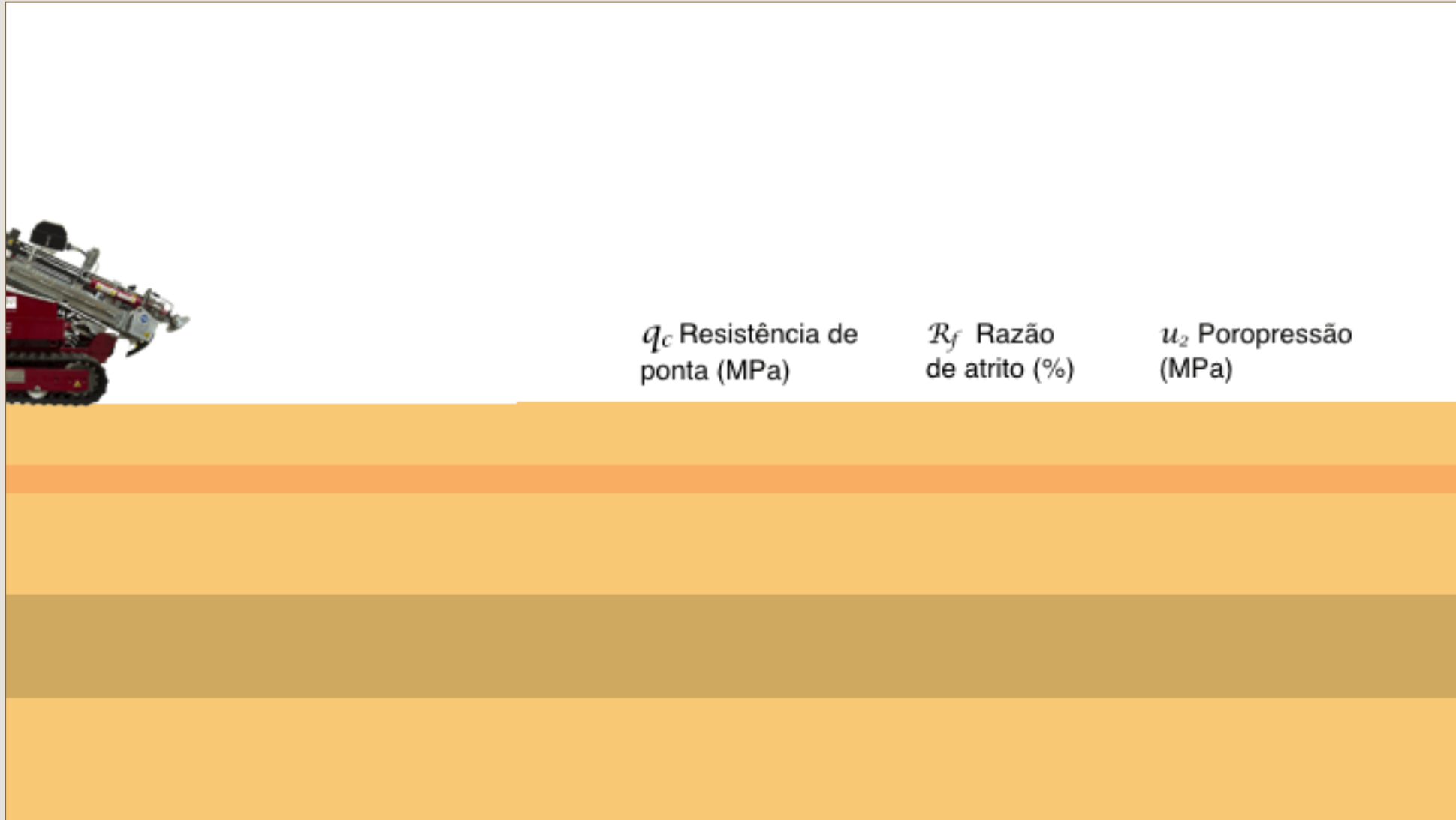
SOBRE ESTEIRAS
20 tf



TÉCNICA DO ENSAIO

- Saturação da ponteira e da pedra porosa;
- Velocidade de avanço de 20 mm/s +/- 5 mm/s;
- Intervalos de leituras de dados a cada 1 cm ou a cada 5 cm;
- Acompanhamento da perfuração com inclinômetro interno à ponteira;
- Medidas de profundidade realizadas com “profundímetro”;
- Eventuais ensaios de dissipação de sobre-pressão neutra gerada pela cravação, em camadas de argilas;
- Dissipação muito rápida em camadas de areias, para observação da coluna hidrostática (lençol freático).

RESULTADOS DE UM ENSAIO CPTu



TÉCNICA DO ENSAIO

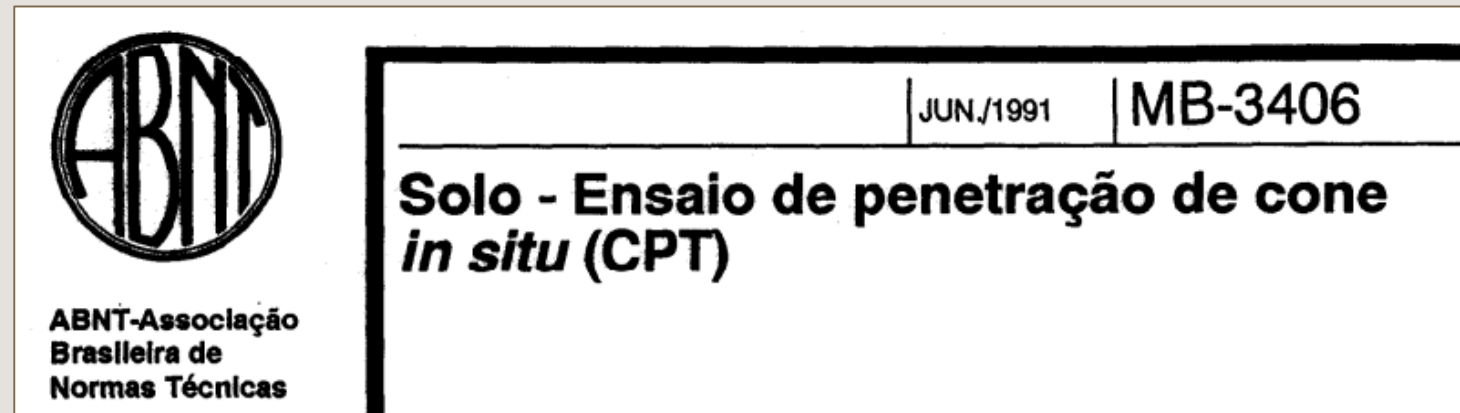
Medidas a cada 1,0 cm:

- São 100 informações de cada parâmetro por metro de profundidade;
- São 3 parâmetros medidos (fs, qc, u), portanto são 300 informações por metro;
- As informações são apresentadas em unidades de pressões (Kpa);
- **Se comparado ao SPT, que custa um terço do preço do CPTu, por metro, o ensaio CPTu é baratíssimo, considerando a qualidade e a quantidade de dados obtidos.**

NORMAS TÉCNICAS

Norma ABNT 12069-91: Ensaio de penetração de cone *in situ* (CPT):

- Não menciona as leituras de pressões neutras;
- Norma cancelada;
- Em andamento a tradução da norma ISSO para a ABNT.



NORMAS TÉCNICAS

ASTM D5778-20 : CPT : Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils



Designation: D 5778 – 20

**Standard Test Method for
Performing Electronic Friction Cone and Piezocone
Penetration Testing of Soils¹**

EUROCODE 7 : Geotechnical design - Part 3 : Design assisted by fieldtesting

EUROPEAN PRESTANDARD

ENV 1997-3

PRÉNORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE VORNORM

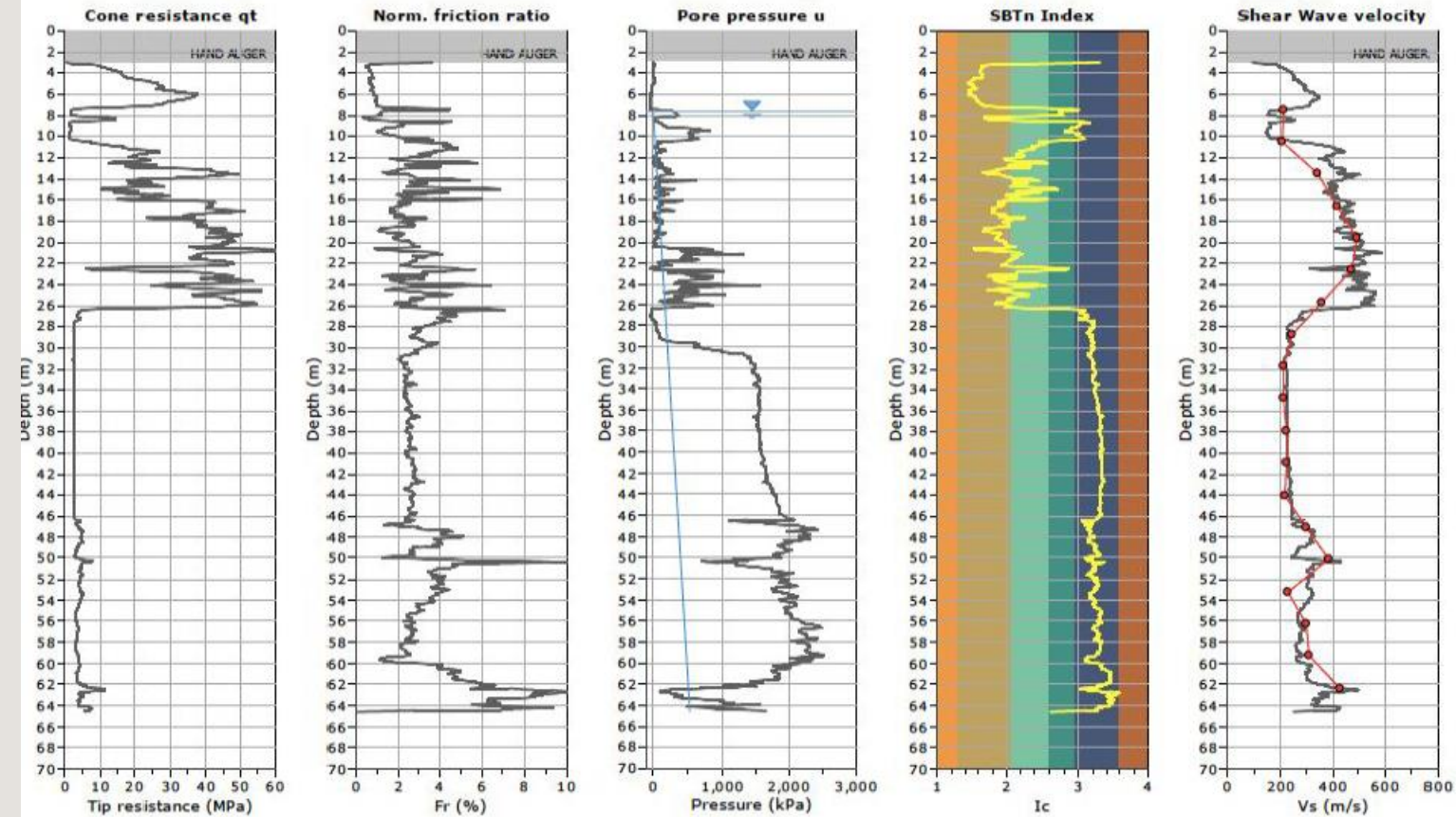
July 1999

ICS 91.080.01; 93.020

English version

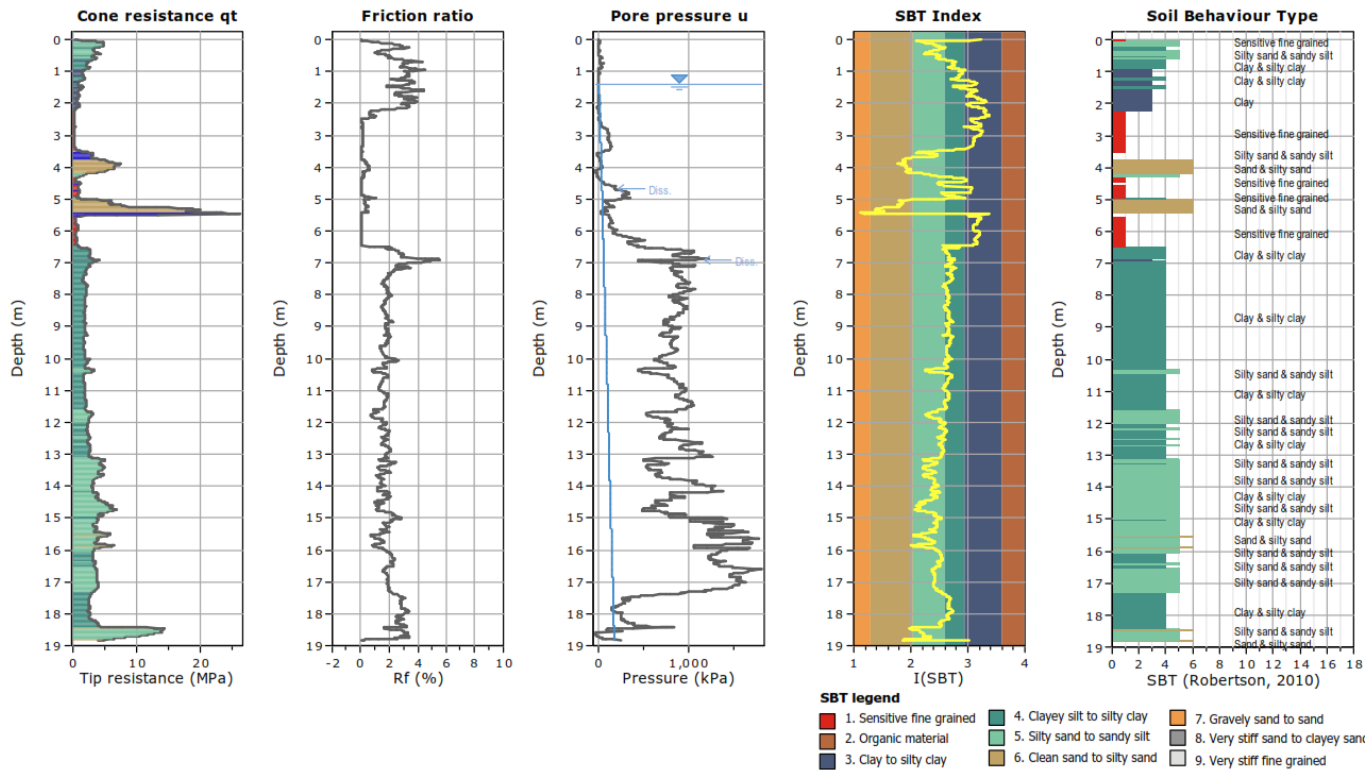
**Eurocode 7: Geotechnical design - Part 3: Design assisted by
fieldtesting**

APRESENTAÇÕES DOS RESULTADOS



CONE PENETRATION TEST (CPTu)

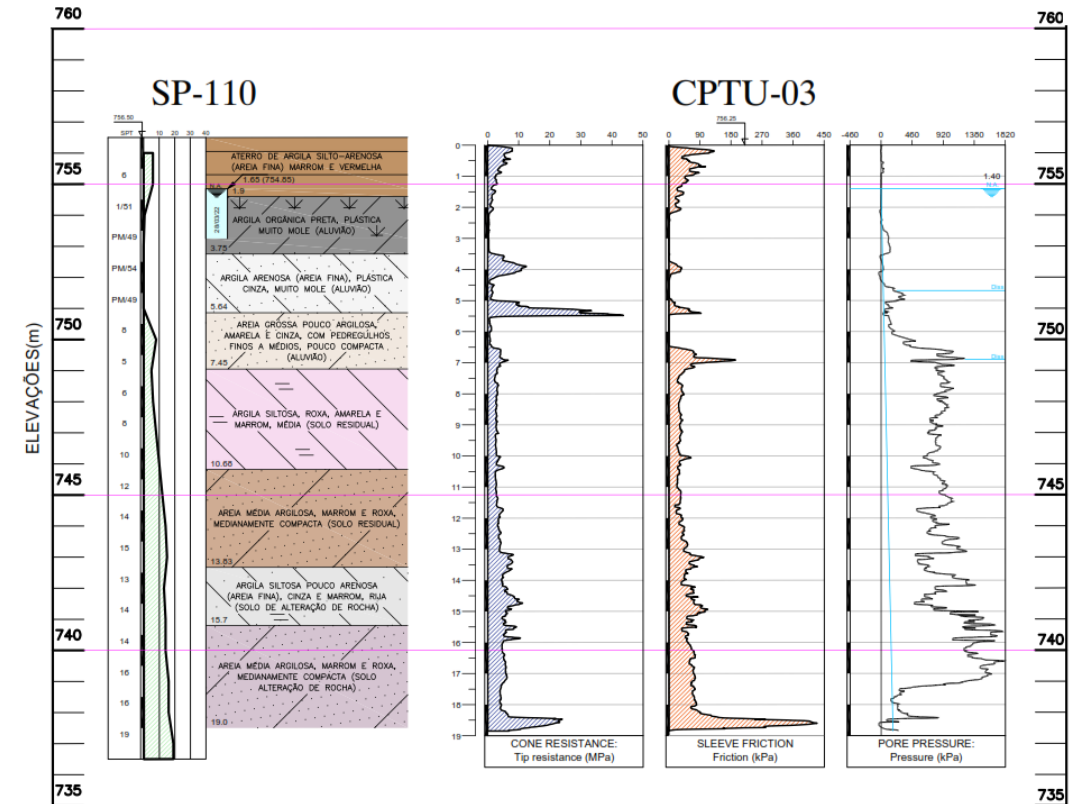
APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS:



PERFIL INDIVIDUAL

PARÂMETROS OBTIDOS →

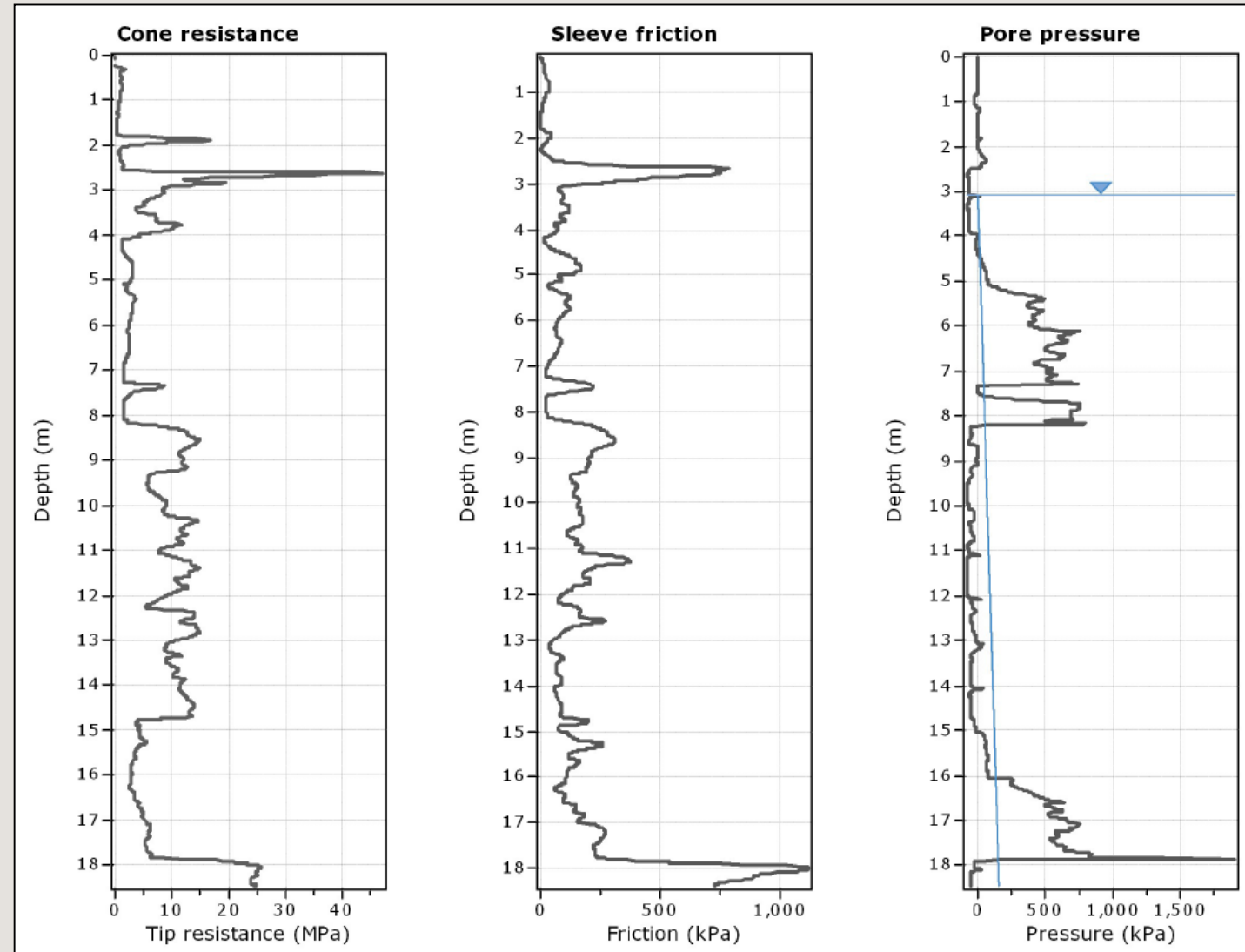
1. Resistência de ponta corrigida
2. Razão de atrito
3. Pressão neutra
4. Classificação do solo SBT
5. Resistência de ponta normalizada
6. Atrito lateral normalizado
7. Parâmetro de poropressão
8. Permeabilidade
9. SPT N60
10. Módulo de Young
11. Densidade relativa
12. Ângulo de atrito



COMPARATIVO COM O ENSAIO SPT

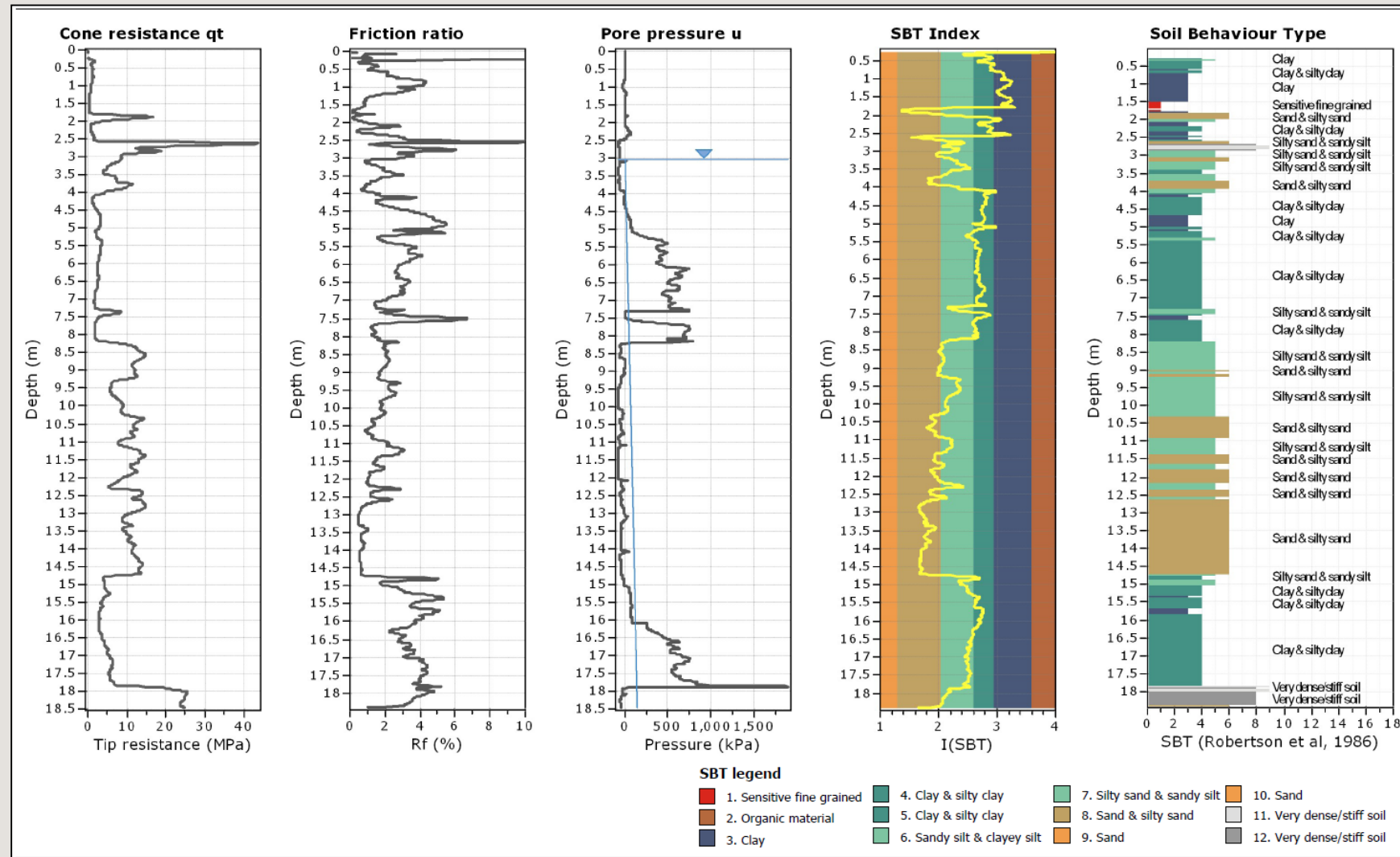
SOFTWARE GEOLOGISMIKI

- Processamento dos dados, apresentação dos resultados e avaliações de diversos parâmetros geotécnicos por correlações;
- Não há como trabalhar com resultados de ensaios CPTu sem o apoio de um software;
- <https://geologismiki.gr/>



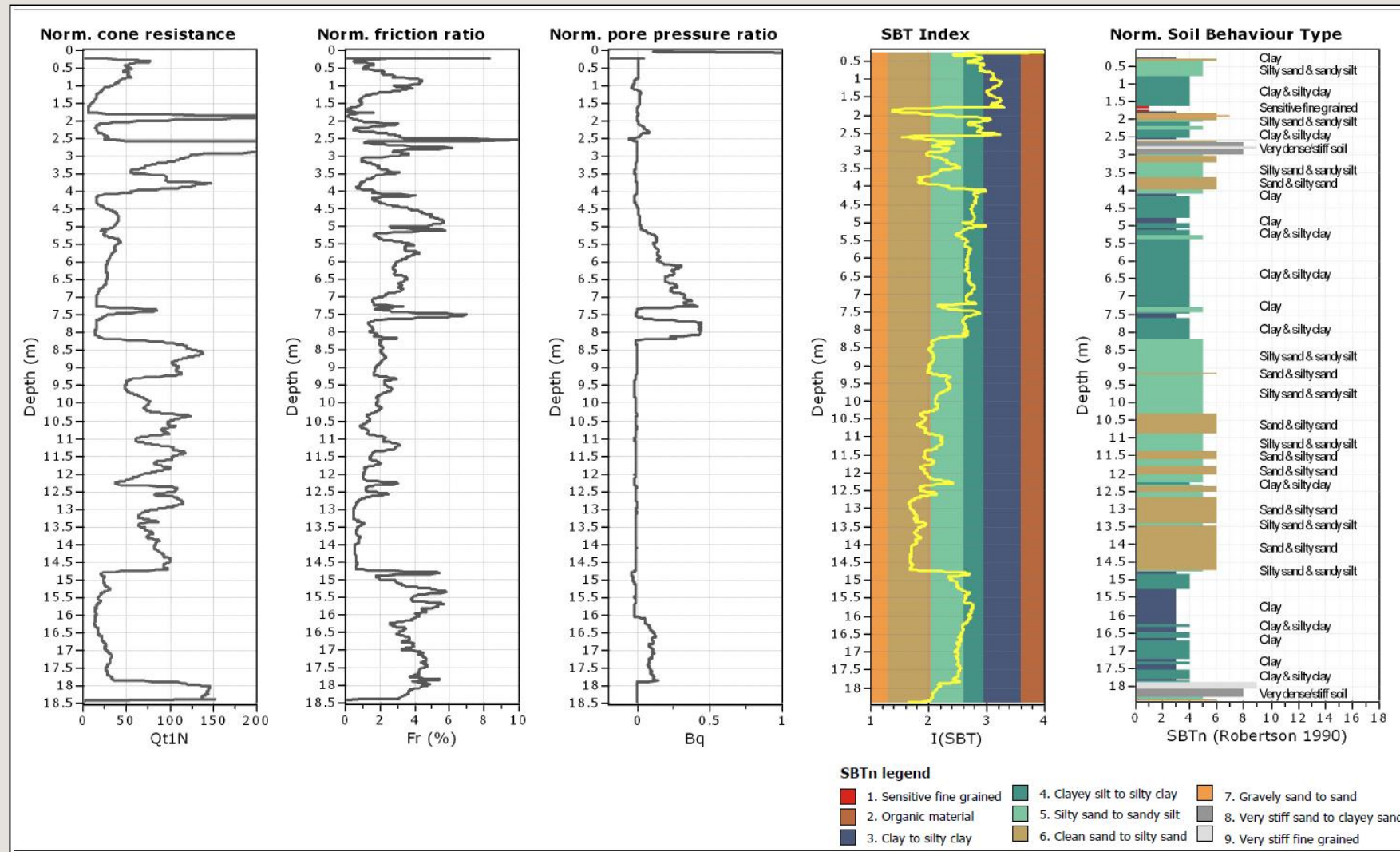
SOFTWARE GEOLOGISMIKI

- Resistência de ponta corrigida
- Razão de atrito
- Pressão neutra
- Classificação do solo SBT



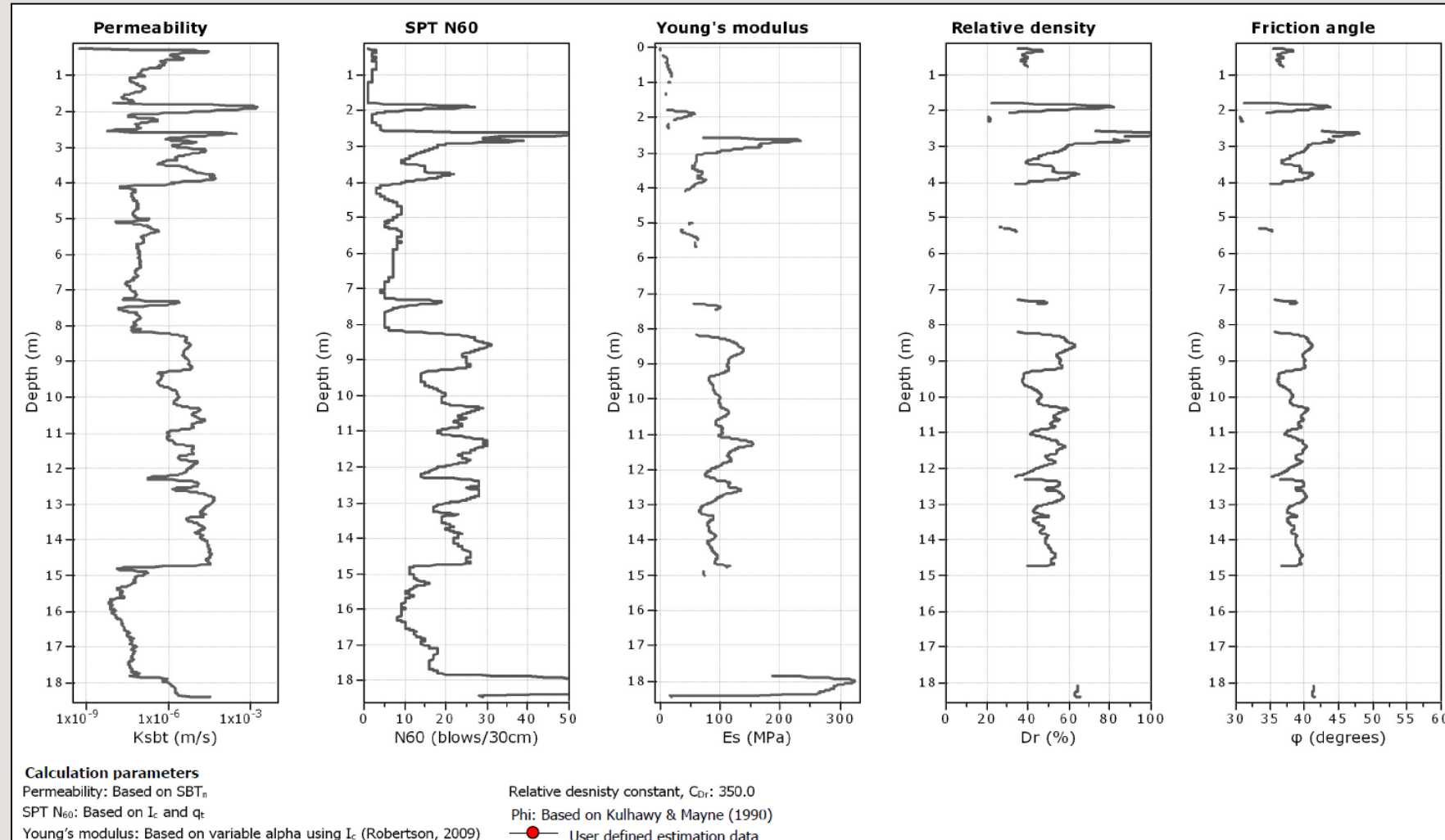
SOFTWARE GEOLOGISMIKI

- Resistência de ponta normalizada
- Atrito lateral normalizado
- Parâmetro de poropressão
- Classificação do solo SBT



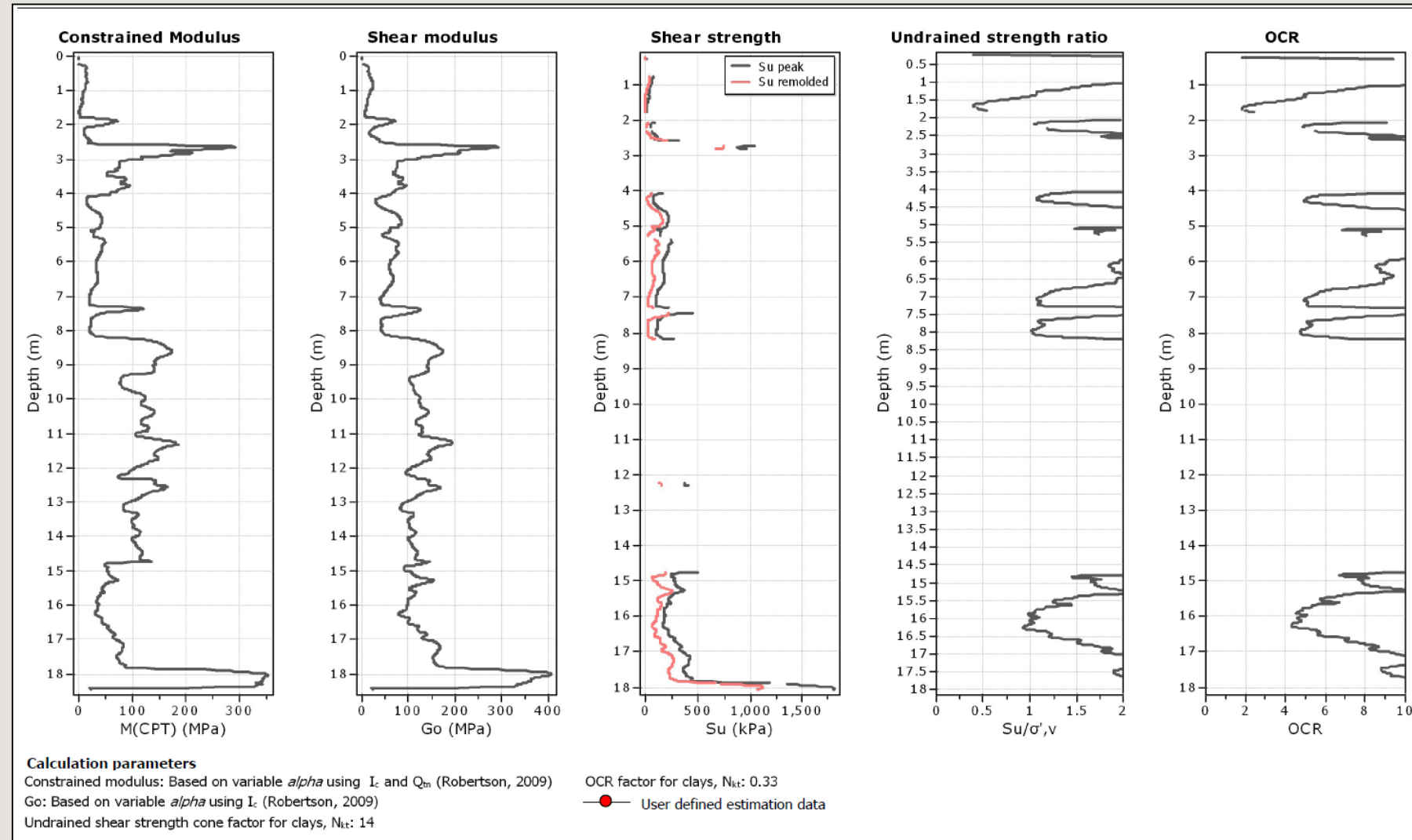
SOFTWARE GEOLOGISMIKI

- Permeabilidade
- SPT N60
- Módulo de Young
- Densidade relativa
- Ângulo de atrito



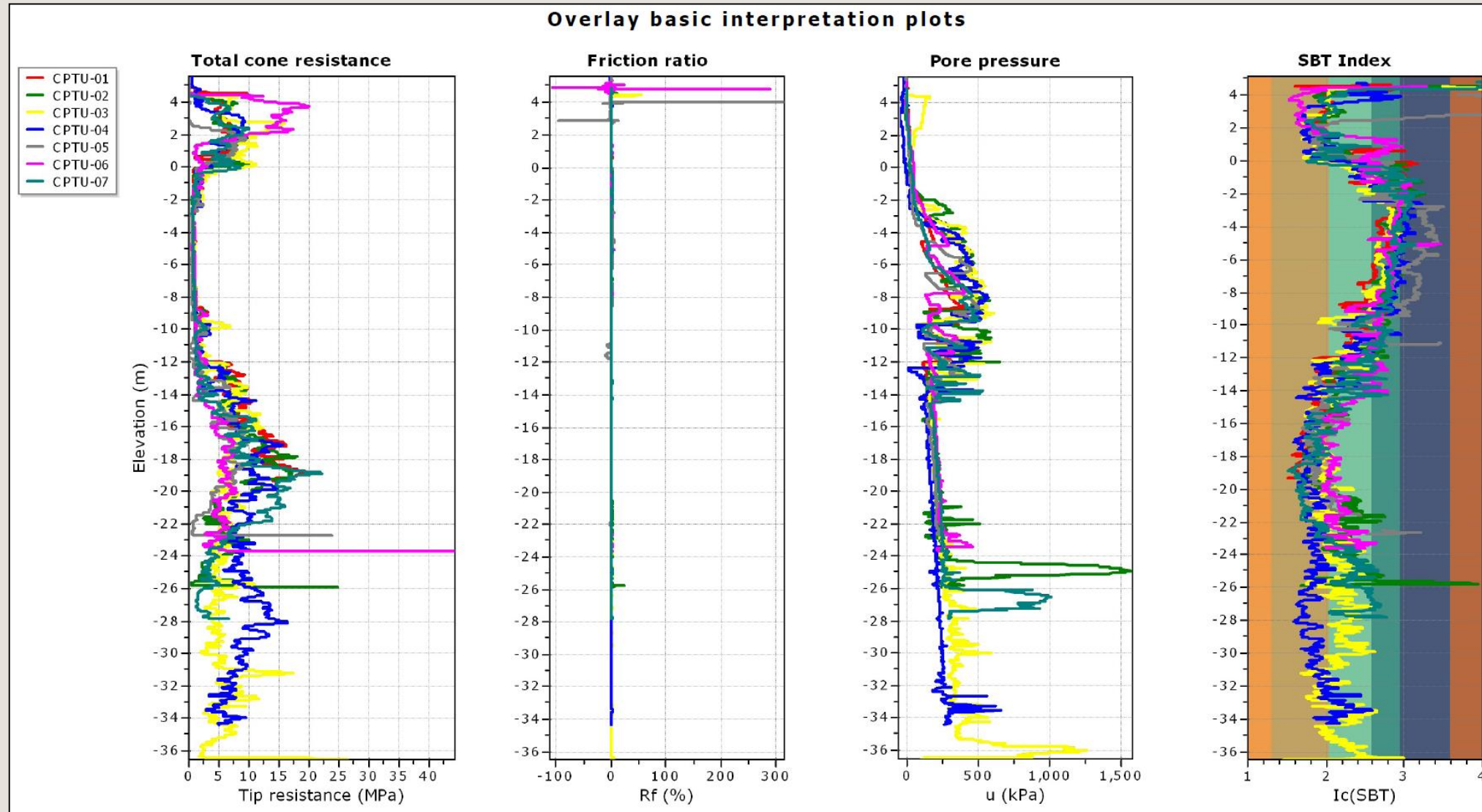
SOFTWARE GEOLOGISMIKI

- Módulo edométrico
- Módulo de cisalhamento
- Resistência ao cisalhamento
- Razão de resistência ao cisalhamento não drenada
- Razão de sobreadensamento

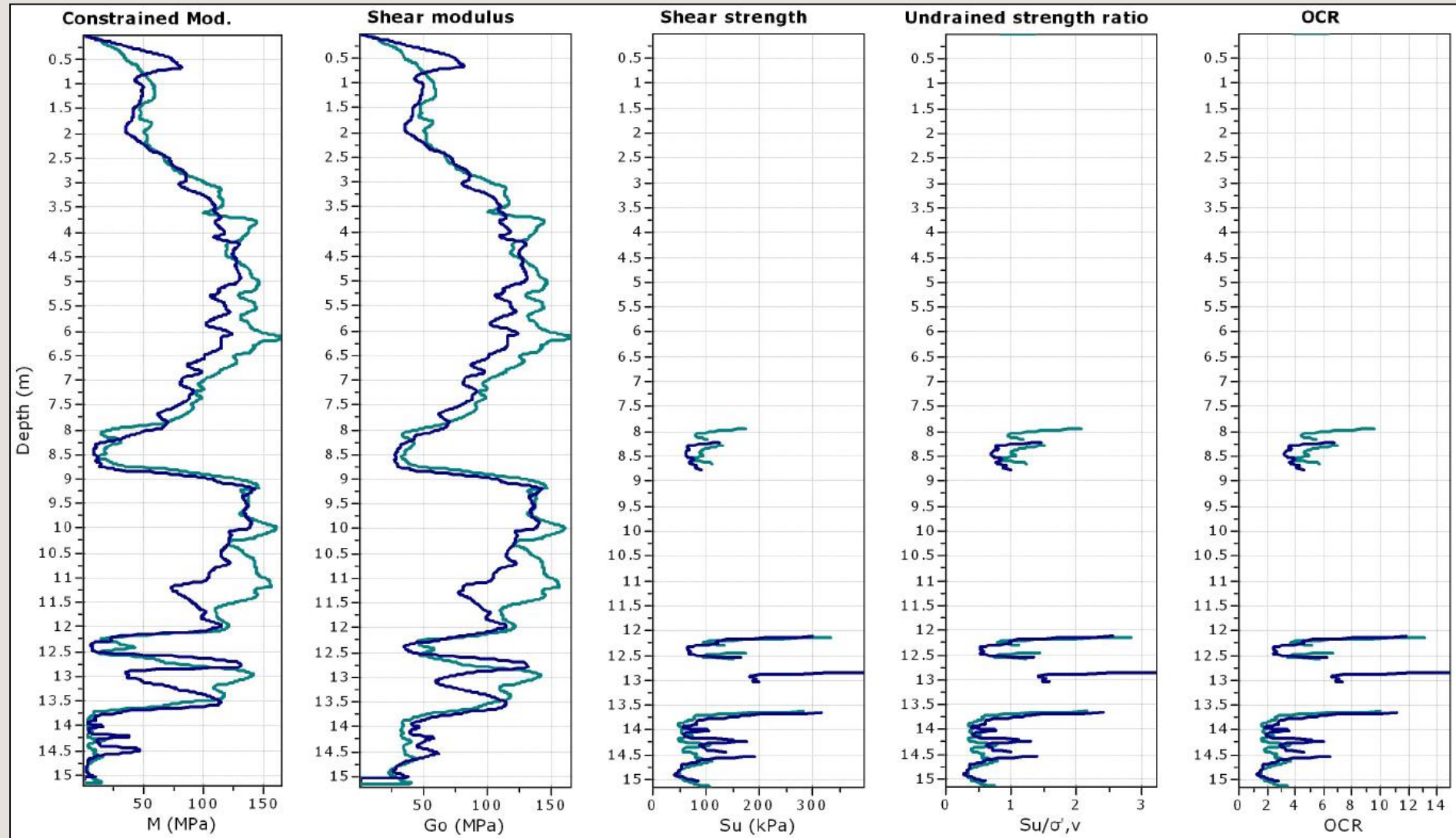


REPETITIVIDADE DE RESULTADOS

- Diversos ensaios no mesmo local



REPETITIVIDADE DE RESULTADOS



INTERPRETAÇÕES DOS RESULTADOS

- Aplicabilidade do ensaio CPTu para as avaliações de parâmetros geotécnicos.

Tipo de solo	D_r	Ψ	K_0	OCR	S_t	s_u	ϕ'	E, G^*	M	G_0^*	k	c_h
Areia	2-3	2-3	5	5			2-3	2-3	2-3	2-3	3	3-4
Argila			2	1	2	1-2	4	2-4	2-3	2-4	2-3	2-3

- Robertson (2014).

1 = Alta
 2 = Alta a moderada
 3 = Moderada
 4 = Moderada a baixa
 5 = Baixa
 Vazio = Sem aplicabilidade

D_r Densidade relativa
 Ψ Parâmetro de estado
 E Módulo de Young
 G Módulo de cisalhamento
 s_u Resistência ao Cisalhamento não-drenada
 c_h Coeficiente de consolidação
 Φ' Ângulo de atrito
 K_0 Estado de tensões
 G_0 Módulo de cisalhamento a pequenas def.
 M Módulo edométrico
 S_t Sensibilidade
 k Permeabilidade

CORRELAÇÕES COM PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Table 2. Comparative study – in situ tests correlations versus reference tests (modified from Coutinho, 2007; 2008)

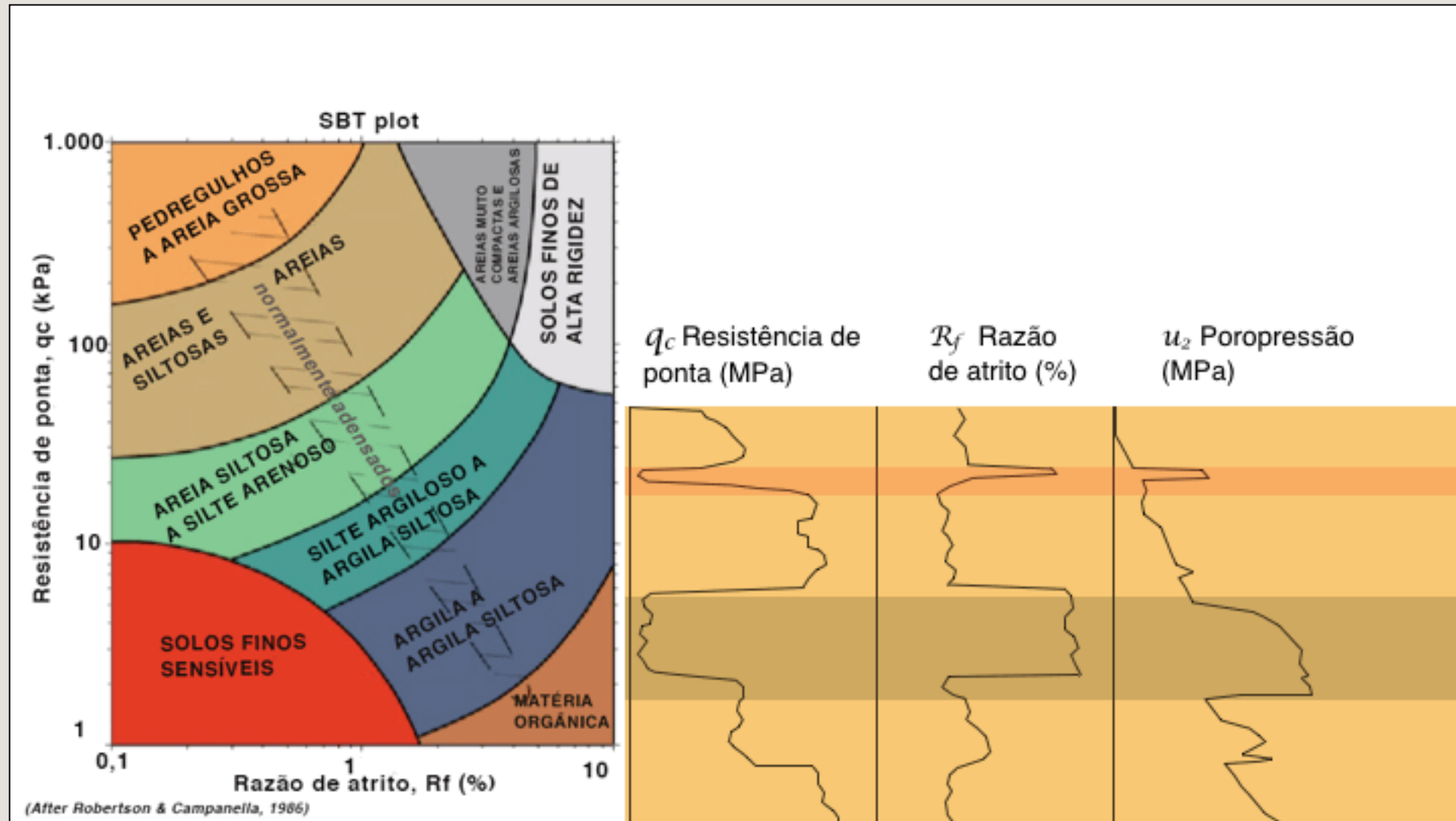
PARAMETER	IN SITU CORRELATION	EQUATIONS	REFERENCE RESULTS	RECIFE EXPERIENCE	CORRELATION RECOMMENDED
OCR	DMT - Lunne et al. (1989)	$OCR = m K_D^{1.17}$; $m = 0.3 - 0.33$ (young clays: <60,000 years)		$\pm 10 \%$	Lunne et al. (1989)
	DMT - Powell et al. (1988)	$OCR = 0.24 K_D^{1.32}$		$\pm 15 \%$	$\pm 10 \%$
	VANE - Mayne e Mitchel (1988)	$OCR = 22 (IP)^{-0.48} (S_{uVANE} / \sigma'_{v0})$	Oedometer	$\pm 16 \%$	Mayne & Mitchel (1988) $\pm 16 \%$
	CPTU - Lunne et al. (1989)	$OCR = f(\Delta u_1 / \sigma'_{v0})$	$(\sigma'_p \text{ for } d_{24\text{hour}})$	1.00 ± 0.24	Lunne et al. (1989)
	CPTU - Lunne et al. (1989)	$OCR = f\{(q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}\}$		1.32 ± 0.16	$OCR = f(\Delta u_1 / \sigma'_{v0})$
	CPTU -Kulhawy & Mayne (1990)	$\sigma'_p = 0.33 (q_T - \sigma_{v0})$		1.32 ± 0.19	1.00 ± 0.24
	CPTU -Sully et al. (1988), Sully & Campanella (1992)	$OCR = 0.49 + 1.5 (u_1 - u_2)$		1.39 ± 0.20	$\sigma'_p = 0.25 (q_t - \sigma_{v0})$ (preliminary proposal)
K ₀	DMT - Lunne et al. (1990)	$K_0 = 0.34 K_D^{0.54}$ (young clays: < 60,000 years)		$\pm 10 \%$	Lunne et al. (1989) $\pm 10 \%$
	DMT -Marchetti (1980)	$K_0 = (K_D / 1,5)^{0.47} - 0,6$	$K_0 = (1 - \sin \Phi') OCR^{\sin \Phi'}$	40% (higher)	
	CPTU - Sully & Campanella (1991)	$K_0 = 0.5 + 0.11(u_1 - u_2) / \sigma'_{v0}$	(Mayne & Kulhawy, 1982)	1.06 ± 0.24	Sully & Campanella (1991) 1.06 ± 0.24
	CPTU -Kulhawy & Mayne (1990)	$K_0 = 0.1Q = 0.1(q_T - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}$		1.21 ± 0.12	

CORRELAÇÕES COM PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Table 2 (cont). Comparative study – in situ tests correlations versus reference tests (modified from Coutinho, 2007; 2008)

PARA-METER	IN SITU CORRELATION	EQUATIONS	REFERENCE RESULTS	RECIFE EXPERIENCE	CORRELATION RECOMMENDED
Su	DMT -Marchetti (1980)	$S_u = 0.22 \sigma'_{v0} (0.5 K_D)^{1.25}$	(Triaxial) UU-C / CIU - C	$\pm 20 \%$	All correlation (see reference of Su)
			(Vane)	$\pm 15 \%$	
	DMT - Lacasse & Lunne (1988)	$S_u = 0.20 \sigma'_{v0} (0.5 K_D)^{1.25}$	(Triaxial) UU-C / CIU - C	$\pm 15 \%$	
			(Vane)	$\pm 18 \%$	
	PMT - Powell et al. (1990)	$S_u = PL^* / 7.8$	(Triaxial) UU-C / CIU - C	1.02 ± 0.17	
		(Vane)	1.14 ± 0.24		
	CPTU - Tavenas e Leroueil (1987)	$S_u = (q_T - \sigma_{v0}) / N_{KT}$	$N_{KT} = 12 \pm 1.3$ (Vane)	$\pm 15 \%$	
	CPTU - Lunne et al. (1989)	$S_u = (u_2 - u_0) / N_{\Delta u}$	Triaxial UU-C / CIU - C	$N_{\Delta u}$ (range 7.5 to 11.0) (average 8.0 to 9.0)	
M	DMT - Marchetti (1980)	$M = R_M \cdot E_D$; $R_M = 0.14 + 2.36 \log K_D$; ($I_D < 0.6$)	Oedometer	$\leq 20 \%$ (higher)	Marchetti (1980) $\leq 20 \%$ (higher)

ESTRATIGRAFIA E CLASSIFICAÇÃO



ESTRATIGRAFIA E CLASSIFICAÇÃO

• Comparação entre classificação de solo feita pelo método visual e pelo gráfico SBT.

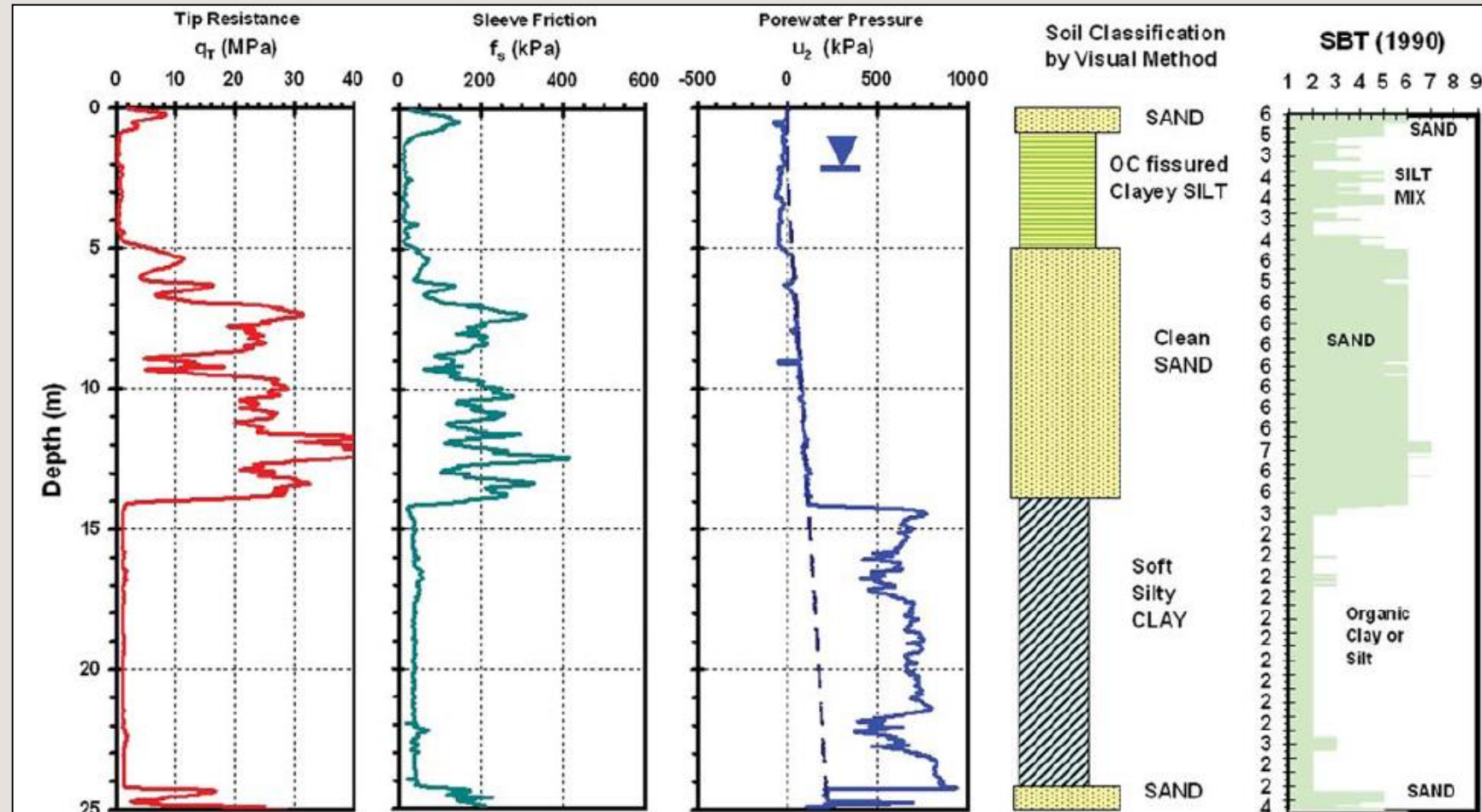
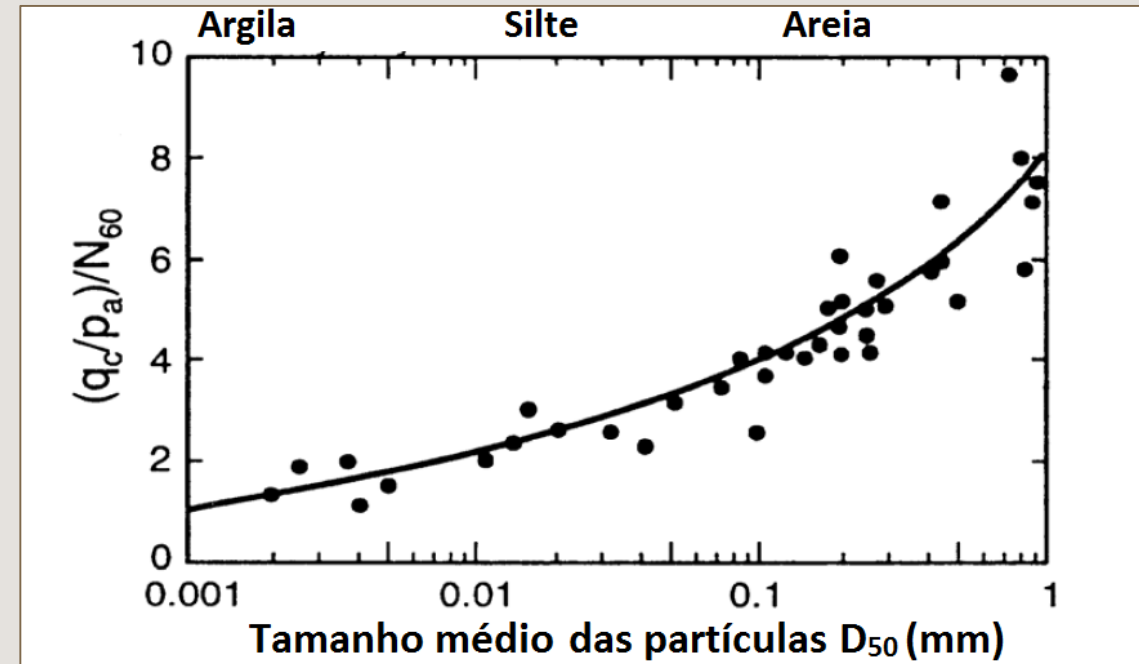


FIGURE 26 CPTu results from Steele, Missouri, evaluated by index I_c for soil behavioral type.

NSPT EQUIVALENTE

Avaliação de $NSPT_{60\%}$ com base nos ensaios CPTu:

- Robertson (1983), propôs relação entre a razão $(q_c/p_a)/N_{60}$ e o tamanho médio dos grãos, com base em ajuste de curva para experimento realizado em 18 lugares distintos.
- Dispôs as razões $(q_c/p_a)/N_{60}$ para cada índice de classificação de material, conforme tabela ao lado.



Zone	Soil Behavior Type	$\frac{(q_c/p_a)}{N_{60}}$
1	<i>Sensitive fine grained</i>	2.0
2	<i>Organic soils – clay</i>	1.0
3	<i>Clays: clay to silty clay</i>	1.5
4	<i>Silt mixtures: clayey silt & silty clay</i>	2.0
5	<i>Sand mixtures: silty sand to sandy silt</i>	3.0
6	<i>Sands: clean sands to silty sands</i>	5.0
7	<i>Dense sand to gravelly sand</i>	6.0
8	<i>Very stiff sand to clayey sand*</i>	5.0
9	<i>Very stiff fine-grained*</i>	1.0

PESO ESPECÍFICO DO SOLO

Peso específico do solo pode ser estimado, segundo Robertson (2010), pela expressão a seguir ou pelo ábaco ao lado:

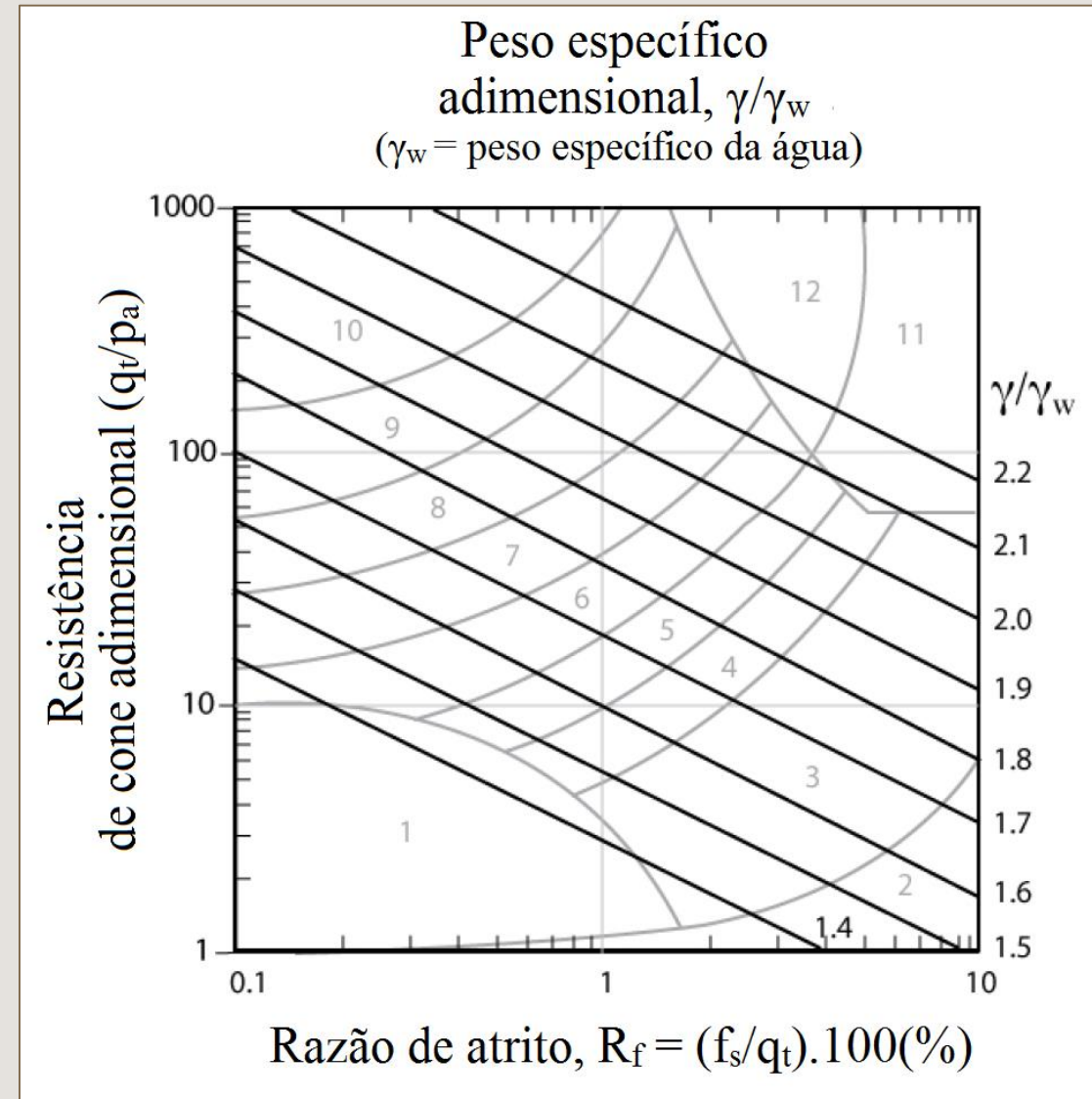
$$\left(\frac{\gamma}{\gamma_w}\right) = 0,27 \cdot [\log R_f] + 0,36 \left[\log \left(\frac{q_t}{p_a}\right) \right] + 1,236$$

Onde:

R_f = Razão de atrito = $(f_s/q_t) \cdot 100\%$

γ_f = Peso específico da água

p_a = Pressão atmosférica

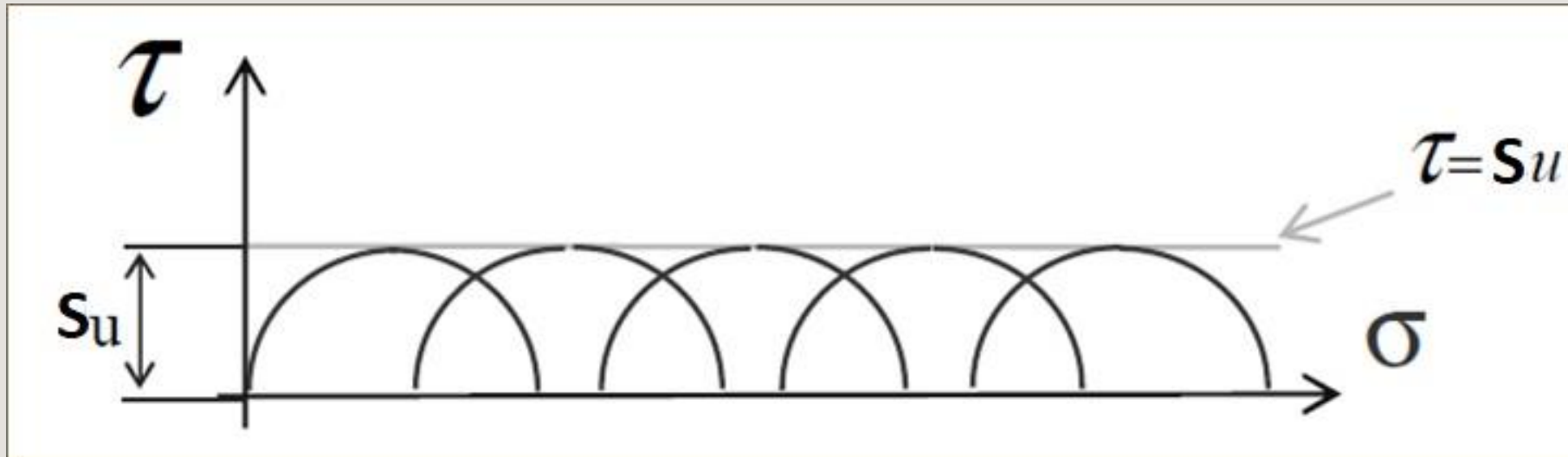


APLICAÇÃO PRÁTICA

RESISTÊNCIA DOS SOLOS MOLES ARGILOSOS SATURADOS

RESISTÊNCIA NÃO DRENADA DOS SOLOS ARGILOSOS SATURADOS

- Comportamento não drenado
- Critério de Tresca



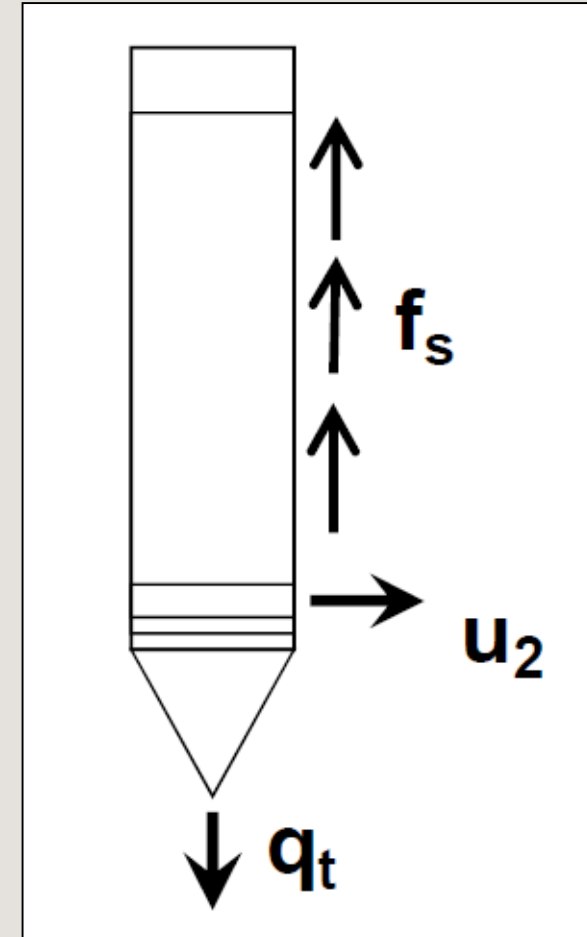
RESISTÊNCIA NÃO DRENADA DOS SOLOS ARGILOSOS SATURADOS

- s_u = resistência ao cisalhamento não-drenada
- Avaliação independente pelas três leituras:

$$s_u(\text{remoldado}) = f_s$$

$$s_u(\text{pico}) = (u_2 - u_0) / N_{\Delta u}$$
$$N_{\Delta u} \approx 10$$

$$s_u(\text{pico}) = (q_t - \sigma_{vo}) / N_{kt}$$
$$N_{kt} \approx 14$$



RESISTÊNCIA NÃO DRENADA DOS SOLOS ARGILOSOS SATURADOS

Valores de N_{kt}

$$s_u(\text{pico}) = (q_t - \sigma_{vo}) / N_{kt}$$

- Tipicamente, N_{kt} varia de 10 a 18, com média **14**.
- N_{kt} tende a crescer com o aumento da plasticidade e decrescer com o aumento da sensibilidade do solo.

Valores de $N_{\Delta u}$

$$s_u(\text{pico}) = (u_2 - u_0) / N_{\Delta u}$$

- Tipicamente, $N_{\Delta u}$ varia de 4 a 10.
- Para estimativas mais conservadoras, escolher valores maiores.
- $N_{\Delta u}$ está relacionado com N_{kt} através de B_q :

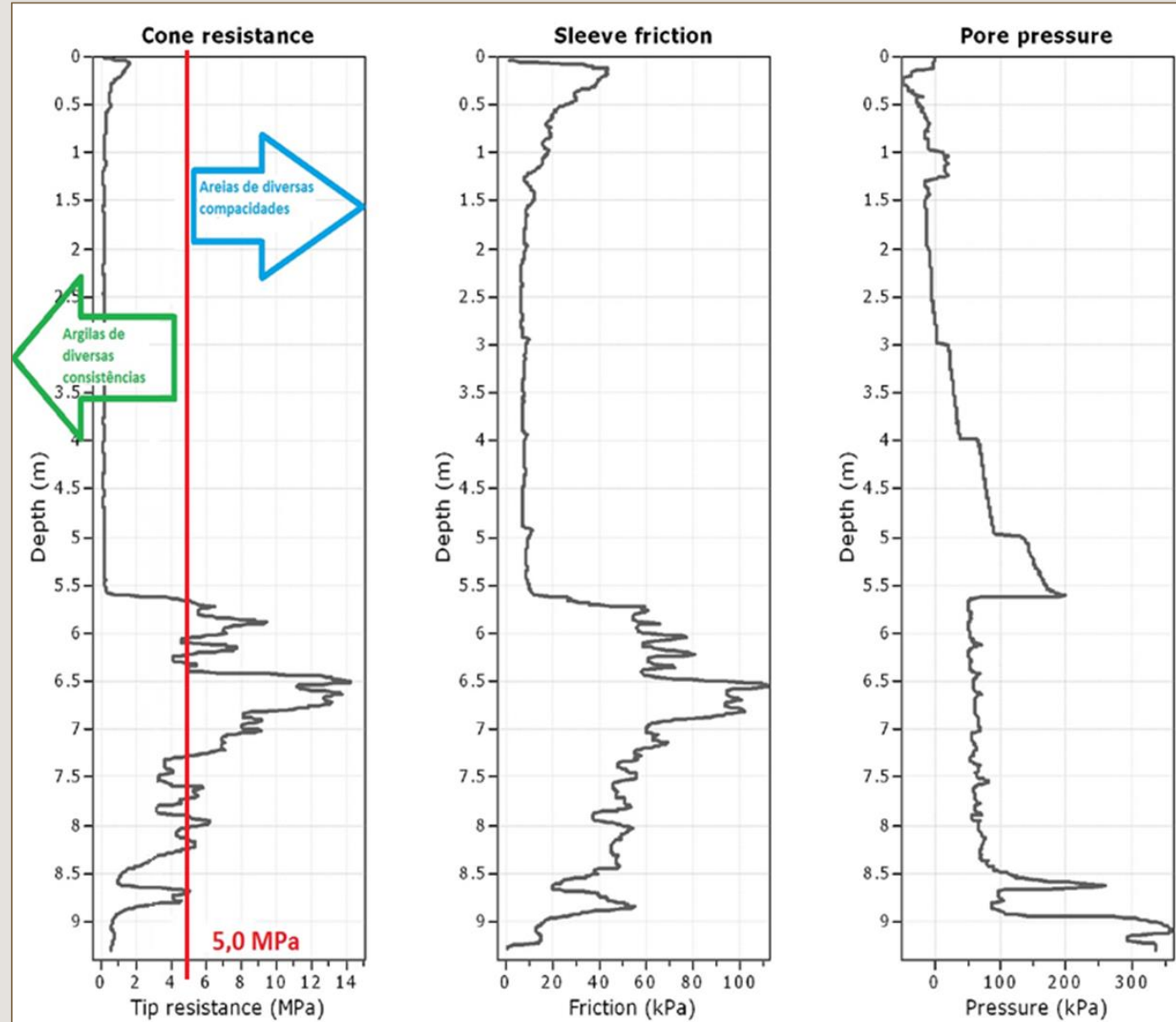
$$N_{\Delta u} = B_q \cdot N_{kt}$$

APLICAÇÃO PRÁTICA

COMO IDENTIFICAR OS HORIZONTES DE ARGILAS MOLES SATURADAS PARA PLANEJAR AS COLETAS DE AMOSTRAS TIPO SHELBY

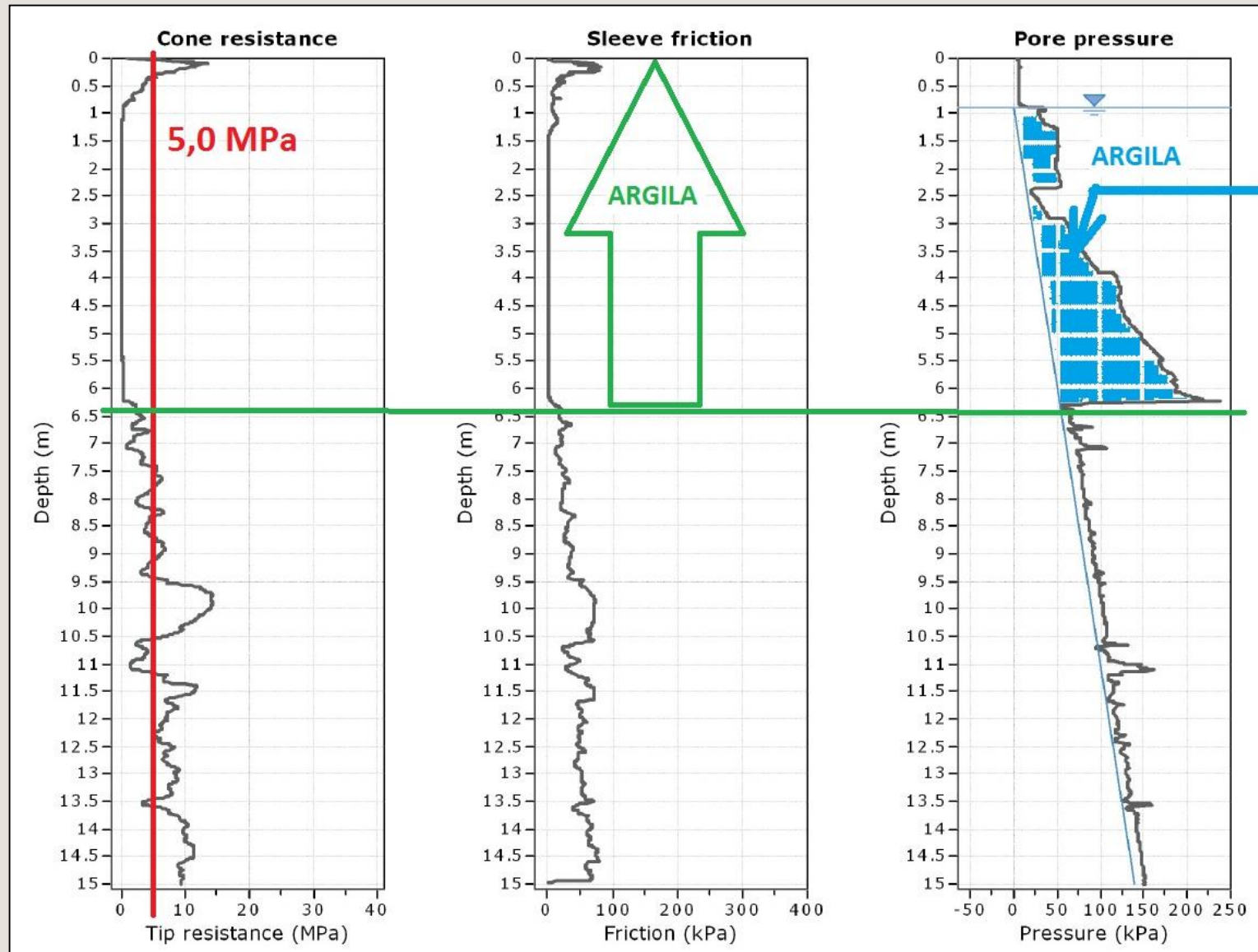
SOLOS ARGILOSOS

- Resistência de ponta: Costuma ser menor que 5,0 MPa para solos argilosos.



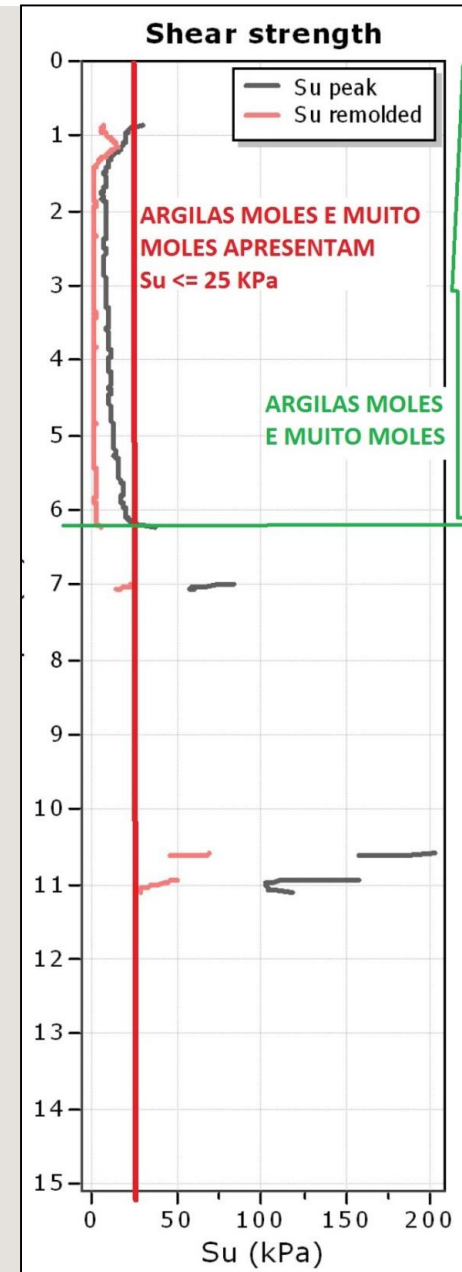
SOLOS ARGILOSOS

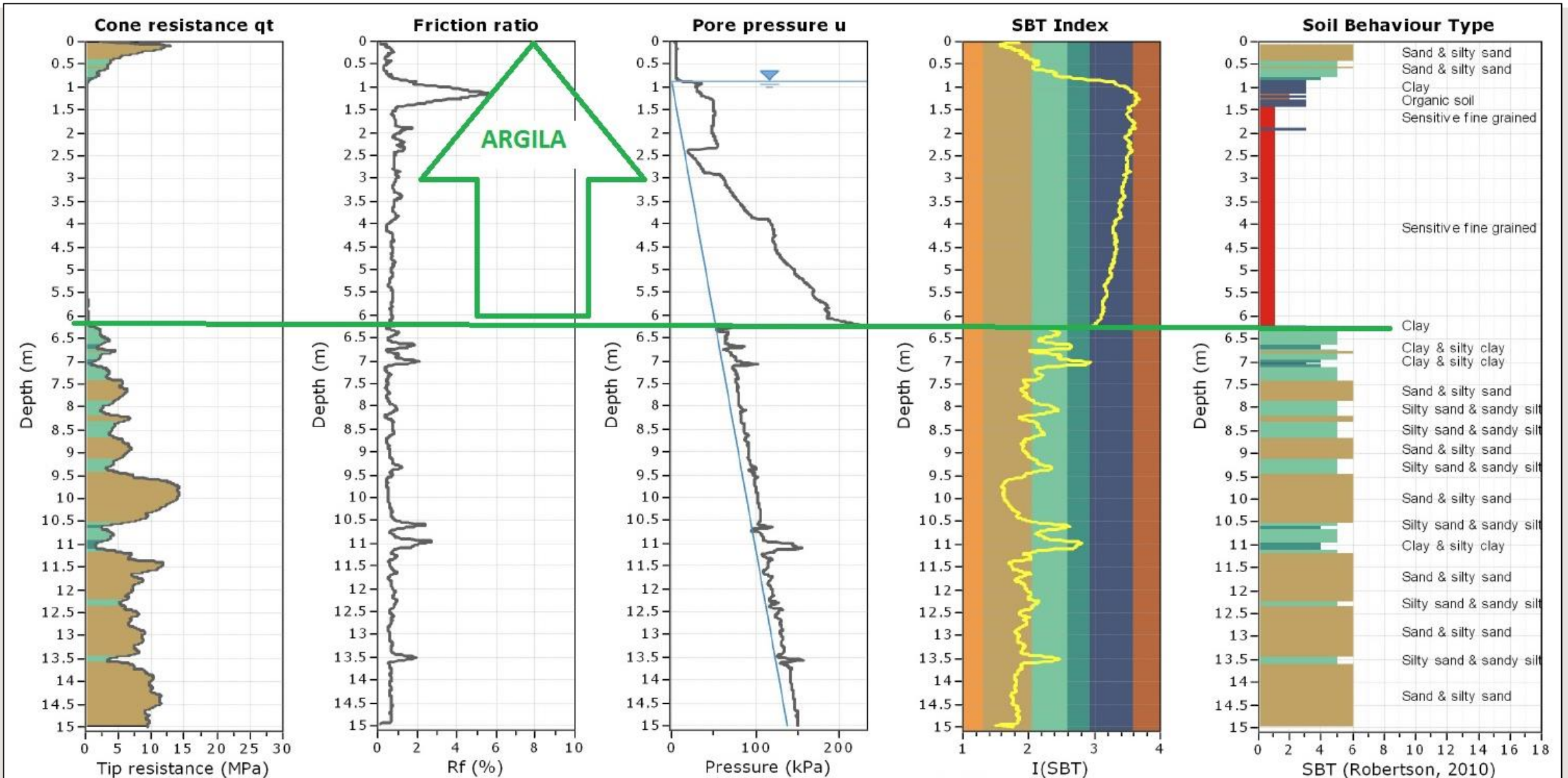
- Excesso de poro-pressões, em comparação com a pressão hidrostática, que varia linearmente com a profundidade, indica solo argiloso.



SOLOS ARGILOSOS

- S_u menor que 25 KPa indica presença de argilas moles ou muito moles.





SBT legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

HISTÓRICO DE TENSÕES – RAZÃO DE SOBREADENSAMENTO

- Para argilas sobre-adensadas:

$$(s_u/\sigma'_{vo})_{OC} = (s_u/\sigma'_{vo})_{NC} \cdot (OCR)^{0,8}$$

- Baseado nisso, Robertson (2009), sugeriu:

$$OCR = 0,25 \cdot (Q_t)^{1,25}$$

- Kulhawy e Mayne (1990), sugeriram um método mais simples:

$$OCR = k \cdot Q_t = k \cdot ((q_t - \sigma_{vo})/\sigma'_{vo}) = \sigma'_p/\sigma'_{vo} \text{ (Válido para } Q_t < 20)$$

- O valor médio de $k = 0,33$ pode ser adotado, com valores dentro do intervalo entre 0,2 e 0,5. Valores mais altos são recomendados para argilas mais sobreadensadas e antigas.

HISTÓRICO DE TENSÕES – TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO

- Recomendações de Paul Mayne:

$$\sigma'_p = 0,33 \cdot (qt - \sigma_{vo})$$

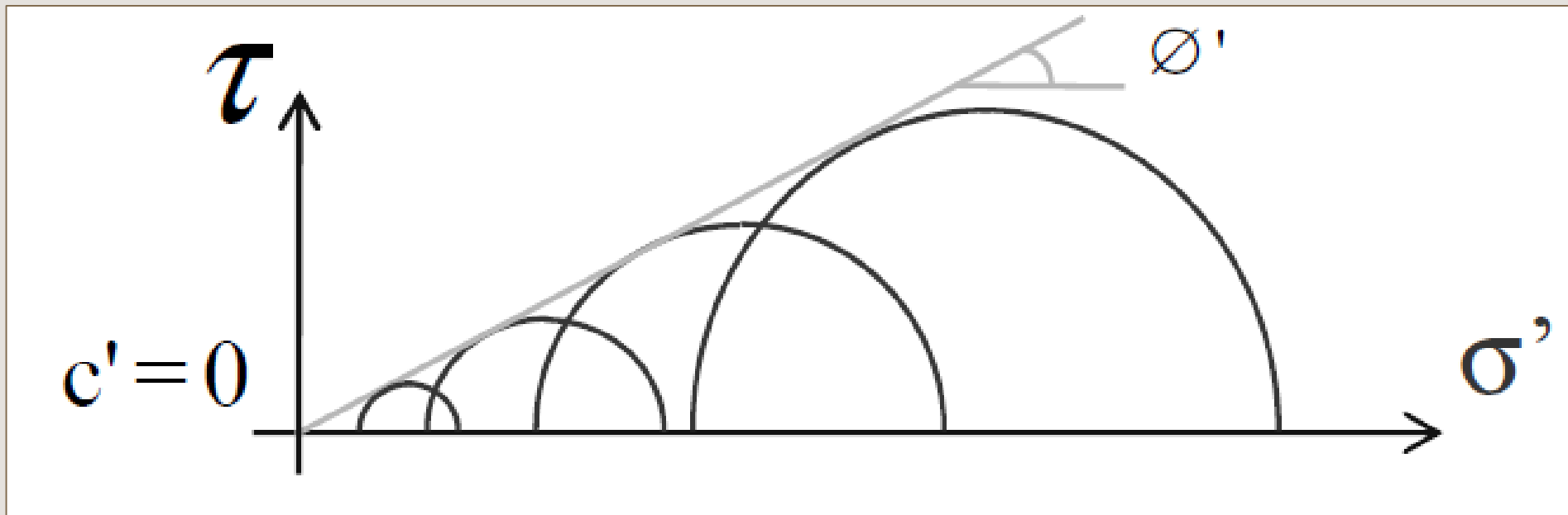
$$\sigma'_p = 0,53 \cdot (u_2 - u_0)$$

$$\sigma'_p = 0,60 \cdot (qt - u_2)$$

- Se os três métodos mostrarem consenso, o resultado será mais confiável.
- Se houver discrepância, devemos realizar mais investigações em laboratório e em campo.

ÂNGULO DE ATRITO EFETIVO DE AREIAS

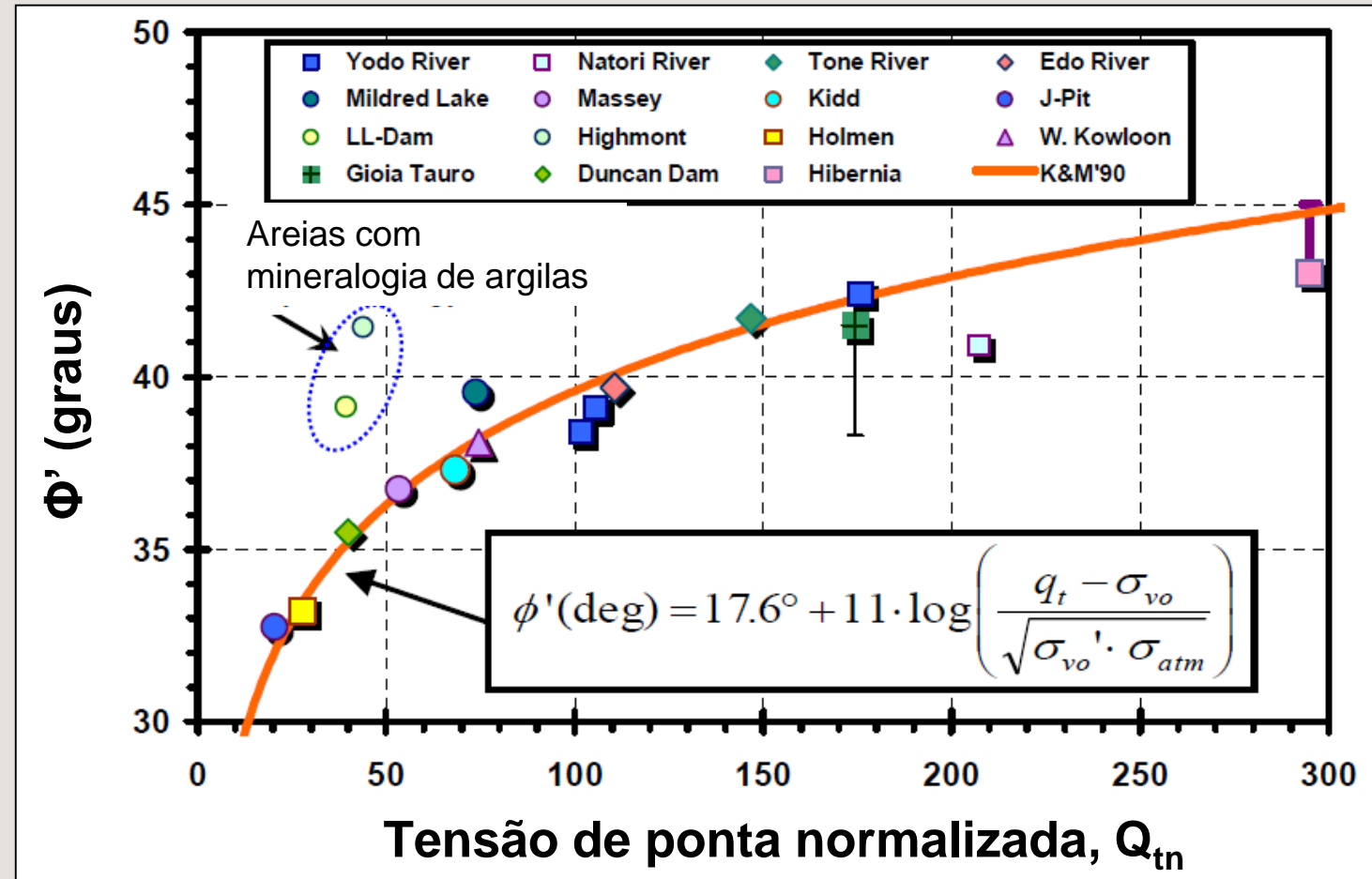
- Comportamento drenado
- Critério de Mohr - Coulomb



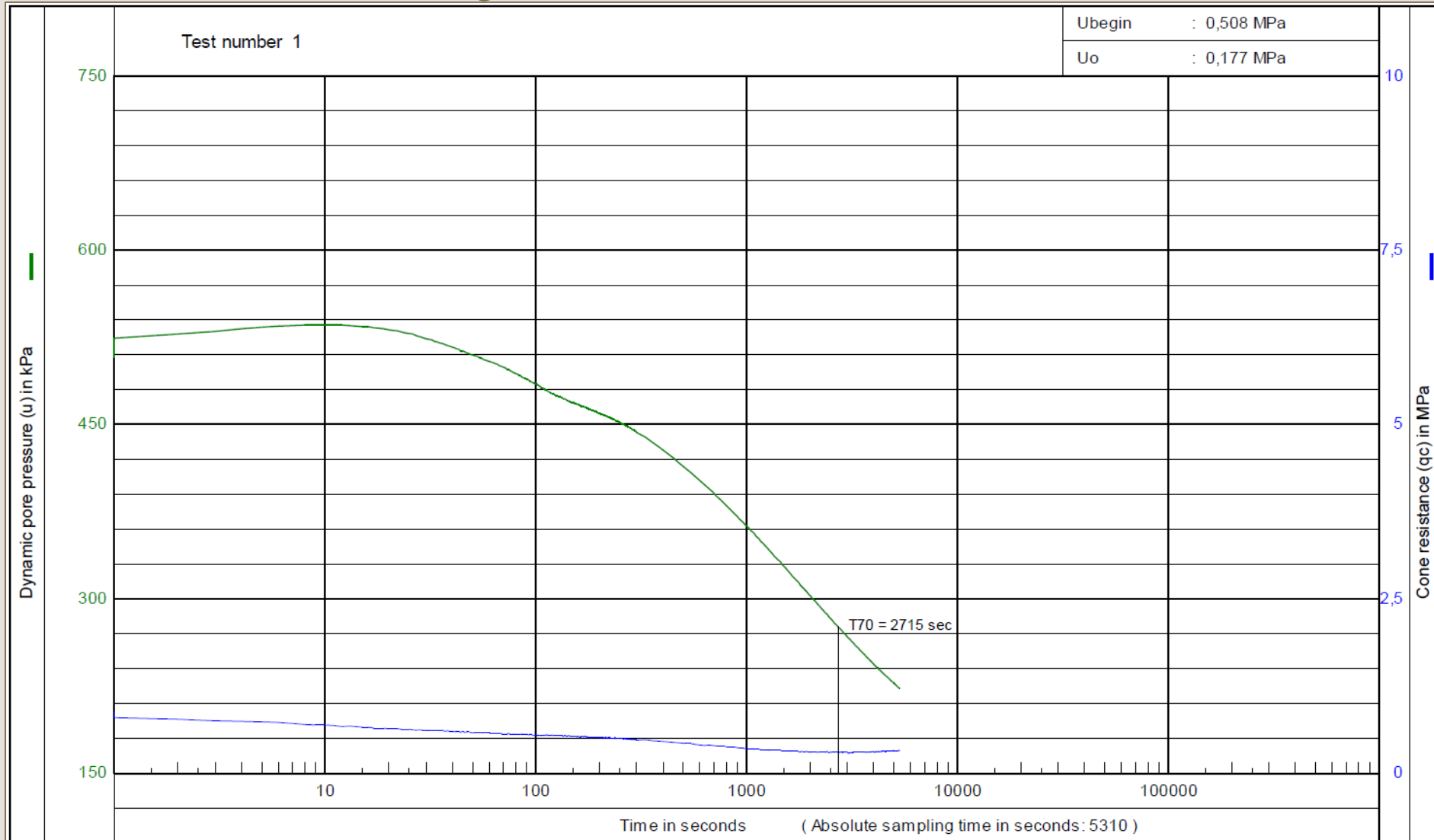
ÂNGULO DE ATRITO EFETIVO DE AREIAS

• Ângulos de atrito em areias limpas não perturbadas (Mayne 2006):

$$\Phi' = 17,6^\circ + 11 \cdot \log\left(\frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma_{vo}' \cdot \sigma_{atm}}\right)$$



ENSAIO DE DISSIPAÇÃO DE SOBREPRESSÕES NEUTRAS



ENSAIO DE DISSIPACÃO DE SOBREPRESSÕES NEUTRAS

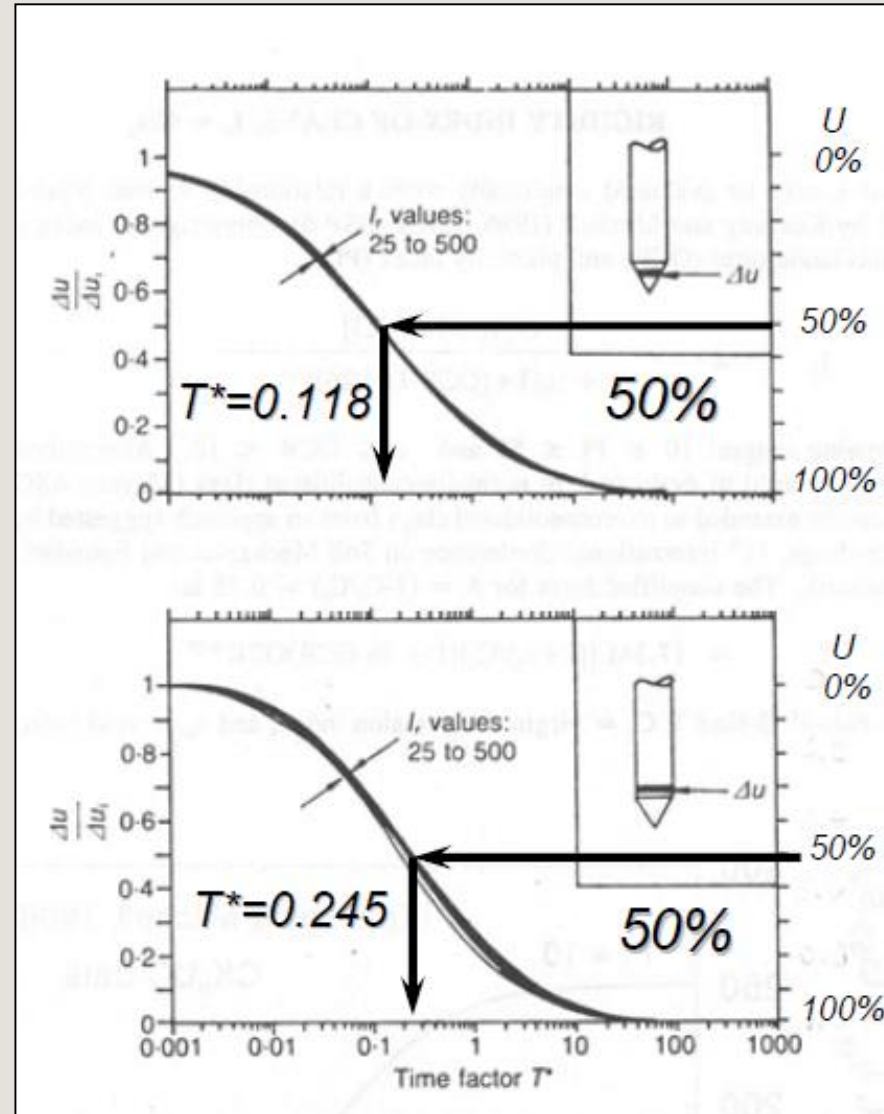
- Método do caminho de deformações;
- Grau de consolidação:

$$U = 1 - \Delta u / \Delta u_i$$

Onde

- $\Delta u_i = u_{medido} - u_o$ durante a penetração;
- Δu = excesso de poropressão remanescente;
- T^* = fator de tempo modificado (SPM), sendo que, segundo Houlsby e Teh (1991):

$$c_h = T^* \cdot a^2 \cdot I_R^{0,5} / t$$



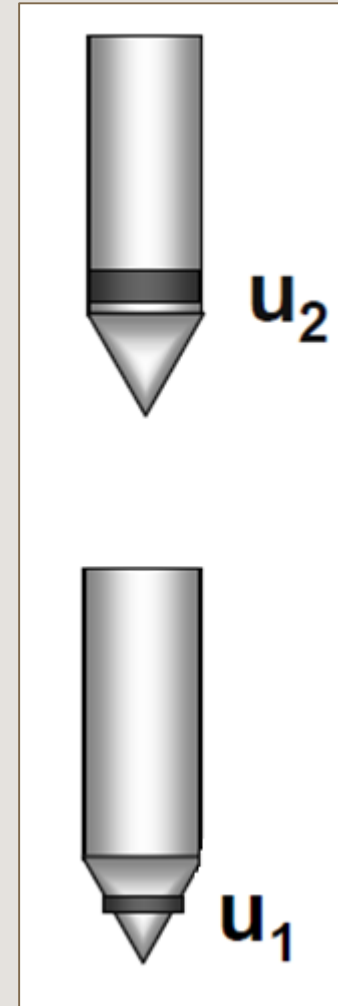
ENSAIO DE DISSIPACÃO DE SOBREPRESSÕES NEUTRAS

- Coeficiente de adensamento:

$$c_h = T_{50}^* \cdot a^2 \cdot I_R^{0,5} / t_{50}$$

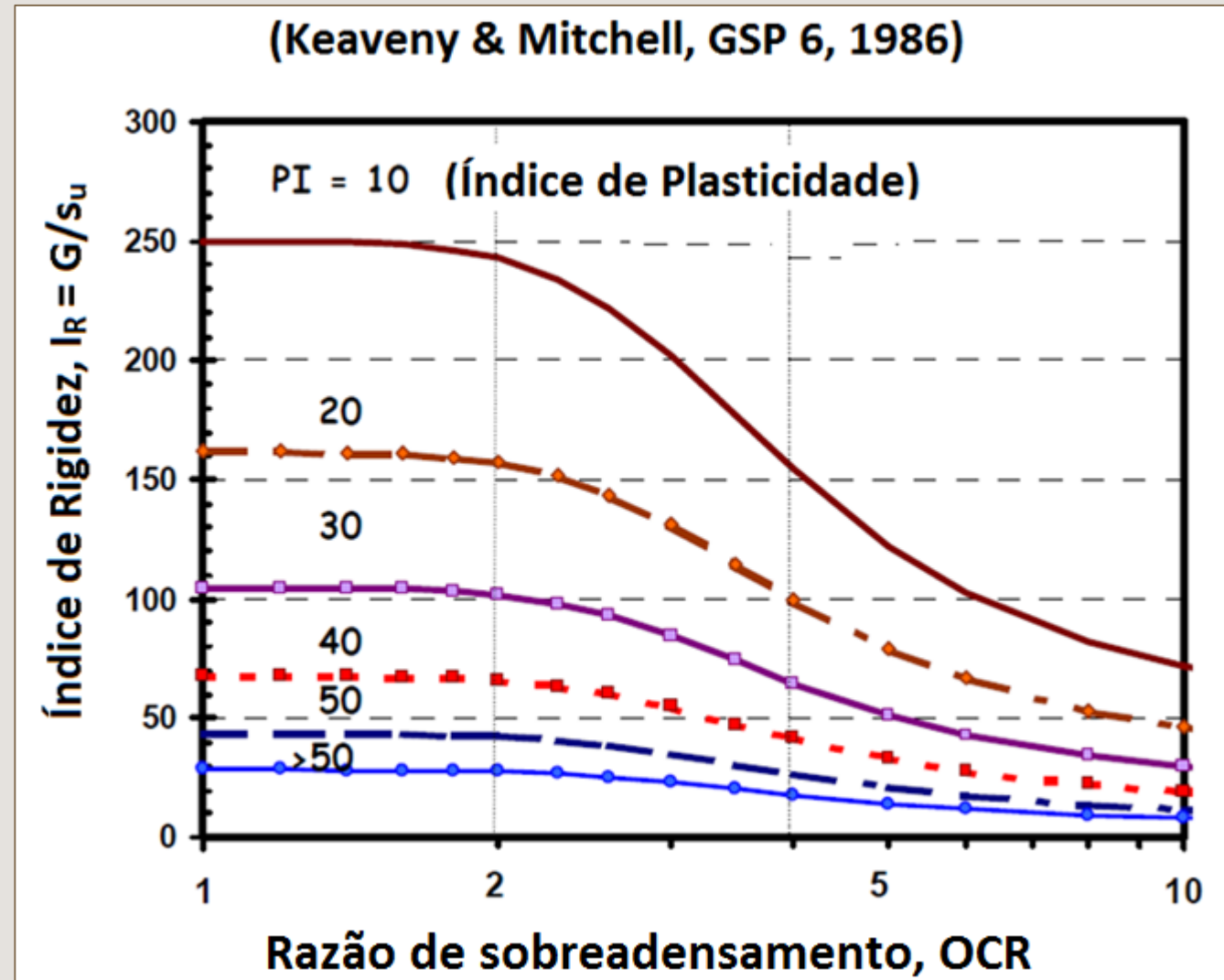
Onde

- $T_{50}^* = 0,118$ para o tipo 1
- $T_{50}^* = 0,245$ para o tipo 2
- a = raio do piezocone
- = $1,78 \text{ cm}$ para o cone de 10 cm^2
- = $2,20 \text{ cm}$ para o cone de 15 cm^2
- $I_R = G/s_u$ = Índice de rigidez



ENSAIO DE DISSIPACÃO DE SOBREPRESSÕES NEUTRAS

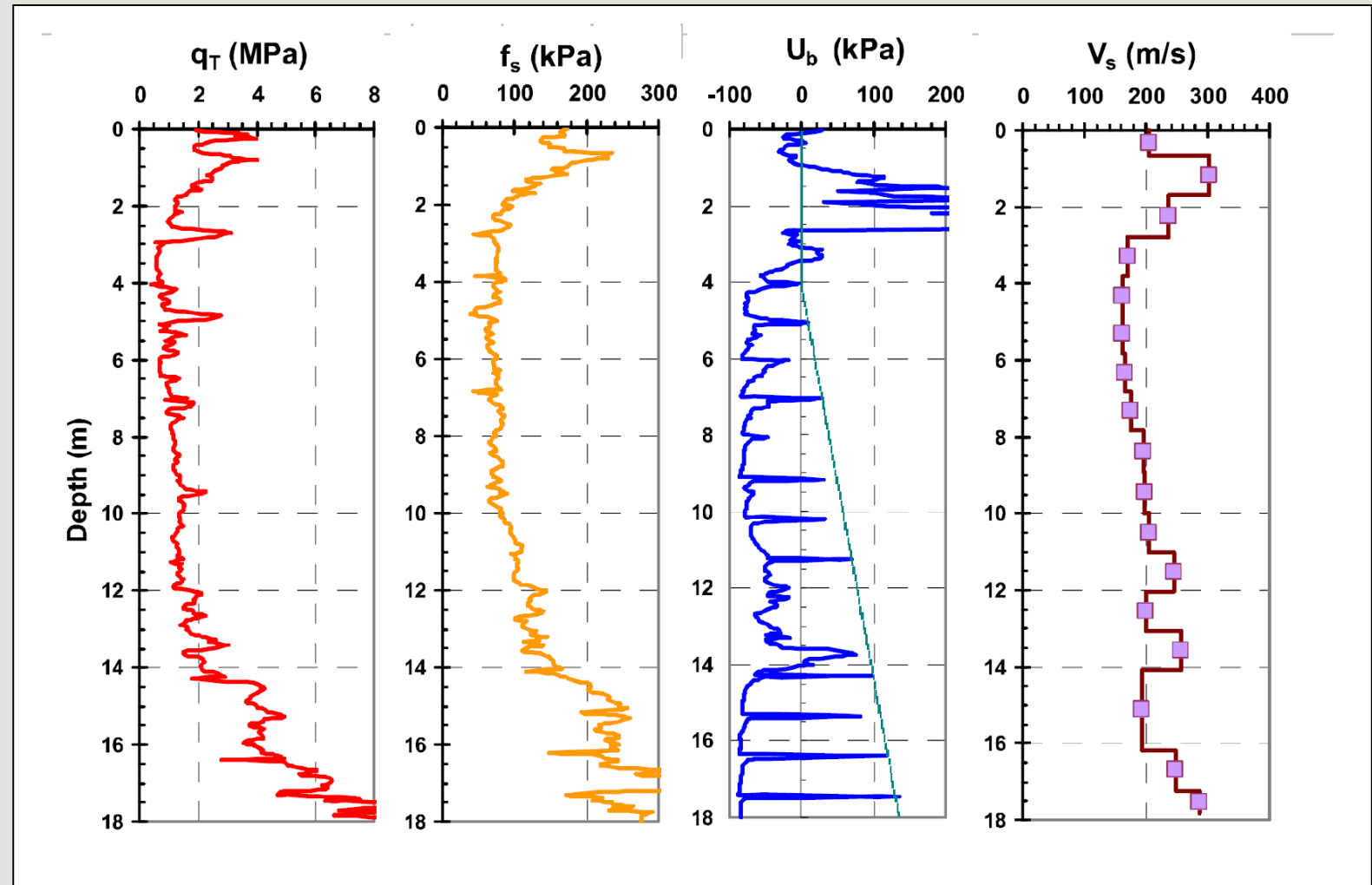
- Estimativa do índice de rigidez em função da razão de sobreadensamento (OCR) e índice de plasticidade (PI).



COMO DETERMINAR A POSIÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO

Em camadas arenosas:

- Início da reta que representa o crescimento linear da pressão hidrostática com a profundidade.

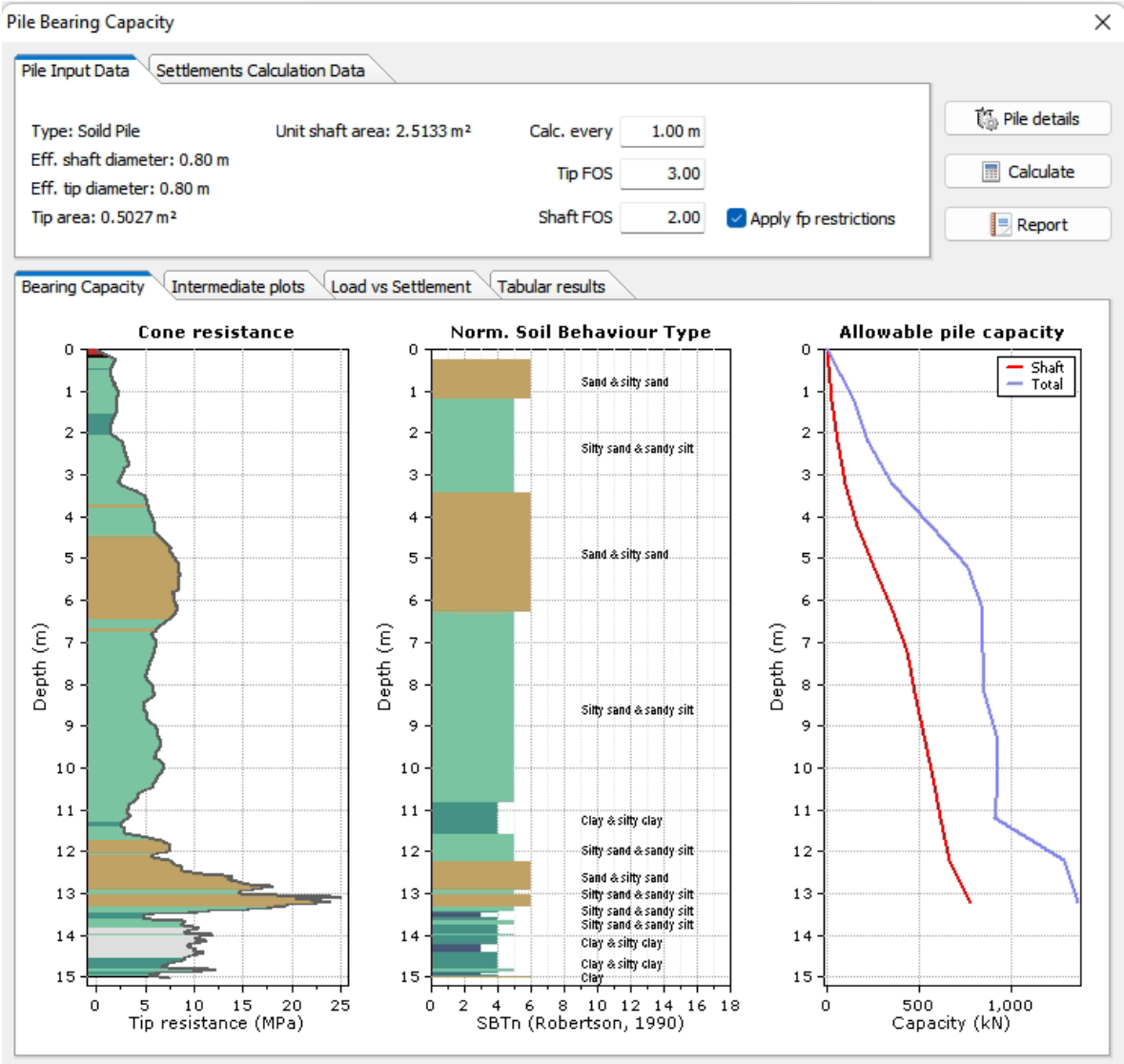


APLICAÇÃO PRÁTICA

CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS

APLICAÇÕES PRÁTICAS

SOFTWARE CPeIT-IT - GEOLOGISMIKI – CAPACIDADE DE CARGA PARA FUNDAÇÃO PROFUNDA



The screenshot displays the 'Pile details' software interface. It includes a 'Geometric data' section with: Pile type: Solid pile, Eff. tip diameter: 0.80 m, Wall thickness: 0.010 m, and Eff. shaft diameter: 0.80 m. The 'Bearing capacity factor, kc' section shows Group selection list: Group I. The 'Friction coefficient, alpha' section shows Group selection list: Group I A. The 'Unit side friction limits' section shows Group selection list: Group I A. There is a checkbox for 'Careful construction and min. disturbance of soil' and buttons for 'OK' and 'Cancel'.

Método utilizado:

**Bustamante e Gianeselli
(1982 - LCPC Method)**

← **EXEMPLO**


**HÉLICE CONTÍNUA
DIÂMETRO DE 80 cm**




SIMSG ISSMGE



ABMS



ARAQUARI
Campo Experimental
Araquari Experimental Site



Araquari Experimental Testing Site, Brazil

Prediction Event

DSI DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL

Brasfond

BR PETROBRAS

UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

UFPR UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

UDESC

SUN

FUGRO

GEOtechne

GEOFORMA Engenharia Ltda.

FLEXFER EXTREMOS INTELIGENTES

Votorantim Cimentos

PII Pile Dynamics, Inc.

geotesc Fundação de Estudos e Pesquisas

INÁCIO estacionamento

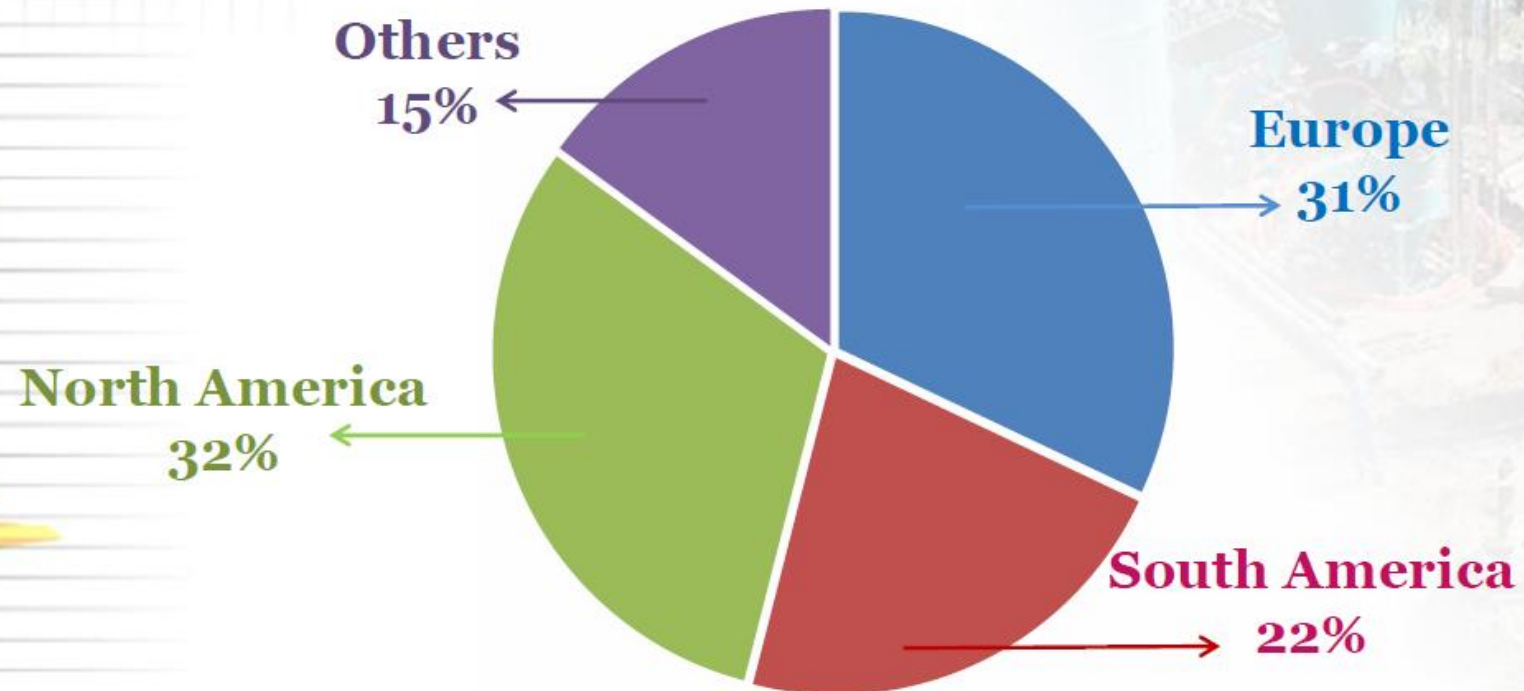
PMU MINERAÇÃO VEIGA LTDA.

RUDNICK MINÉRIOS LTDA.

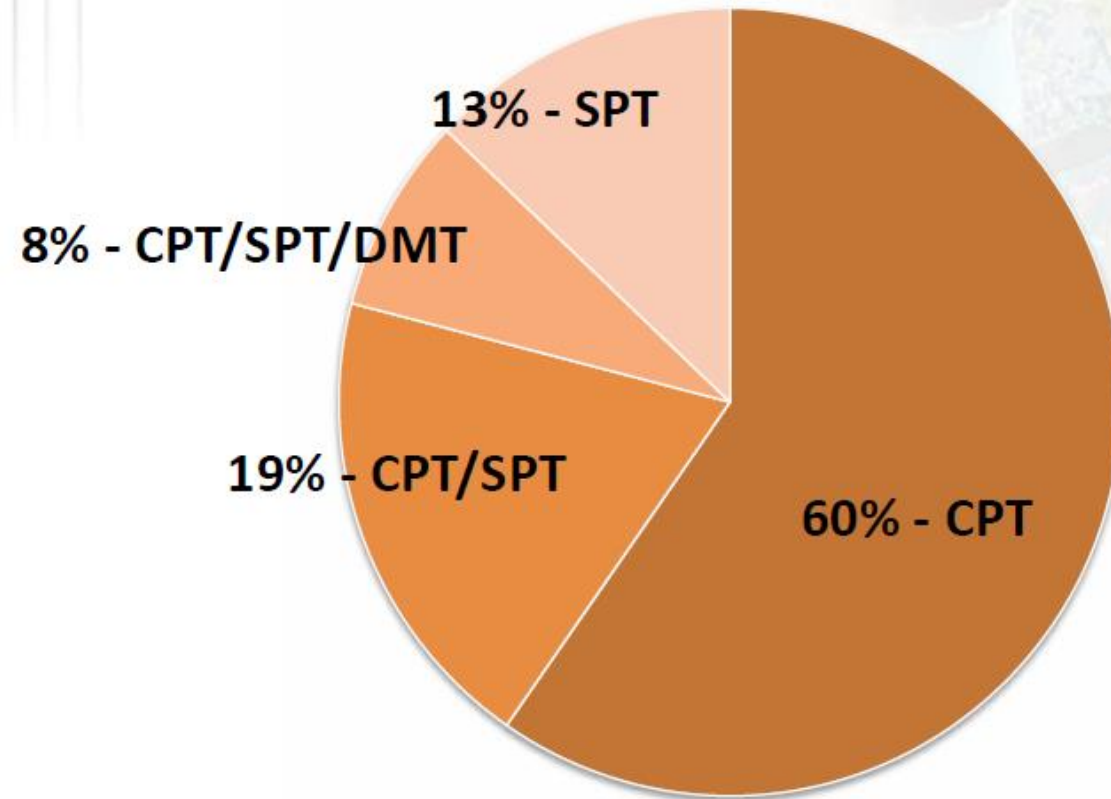
Predictions: 72 Participants

42% Academics

58% - Practitioners



Database adopted for predictions



APLICAÇÃO PRÁTICA

**CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS EXISTENTES,
ANTIGAS, SEM REGISTROS DE EXECUÇÃO**

APLICAÇÕES PRÁTICAS

ESTUDO DE CASO – GUARULHOS /SP

EDIFÍCIO GARAGEM EXISTENTE EM AMPLIAÇÃO.

ESTACAS ISOLADAS DE 100 cm, COM +/-30 m.

INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA GERAL:

(12) Ensaio de sondagem a percussão (SPT);

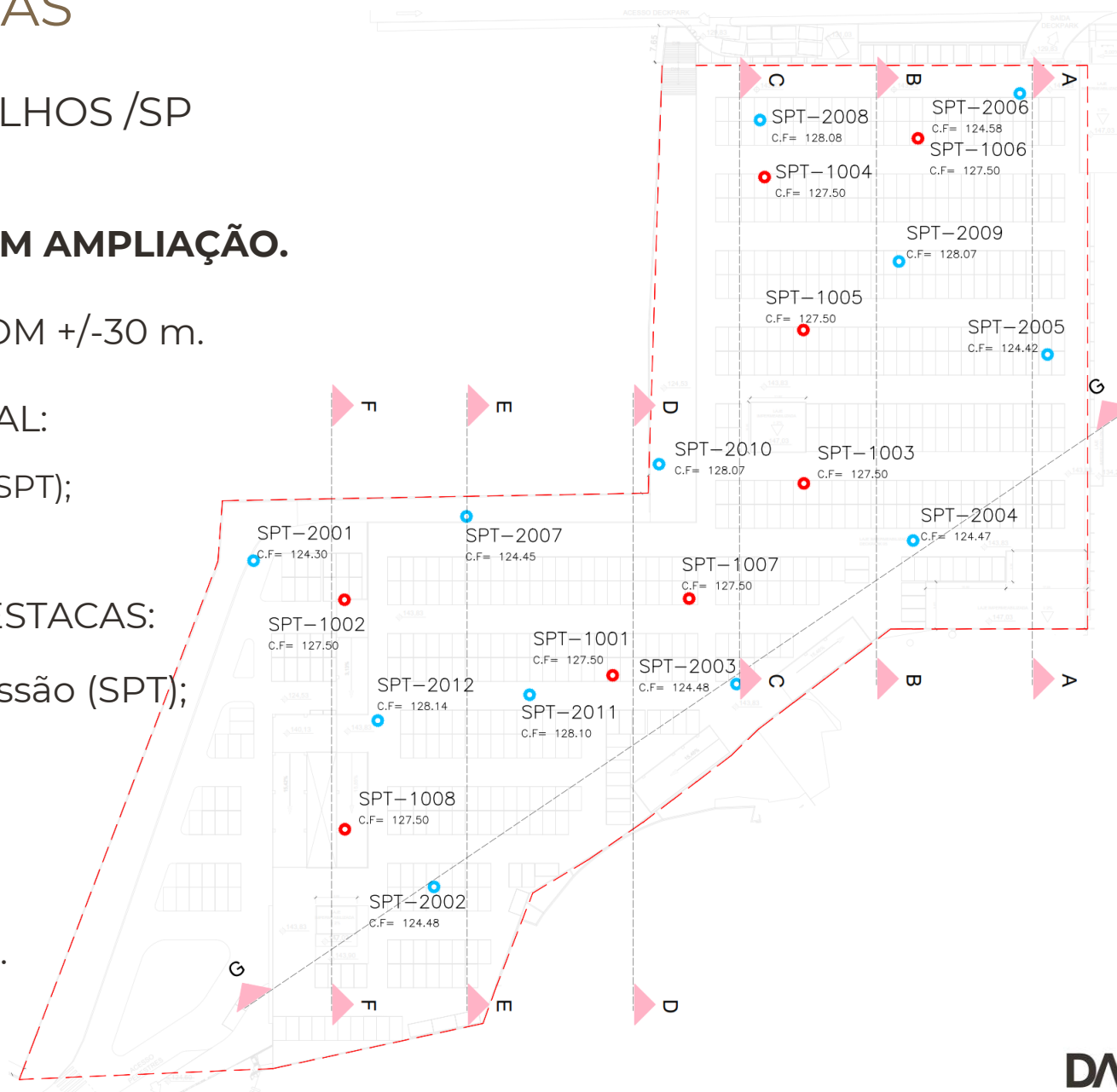
INVESTIGAÇÃO ENTORNO DE 08 ESTACAS:

(08) Ensaio de sondagem a percussão (SPT);

(08) Ensaio piezocone (CPTu);

(08) Ensaio sísmico paralelo (PS);

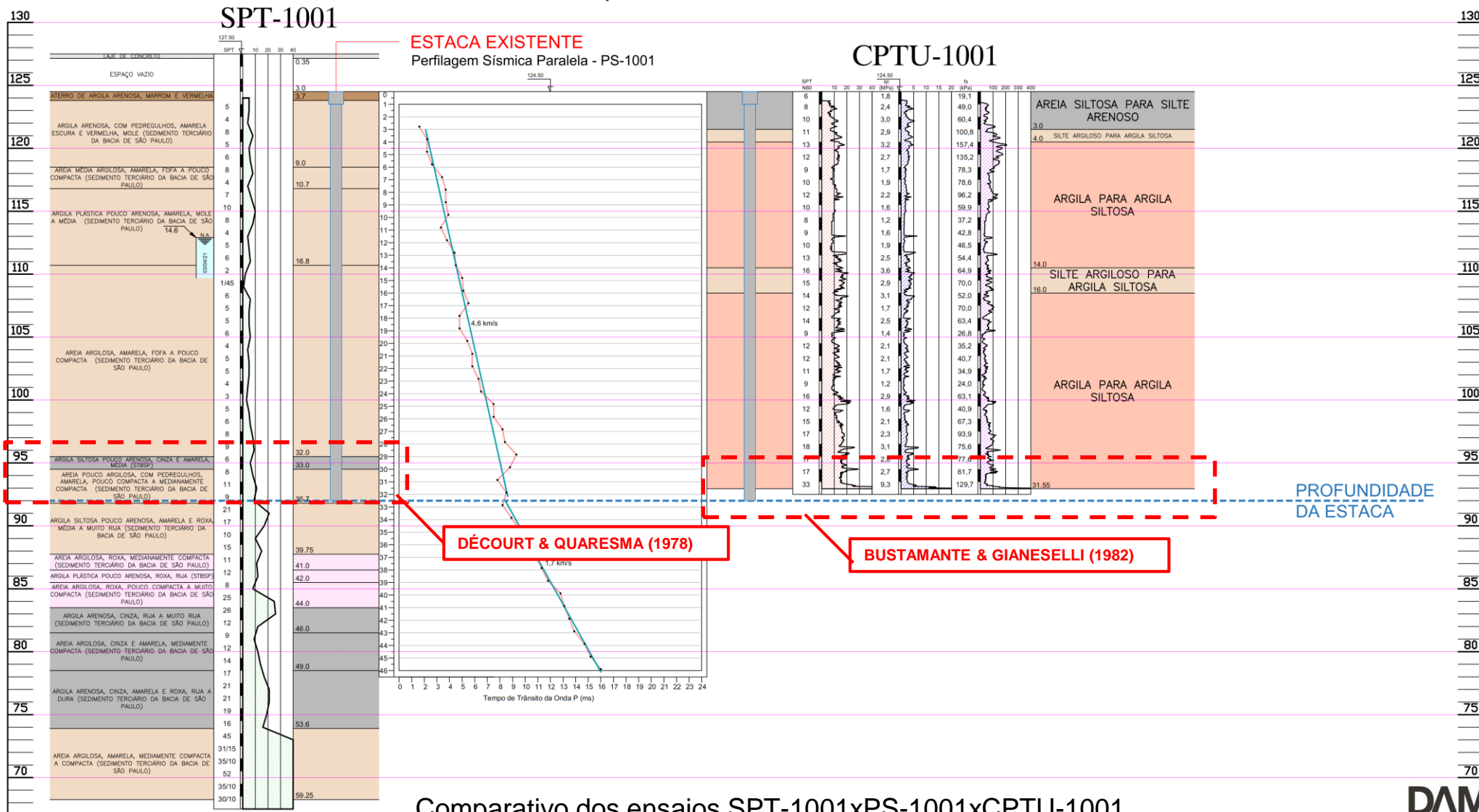
(06) Prova de carga estática (PCE).



CONE PENETRATION TEST (CPTu)

APLICAÇÕES PRÁTICAS

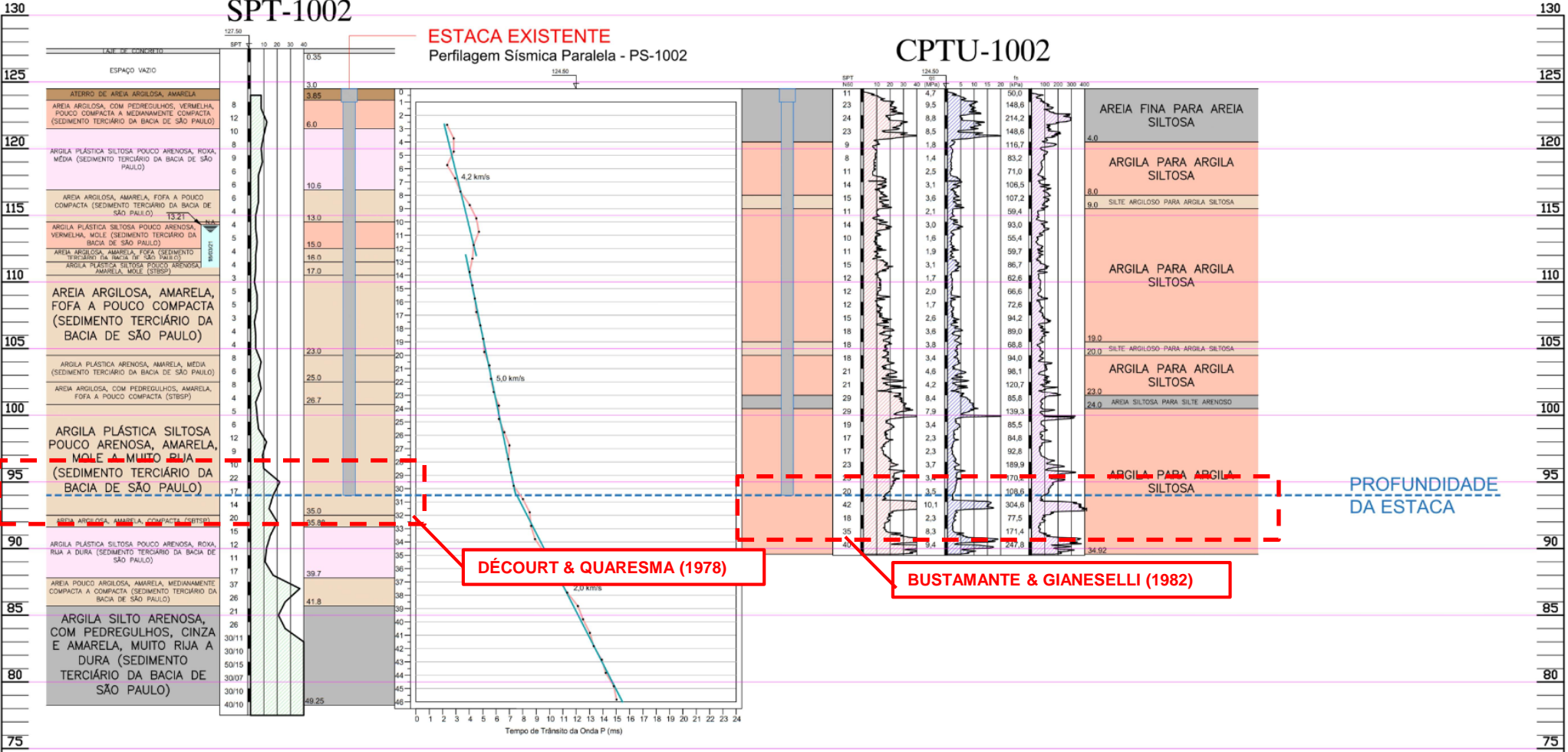
ESTUDO DE CASO – GUARULHOS /SP



Comparativo dos ensaios SPT-1001xPS-1001xCPTU-1001

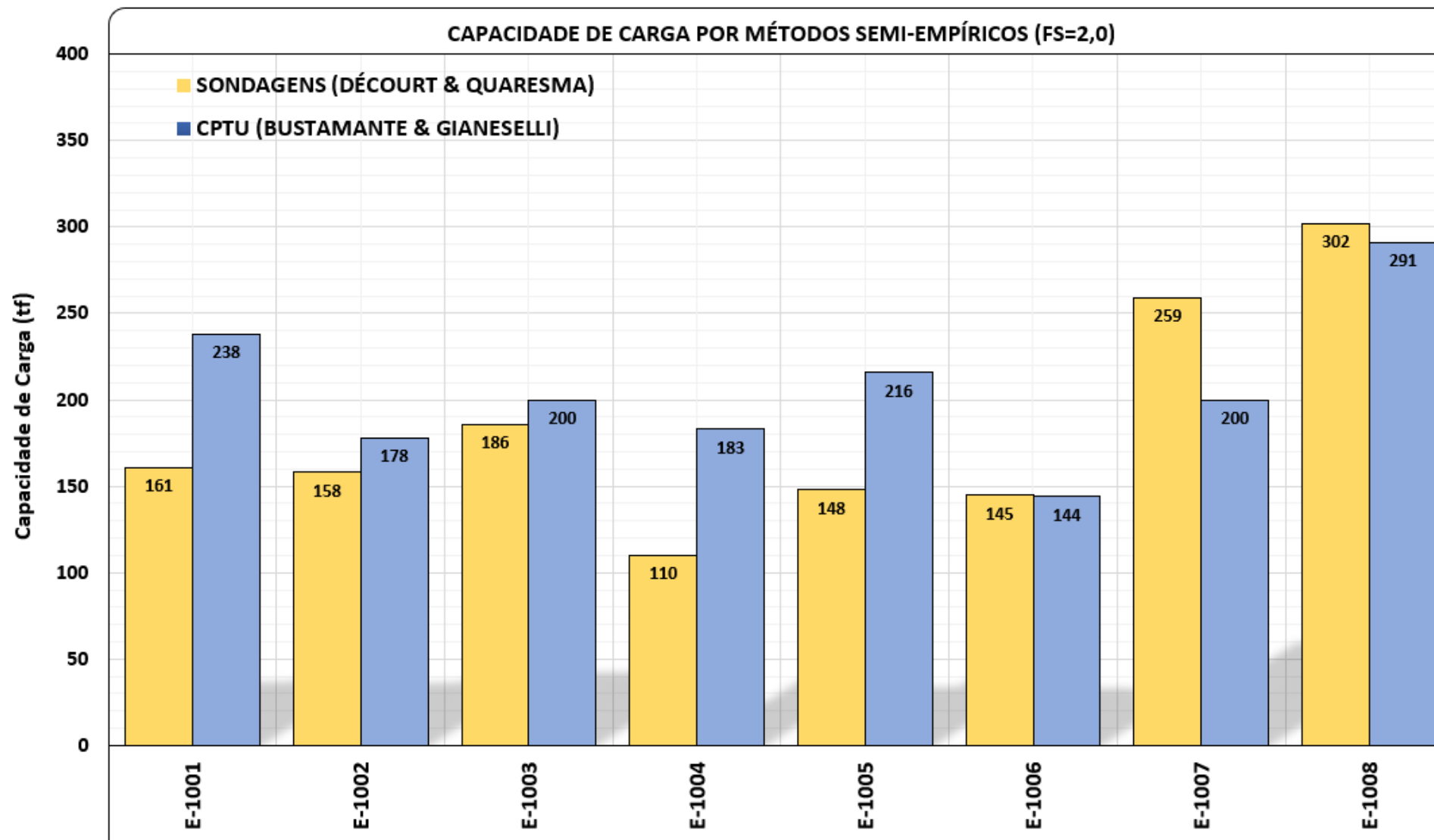
APLICAÇÕES PRÁTICAS

ESTUDO DE CASO – GUARULHOS /SP



Comparativo dos ensaios SPT-1002xPS-1002xCPTU-1002

ESTUDO DE CASO – GUARULHOS /SP

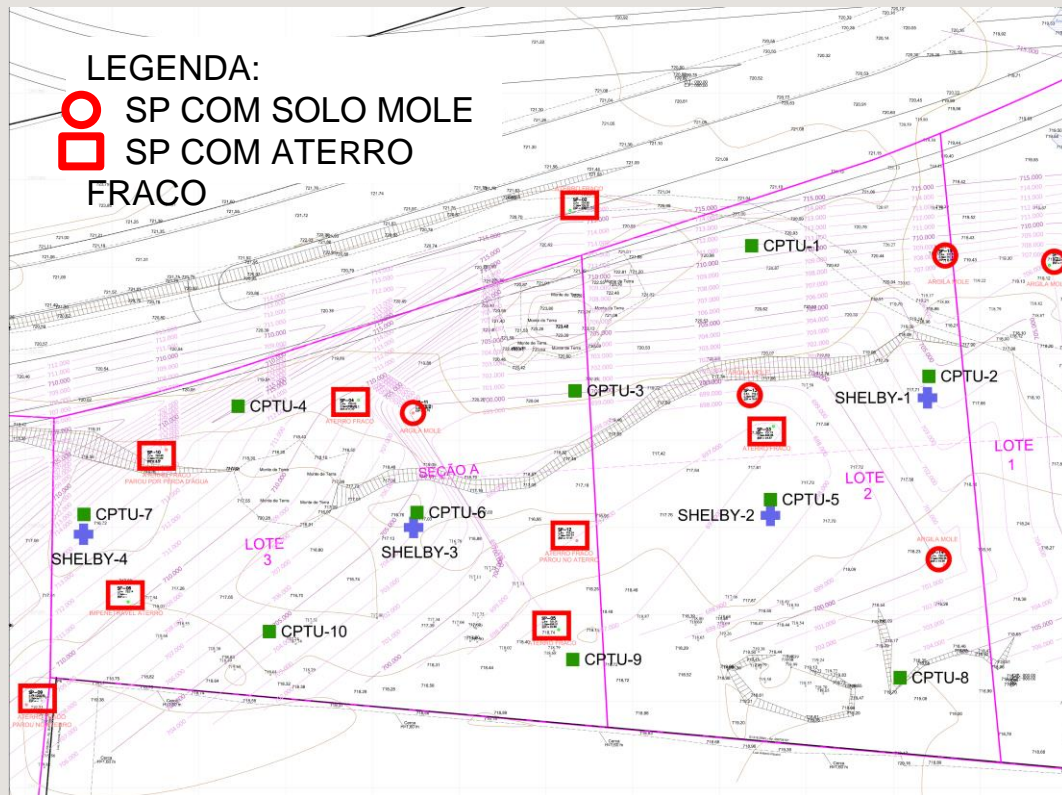


APLICAÇÃO PRÁTICA

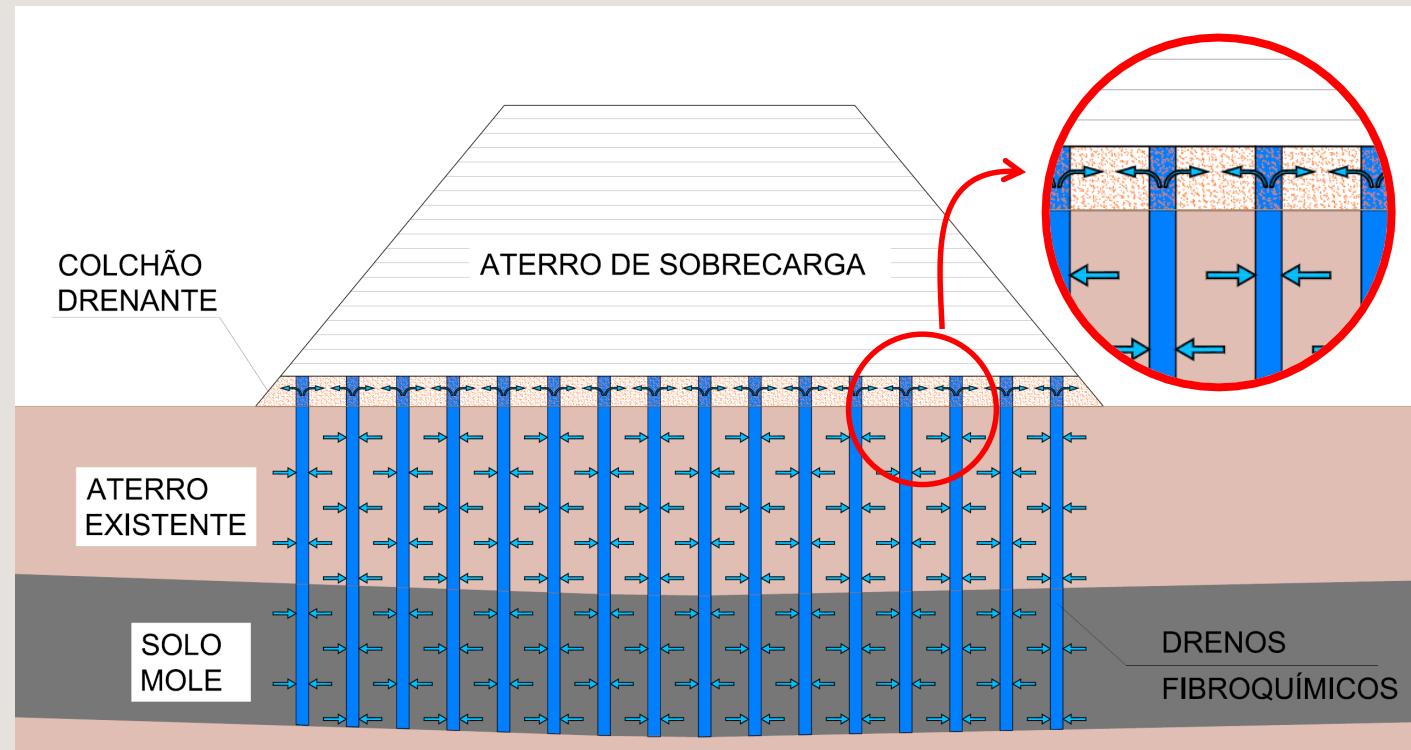
ATERRO SOBRE SOLO MOLE

ATERRO SOBRE SOLO MOLE – TRATAMENTO COM GEODRENOS

ADENSAMENTO DO SOLO MOLE COM GEODRENOS E ATERRO DE SOBRECARGA



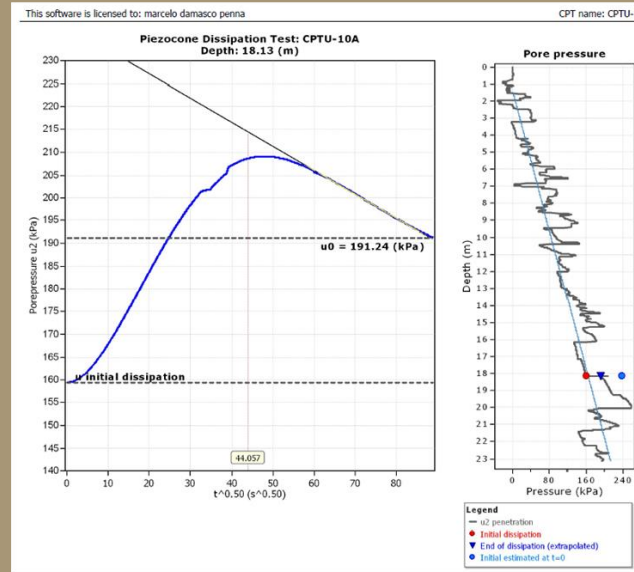
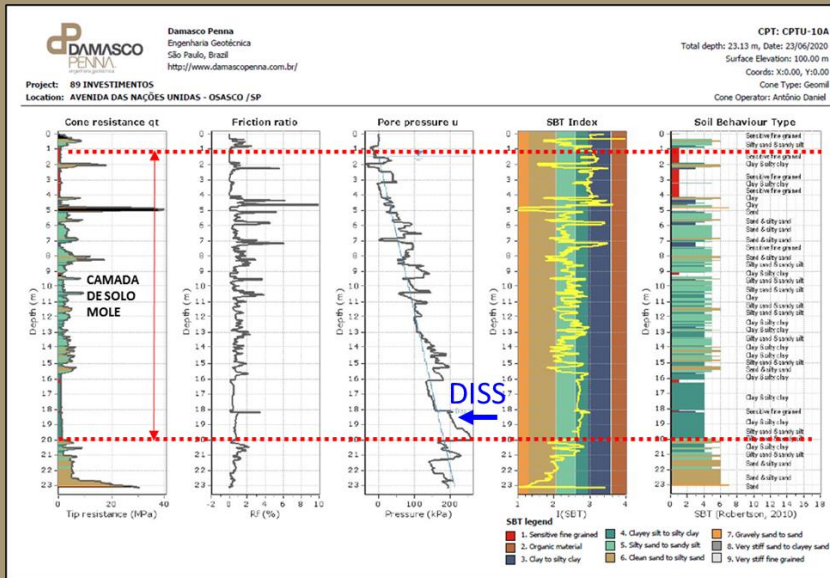
LOCAÇÃO DE ENSAIOS CPTU E COLETAS DE AMOSTRAS SHELBY PARA ENSAIOS LABORATORIAIS.



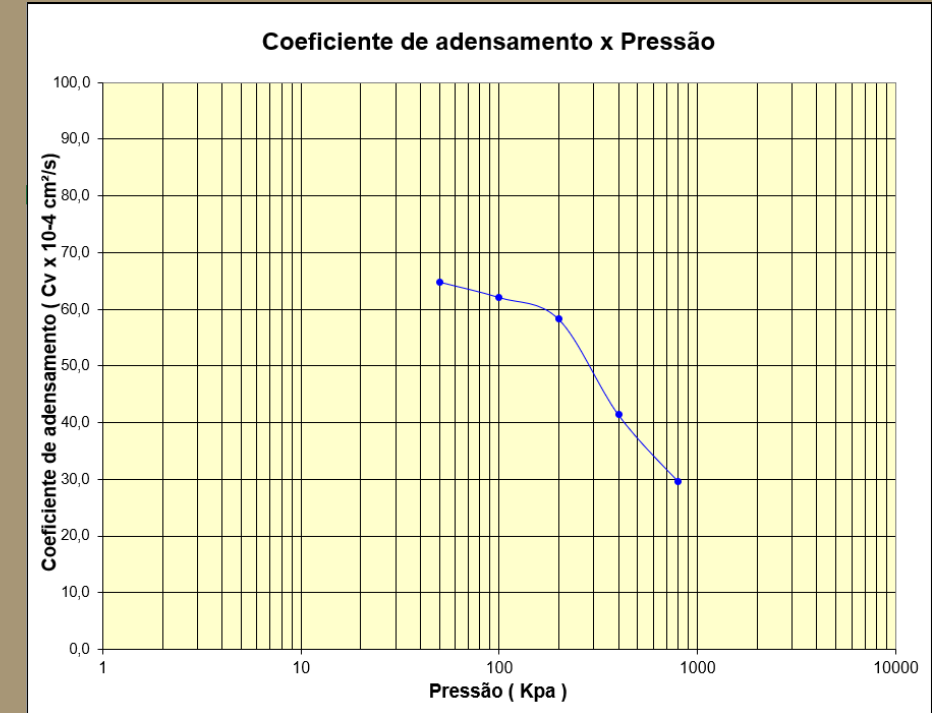
PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA O CÁLCULO DO TEMPO DEADENSAMENTO

ENSAIO DE DISSIPAÇÃO CPTU - (Ch)

ENSAIO DE ADENSAMENTO - (Cv)



CPTU Borehole	Depth (m)	$(t_{50})^{0.50}$	t_{50} (s)	t_{50} (years)	G/S _u	C_h (m ² /s)	C_h (m ² /year)	M (MPa)	k_h (m/s)
CPTU-10A	18.13	44.1	1941	6.15E-005	100.00	4.23E-007	13	1.11	3.73E-009






Amostra/Ensaio	C _v ou C _h (cm ² /s)
SH-01	6,00E-03
CPTU-02	4,27E-03
CPTU-10A	4,23E-03

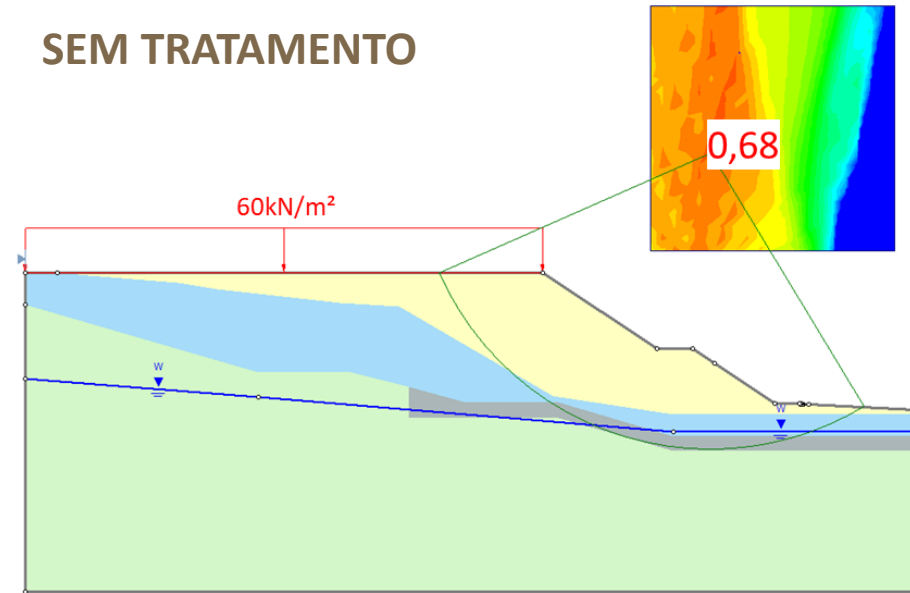
TEMPO DE ADENSAMENTO DA CAMADA DE SOLO MOLE

TEMPO DE ADENSAMENTO (MESES)					
Ensaio / Amostra	Espessura Solo Mole	c_v OU c_h (cm²/s)	Hipótese 1 - Aterro pré-carregamento	Hipótese 2 - Aterro de pré-carregamento + geodrenos malha 1,5 x 1,5 m	Hipótese 3 - Aterro de pré-carregamento + geodrenos malha 2,0 x 2,0 m
Resultados obtidos com parâmetros de ensaios de adensamento					
SH-01	19,0	6,00E-03	98,7	4,7	8,7
Resultados obtidos com parâmetros dos ensaios CPTu					
CPTU-02	19,0	4,27E-03	143,3	6,6	12,2
CPTU-10A	19,0	4,23E-03	144,7	6,7	12,3

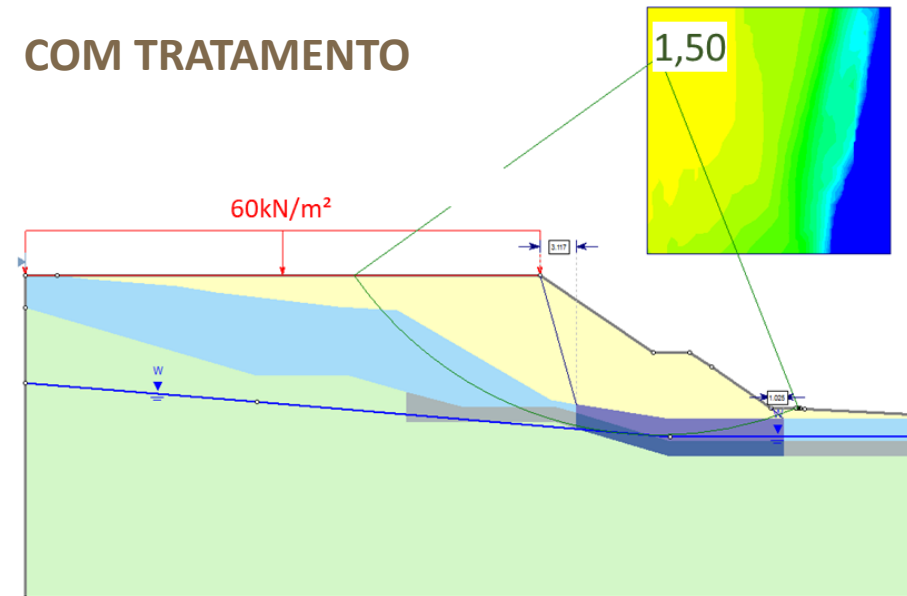
TRATAMENTO DE SOLO MOLE COM COLUNAS DE BRITA PARA GARANTIR ESTABILIDADE DE TALUDES

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
ATERRO COMPACTADO		18	20	32
ARGILA ORGÂNICA		15	5	0
A.O. VIBROSUBSTITUIÇÃO		17	25	26
SOLO RESIDUAL		19	20	32
ATERRO EXISTENTE		17	15	20
A. E. VIBROSUBSTITUIÇÃO		18	20	26

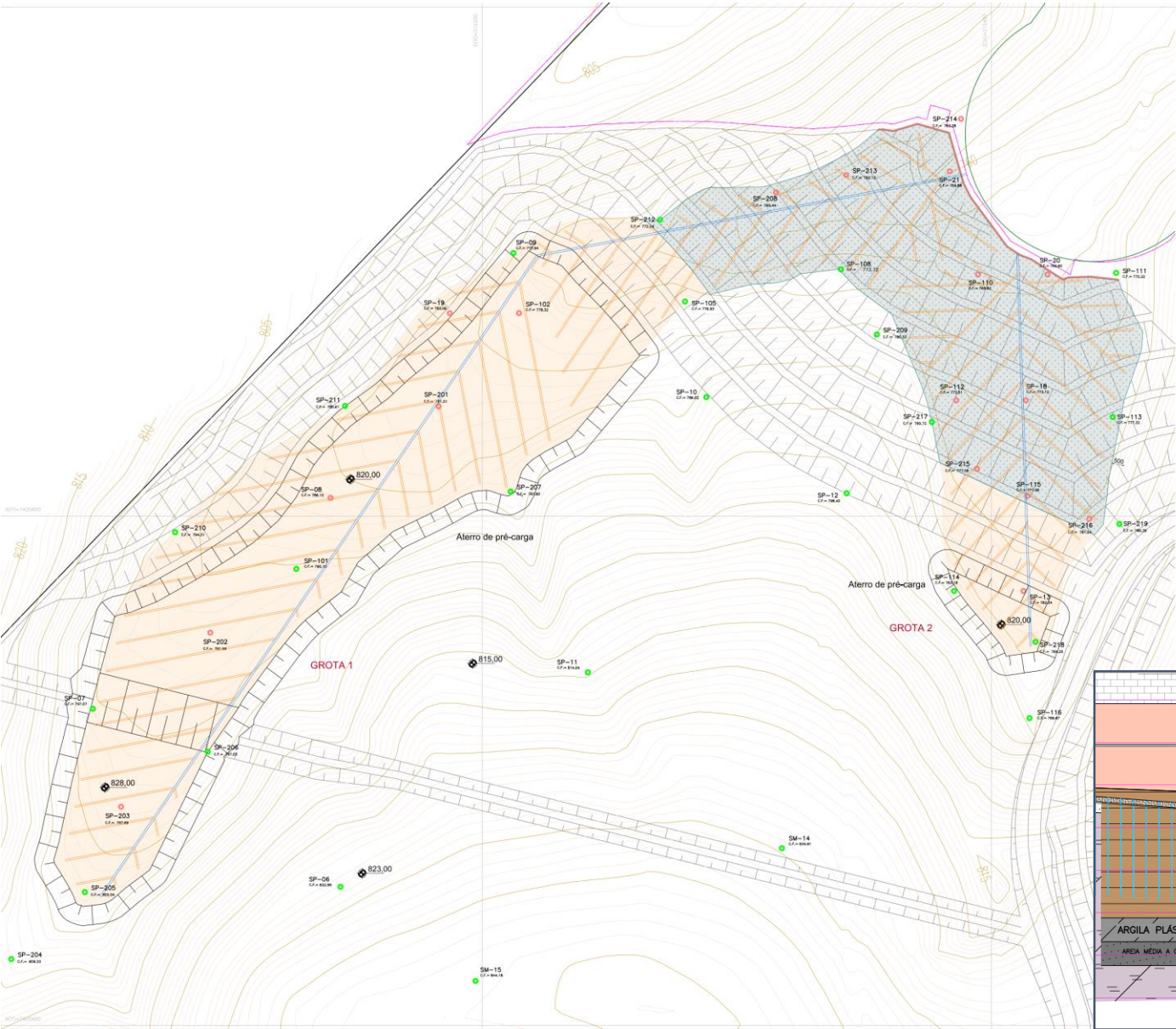
- SEM TRATAMENTO



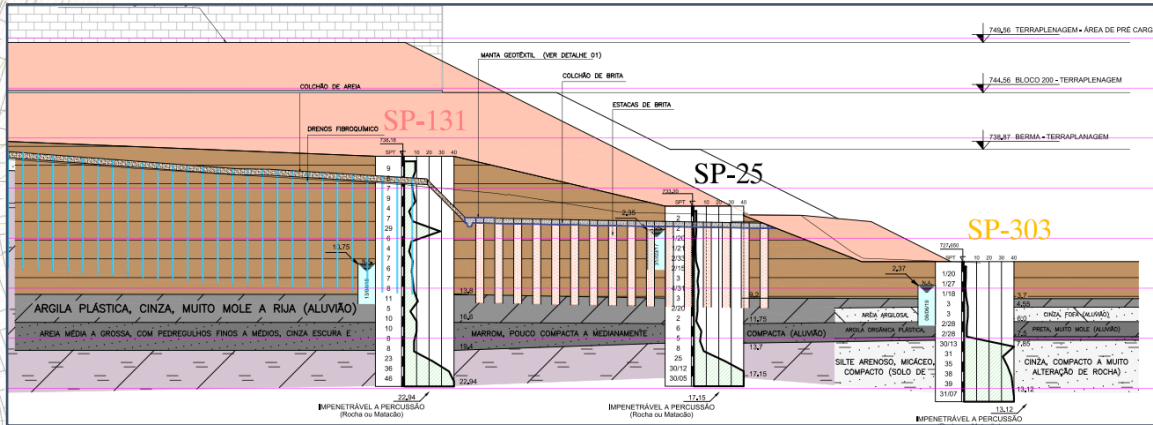
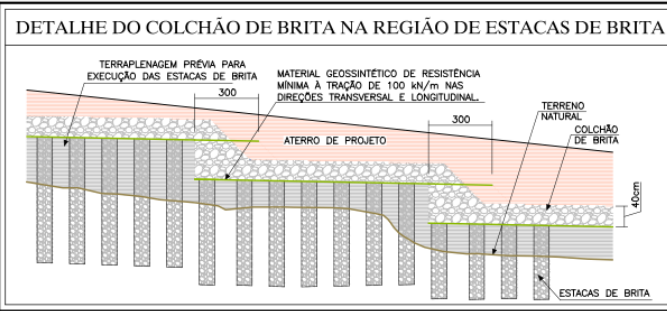
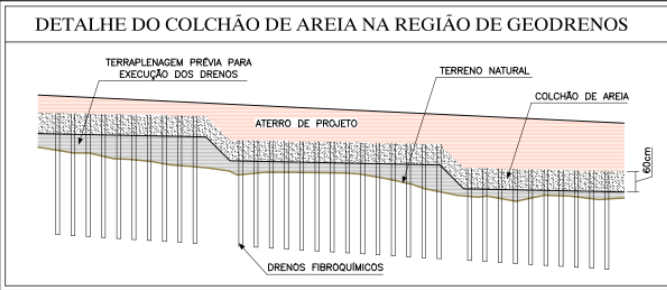
- COM TRATAMENTO



TRATAMENTO DE SOLOS MOLES COM COLUNAS DE BRITA E GEODRENOS



TRATAMENTO DE SOLOS MOLES COM ESTACAS DE BRITA E GEODRENOS



ATERRO SOBRE SOLO MOLE



ATERRO SOBRE SOLO MOLE



CPTu - SÍNTESE

- Medidas a cada 1,0 cm;
- Três sensores (ponta, lateral e pressão neutra);
- Independente do operador;
- Rápido e 100% conectado ao escritório, via internet;
- 300 informações por metro;
- Resultados em unidades de pressão;
- Estratigrafia completa;
- Correlações com inúmeros parâmetros geotécnicos;
- Excelente repetitividade de resultados.

CPTu - CONCLUSÃO

- Procedimento excelente para o reconhecimento estratigráfico do terreno e para avaliar as propriedades de resistência, deformabilidade e tempo de adensamento.

DILATÔMETRO DE MARCHETTI (DMT)

- Medidas a cada 20,0 cm;
- Padronização internacional;
- Previsão de recalque;
- Módulo de deformabilidade edométrica;
- Resistência de argilas saturadas em condições não drenadas (S_u);
- Estratigrafia de camadas do subsolo;
- Controle tecnológico da compactação de aterros;
- Ângulo de atrito da resistência drenada (lenta), de massas arenosas;
- Histórico de tensões.



DILATÔMETRO DE MARCHETTI (DMT)

Membrana
metálica
flexível
Ø60mm



LÂMINA COM
MEMBRANA
FLEXÍVEL



UNIDADE DE
CONTROLE



CABOS



CILINDRO DE
NITROGÊNIO



EQUIPAMENTO DE
CRAVAÇÃO

HISTÓRICO

Desenvolvido em 1975
pelo Prof. Dr. Silvano
Marchetti

Roma - Itália

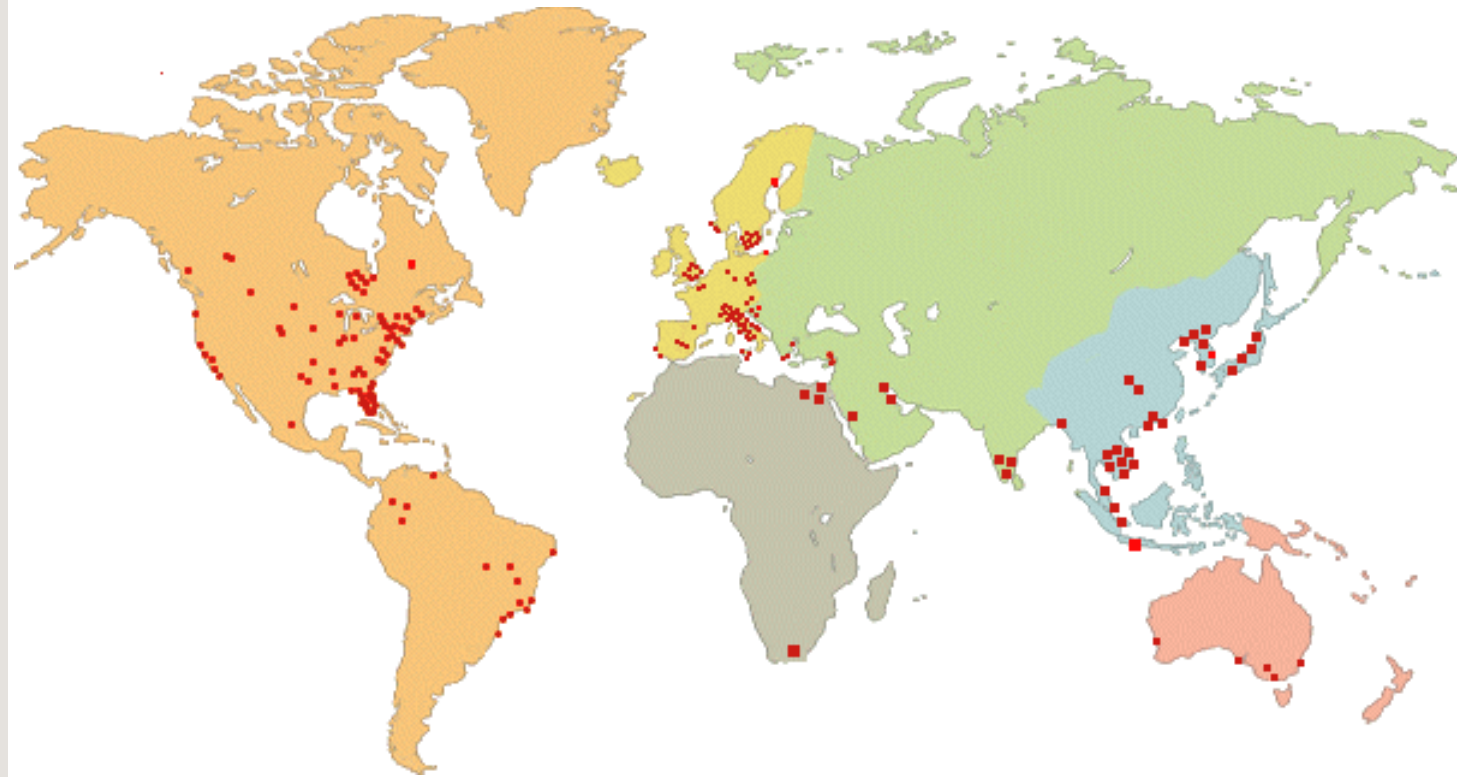


UTILIZAÇÃO

Em 80 países

ENSAIOS DE CAMPO

ENSAIO DMT



NORMAS TÉCNICAS



“Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer” - ASTM D6635-15

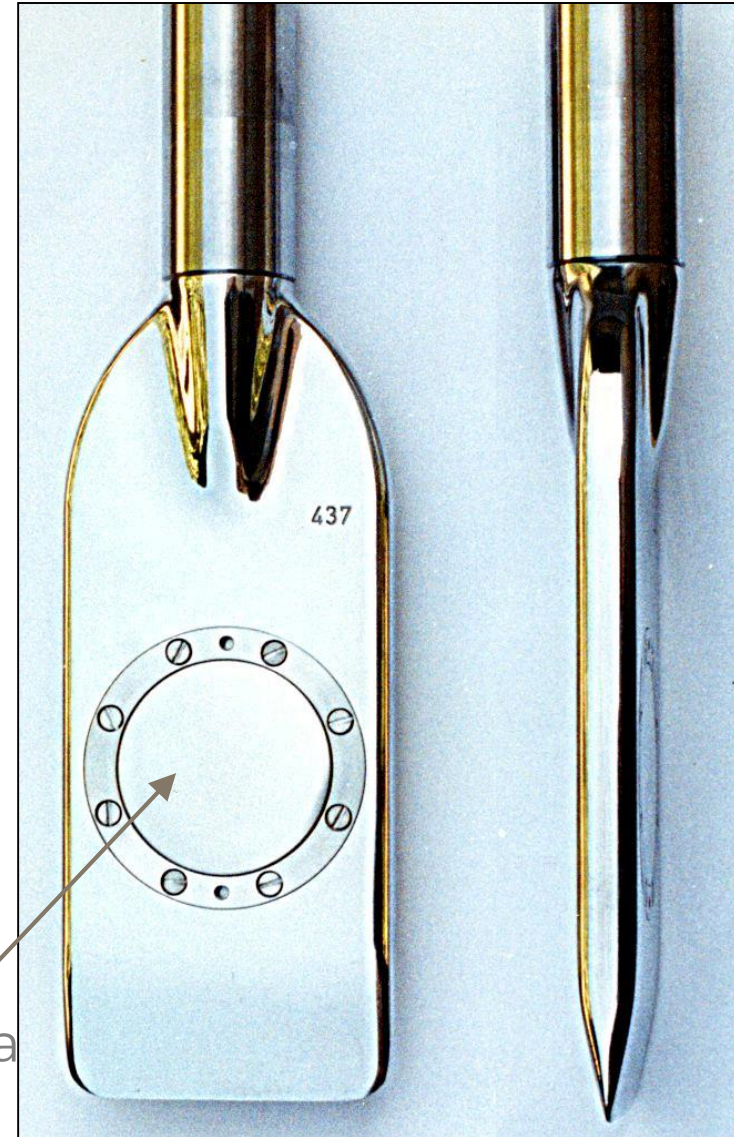


Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 3 - “Design assisted by field testing” - Section 9 - “Flat Dilatometer Test (DMT)”



Não há norma brasileira

LÂMINA COM MEMBRANA FLEXÍVEL

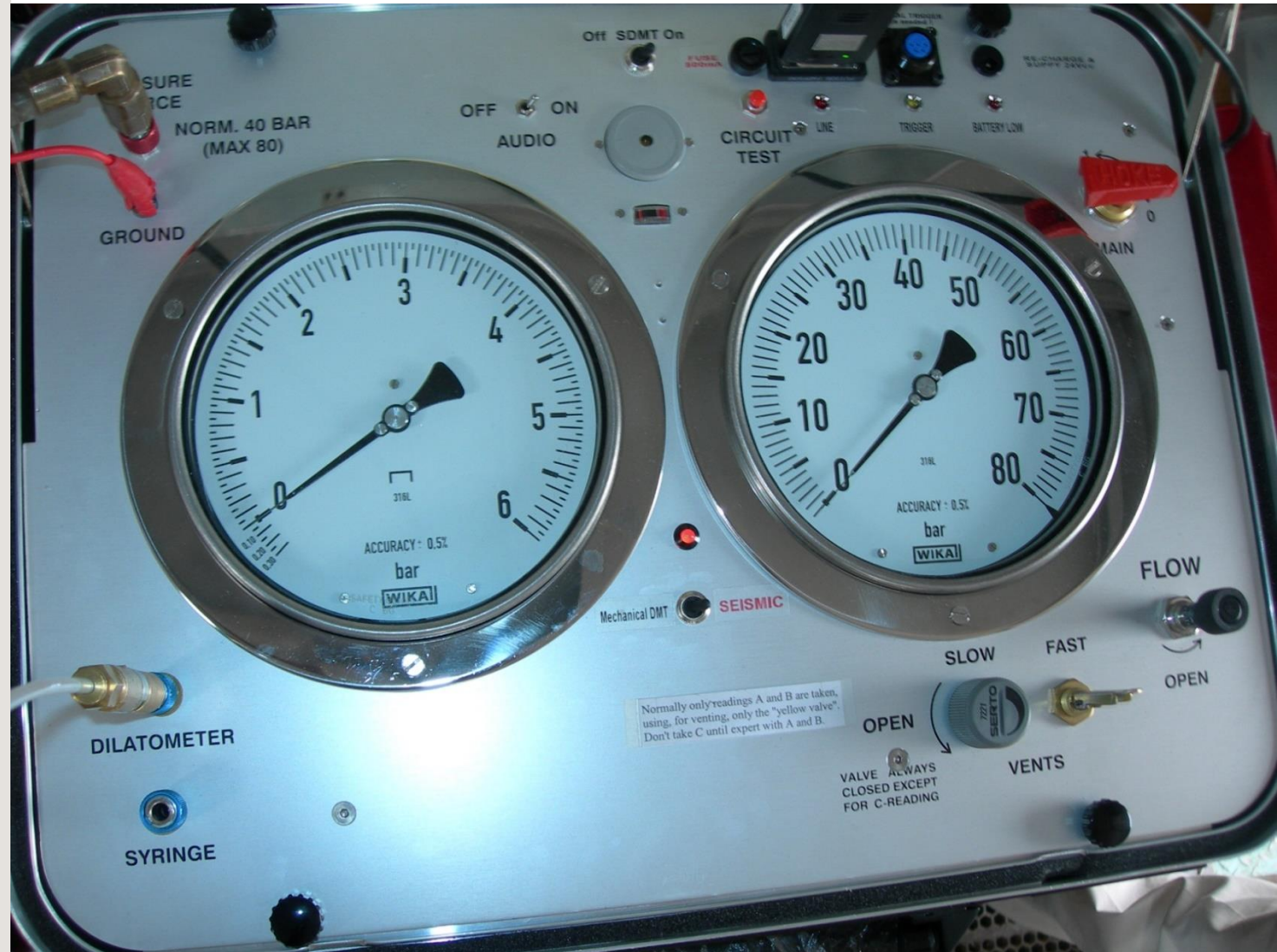


Membrana
metálica
flexível
φ60mm

UNIDADE DE CONTRÔLE

ENSAIOS DE CAMPO

ENSAIO DMT



HASTES E PASSAGEM DE CABOS



CILINDRO DE NITROGÊNIO EXTRA-SECO

ENSAIOS DE CAMPO

ENSAIO DMT



EQUIPAMENTO DE CRAVAÇÃO



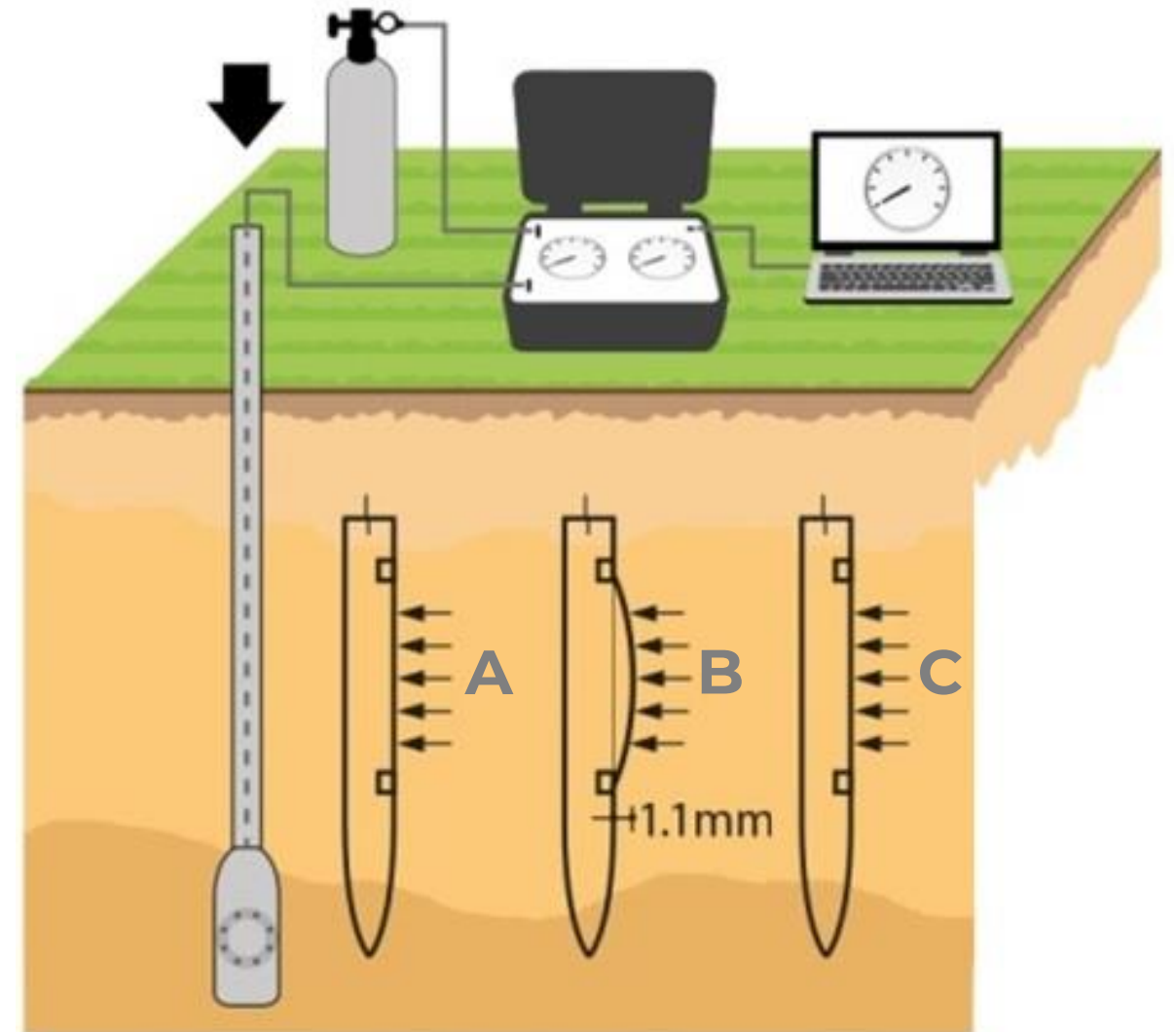
EXECUÇÃO DO ENSAIO

Cravação

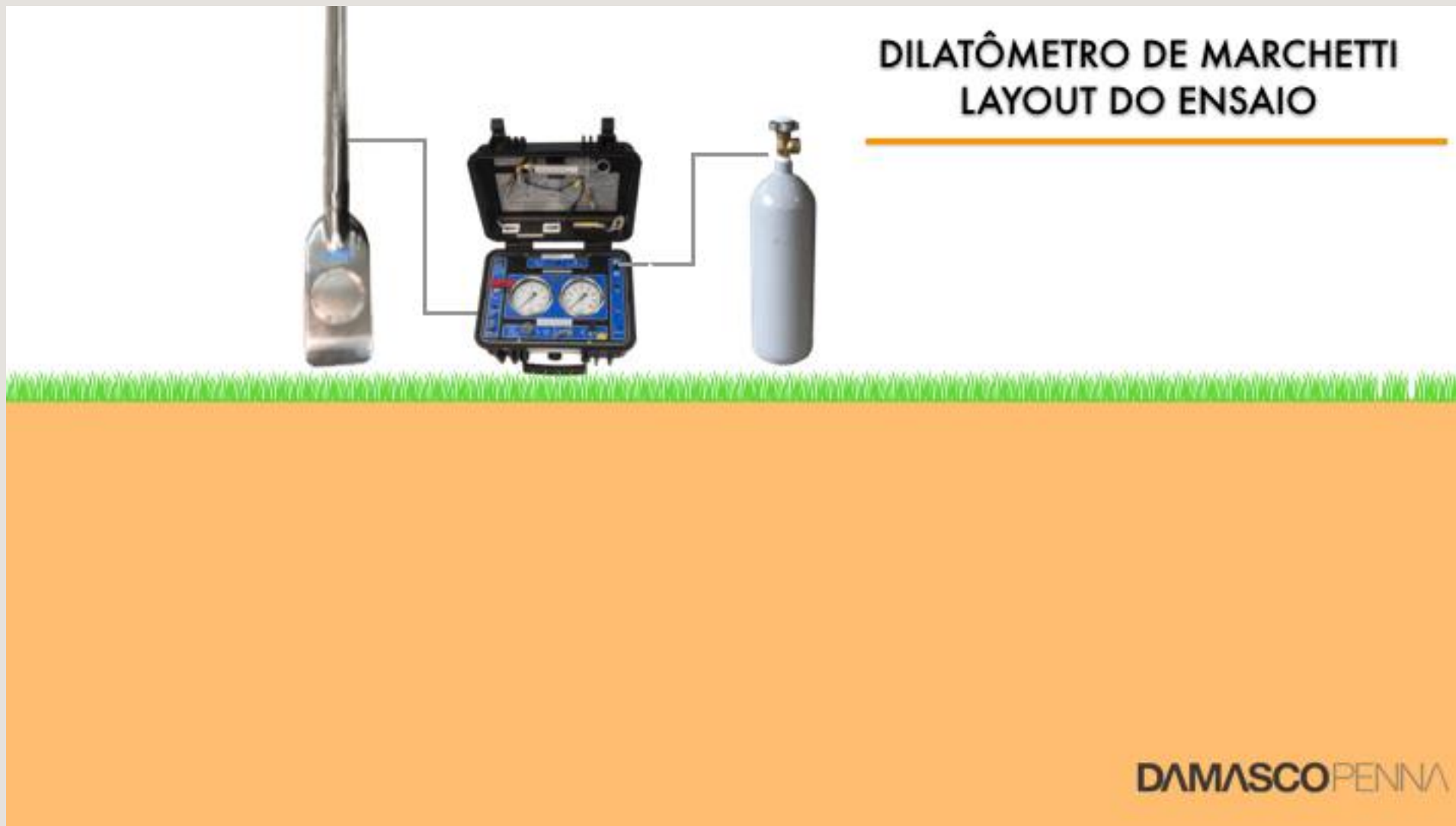
Posicionamento da lâmina

Leituras das pressões A e B

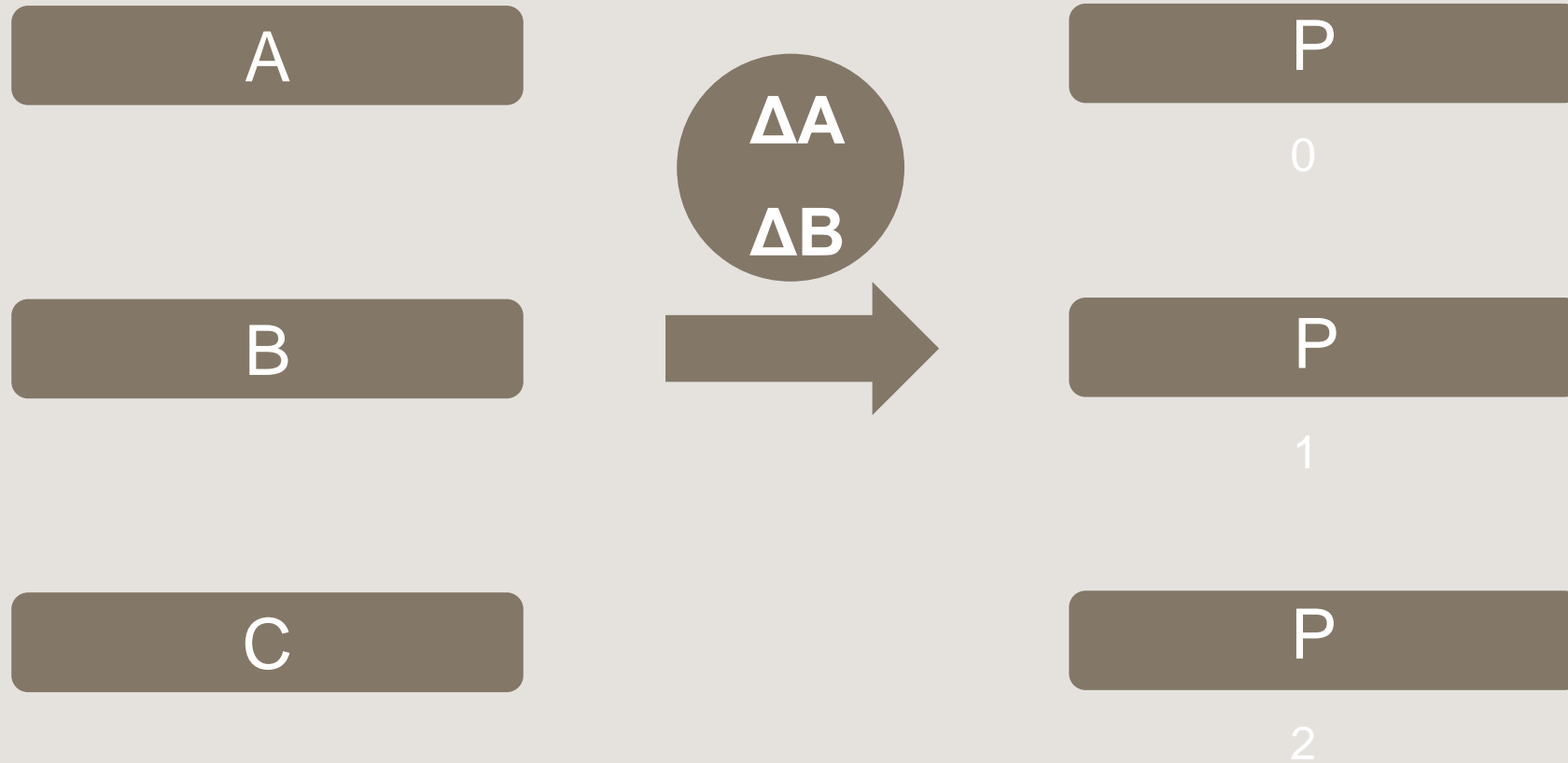
Repetição do processo a cada 20 cm



EXECUÇÃO DO ENSAIO



LEITURAS DIRETAS NO APARELHO PRESSÕES CORRIGIDAS



PRESSÕES CORRIGIDAS

Pressão “P0”: pressão líquida, de reação do solo, contra a membrana, imediatamente antes de esta iniciar a sua expansão, contra o terreno (ou seja, expansão quase nula = 0,05 mm).

$$P_0 = 1,05 (A - Z_m + \Delta A) - 0,05 (B - Z_m - \Delta A)$$

Pressão “P1”: É a pressão líquida, necessária para expandir, contra o terreno, a membrana de 6,0 cm de diâmetro, no valor de 1,10 mm.

$$P_1 = B - Z_m - \Delta B$$

PARÂMETROS INTERMEDIÁRIOS

Id**Índice do material**

Comportamento granulométrico do solo (argilas, siltes e areias)

$$Id = \frac{P_1 - P_0}{P_0 - \mu_0}$$

Ed**Módulo dilatométrico**

Compressibilidade do solo

$$Ed = 34,7 \times (P_1 - P_0)$$

Kd**Índice de tensão horizontal**

Histórico de tensões já aplicadas ao solo

$$Kd = \frac{P_0 - \mu_0}{\sigma'_{v0}}$$

Parâmetros obtidos por definição do ensaio e não por qualquer correlação

ÍNDICE DO MATERIAL “ I_D ”

Indicador do tipo de solo: argila, silte ou areia

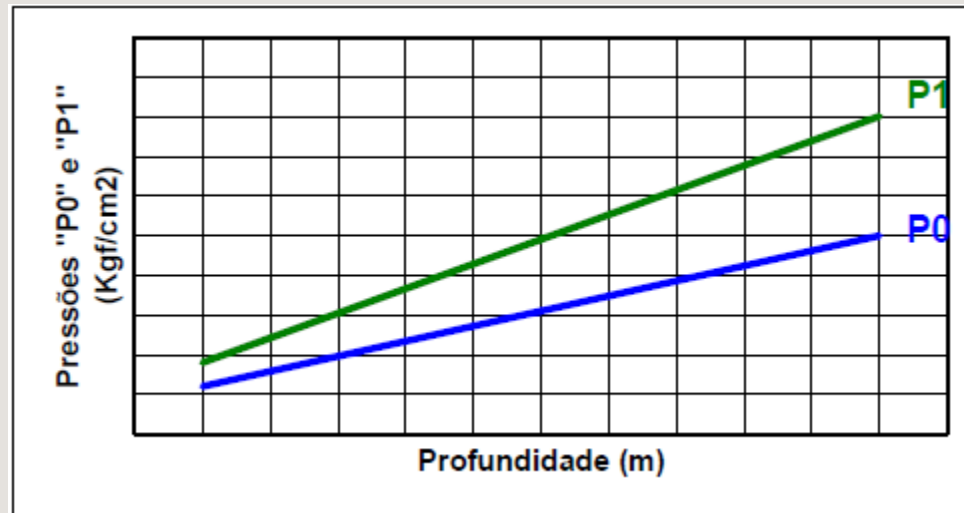
$$I_d = \frac{P_1 - P_0}{P_0 - \mu_0}$$

μ_0 : pressão hidrostática no solo

ÍNDICE DO MATERIAL "I_D"

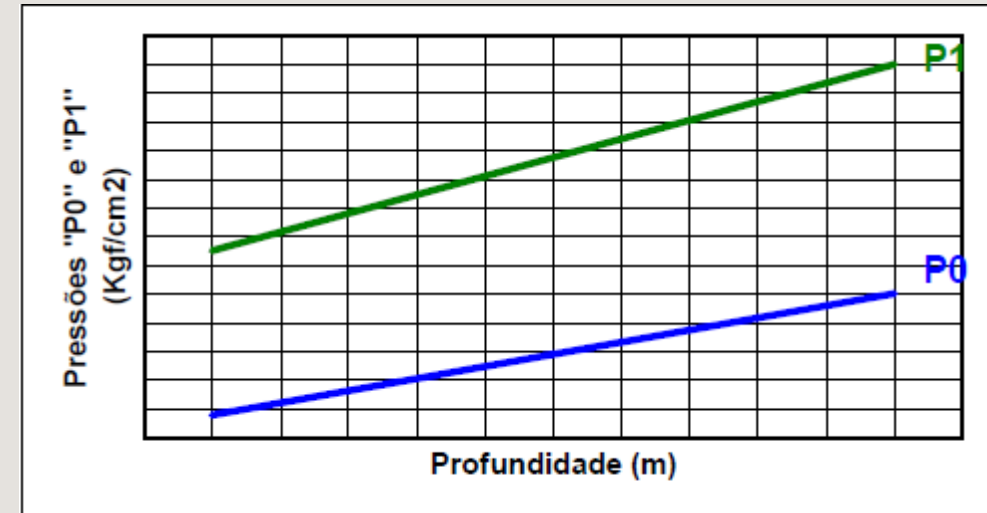
Solos finos

Argilas, argilas siltsosas e siltes argilosos
Valores **"baixos"**



Solos grossos

Areias, areias siltsosas e siltes arenosos
Valores **"altos"**

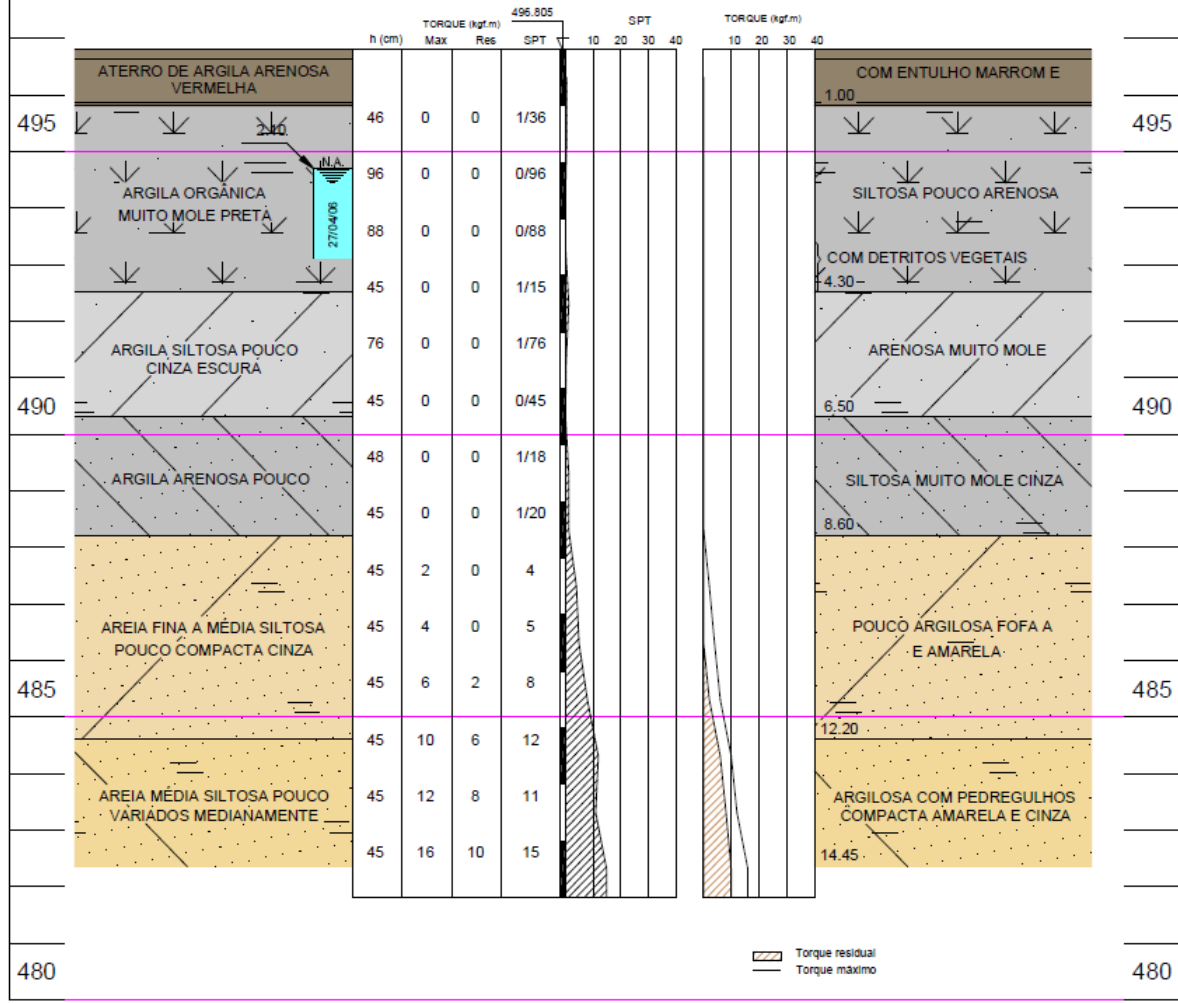


ÍNDICE DO MATERIAL “I_d”

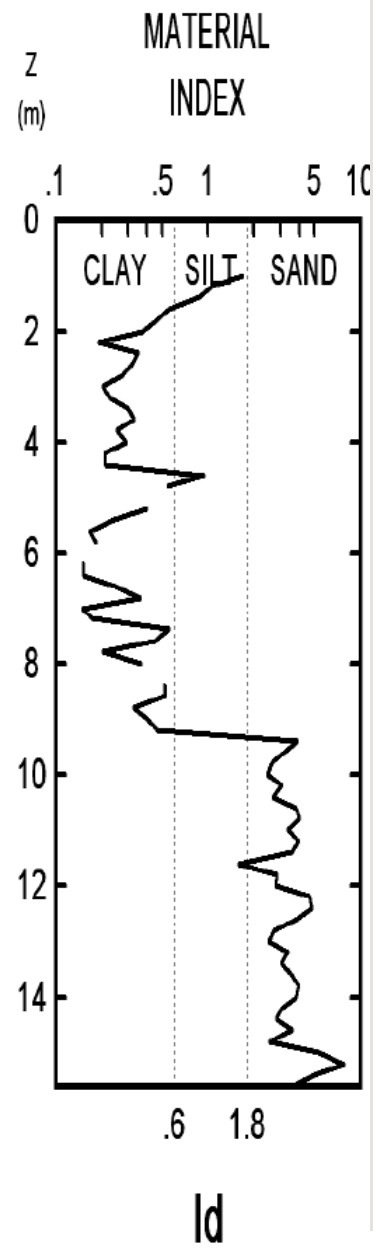
Comportamento granulométrico

VALORES DO ÍNDICE DO MATERIAL “I _d ”							
0,1	0,35	0,60	0,90	1,20	1,80	3,30	10
Argilas sensíveis e turfas	Argilas puras	Argilas siltosas	Siltes argilosos	Siltes puros	Siltes arenosos	Areias siltosas	Areias puras
ARGILAS			SILTES			AREIAS	
TIPO DE SOLO COM BASE NA OBSERVAÇÃO DO COMPORTAMENTO							

SP-03

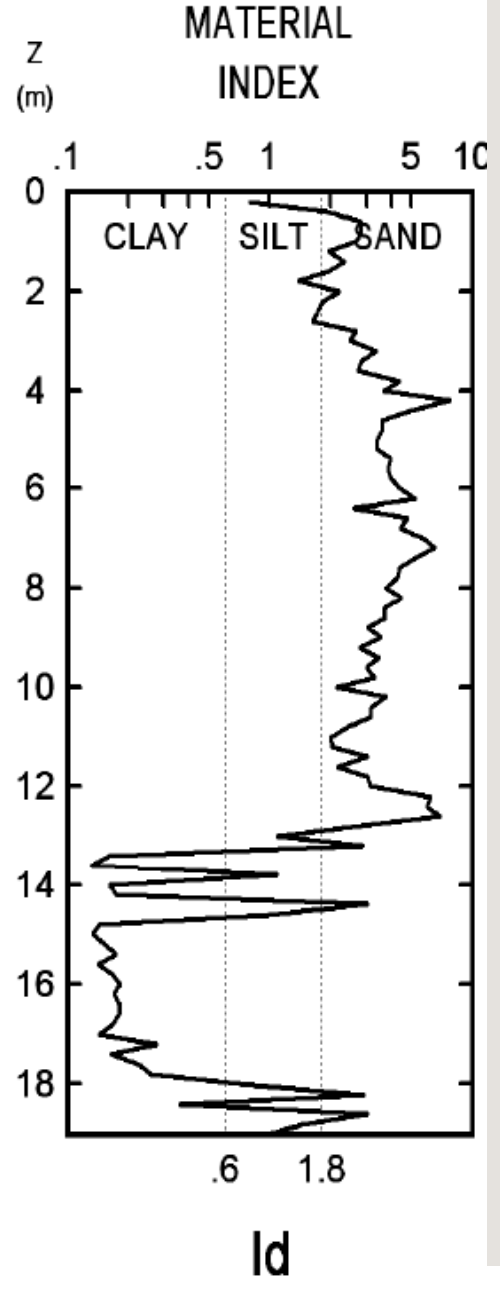
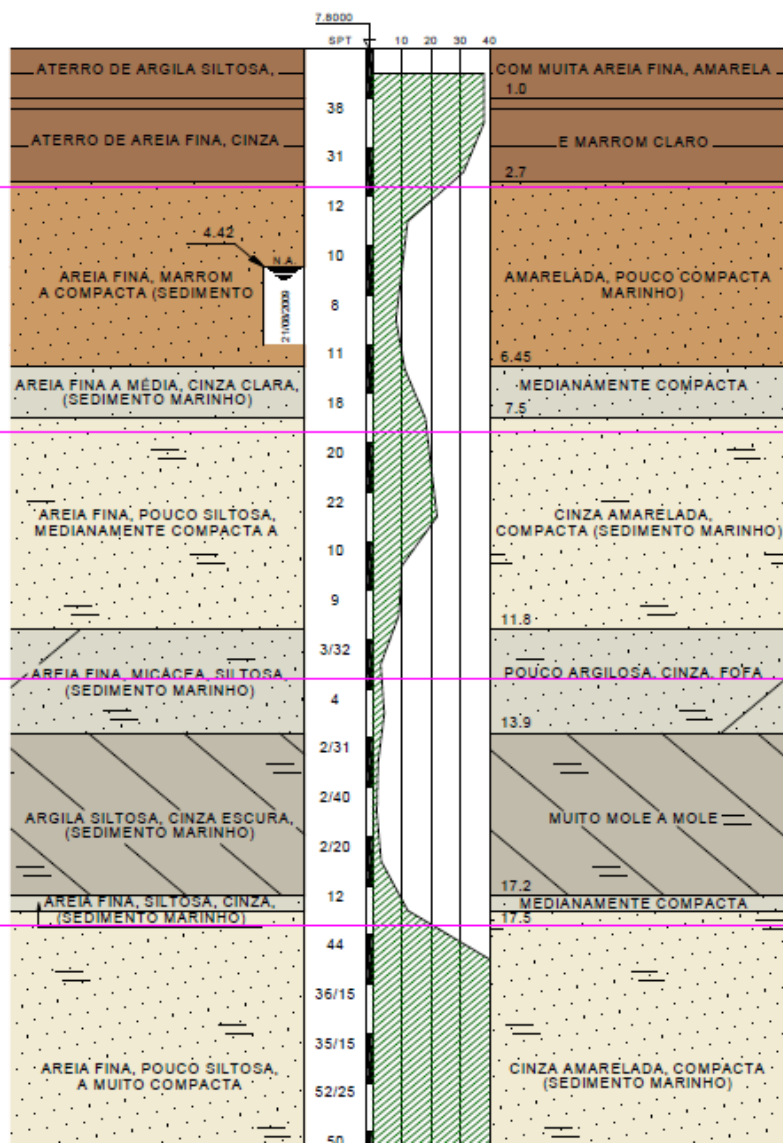


Torque residual
 Torque máximo



ÍNDICE DO MATERIAL "Id"

SP-102



ÍNDICE DO MATERIAL "Id"

MÓDULO DILATOMÉTRICO “E_D”

Assumindo que o solo ao redor do dilatômetro é formado por dois semi-espacos elásticos, tendo a lâmina como plano de simetria, a expansão da membrana pode ser modelada como o carregamento flexível de uma área circular:

$$\rho = D \times \sigma \times \frac{1 - \mu^2}{E} \times \frac{2}{\pi}$$

D: diâmetro da membrana = 60 mm
σ: diferença de pressão (P₁ – P₀)
ρ: deslocamento de 1,1 mm

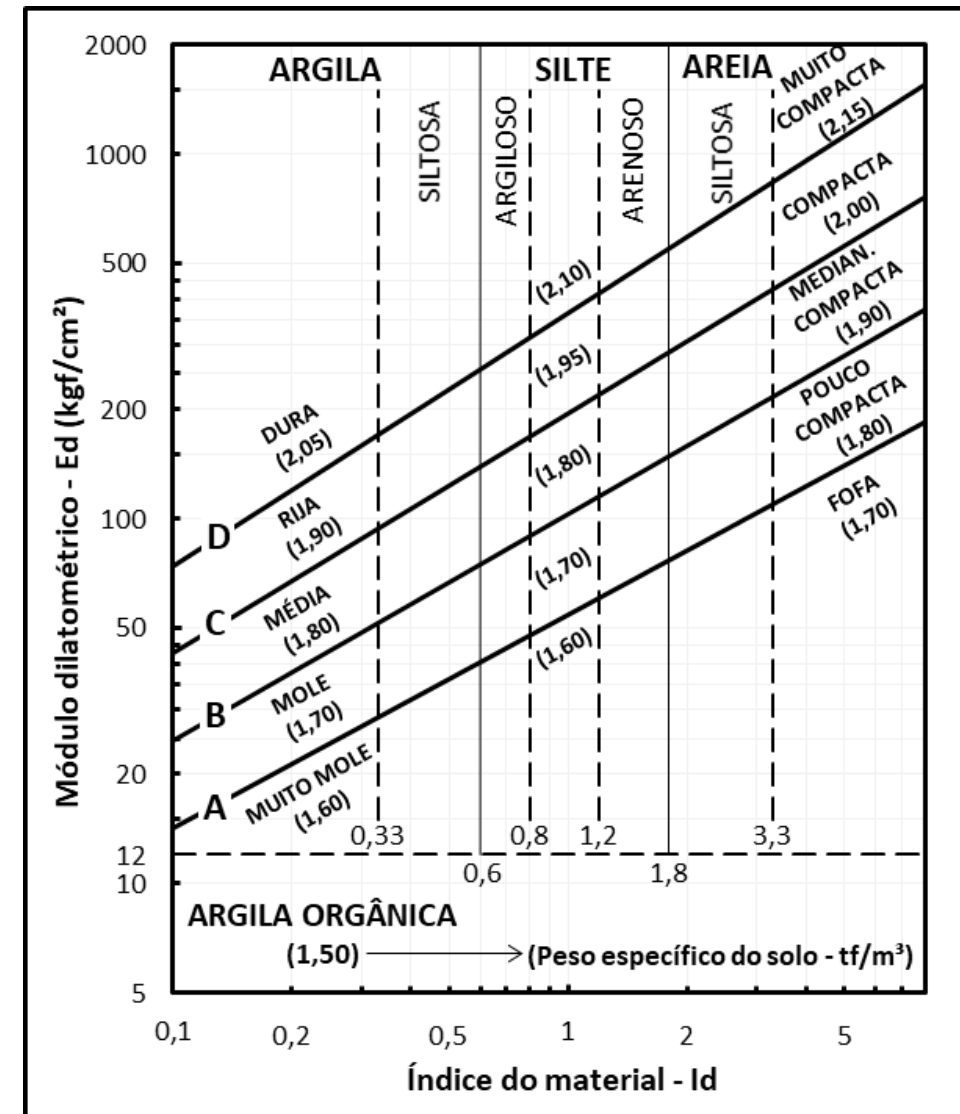
$$E_D = \frac{E}{1 - \mu^2}$$

$$E_D = 34,7 \times (P_1 - P_0)$$

CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Gráfico $I_D \times E_D$ (Marchetti)

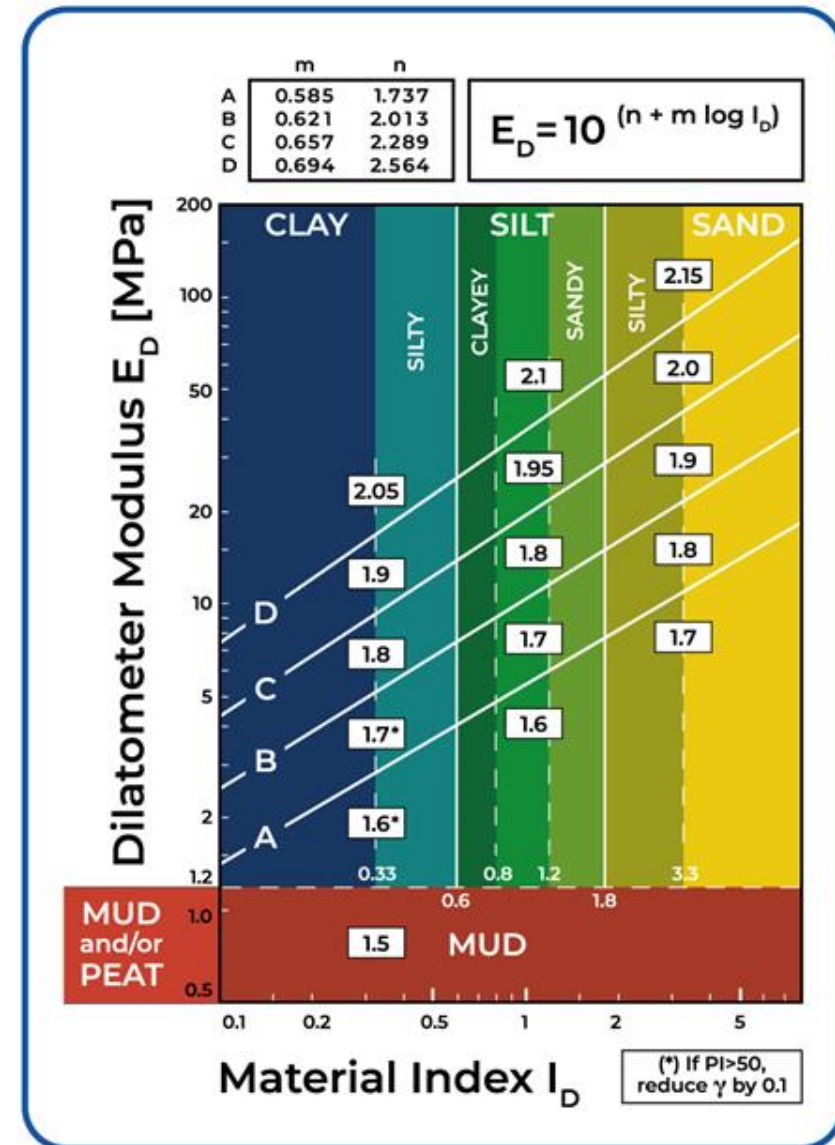
ID X ED – versão do software original



CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Gráfico I_D x E_D (Marchetti)

I_D x E_D – versão do software atual



ÍNDICE DE TENSÃO HORIZONTAL

“K_D”

- Representa a própria definição de “K₀”;
- A introdução da lâmina altera o repouso;
- Identificação do histórico de tensões;
- Em solos sobreadensados K_D > 2,3;
- Índice normalizado com a tensão efetiva.

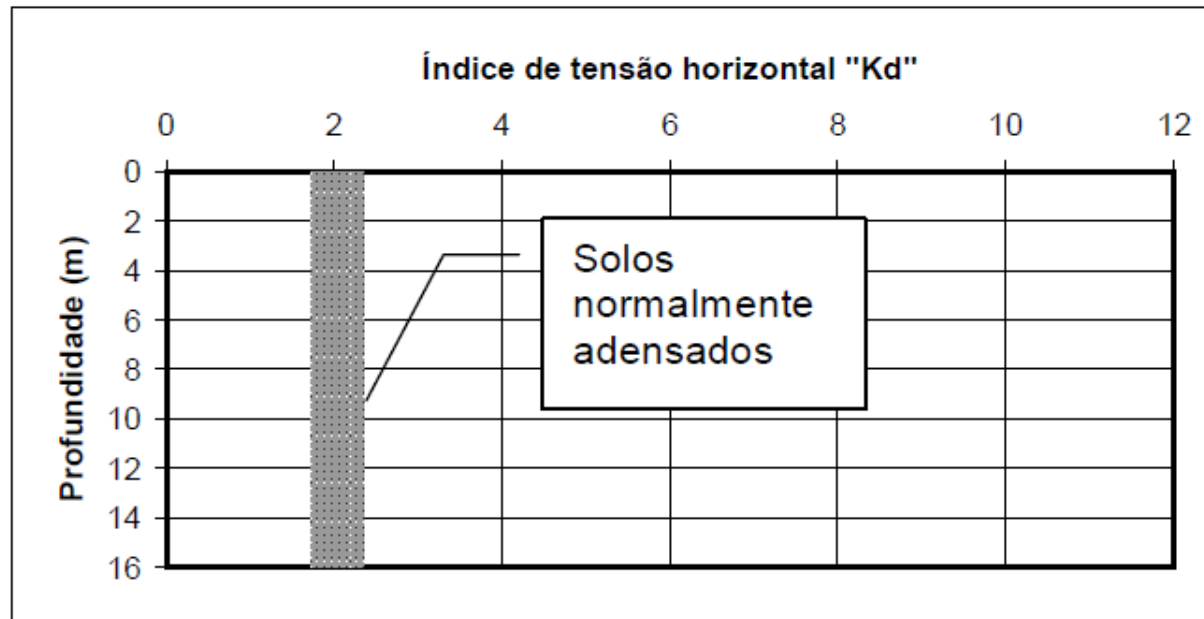
$$K_d = \frac{P_0 - \mu_0}{\sigma'_{v0}}$$

σ'_{v0} : tensão vertical efetiva

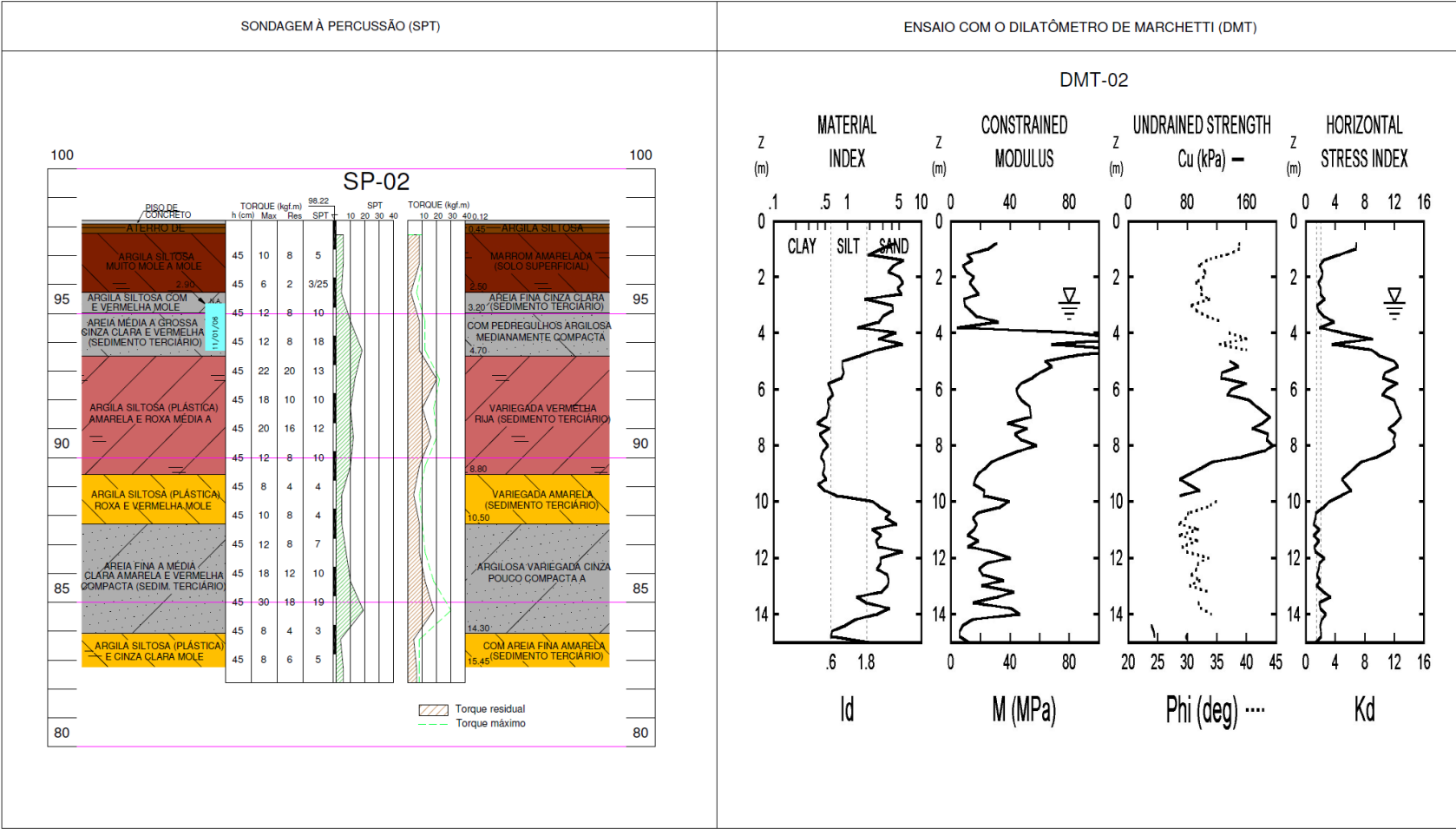
μ_0 : tensão neutra anterior à inserção da lâmina

ÍNDICE DE TENSÃO HORIZONTAL “K_d”

Parâmetro “K_d” na faixa de argilas normalmente adensadas (entre 1,8 e 2,3)



ÍNDICE DE TENSÃO HORIZONTAL “K_D”



PARÂMETROS OBTIDOS POR CORRELAÇÕES

Módulo Edométrico “M”

Resistência não drenada “ S_u ”

Coeficiente de empuxo em repouso “ K_0 ”

Ângulo de atrito efetivo “ ϕ ”

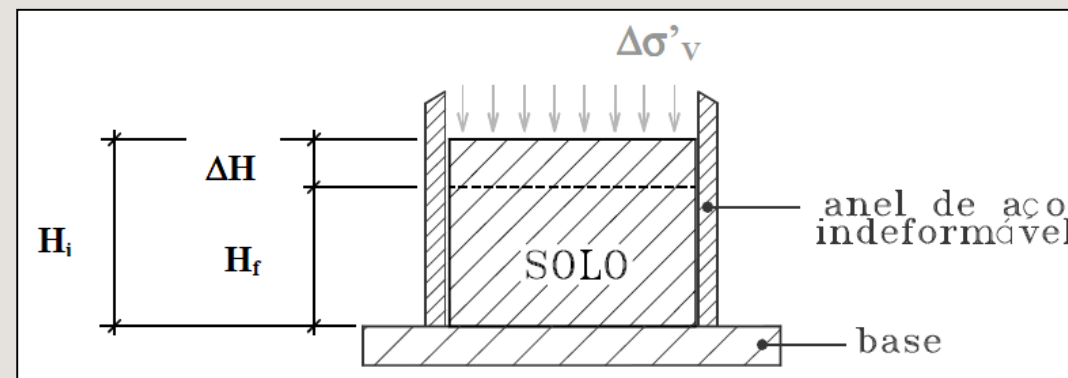
Histórico de tensões “OCR”

PROPRIEDADE	VARIÁVEIS	FORMULAÇÃO	REFERÊNCIA
K_0 (areias)	$f(K_d, \sigma'_v) = f(A, \sigma'_v, u_0, q_d)$	Empírica	Marchetti (1980)
K_0 (argilas)	$f(K_d) = f(A, \sigma'_v, u_0)$	Semi-empírica	Jamiolkowski et al. (1985)
σ'_v (areia)	$f(K_0, \sigma'_v, P) = f(A, \sigma'_v, u_0, q_d)$	Teórica	Jamiolkowski et al. (1985) e Marchetti (1980)
S_u (Argila SA)	$f(K_d, \sigma'_v) = f(A, \sigma'_v, u_0)$	Empírica	Marchetti (1980)
S_u (Argila NA)	$f(p_0) = f(A, u_0)$	Empírica	Marchetti (1980)
$M = 1/m_v$	$f(E_d, I_d) = f(A, B, U_0)$	Semi-empírica	Marchetti (1980)
p_c' (areias)	$f(K_d, \sigma'_v) = f(A, \sigma'_v, u_0, q_d)$	Semi-empírica	Jamiolkowski et al. (1985)
p_c' (argila)	$f(K_d) = f(A, \sigma'_v, u_0)$	Empírica	Marchetti (1980)
E_{25} (areia)	$f(E_d) = f(A, B)$	Semi-empírica	Jamiolkowski et al. (1985)
E (argila)	$f(m, v) = f(A, B, u_0, v)$	Semi-empírica	Marchetti (1980)

MÓDULO EDOMÉTRICO “M”

É a relação entre o acréscimo de tensão efetiva vertical ($\Delta\sigma'_v$) e a deformação axial específica ($\Delta\epsilon_v$) correspondente, em condição de compressão unidimensional (confinada, ou edométrica), obtida em ensaio no anel de adensamento, no laboratório.

$$M = \frac{\Delta\sigma'_v}{\Delta\epsilon_v}$$



MÓDULO EDOMÉTRICO “M”

- Parâmetro de deformabilidade do solo;
- Diretamente relacionado ao valor de E_D ;
- Coeficientes de correlação – I_D e K_D .

$$M = R_M \times E_D$$

TABELA RESUMO DAS EXPRESSÕES DA CORRELAÇÃO “M” EM FUNÇÃO DE “ I_d ” E “ K_d ”		
TIPO DE SOLO	VALORES DE “ I_d ”	FATOR DA PROPORÇÃO “ R_M ” $R_M = \frac{M}{E_d}$
argilas puras e argilas siltosas	$I_d \leq 0,6$	$R_M = 0,14 + 2,36 \cdot \log K_d$
siltos argilosos siltos puros siltos arenosos e areias siltosas	$0,6 < I_d < 3,0$	$R_M = R_{M,0} + (2,5 - R_{M,0}) \cdot \log K_d$ onde $R_{M,0} = 0,14 + 0,15 (I_d - 0,6)$
areias puras	$I_d \geq 3$	$R_M = 0,50 + 2 \cdot \log K_d$
CASOS ESPECIAIS		
Para $K_d > 10$ adotar $R_M = 0,32 \cdot 2,18 \cdot \log K_d$		
Para $R_M < 0,85$ adotar $R_M = 0,85$		

RESISTÊNCIA NÃO DRENADA “ S_U ”

Nos solos finos, com $I_D < 1,2$, é recomendado considerar a seguinte relação:

$$S_U = 0,22 \times \Delta\sigma'_{V0} \times (0,5 \times K_d)$$

COEFICIENTE DE EMPUXO EM REPOUSO

Com base no valor do índice de tensão horizontal (K_D), o Prof. Ing. Silvano Marchetti, desenvolveu uma correlação baseada na comparação com ensaios laboratoriais, que permite, em solos de $I_D < 1,2$ (argilas, argilas siltosas e siltes), avaliar esse coeficiente pela expressão abaixo:

$$K_0 = \left(\frac{K_D}{1,5} \right)^{0,47} - 0,60$$

Essa expressão, conforme mencionado acima, só pode ser utilizada em solos de granulação fina, argilas puras, argilas siltosas e siltes puros ($I_D < 1,2$).

HISTÓRICO DE TENSÕES

Para solos finos (argilas puras, argilas siltosas e siltes puros) ($I_D < 1,2$), o Prof. Ing. Silvano Marchetti desenvolveu uma expressão que permite avaliar a razão de sobreadensamento “RSA” OU “OCR” (overconsolidation ratio) baseada no índice de tensão horizontal (K_D).

$$\text{OCR} = (0,50 \times K_D)^{1,56}$$

Nessa expressão, considerando o valor $K_D = 2,0$, resultará em $\text{RSA} = \text{OCR} = 1,0$, o que indicaria um solo normalmente adensado.

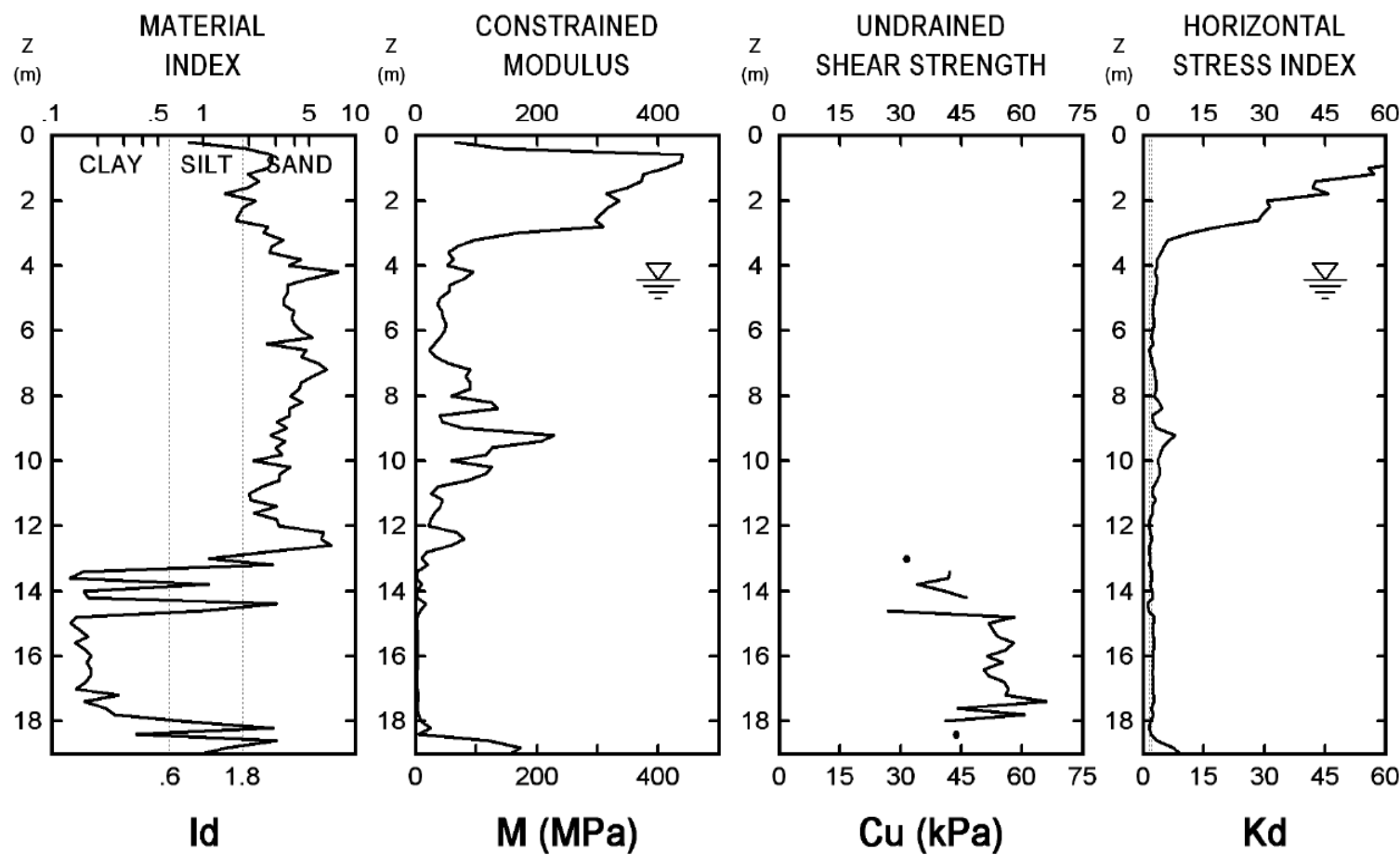
ÂNGULO DE ATRITO DE AREIAS

A partir do trabalho de Campanella e Robertson, o Prof. Silvano Marchetti, recomenda a seguinte expressão de cálculo, para a avaliação do ângulo de atrito efetivo ϕ' .

$$\phi' = (28^\circ) + (14,6 \times \log K_D) - (2,1^\circ \times \log^2 K_D)$$

Essa expressão deve ser usada, apenas, para a faixa de valores de $I_D > 1,8$, que correspondente as areias siltosas e às areias puras.

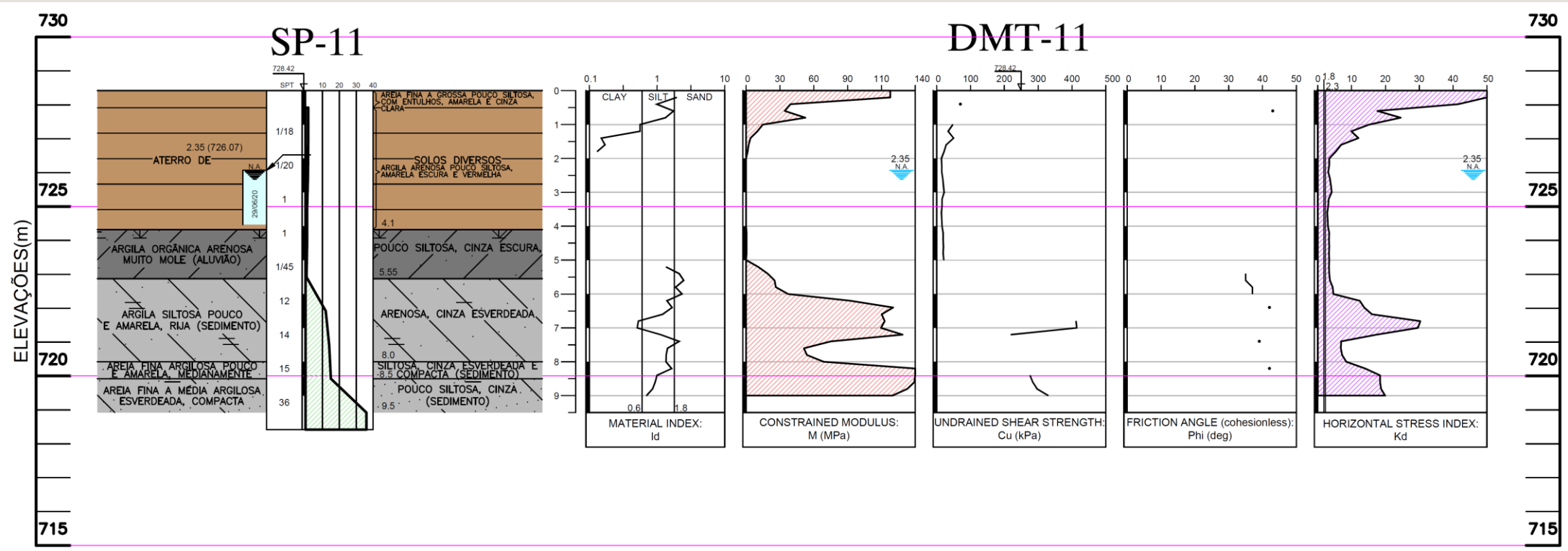
APRESENTAÇÃO TÍPICA DOS RESULTADOS



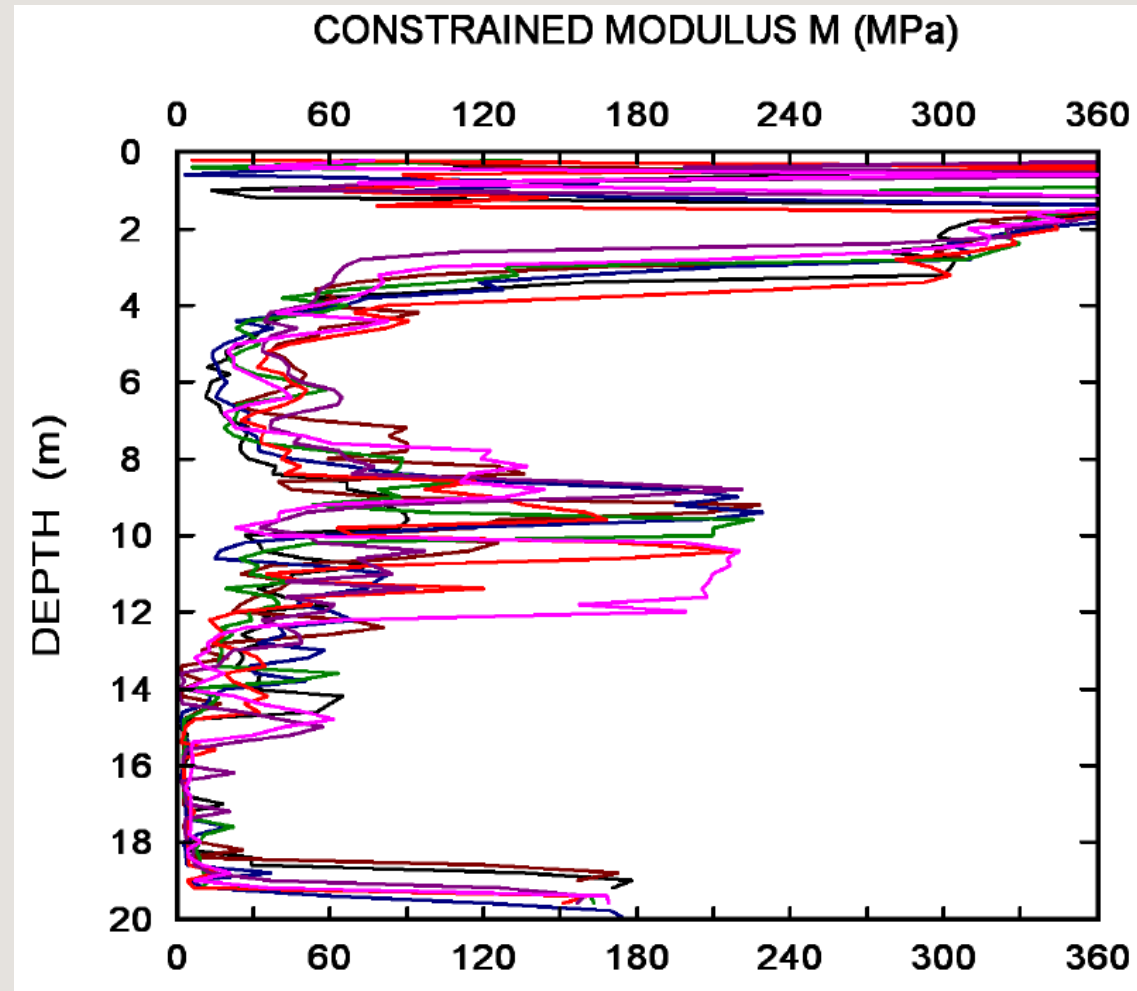
APRESENTAÇÃO TÍPICA DOS RESULTADOS

Z (m)	A (kPa)	B (kPa)	C (kPa)	Po (kPa)	P1 (kPa)	P2 (kPa)	Gamma (kN/m ³)	Sigma' (kPa)	Uo (kPa)	Id	Kd	Ed (MPa)	Ud	Ko	Ocr	Phi (Deg)	M (MPa)	Cu (kPa)	DMT-101 DESCRIPTION
0.2	20	60		36	15		13.7	3	0		10.6			1.9	13.5			6	MUD AND/OR FEAT
0.4	530	1250		512	1205		19.1	6	0	1.35	83.3	24.0					108.4		SANDY SILT
0.6	1300	2900		1238	2855		20.6	10	0	1.31	>99.9	56.1					262.5		SANDY SILT
0.8	850	1600		830	1555		19.1	14	0	0.87	58.9	25.1		5.0	>99.9		105.1	213	SILT
1.0	160	370		168	325		16.7	18	0	0.94	9.3	5.5		1.8	11.1		13.3	27	SILT
1.2	170	600		167	555		17.7	21	0	2.33	7.8	13.5				39	30.7		SILTY SAND
1.4	860	3800		731	3755		21.1	25	0	4.14	29.5	104.9				45	369.8		SAND
1.6	1300	4000		1183	3955		21.1	29	0	2.34	40.8	96.2				46	368.5		SILTY SAND
1.8	950	3550		838	3505		21.1	33	0	3.18	25.2	92.5				44	312.4		SILTY SAND
2.0	960	3550		848	3505		21.1	37	0	3.13	22.7	92.2				44	301.9		SILTY SAND
2.2	1000	3600		888	3555		21.1	42	0	3.00	21.3	92.5				44	297.7		SILTY SAND
2.4	1050	3800		930	3755		21.1	46	0	3.04	20.3	98.0				43	310.6		SILTY SAND
2.6	1900	4000		1813	3955		20.6	50	0	1.18	36.2	74.3		3.9	91.8		276.3	411	SILT
2.8	1450	4000		1341	3955		21.1	54	0	1.95	24.7	90.7				44	304.6		SILTY SAND
3.0	1350	4000		1236	3955		21.1	58	0	2.20	21.1	94.4				44	302.8		SILTY SAND
3.2	1250	4000		1131	3955		21.1	63	0	2.50	18.0	98.0				43	299.8		SILTY SAND
3.4	720	2550		646	2505		19.6	67	0	2.87	9.7	64.5				40	159.3		SILTY SAND
3.6	610	2050		556	2005		19.6	71	0	2.61	7.9	50.3				39	114.8		SILTY SAND
3.8	300	1300		268	1255		18.6	75	0	3.68	3.6	34.2				35	55.1		SAND
4.0	350	1450		313	1405		18.6	78	0	3.49	4.0	37.9				36	64.5		SAND
4.2	280	1200		252	1155		18.6	82	0	3.58	3.1	31.3				35	46.2		SAND
4.4	230	1100		205	1055		18.6	86	0	4.16	2.4	29.5				33	37.0		SAND
4.6	200	1150		171	1105		18.6	89	1	5.51	1.9	32.4				32	34.5		SAND
4.8	200	1050		176	1005		18.6	90	3	4.81	1.9	28.8				32	30.6		SAND
5.0	190	960		170	915		17.7	92	5	4.53	1.8	25.9				32	26.0		SAND
5.2	170	810		156	765		17.7	94	7	4.08	1.6	21.1				31	19.1		SAND
5.4	180	830		166	785		17.7	95	9	3.95	1.6	21.5				31	20.0		SAND
5.6	160	610		156	565		17.7	97	11	2.83	1.5	14.2				30	12.1		SILTY SAND
5.8	180	890		163	845		17.7	98	13	4.56	1.5	23.7				31	20.5		SAND
6.0	150	640		144	595		17.7	100	15	3.51	1.3	15.7				30	13.3		SAND
6.2	150	610		145	565		17.7	102	17	3.27	1.3	14.6				29	12.4		SILTY SAND
6.4	150	570		147	525		17.7	103	19	2.94	1.2	13.1				29	11.1		SILTY SAND
6.6	180	770		169	725		17.7	105	21	3.76	1.4	19.3				30	16.4		SAND
6.8	200	800		188	755		17.7	106	23	3.43	1.6	19.7				31	17.4		SAND
7.0	200	940		181	895		17.7	108	25	4.56	1.5	24.8				30	21.1		SAND
7.2	240	1100		215	1055		18.6	109	26	4.46	1.7	29.1				31	28.3		SAND
7.4	250	1050		228	1005		18.6	111	28	3.89	1.8	27.0				32	27.2		SAND

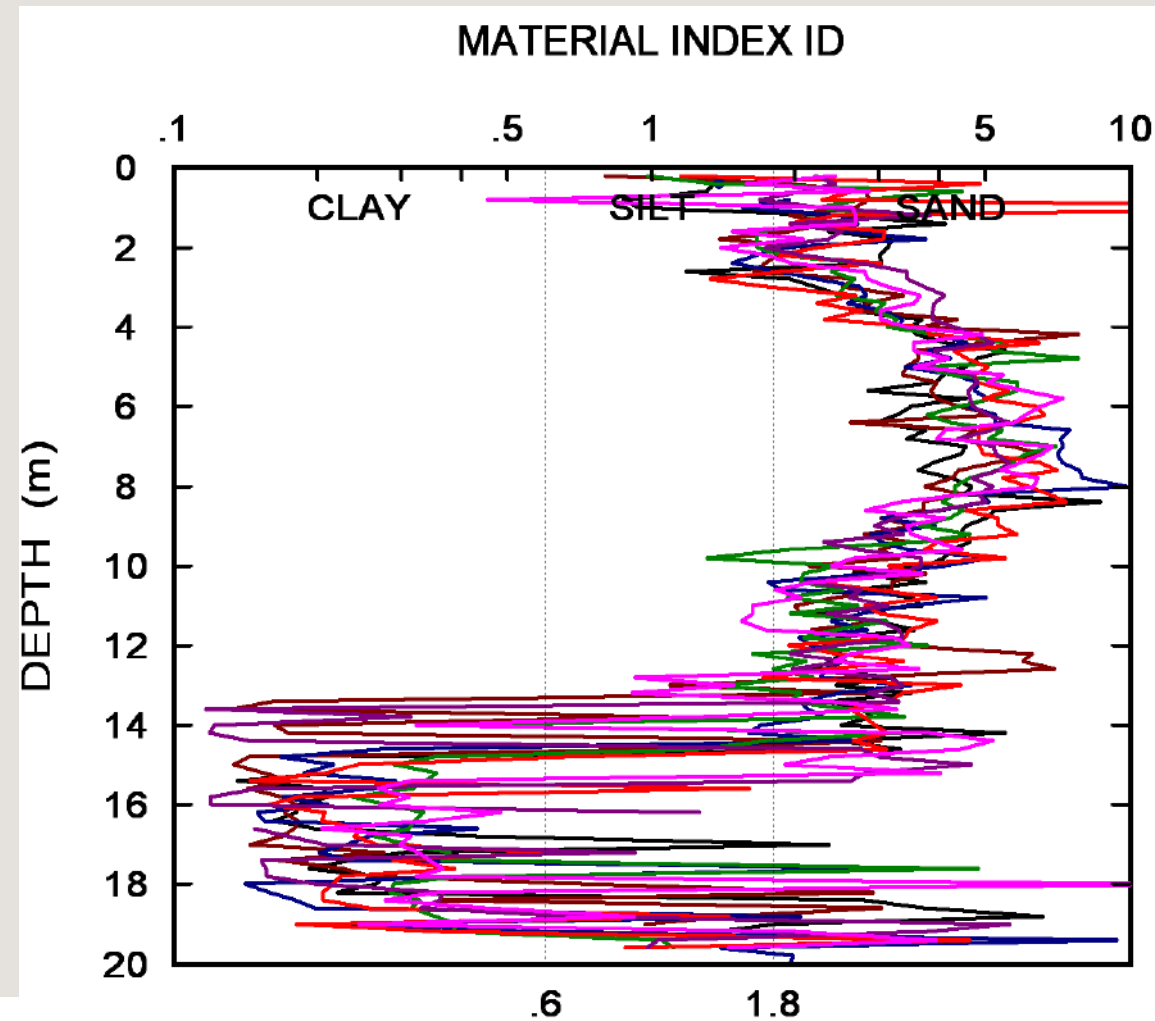
APRESENTAÇÃO CONJUNTA COM SPT



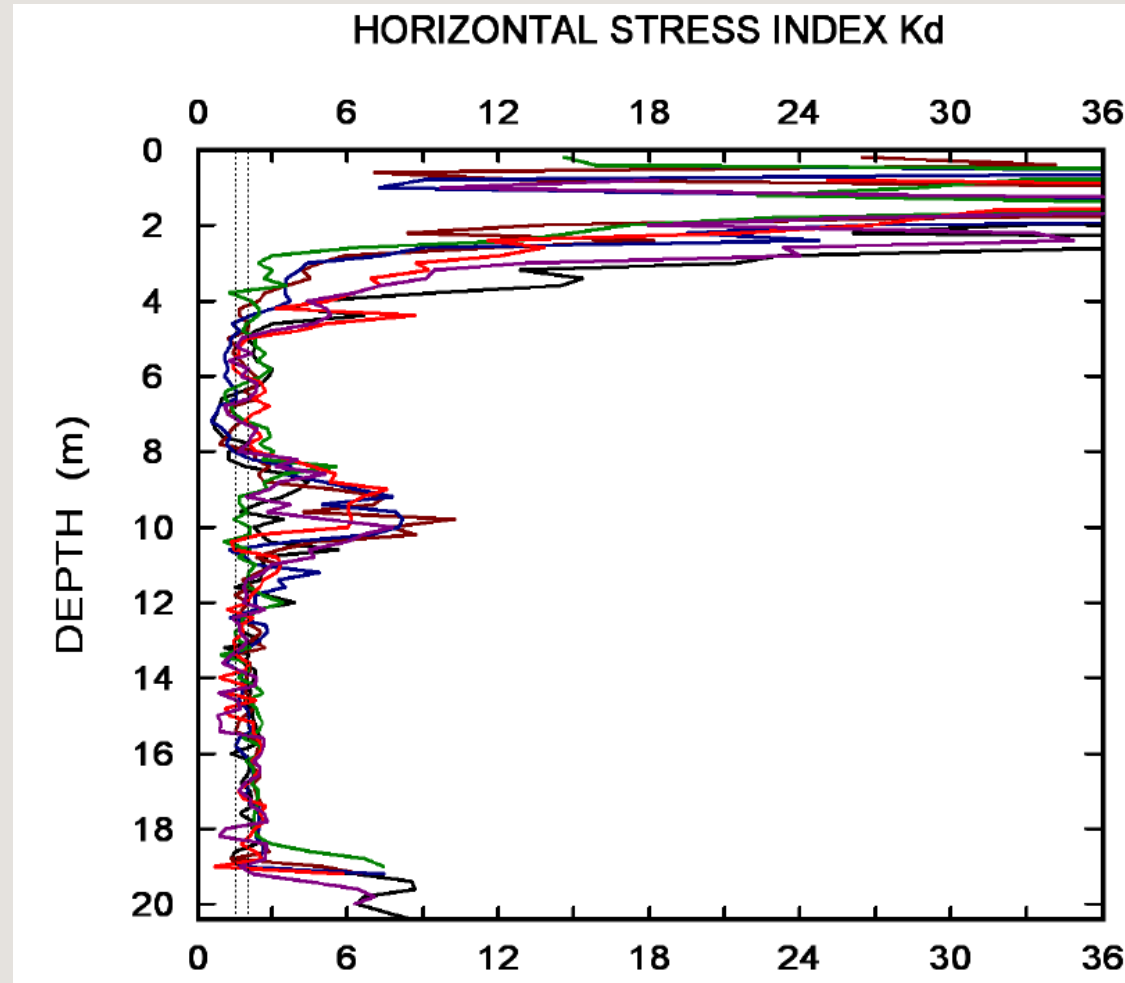
REPETITIVIDADE DE RESULTADOS - MÓDULO "M"



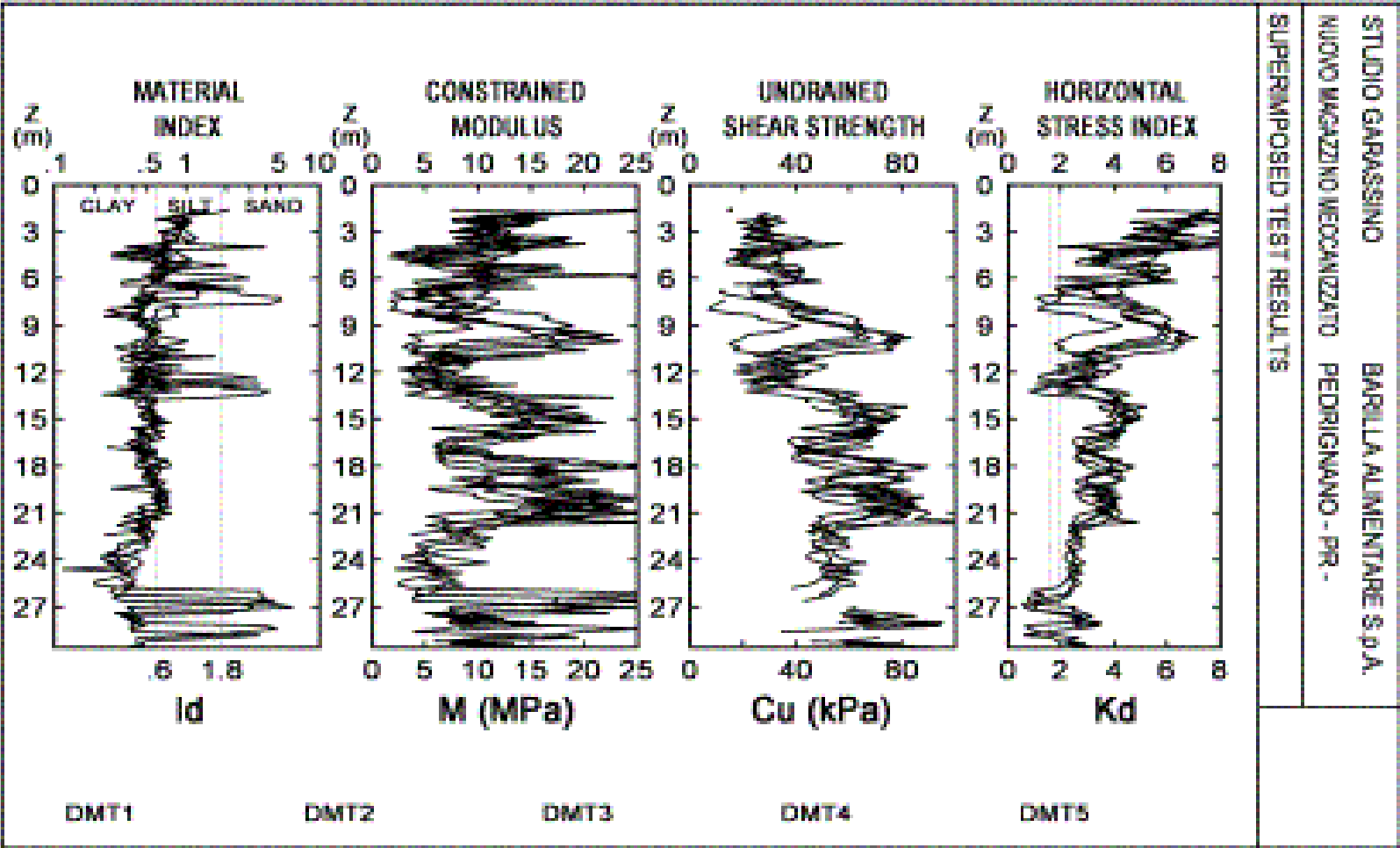
REPETITIVIDADE DE RESULTADOS - I_D



REPETITIVIDADE DE RESULTADOS - K_D



REPETITIVIDADE DE RESULTADOS



MÓDULO SÍSMICO (SDMT)

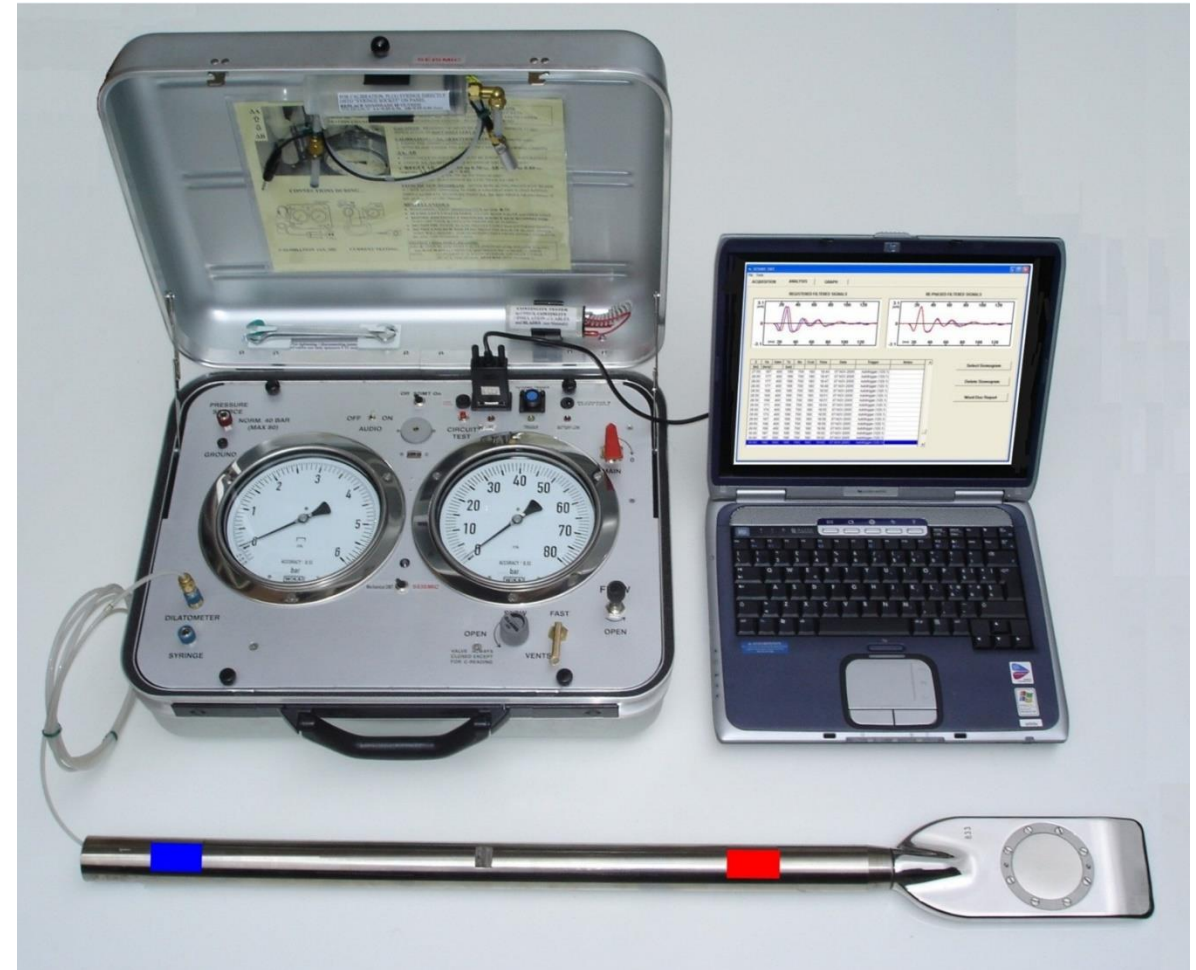
DMT SÍSMICO (SMDT)

Módulo complementar

Combinado com o DMT

2 sensores na primeira haste

Velocidade da onda de cisalhamento (V_s)



DMT SÍSMICO (SMDT)

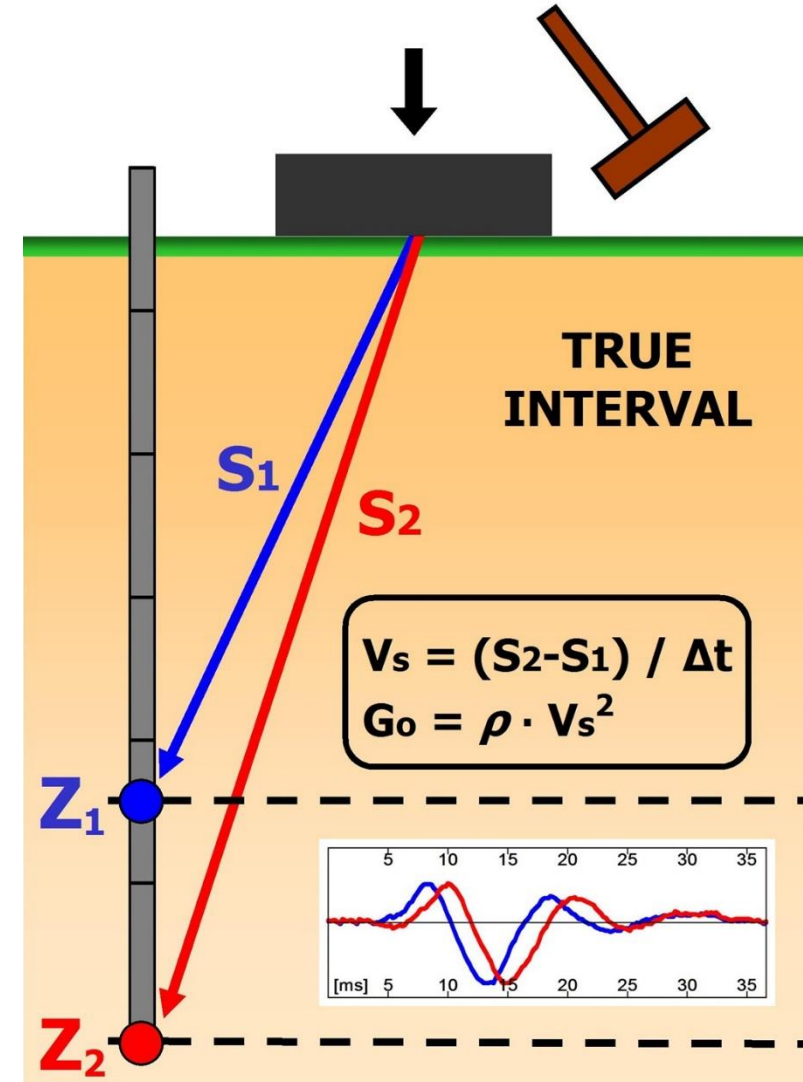
Módulo complementar

Combinado com o DMT

2 sensores na primeira haste

Velocidade da onda de cisalhamento (V_s)

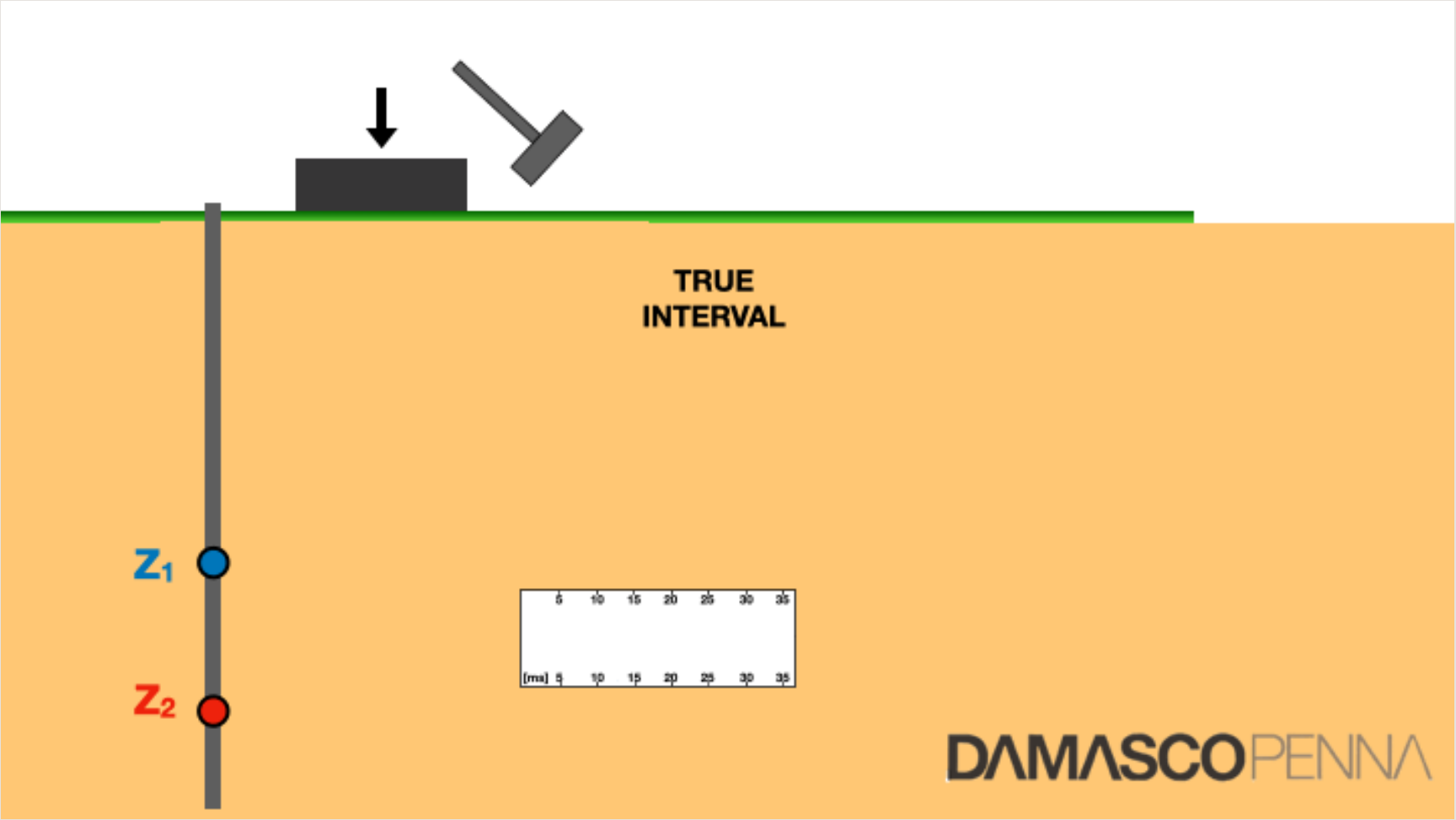
Módulo cisalhante a pequenas deformações (G_0)



PLACA METÁLICA E MARTELO



EXECUÇÃO DO ENSAIO SDMT



DAMASCO PENNA

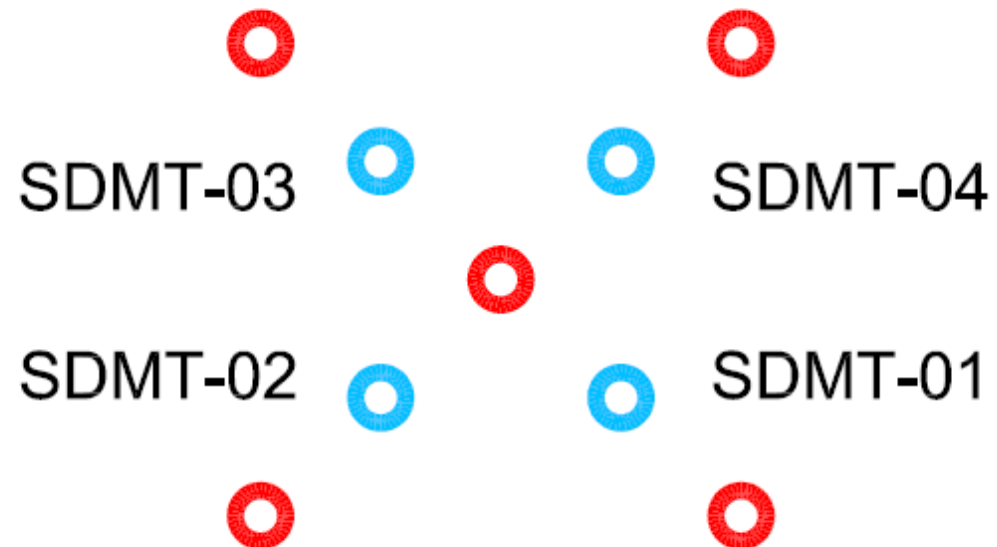
ENSAIO SDMT PARA AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO “Go”



SDMT - Dilatômetro de Marchetti com módulo sísmico

Edifício Carmel- Santo André

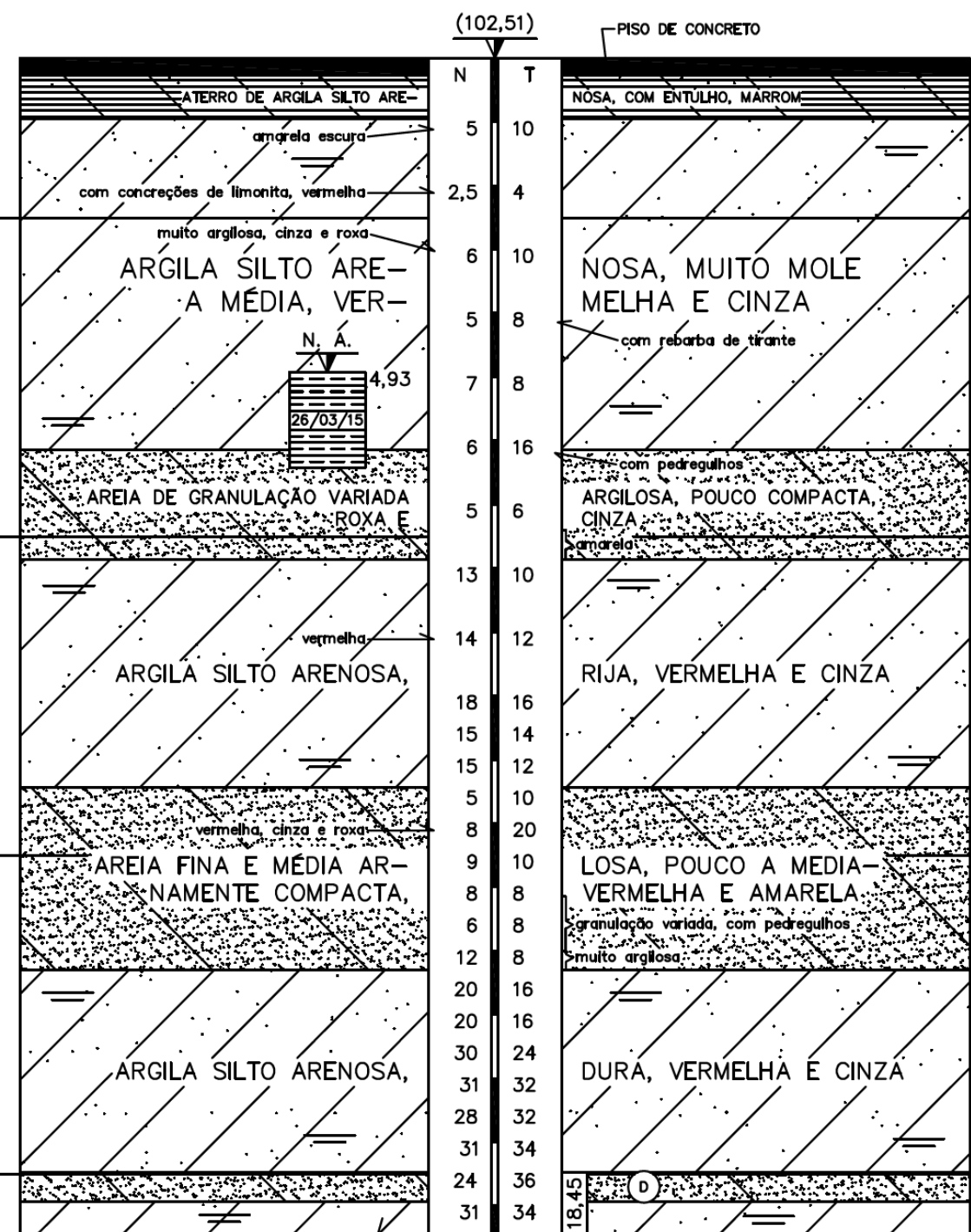
Ensaios SDMT e Crosshole

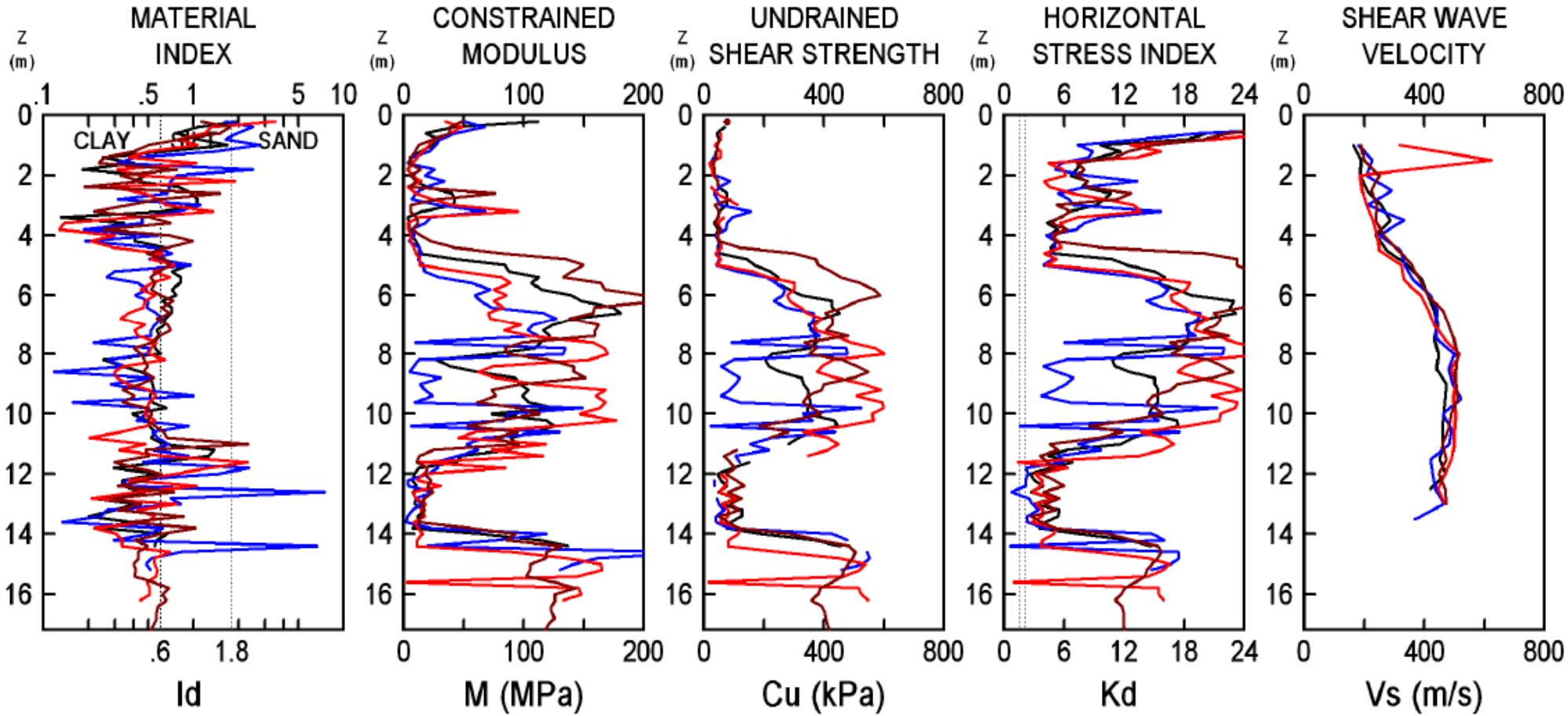


CONVENÇÕES

- SDMT
- CROSS HOLE

Sondagem



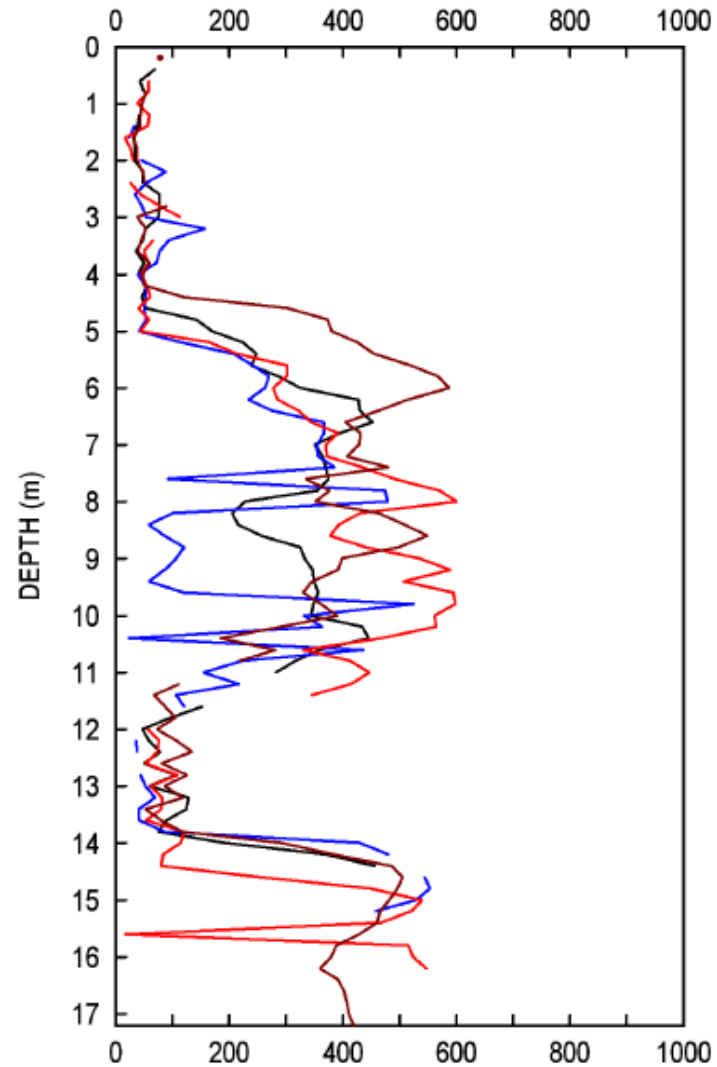


— SDMT - 01 — SDMT - 02 — SDMT - 03 — SDMT - 04

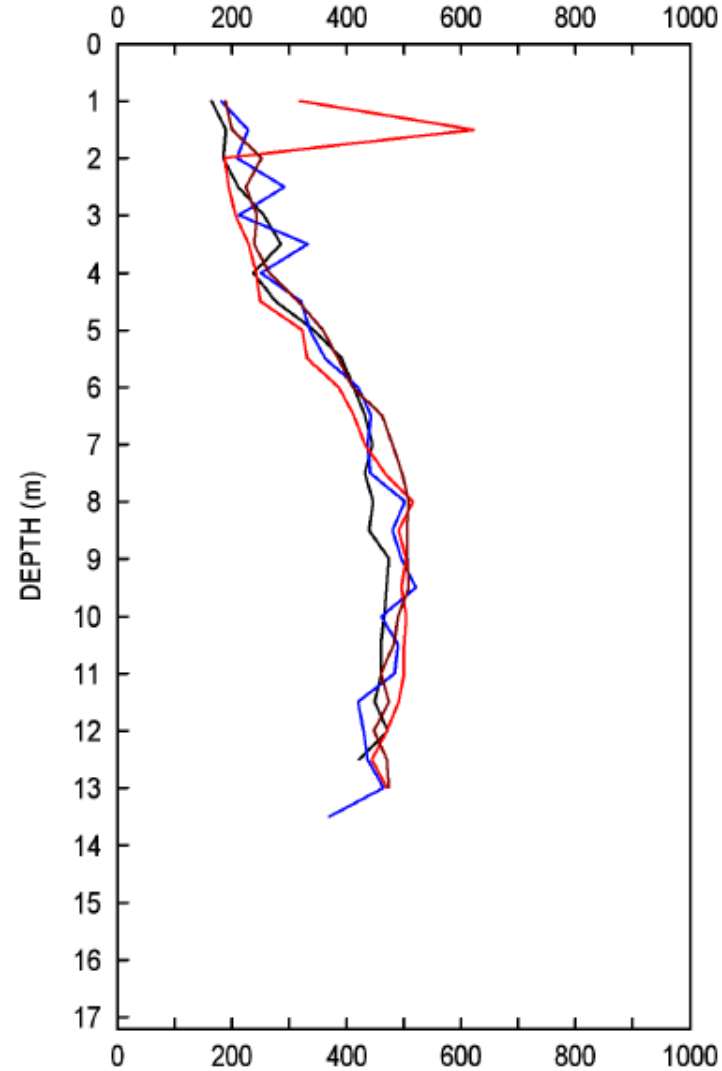
**Resultados
SDMT**

Resultados SDMT

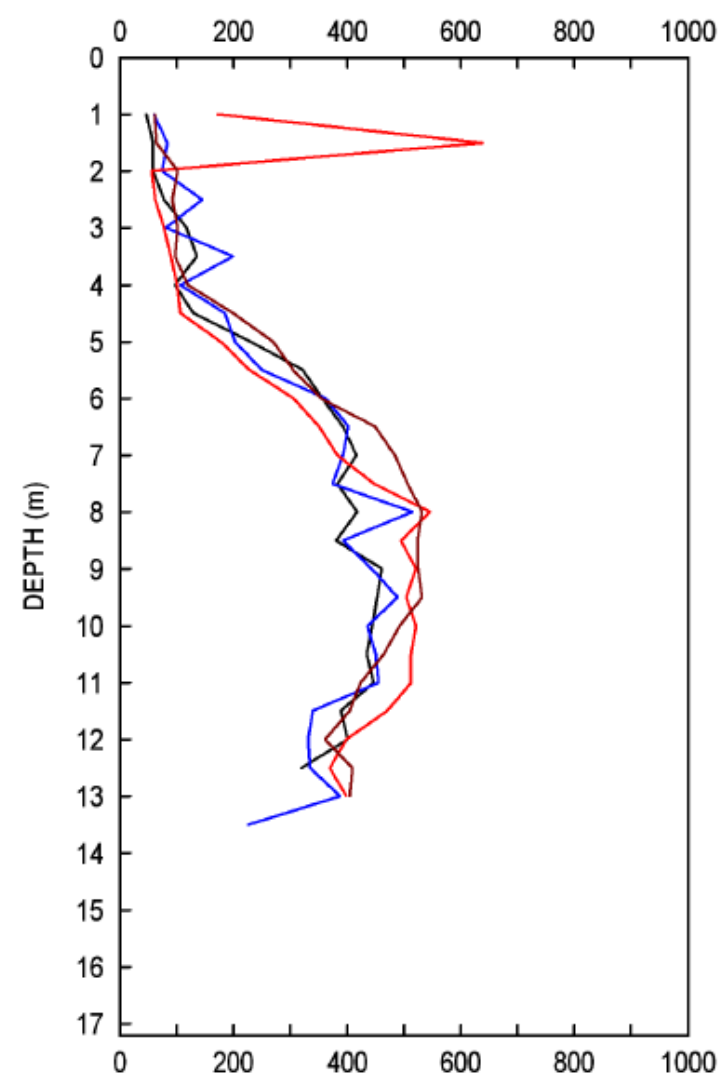
UNDRAINED SHEAR STRENGTH: C_u (kPa)



SHEAR WAVE VELOCITY: V_s (m/s)

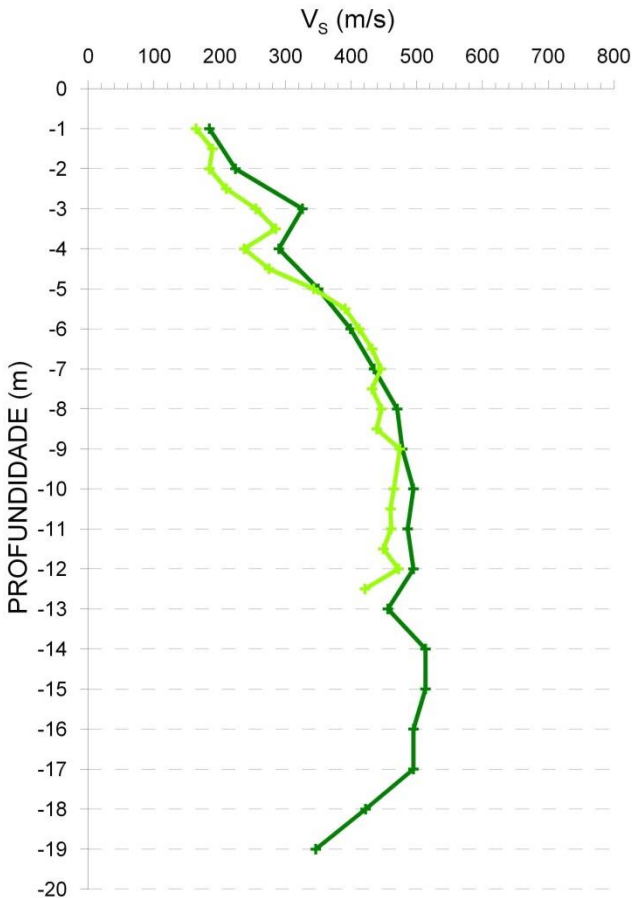


MAX SHEAR MODULUS: G_o (MPa)



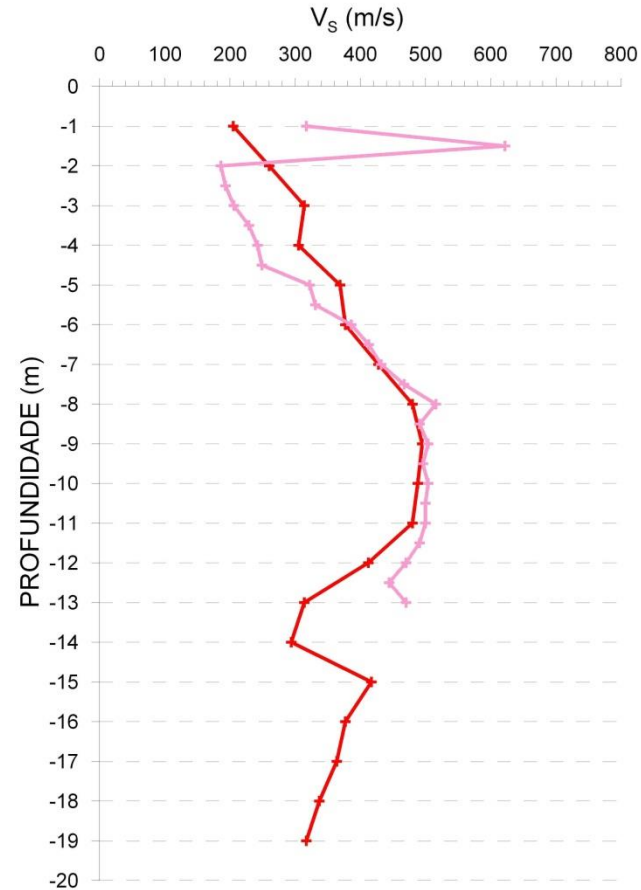
Comparações SDMT x Crosshole

ENSAIO CROSSHOLE 1
& ENSAIO SDMT 1



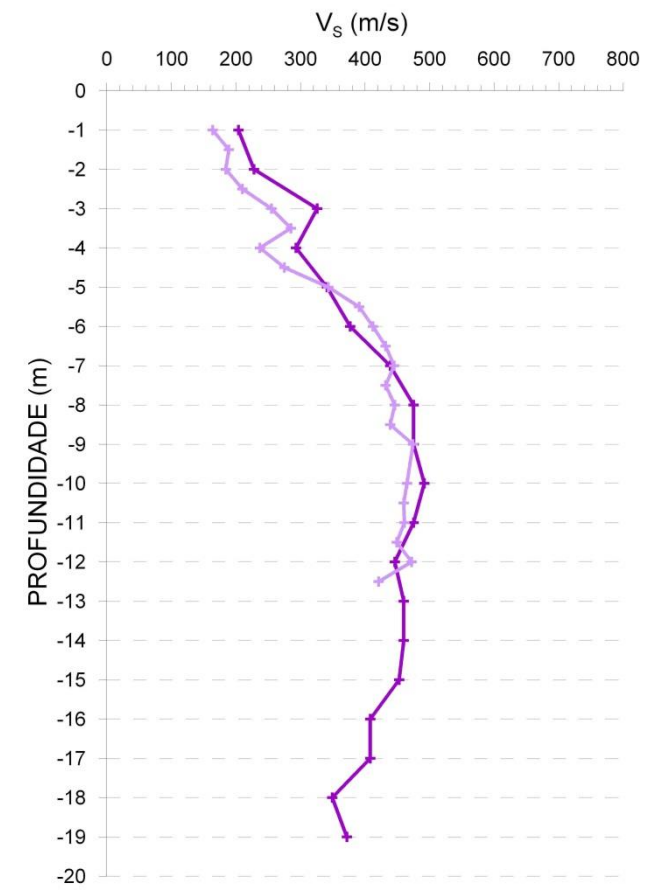
CROSSHOLE 1
SDMT 1

ENSAIO CROSSHOLE 3
& ENSAIO SDMT 3



CROSSHOLE 3
SDMT 3

ENSAIO CROSSHOLE 4
& ENSAIO SDMT 4



CROSSHOLE 4
SDMT 4

CONCLUSÕES e LIMITAÇÕES

- Os valores de “Vs” obtidos nos ensaios **SDMT** se correlacionam muito bem com os medidos nos ensaios **Crosshole**;
- A execução de ensaios **SDMT** é mais rápida e menos onerosa do que a dos ensaios **Crosshole**;
- A capacidade de penetração da ponteira **SDMT** no terreno é limitada pela eventual ocorrência de solo muito resistente, enquanto os ensaios **Crosshole** podem avançar sem limite com sonda rotativa. Caso seja necessário, o ensaio **SDMT** também pode ser realizado em pré-furo aberto com rotativa e preenchido com pedrisco.

APLICAÇÃO PRÁTICA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA COMPACTAÇÃO DE ATERROS

AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DE ATERROS

Gráfico I_d x E_d (Marchetti)

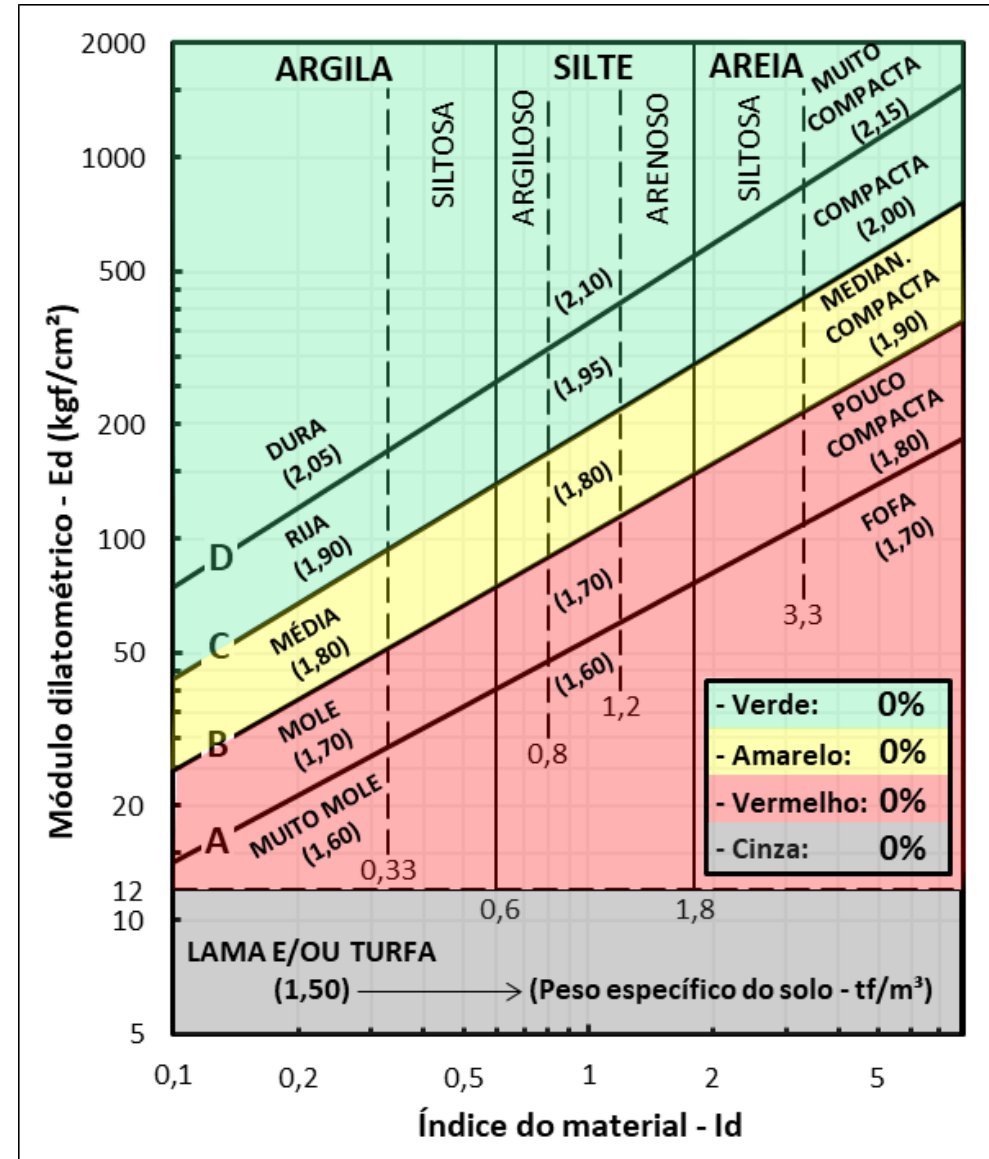
Plotados pontos I_D x E_D

Área verde: adequado

Área amarela: mediano

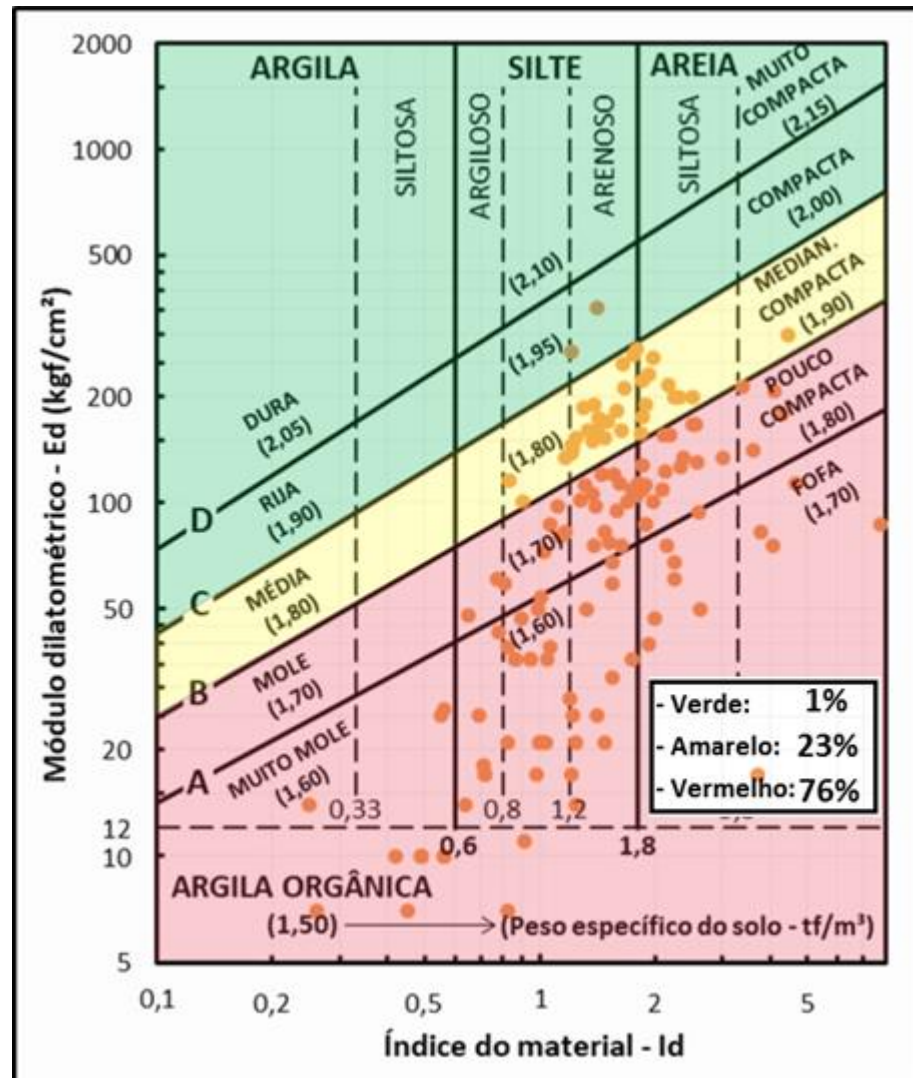
Área vermelha: inadequado

Área cinza: inadequado



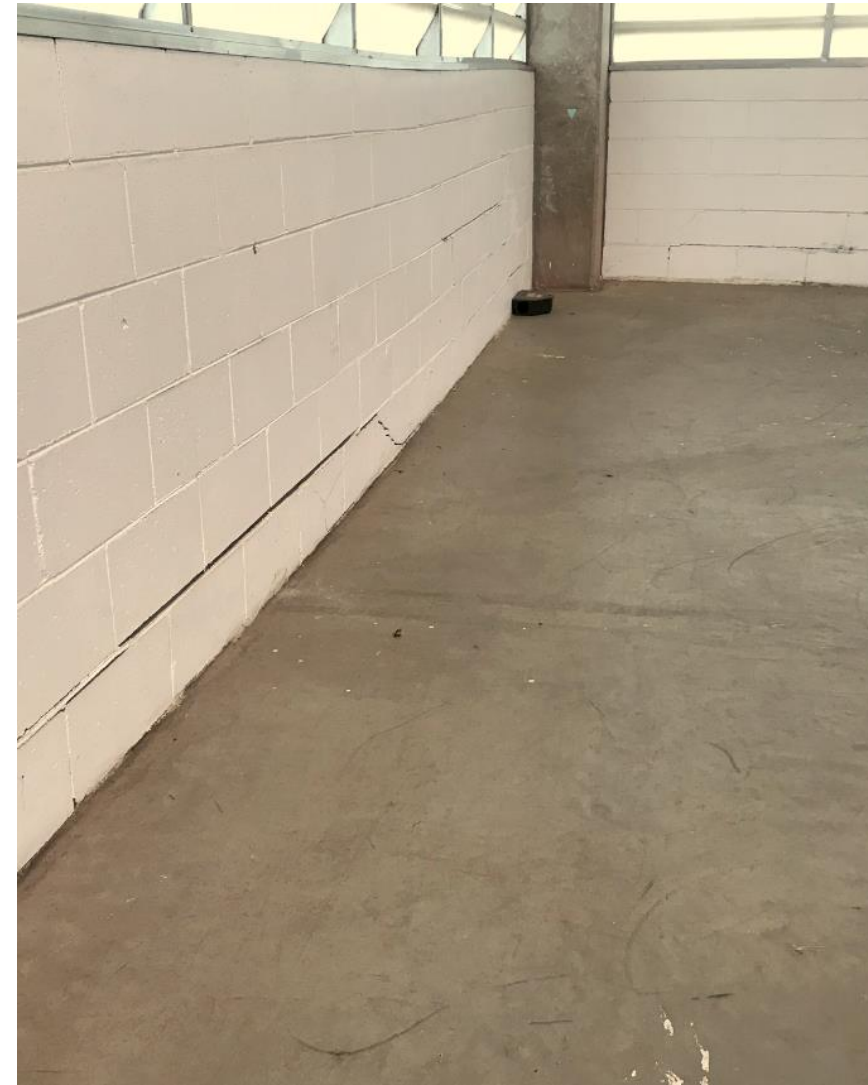
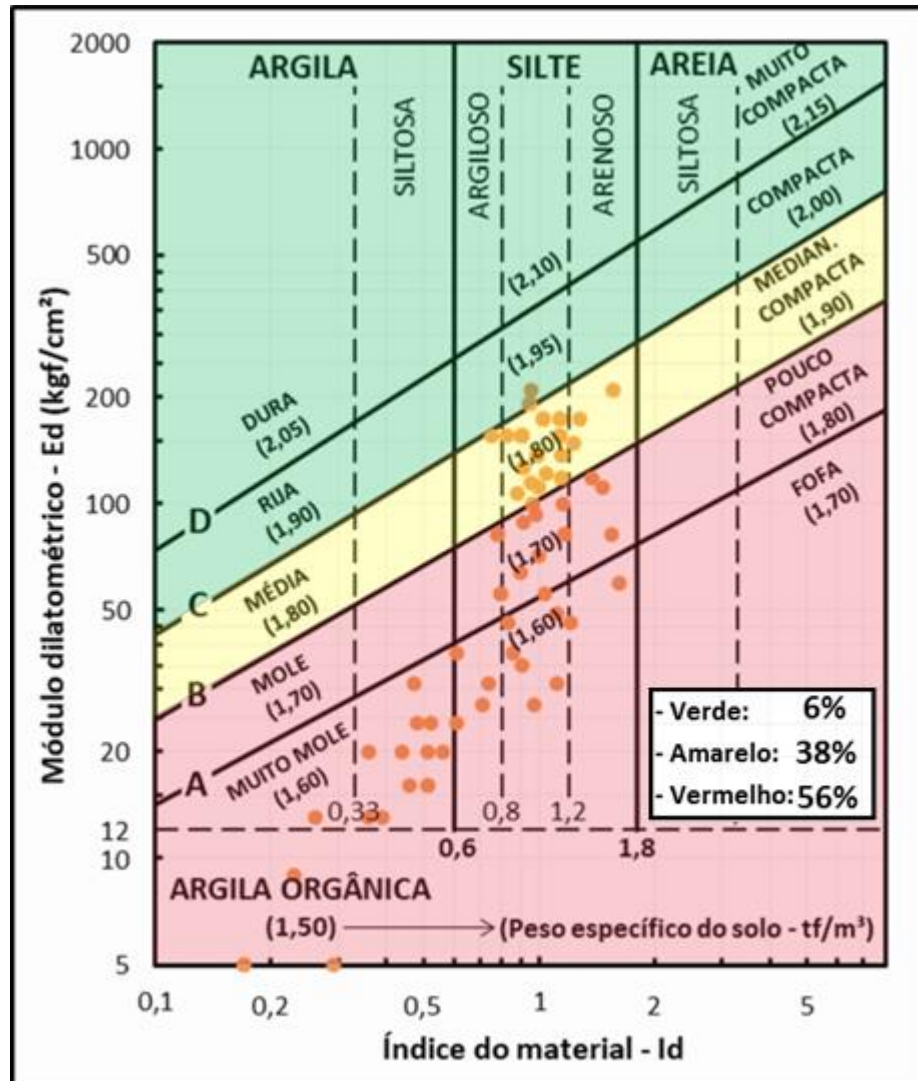
EMBU DAS ARTES – SP

(Controle de compactação inadequado)



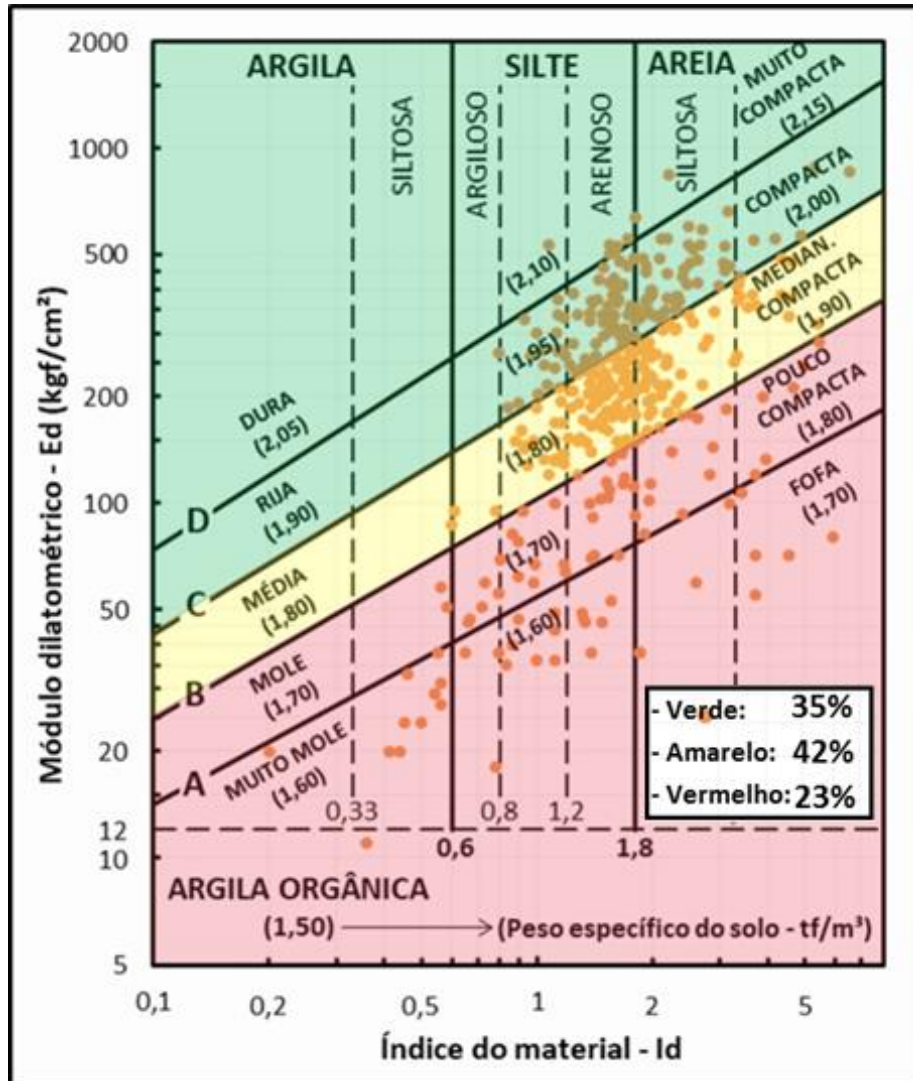
CAUCAIA DO ALTO – SP

(Controle de compactação inadequado)



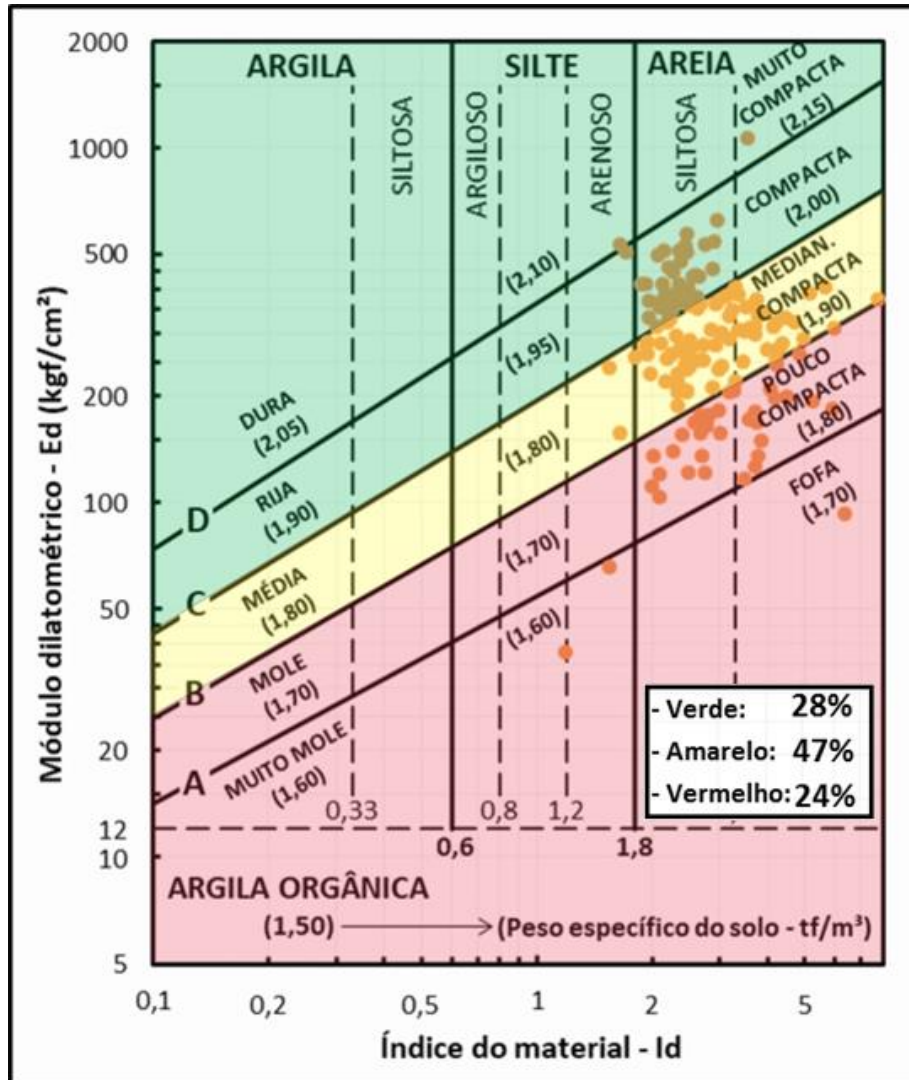
CAJAMAR – SP

(Controle de compactação inadequado)



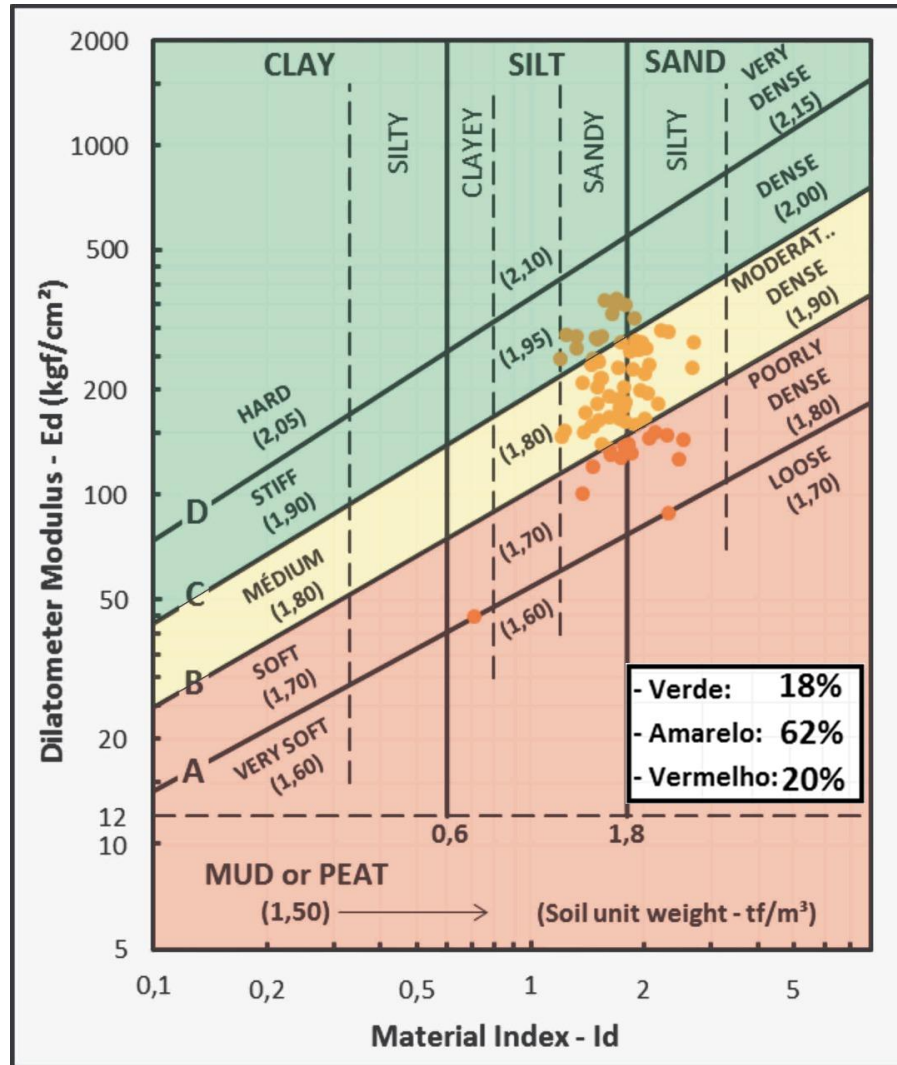
ITAPEVI – SP

(Controle de compactação inadequado)



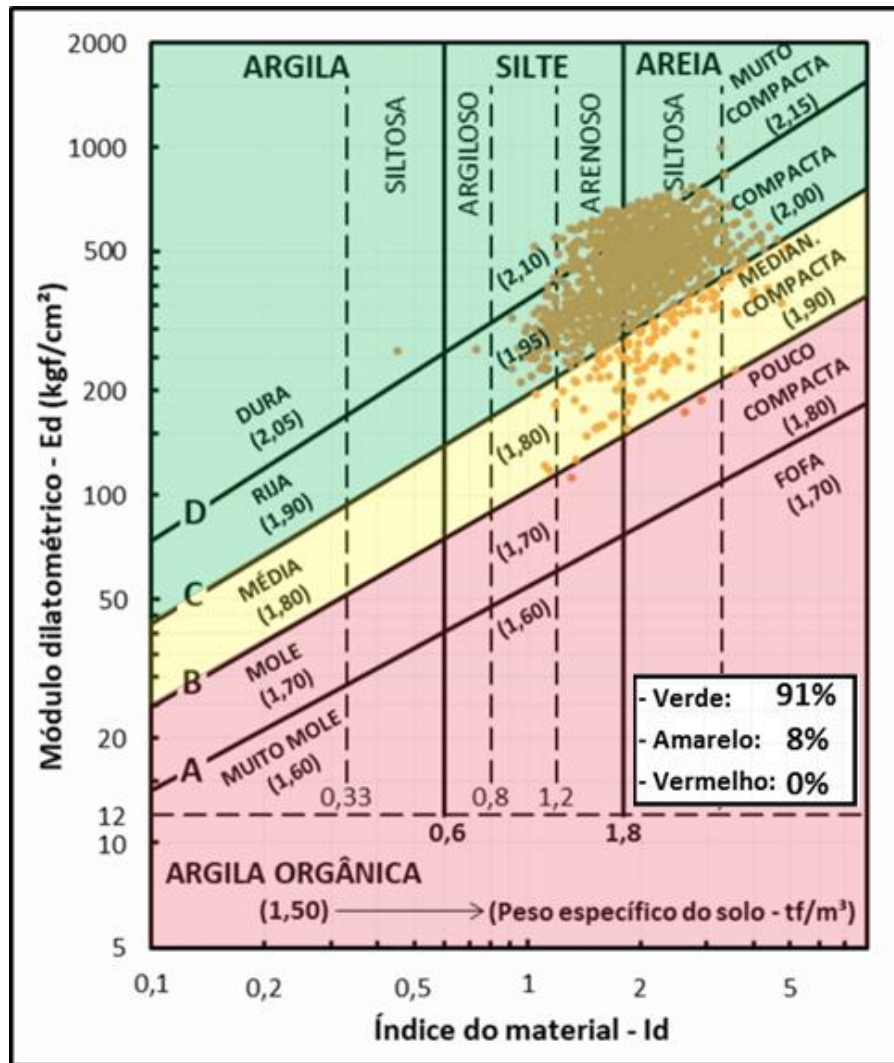
SANTANA DE PARNAÍBA – SP

(Controle de compactação inadequado)



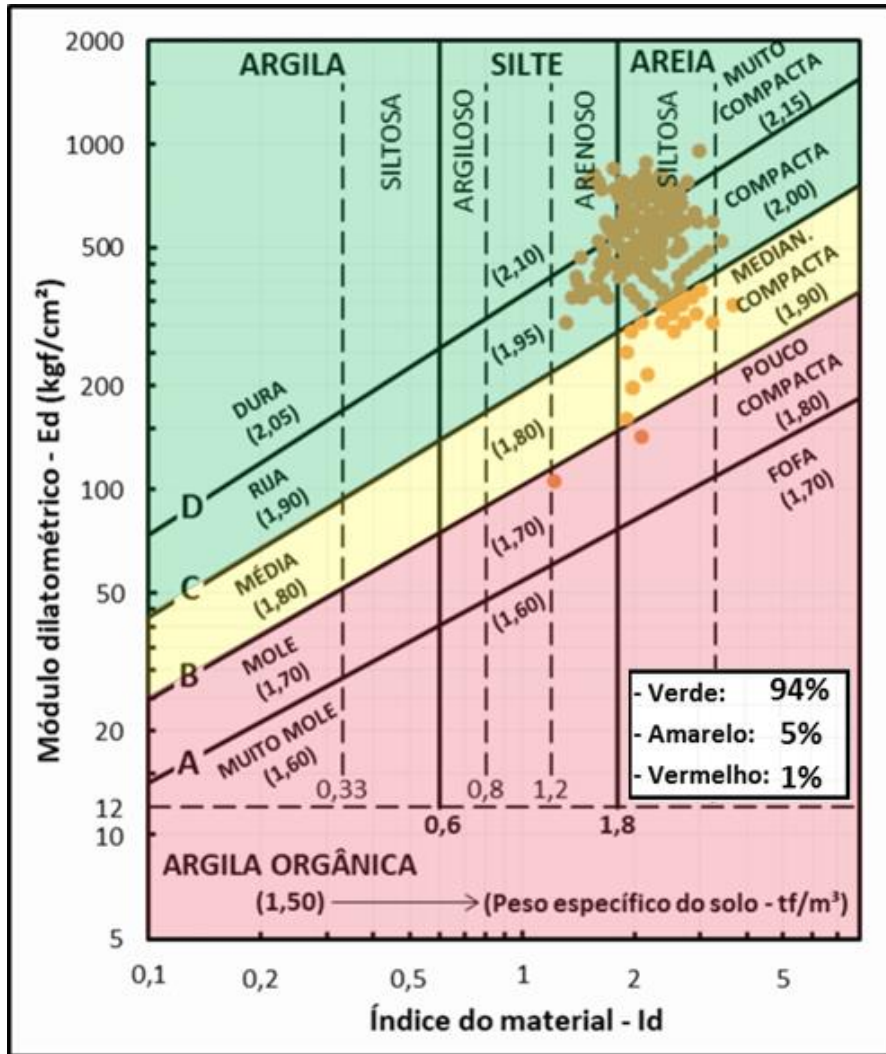
CAJAMAR – SP

(Controle de compactação adequado)



CAJAMAR – SP

(Controle de compactação adequado)



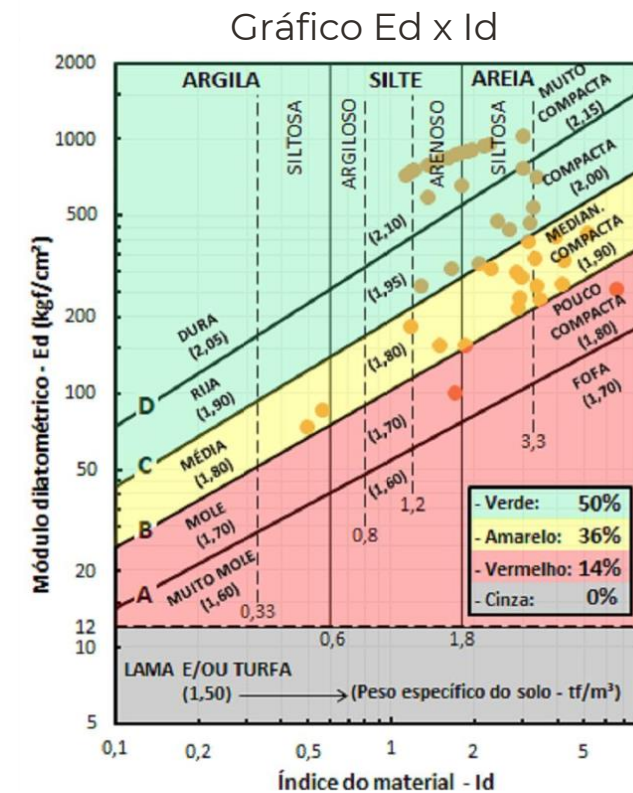
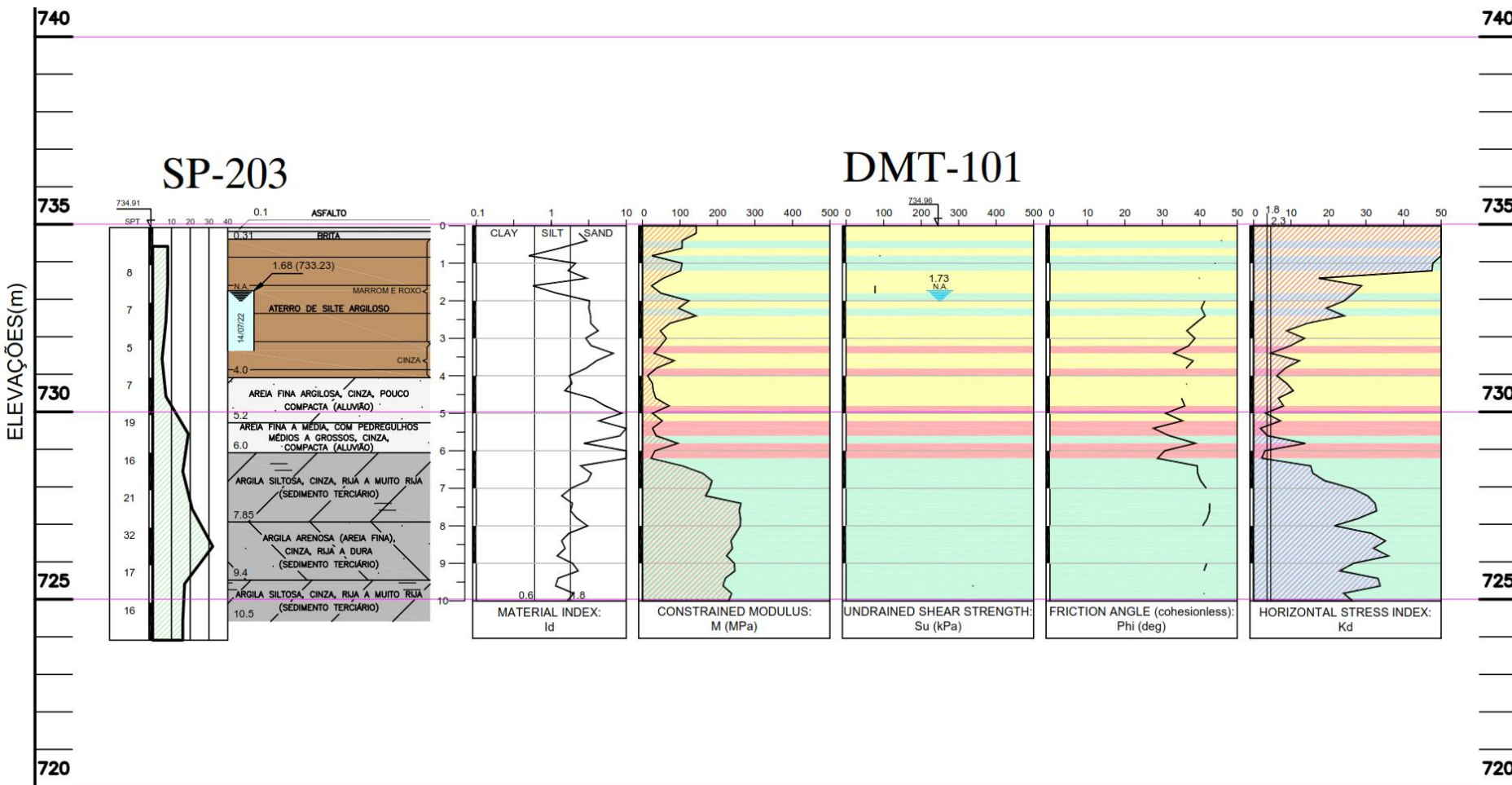
APLICAÇÃO PRÁTICA

NOVA FORMA DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

DILATÔMETRO DE MARCHETTI (DMT)

DILATÔMETRO DE MARCHETTI (DMT)

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS:



COMPARATIVO COM O ENSAIO SPT

APLICAÇÃO PRÁTICA

CONTROLE TECNOLÓGICO DA COMPACTAÇÃO DE ATERROS

APLICAÇÕES PRÁTICAS CONTROLE TECNOLÓGICO DA COMPACTAÇÃO DE ATERROS



- O ensaio DMT é realizado a cada 20 cm e dessa forma revisita todas as camadas do aterro compactado;
- Participa de forma sistemática da terraplenagem com ensaios quinzenais ou mensais;
- Atesta a qualidade das camadas executadas e fornece parâmetros para o projeto do piso dos galpões;
- O parâmetro M é relacionado à deformabilidade do solo e permite uma previsão de recalques do aterro para uma determinada sobrecarga;



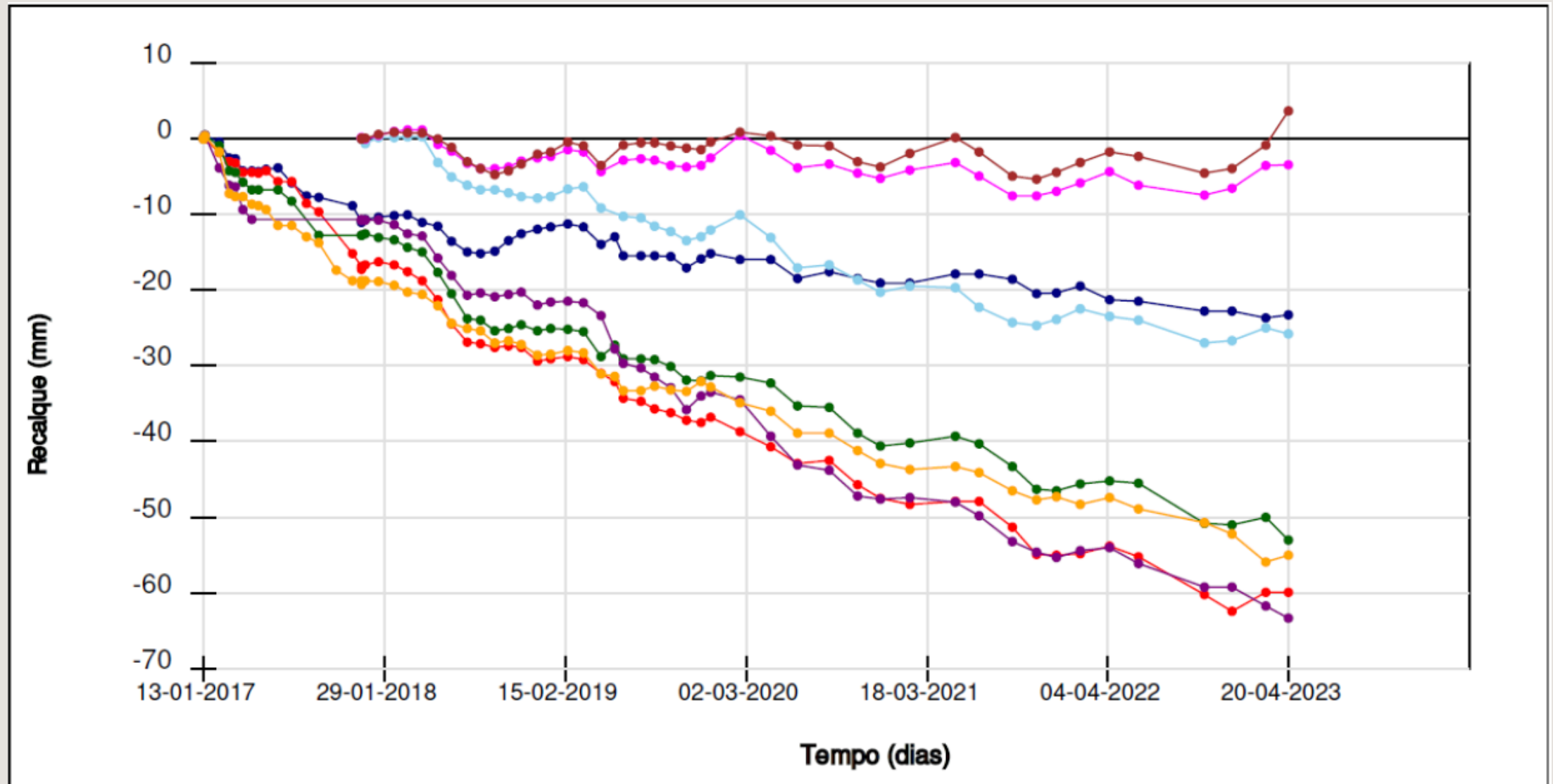
VERIFICAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DE ATERRO DURANTE A EXECUÇÃO DA TERRAPLENAGEM



ATERRO DE SOBRECARGA PARA CORRIGIR DEFICIÊNCIA DE COMPACTAÇÃO



RECAQUE EM ATERRO COM COMPACTAÇÃO INADEQUADA



APLICAÇÃO PRÁTICA

PREVISÃO DE RECALQUE DE PISO INTERNO



ESTIMATIVA DE RECALQUE COMO ELEMENTO DE DECISÃO DA SOLUÇÃO DE APOIO DO PISO INTERNO

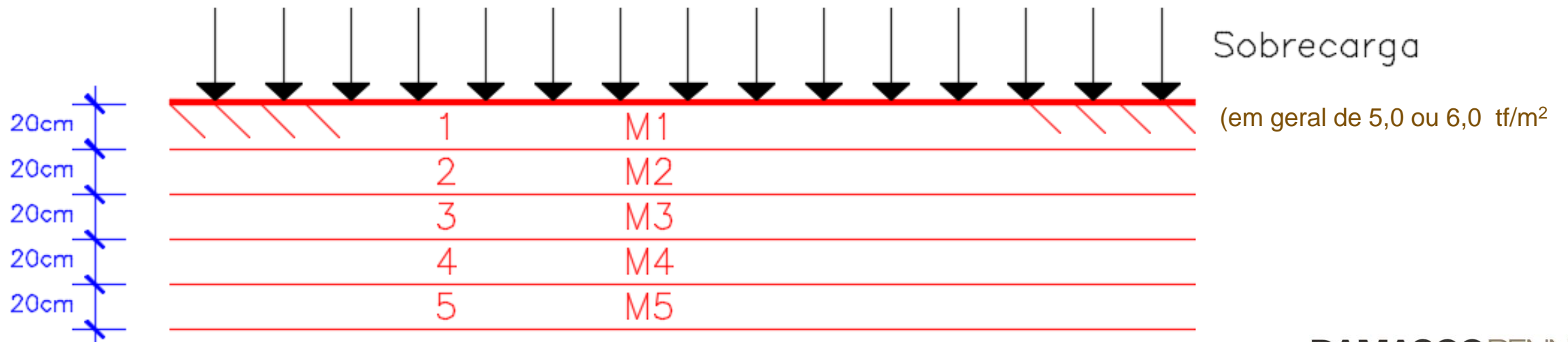
$\rho \leq 7,0\text{cm}$ Fundação direta

Estimativa de recalques:

$$\rho = \sum \frac{\Delta\sigma_i}{M_i} \cdot H_i$$

Pontos de atenção:

1. $M \geq 1,0$ Mpa para cálculo de recalque.
2. Deve ser considerado todo trecho do ensaio DMT.
3. Prof. Ideal: 15,0 m ou até o final do trecho com $N_{spt} \leq 10$ golpes/cm.



APLICAÇÃO PRÁTICA

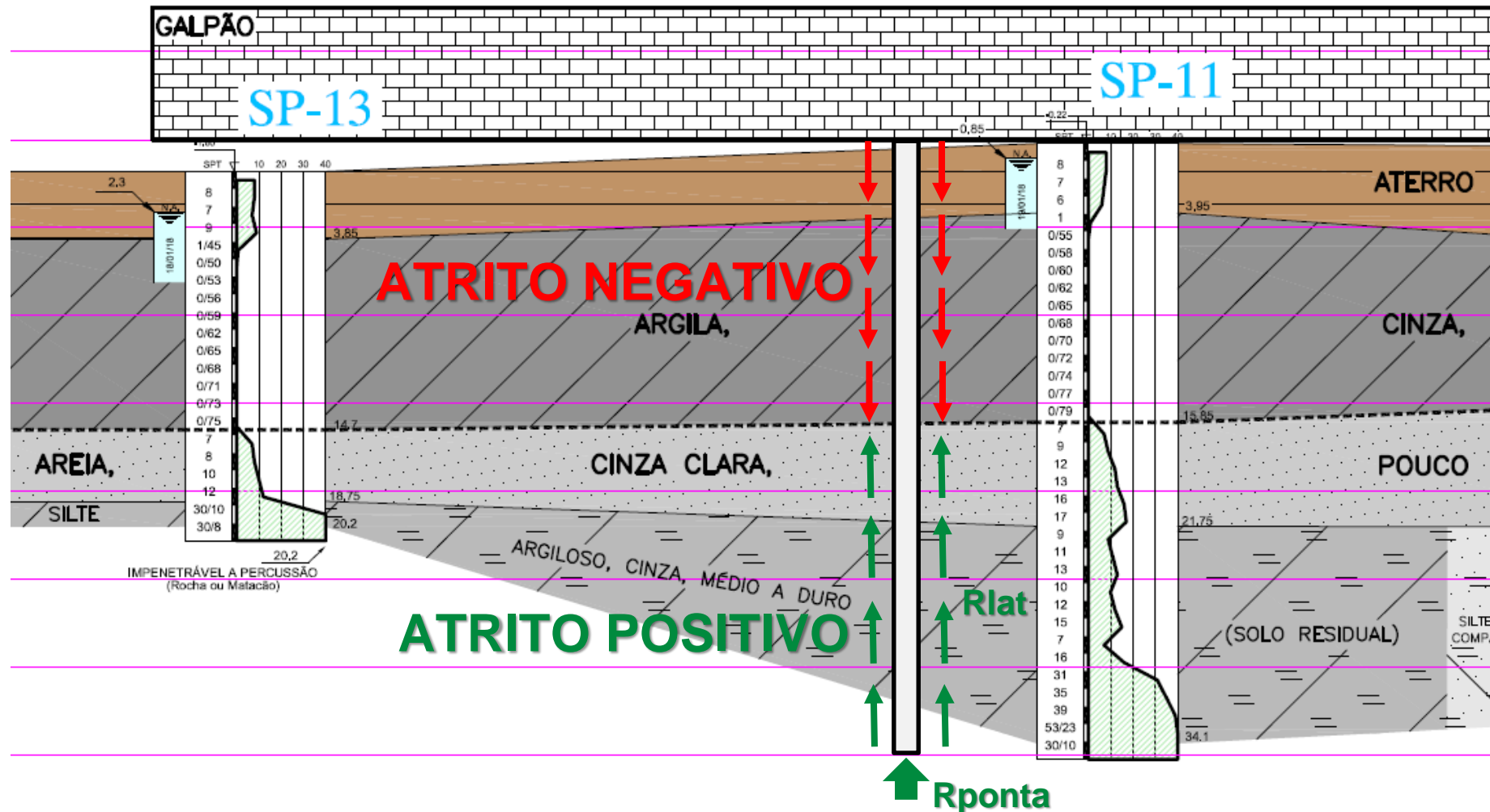
PISO ESTAQUEADO

PISO ESTAQUEADO

- **Alternativa aos métodos de tratamento de solo mole;**
- **Nesse caso, o piso é apoiado sobre uma malha bastante densa de estacas (da ordem de 3,0 x 3,0 m);**
- **Essa malha resulta numa quantidade elevada de estacas:**
 - **Aproximadamente uma estaca a cada 10 m²;**
 - **Para um galpão de 50.000 m² → 5.000 estacas;**
- **Efeito do atrito negativo penaliza significativamente a capacidade de carga das estacas, exigindo dimensões consideráveis para o elemento de fundação profunda;**
- **Alternativa onerosa do ponto de vista econômico.**

PISO ESTAQUEADO

- Atrito negativo penaliza o dimensionamento das estacas



PISO ESTAQUEADO



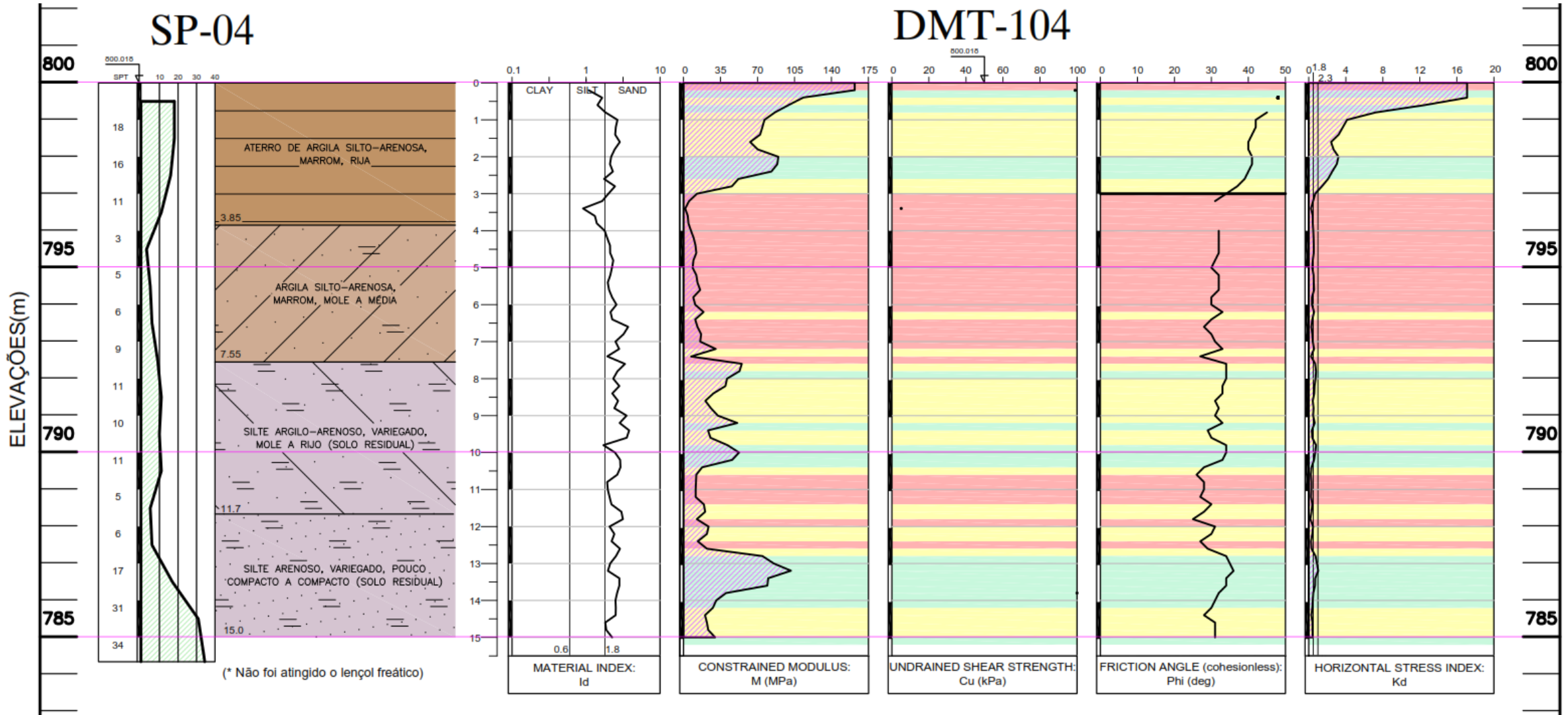
PISO ESTAQUEADO



APLICAÇÃO PRÁTICA

IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS POROSOS INSATURADOS POTENCIALMENTE COLAPSÍVEIS

APLICAÇÕES PRÁTICAS

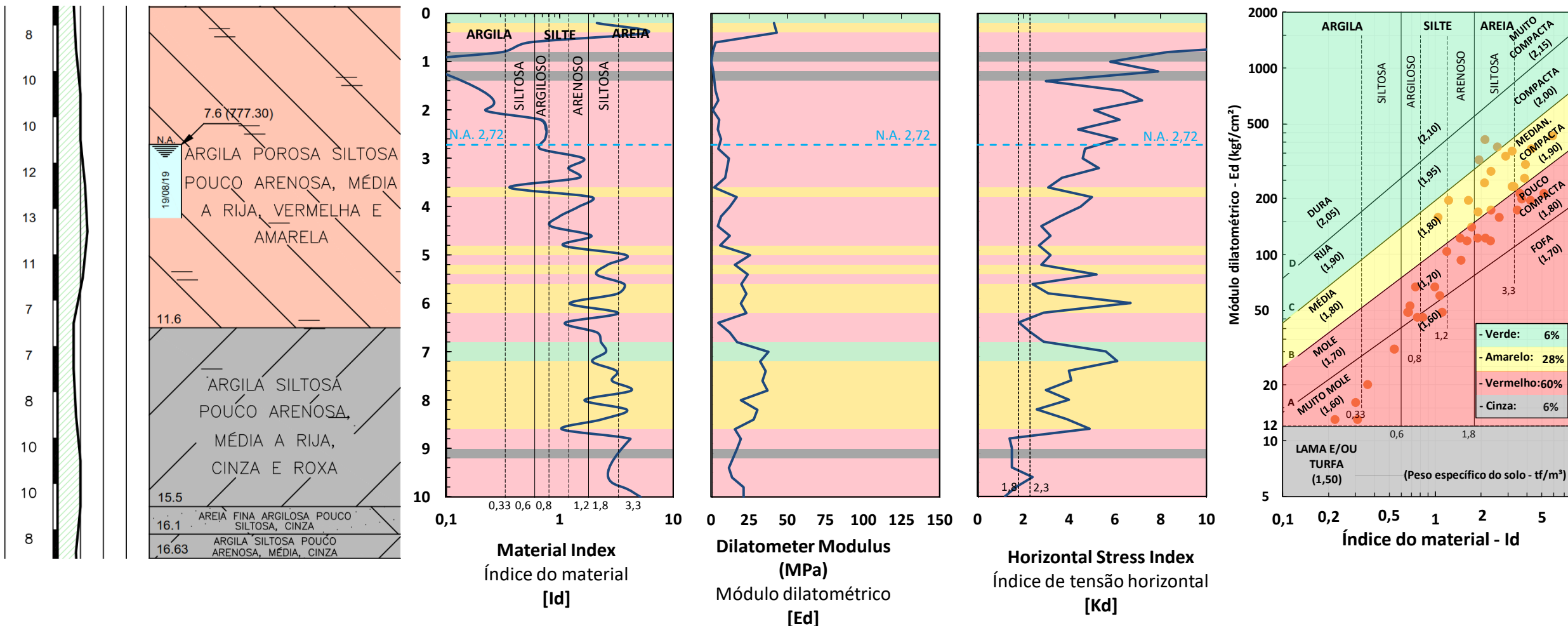


PERFIL COMPARATIVO ENTRE ENSAIOS SPT e DMT, SOLO POROSO NÃO TRATADO ABAIXO DO ATERRO
CONTAGEM /MG

APLICAÇÕES PRÁTICAS

SP-03

DMT-105



PERFIL COMPARATIVO ENTRE ENSAIOS SPT e DMT, SOLO POROSO NÃO TRATADO GUARULHOS /SP

APLICAÇÃO PRÁTICA

ESCAVAÇÃO DE SOLO MOLE ARGILOSO ORGÂNICO SATURADO E REAPROVEITAMENTO EM ATERRO COMPACTADO

TROCA DE SOLO PARA APOIO DO PISO INTERNO



TROCA DE SOLO PARA APOIO DO PISO INTERNO

ANTES

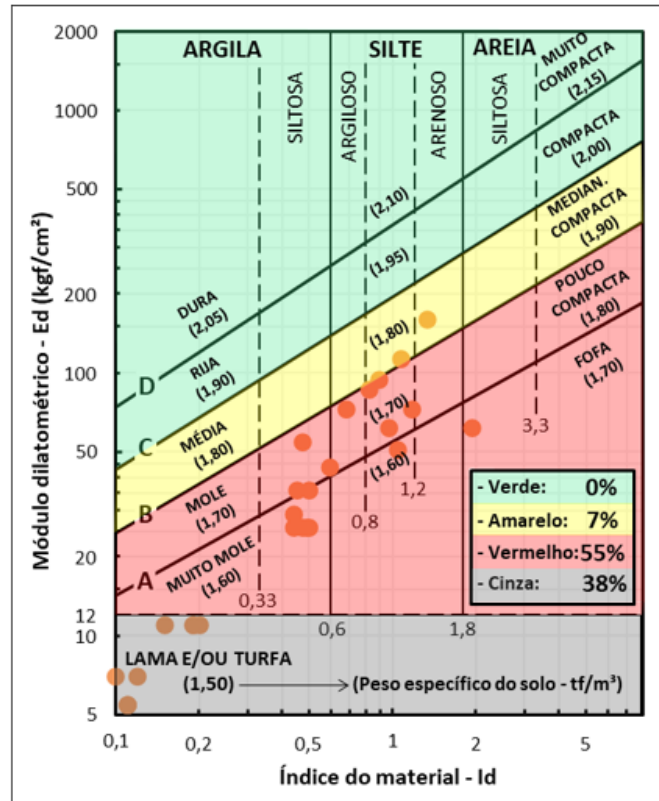
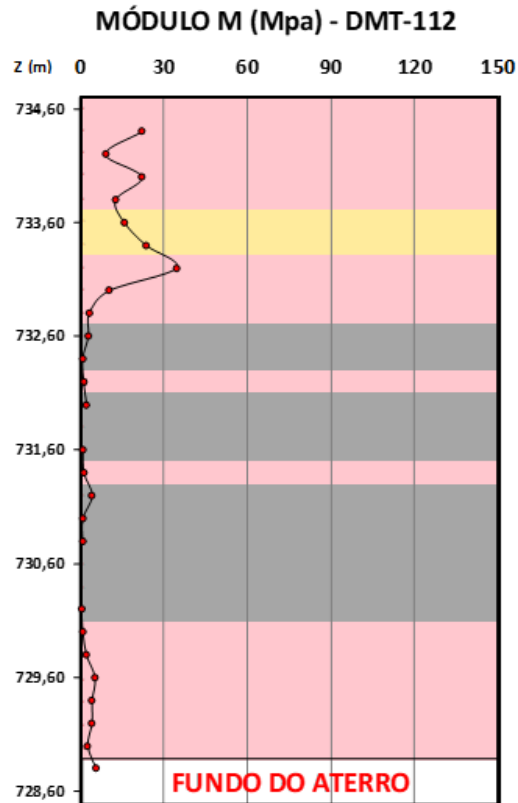


Figura 4.14 – Ensaio DMT-112 apenas para o aterro (Antes da troca de solo).

DEPOIS

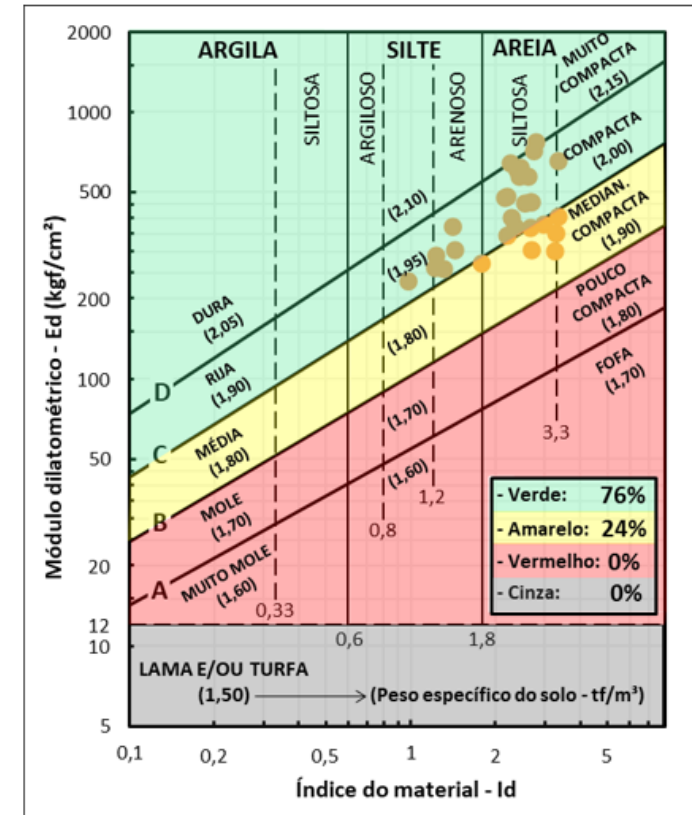
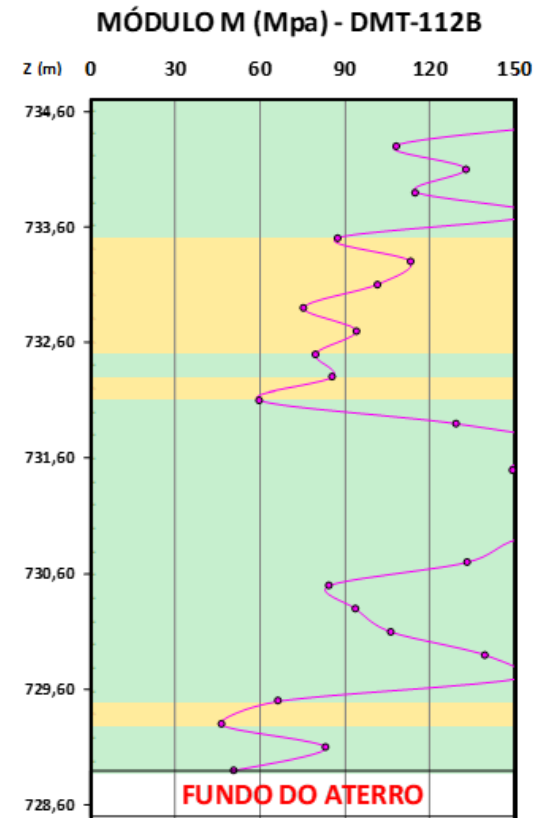


Figura 4.15 – Ensaio DMT-112B apenas para o aterro (Após da troca de solo).

GUARULHOS/SP

TROCA DE SOLO PARA APOIO DO PISO INTERNO

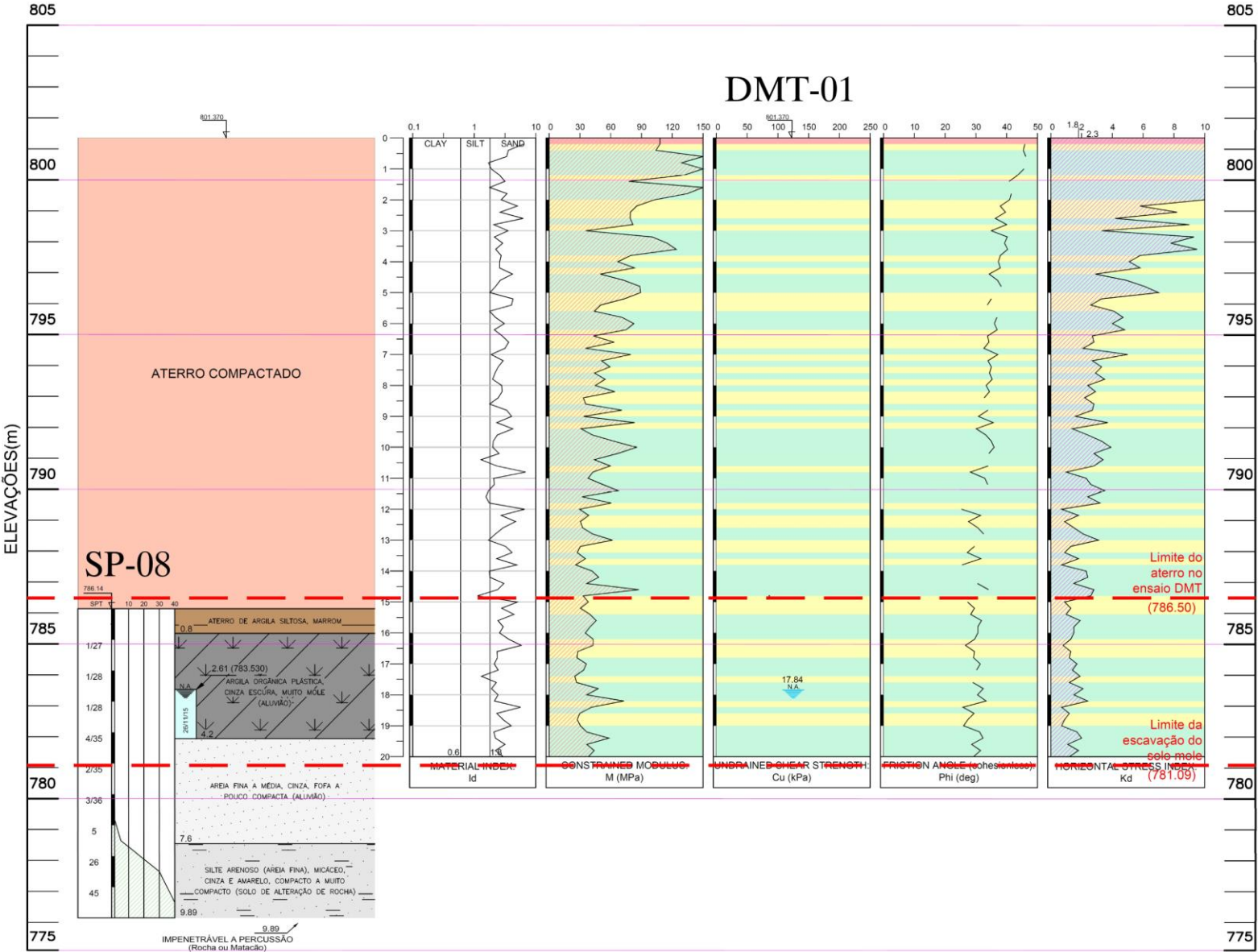


TROCA DE SOLO PARA APOIO DO PISO INTERNO

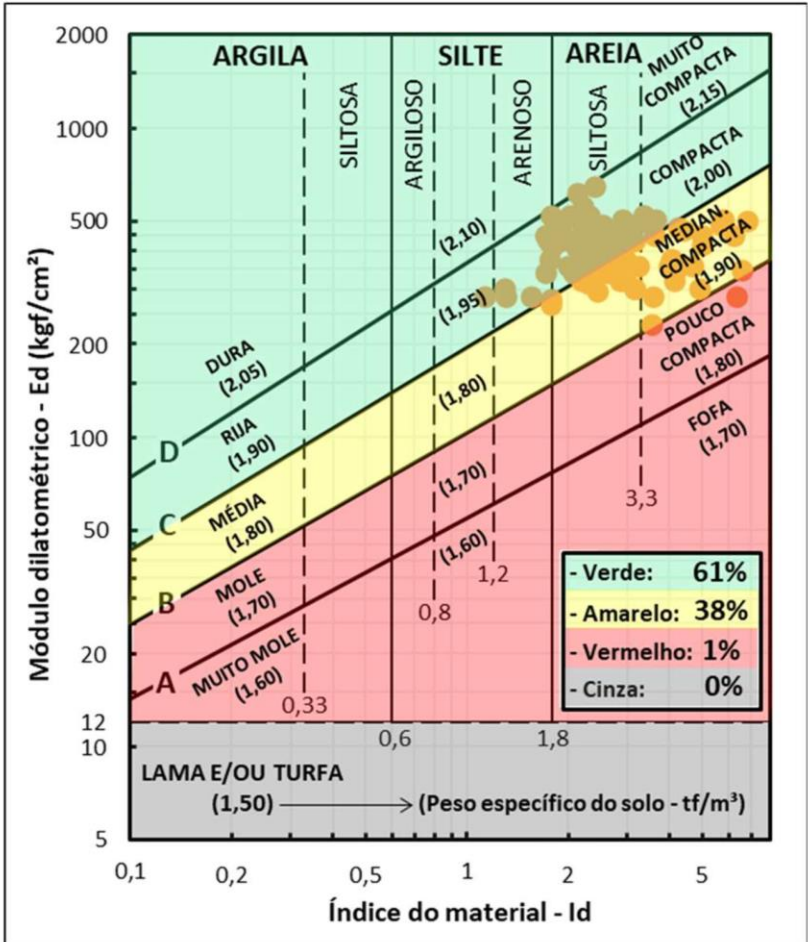


TROCA DE SOLO PARA APOIO DO PISO INTERNO

DILATÔMETRO DE MARCHETTI (DMT)



RESUMO DOS DADOS			
COTA DO ENSAIO	801,37	Acréscimo de pressão (tf/m²)	5,00
COTA DA PLATAFORMA	811,50		
ALTURA DE ATERRO A SER EXECUTADO (m)	10,20	Recalque total com base no ensaio (cm)	2,09
MÓDULO EDOMÉTRICO (M) MÉDIO DO ATERRO (Mpa)	60,35	Previsão de recalque com o aterro finalizado (cm)	2,93



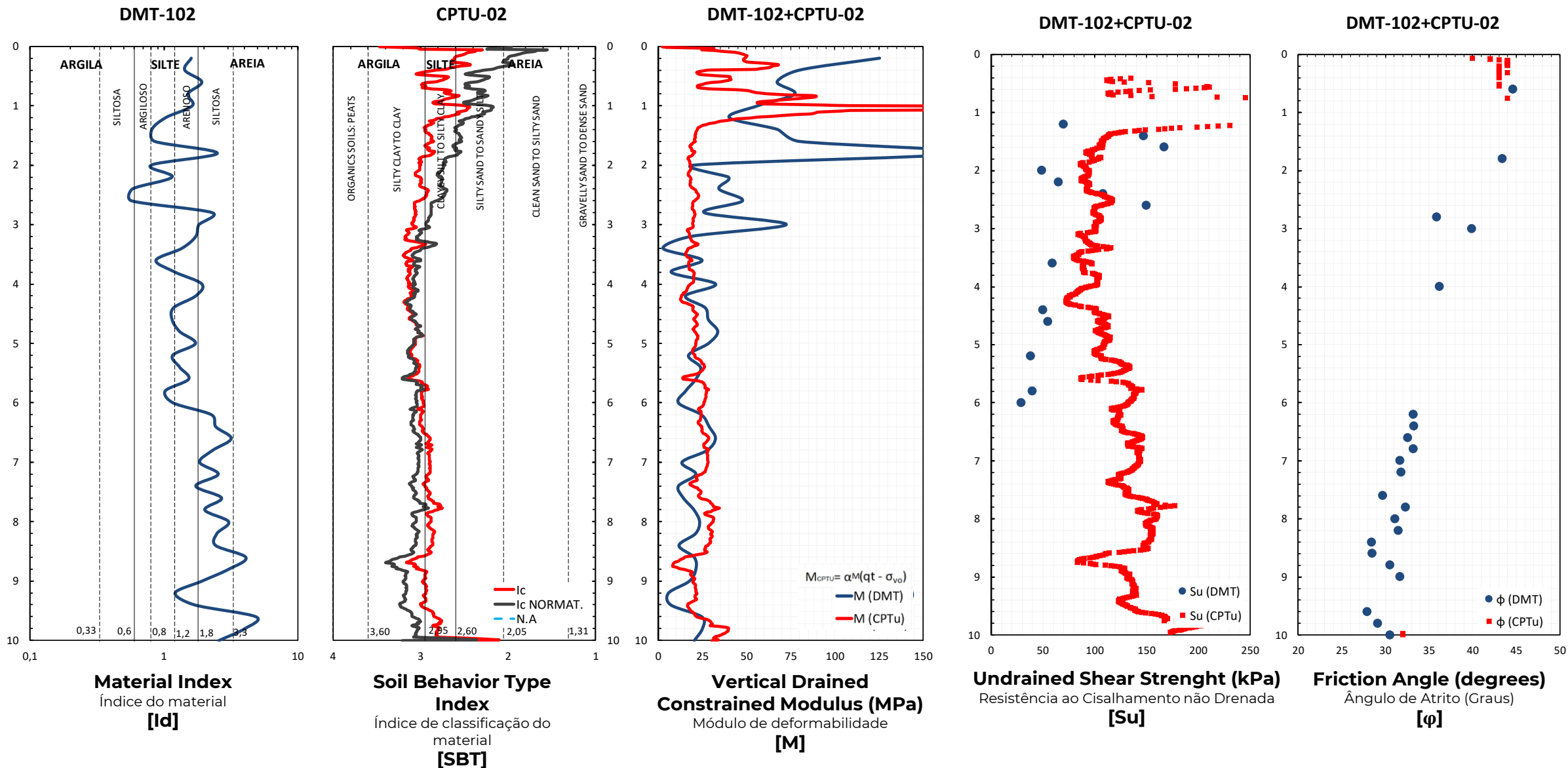
APLICAÇÃO PRÁTICA

COMPARANDO RESULTADOS - DMT x CPTu

EXPERIÊNCIAS COMPARANDO RESULTADOS DE ENSAIO CPTU x DMT

CONE PENETRATION TEST (CPTu)
DILATÔMETRO DE MARCHETTI (DMT)

GUARULHOS/SP

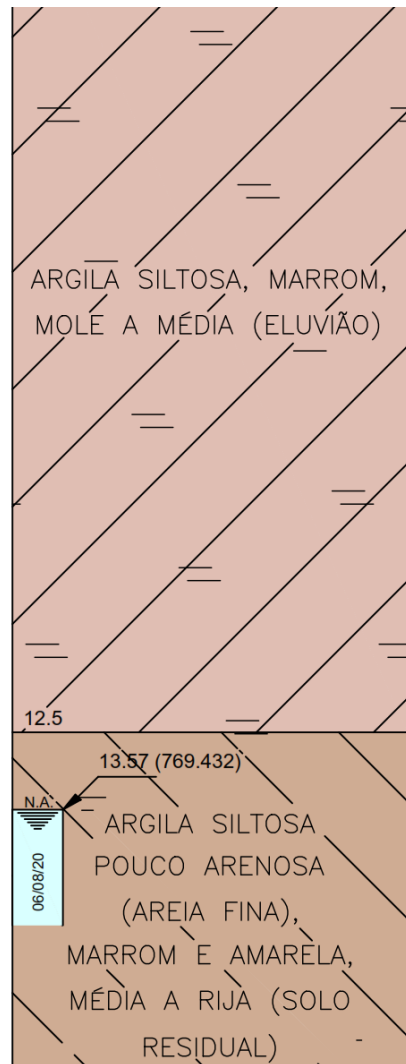


EXPERIÊNCIAS COMPARANDO RESULTADOS DE ENSAIO CPTU x DMT

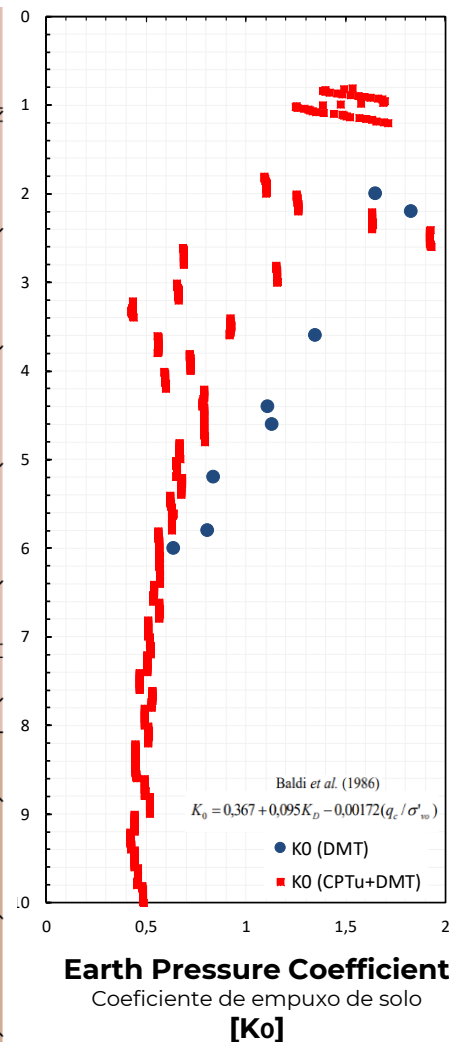
CONE PENETRATION TEST (CPTu)
DILATÔMETRO DE MARCHETTI (DMT)

GUARULHOS / SP

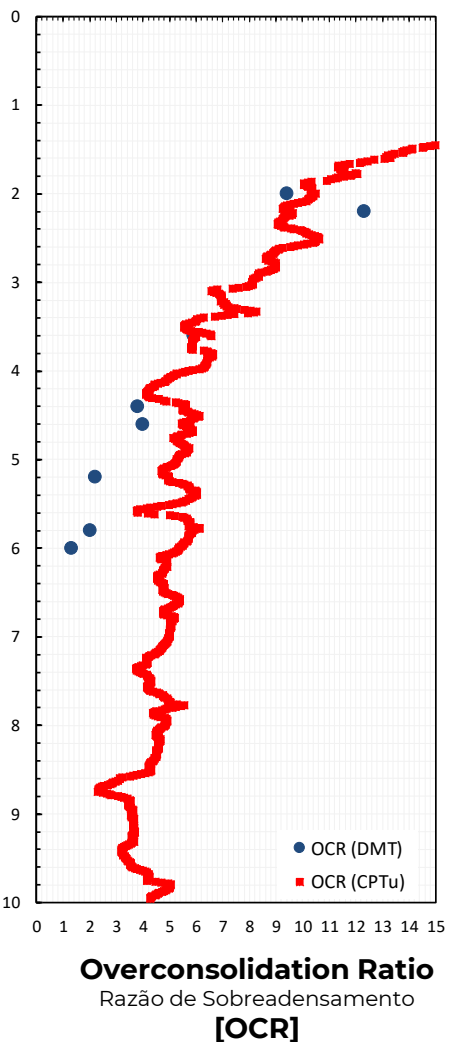
SP-420



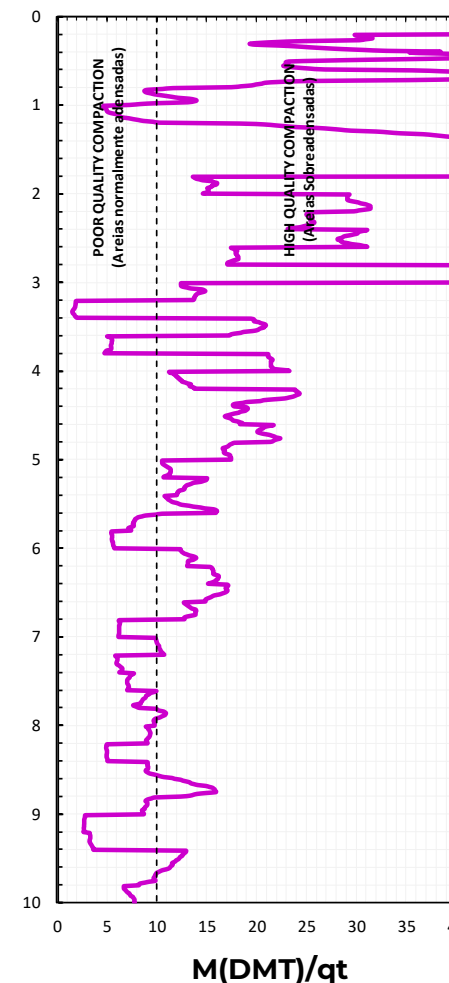
DMT-102+CPTU-02



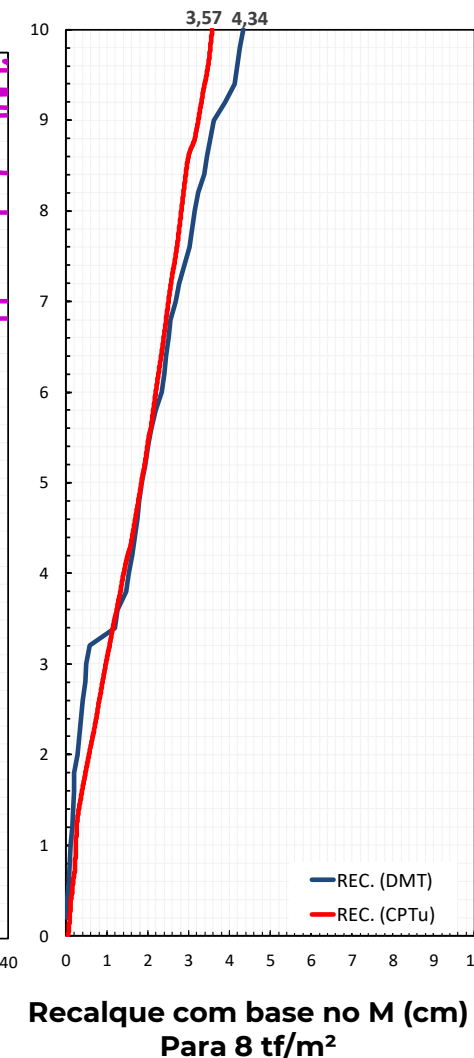
DMT-102+CPTU-02



DMT-102+CPTU-02



DMT-102+CPTU-02



APLICAÇÃO PRÁTICA

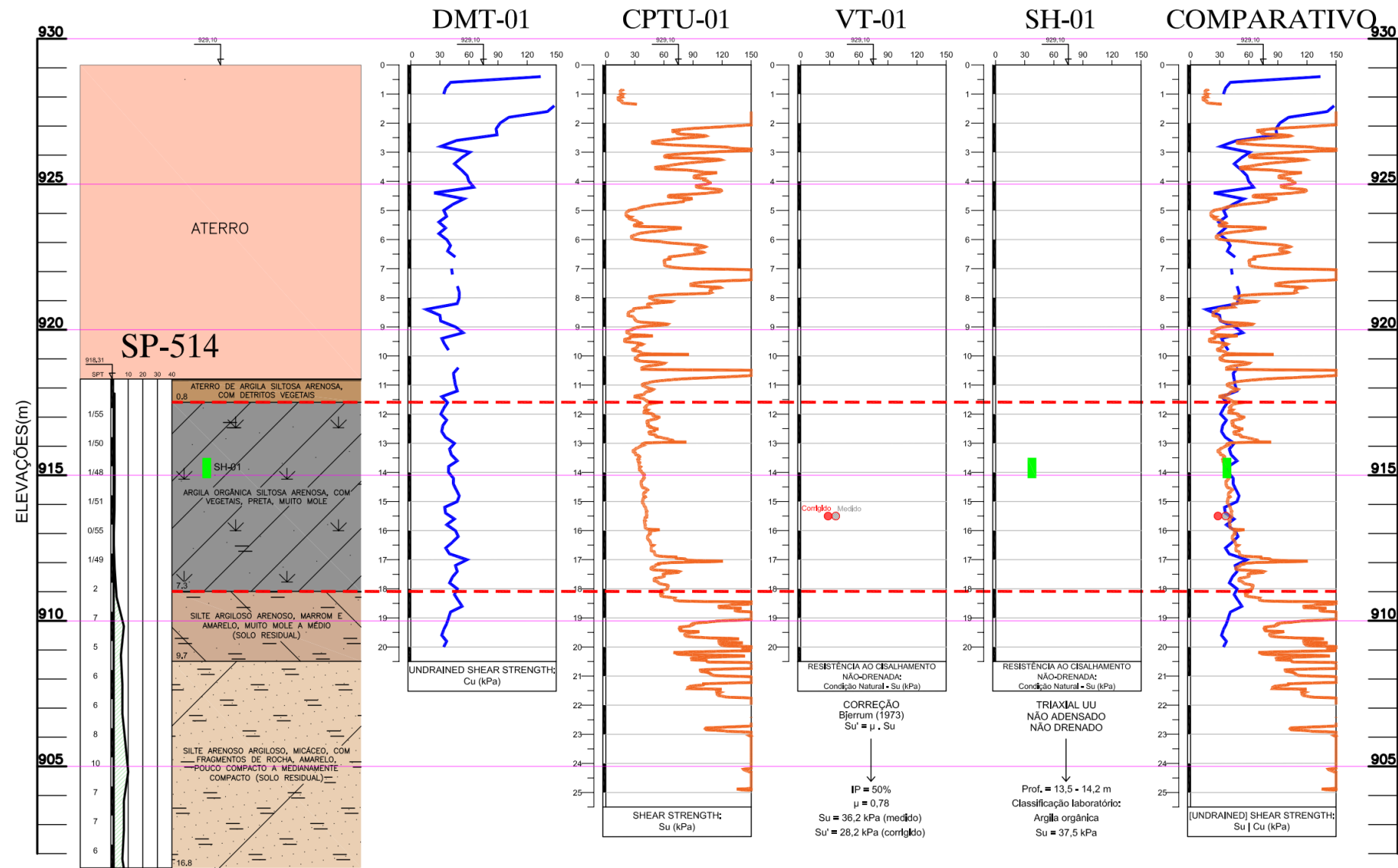
COMPARANDO RESULTADOS EM ARGILAS MOLES

SPT – DMT – CPTu – VST - LABORATÓRIO

VALORES DE Su

CONE PENETRATION TEST (CPTu)
DILATÔMETRO DE MARCHETTI (DMT)

EXTREMA/MG



DMT - SÍNTESE

- Medidas a cada 20 cm;
- Ensaio de deformação;
- Independente do operador;
- Rápido;
- 10 informações por metro;
- Resultados em unidades de pressão;
- Estratigrafia completa;
- Correlações com inúmeros parâmetros geotécnicos;
- Excelente repetitividade de resultados.

DMT - CONCLUSÃO

- Procedimento excelente para o reconhecimento estratigráfico do terreno e para avaliar as propriedades de resistência e deformabilidade.

OBRIQADO