

Avaliações da Compressibilidade dos Solos, a Partir de Ensaio com o Dilatômetro de Marchetti (DMT)

Prof. Dr. Antônio Sérgio Damasco Penna

Professor Titular, Universidade Mackenzie, São Paulo/SP, Brasil

Diretor da Damasco Penna Engenheiros Associados S/C Ltda, Barueri/SP, Brasil

RESUMO: O ensaio “DMT” é uma técnica de investigação do subsolo, complementar à sondagem de simples reconhecimento à percussão (SPT), que proporciona o reconhecimento das propriedades geotécnicas dos solos, baseado nas medidas de pressões aplicadas, ao terreno, em profundidades variadas, a cada 20 cm, inicialmente para o equilíbrio com as tensões geostáticas horizontais e em seguida para a obtenção de um deslocamento padrão de 1,10 mm, do solo na frente da membrana. Esse procedimento representa o que há de melhor em investigações de campo, nas avaliações da compressibilidade dos solos. Sua utilização no Brasil, há cerca de 10 anos, tem proporcionado a obtenção de experiência com essa técnica. O objetivo deste trabalho é relatar essa experiência.

PALAVRAS-CHAVE: DMT, compressibilidade, módulo edométrico

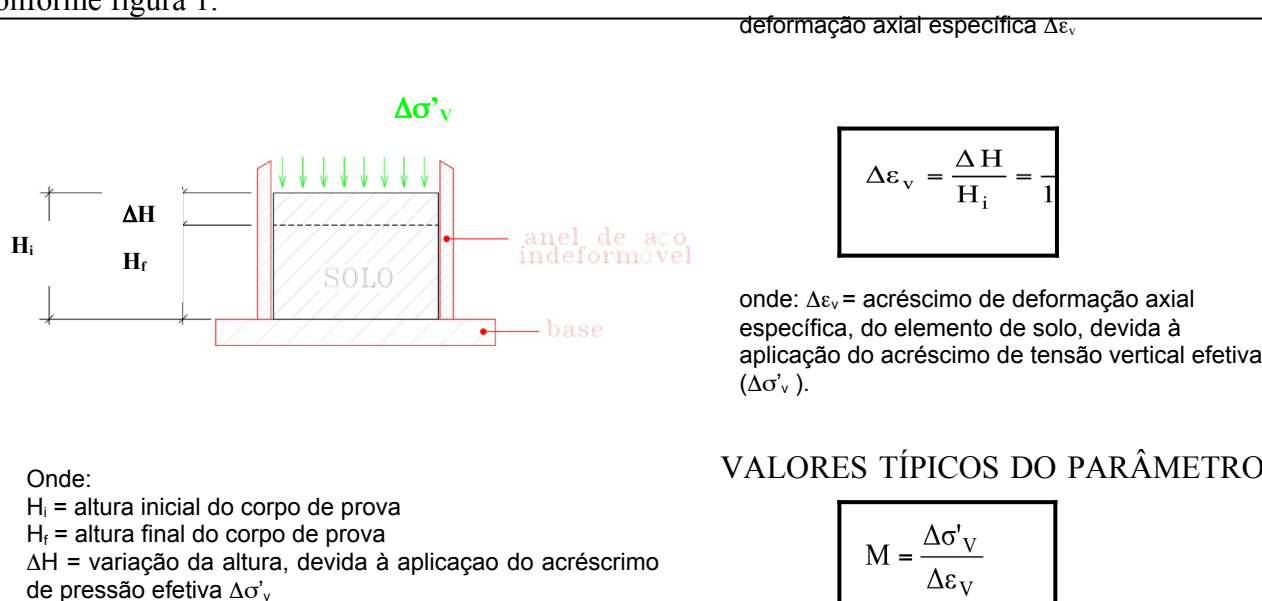
1 INTRODUÇÃO

A compressibilidade dos solos avaliada a partir do ensaio “DMT” é representada pelo módulo de deformação “M”, medido em condições de compressão confinada, nos ensaios de adensamento edométrico.

O conceito desse módulo, conforme descrito em Lambe (1965), representa a proporção entre o acréscimo de tensão aplicado ($\Delta\sigma'_v$) e a deformação axial específica ocorrida ($\Delta\varepsilon_v$), conforme figura 1.

Esse parâmetro “M”, permite avaliar o recalque “S” resultante da aplicação do acréscimo de pressão “ $\Delta\sigma'_v$ ” em uma camada de solo de espessura “ Δz ”, utilizando a expressão apresentada por Marchetti (2001):

$$S = \sum \frac{\Delta\sigma'_v}{M} \cdot \Delta z \quad (1)$$



COMPRESSIBILIDADE “M”

Figura 1. Módulo edométrico “M”

Na literatura que descreve esse parâmetro, determinado em ensaios edométricos, estão apresentados em Barata (1984) dois quadros (tabelas 1 e 2) com valores obtidos em laboratório.

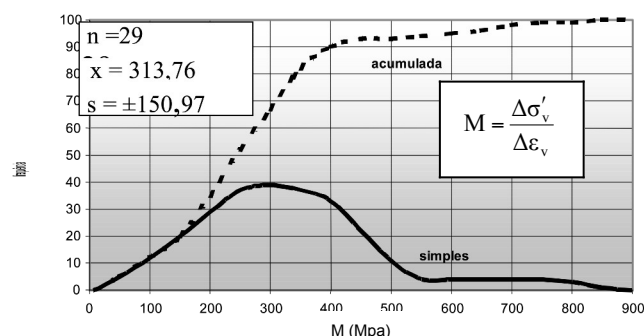
Tabela 1. Valores de “M” sugerido por Kögler e Scheidig em 1948, para solos sedimentares transcritos de Barata (1984)	
Tipo de solo	M (Mpa)
Pedregulho compacto	100 a 200
Areia compacta	50 a 80
Areia fofa	10 a 20
Argila rija a dura	8 a 15
Argila média	4 a 8
Argila mole	1,5 a 4
Argila muito mole (lodo)	0,5 a 3
Turfa	0,1 a 0,5

Tabela 2. Valores típicos de “M” em solos brasileiros, transcritos de Barata (1984)	
Tipo de solo	M (Mpa)
Argilas orgânicas muito moles da Baixada Fluminense	0,2 a 0,5
Argilas orgânicas muito moles da Baixada Santista	0,8 a 1,2
Argila residuais (Vargas, 1953): - de granito (Mandaqui, SP) - de gnaiss (Vila Anastácio, SP) - de diabásio (Londrina, PR)	6,5 6,3 2,7
Argila porosa da Cidade de São Paulo (Rua da Liberdade)	5,2
Argila residual de basalto da Serra de Carajás (Amazônia)	5 a 8
Areias argilosas residuais: - Alteração de arenito Bauru (Cidade de São Carlos, SP)	2

No ensaio “DMT”, o parâmetro “M”, conforme descrito por Schnaid (2000) é avaliado em função dos valores de “E_D” (módulo dilatométrico) e de “K_D” (índice de tensão horizontal), com expressões típicas para cada faixa de “I_D” (índice do material) representativas das diferentes granulações (argilas I_D<0,6, siltes e areias siltsas 0,6<I_D<3,0, areias 3,0<I_D<10,0, e pedregulhos I_D>10).

Essa área de sedimentos terciários é muito estudada e especialmente no solos argilosos, onde a facilidade de amostragem é maior, muitos ensaios de adensamento estão disponíveis. Na figura 2, reproduzida do trabalho de Penna (1983), estão apresentados valores de “M” determinados em laboratório, em 29 diferentes locais da cidade de São Paulo.

Figura 2. Polígonos de frequências dos módulos com Confinamento



Convenções:

n = número de dados

x = média

s = desvio padrão

Diversas investigações com “DMT” já foram realizadas nesses solos sedimentares terciários, tanto em materiais de predominância argilosa, como em materiais de predominância arenosa. Na tabela 3 estão apresentadas as faixas de valores obtidos para o parâmetro “M”, conforme avaliadas com o uso do ensaio “DMT”.

Tabela 3. Valores de “M” determinados em ensaios “DMT”, nos solos da bacia de sedimentos terciários de São Paulo.

Local	Solo	SPT (golpes /30 cm)	Resis- tência de ponta do cone “CPT” qc (Mpa)	Módulo “M” (Mpa) medido em ensaio DMT
Rua Minerva	Argila porosa vermelha	4 a 5	-	0,5 a 8
Rua Minerva	Argila arenosa vermelha e amarela	9 a 11	-	27 a 57
Rua Casa do Ator	Argila porosa vermelha	2 a 3	-	6 a 12
Rua Bueno Brandão	Argila siltosa cinza	21 a 24	4 a 6	30 a 90
Rua Bueno Brandão	Areia média a grossa com pedregulhos, amarela	27 a 3	8 a 14	60 a 100
Rua Cotoxó	Areia média argilosa vermelha e amarela	10 a 18	7 a 10	30 a 40
Rua Cotoxó	Areia fina e média, pouco argilosa roxa e amarela	5 a 9	3 a 5	27 a 32
Rua Ceará	Areia fina argilosa vermelha e amarela	9 a 22	3 a 6	25 a 60
Av. Ayrton Senna - Guarulhos/SP	Areia fina e média argilosa	25/15	45 a 50	250
Rua Harmonia	Areia siltosa variegada	17 a 40	4 a 10	60 a 120
Rua Campo Largo	Argila siltosa variegada	13 a 23	3 a 5	40 a 100
Rua Jaguaribe	Areia siltosa roxa	7 a 17	-	70 a 90
Rua dos Três Irmãos	Argila siltosa vermelha e cinza	6 a 8	1,8 a 2,4	15 a 25
Rua dos	Areia	10 a	4 a 6	50 a 70

Três Irmãos	grossa argilosa com pedregulhos, verm. e amar.	17		
Rua da Mooca	Argila silto arenosa variegada	12 a 21	4 a 8	60 a 140
Rua do Cortume	Argila siltosa com pouca areia fina cinza	16 a 18	-	30 a 90

4 OUTROS SOLOS

Em outras condições geológicas, numerosos ensaios “DMT” foram realizados no Brasil, conforme dados da tabela 4.

Tabela 4. Valores de “M” determinados em ensaios “DMT” em diversas condições geológicas

Local	Solo	SPT (golpes /30 cm)	Resis- tência de ponta do cone “CPT” qc (Mpa)	Módulo “M” (Mpa) medido em ensaio DMT
Rua do Cortume - São Paulo/SP	Argila orgânica muito mole preta	0	-	0,2 a 2,9
Av. Tancredo Neves - Guarulhos	Argila orgânica muito mole preta	1 a 2	-	1,5 a 3,0
Av. Marg. do Rio Pinheiros - São Paulo/SP	Argila orgânica muito mole	5 a 6	-	5 a 15
Bairro Cerâmica - Jundiaí/SP	Argila siltosa com pouca areia fina muito mole cinza	1	-	1,7 a 7,5
Av. Pérola Byngton - Santa Bárbara do Oeste/SP	Areia fina argilosa amar. e vermelha (decomposição de arenito)	13 a 40	16 a 24	80
Rodovia	Aterro	10 a	5 a 7	110 a

Anhanguera Cajamar/SP	(compactado, com rigoroso controle)	15		170
Vinhedo/SP	Aterro de silte argiloso, não compactado	3 a 6	-	20 a 50

5 CASO DE OBRA

As determinações dos valores do módulo de deformação “M”, realizadas com o ensaio “DMT”, tem sido utilizadas nas avaliações de recalques de pisos e de edifícios.

No caso de um edifício de 24 lajes, construído no bairro da Pompéia, em São Paulo/SP, apoiado em fundação direta em sapatas, descrito por Penna (2004), o recalque médio calculado com base nos valores de “M” foi de 24,1 mm enquanto o recalque médio medido no campo, no final da construção, foi de 31,4 mm.

Outro edifício apoiado em fundação direta, em sapatas, no bairro do Morumbi, em São Paulo, com 98 m de altura total, compreendendo 34 lajes, está sendo rigorosamente acompanhado com medições mensais de recalques, durante seu processo construtivo, conforme descrito em Penna (2006).

As previsões baseadas nos ensaios “DMT”, tem demonstrado excepcional semelhança com as medições efetuadas no campo, até os dias da elaboração deste trabalho, quando a carga acumulada representava 49% da carga total prevista (figuras 3 e 4).

Na tabela 5 adiante, estão comparados os valores medidos no campo, na carga de 49% da total, com os valores previstos pelo ensaio “DMT”, para essa mesma porcentagem de carregamento. Observa-se que os valores medidos representam cerca de 40% a 64% dos previstos, com maior diferença na região central do edifício, devido à rigidez da estrutura.

Tabela 5. Recalques medidos em comparação com os previstos (carga de 49% da total)-Edifício no Morumbi em São Paulo

DMT-7	DMT-9	DMT-4
Medido 9,1 mm	Medido 12,6 mm	Medido 5,6 mm
Previsto 14,3 mm	Previsto 31,7 mm	Previsto 9,0 mm
Relação 64%	Relação 40%	Relação 62%

6 CONCLUSÕES

A previsão de recalques representa uma difícil tarefa de engenharia geotécnica.

A utilização do parâmetro “M” avaliado no ensaio “DMT”, vem fornecer uma informação valiosa, para as avaliações de recalques imediatos, constituindo fundamental elemento de decisão na engenharia geotécnica.

REFERÊNCIAS

- Barata, F.E. (1984). *Propriedades Mecânicas dos Solos: uma introdução ao projeto de fundações* - Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, RJ.
- Lambe, T.W. e Whitman, R.V. (1969). *Soil Mechanics*, John Wiley & Son, Inc. New York.
- Marchetti, S., Monaco, P., Totani G. e Calabrese M. (2001). The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations, *A report by the ISSMGE Committee TC 16*, Bali, Indonésia.
- Penna, A.S.D.(1983). Estudo das propriedades das argilas da cidade de São Paulo, aplicado à engenharia de fundações. *Dissertação de Mestrado*. Escola Politécnica da USP.
- Penna, A.S.D. (2004). Projetos de fundações rasas baseados em ensaios “DMT”. *SEFE V - Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia*. São Paulo, SP.
- Penna, A.S.D. (2006). Shallow foundations of tall buildings, designed on the basis of “DMT” results. *Second International Conference on the Flat Dilatometer*. Washington, D.C., USA.
- Schnaid, Fernando (2000). *Ensaio de Campo e Suas Aplicações à Engenharia de Fundações*. Oficina de Textos, São Paulo, SP

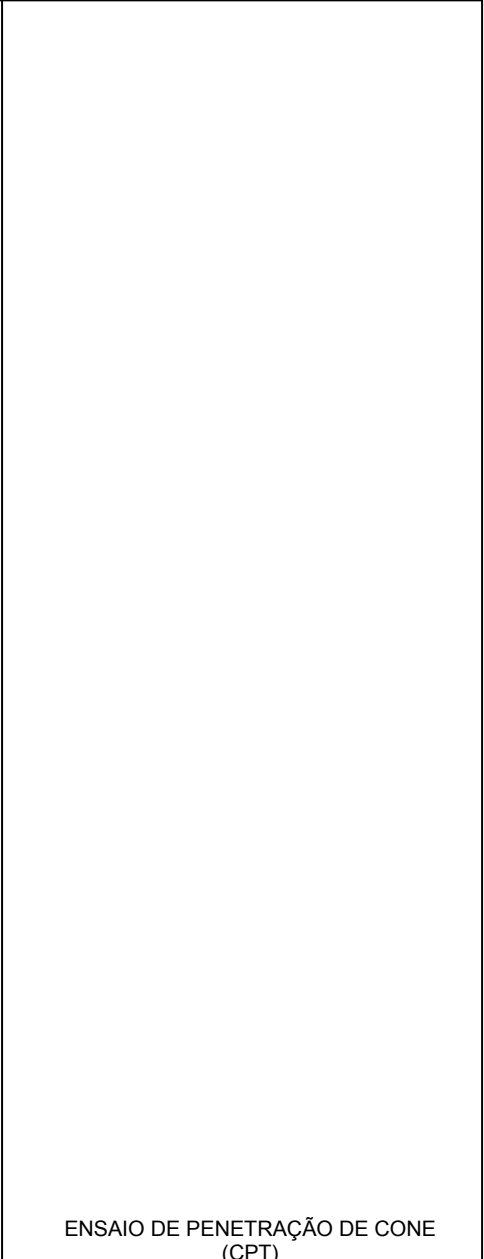
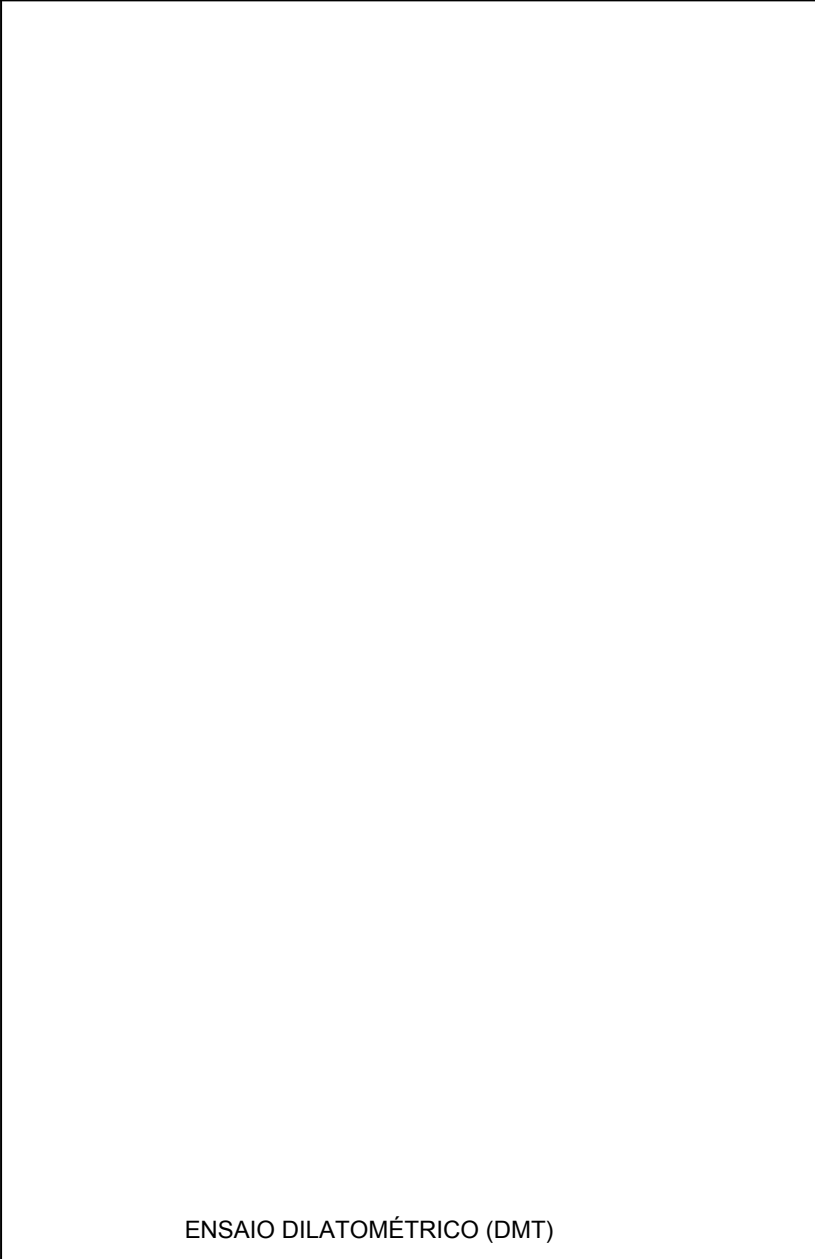
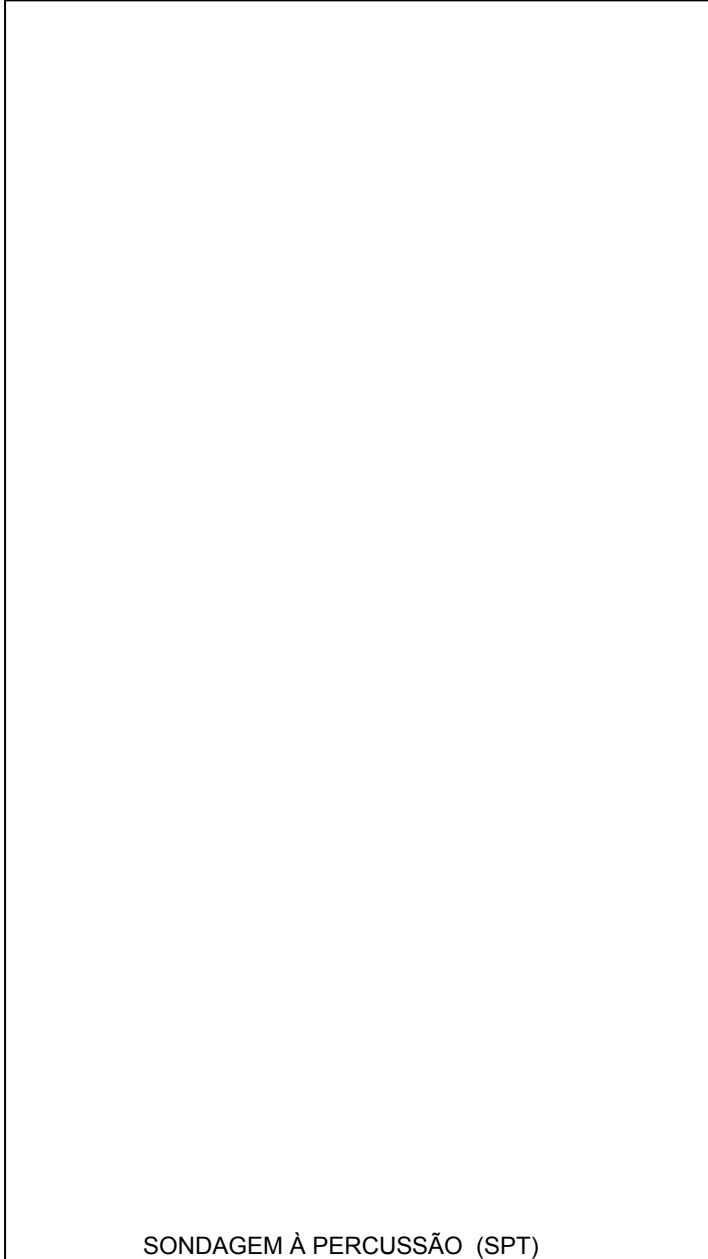
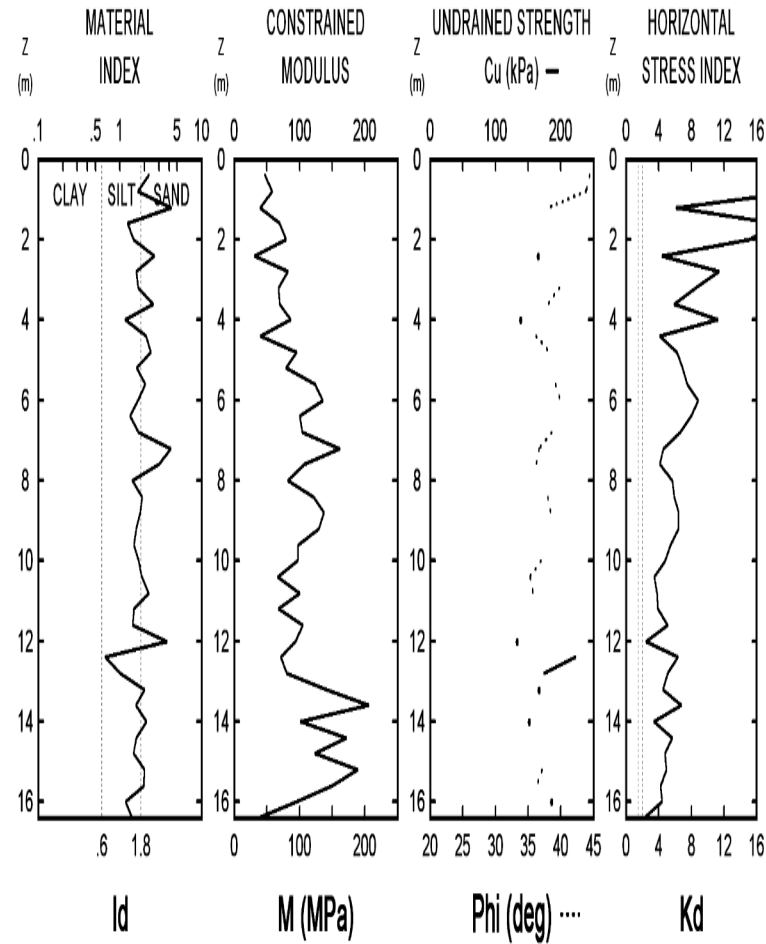
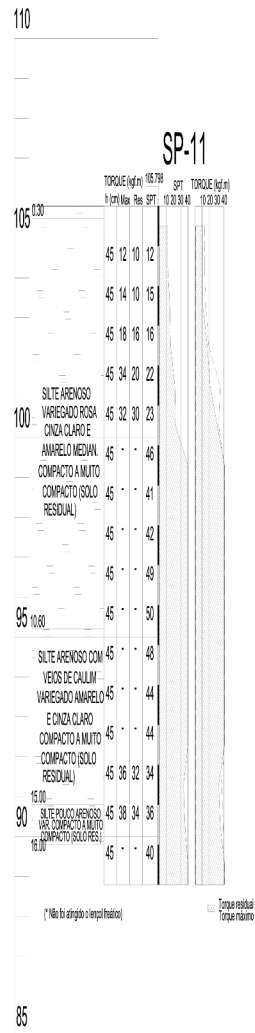


Figura 3. Sapatas e recalques do edifício com 49% da carga total

DMT-11



Resistência de ponta

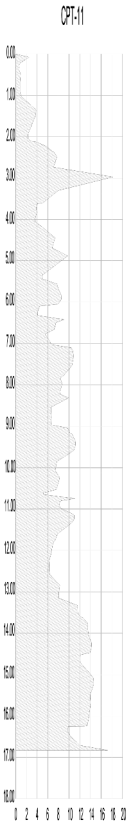


Figura 4.Resultados dos ensaios SPT, DMT e CPT