

# “PROJETOS DE FUNDAÇÕES RASAS BASEADOS EM ENSAIOS DMT”

Antônio Sérgio Damasco Penna

## RESUMO

Seguindo uma tendência que está se consolidando no meio técnico internacional e que compreende a aplicação rotineira de ensaios especiais de campo, no dimensionamento de fundações, neste trabalho, procurou-se exemplificar dois casos de edifícios altos, construídos na cidade de São Paulo/SP, apoiados em fundações rasas, em sapatas, cujos estudos de projeto, contaram com o apoio decisivo de ensaios DMT (dilatômetro de Marchetti).

Palavras-chave: DMT, sapatas.

## INTRODUÇÃO

A história mais recente da engenharia de fundações no Brasil, está muito associada ao hábito de tomar decisões com base exclusiva, em resultados de sondagens à percussão “SPT”.

Houve um período (nas décadas de 40, 50 e 60), principalmente na cidade de São Paulo, em que muitos ensaios especiais, de laboratório e muitas provas de carga e monitoramentos de recalques de edifícios, foram produzidos. Boa parte, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo, e também por outras importantes empresas de engenharia geotécnica.

No período mais recente, dos últimos 30 anos, esses hábitos foram sendo abandonados e as decisões passaram a ser tomadas com base, apenas, em ensaios “SPT”.

Atualmente, se observa uma tendência mundial, de procurar obter as informações geotécnicas necessárias para a elaboração de um projeto de fundação, a partir de ensaios especiais de campo.

São processos rápidos, que permitem avaliar as propriedades de resistência e deformabilidade dos solos, de forma quase contínua, em profundidade, com a possibilidade de se obter informações em vários pontos do terreno, com custos muito pouco expressivos.

Dentro dessa tendência, neste trabalho, estão apresentados dois casos de edifícios altos, apoiados em sapatas isoladas, cujas fundações foram definidas e projetadas, com base em ensaios adicionais de campo, principalmente com o ensaio “DMT”, além das sondagens simples de reconhecimento à percussão “SPT” e ensaios “CPT”.

## O ENSAIO “DMT” (DILATÔMETRO DE MARCHETTI)

Esse ensaio foi desenvolvido por Silvano Marchetti (Marchetti, 1975) e está hoje normalizado nos Estados Unidos pela ASTM (ASTM, 2001), “Standard Test Method for Performing the Flat Dilatometer Test”, e na Europa, no Eurocode 7 (Eurocode, 1997), “Geotechnical Design – Part 3 – Design assisted by field testing – Section 9 – Flat Dilatometer Test (DMT)”.

Essa técnica, do ensaio “DMT”, se encontra em uso em 40 países e está sendo empregada no Brasil, desde meados da década de 90.

## Generalidades

Os ensaios “DMT” permitem as obtenções diretas, de 3 (três) parâmetros, classificados na descrição apresentada por Silvano Marchetti, como “intermediários”, uma vez que representam as bases, para as correlações que indicam as estimativas dos demais parâmetros, de interesse da engenharia geotécnica.

Esses parâmetros, denominados “intermediários”, representam a grande potencialidade do ensaio e pode-se dizer, foram concebidos, por Silvano Marchetti, como fruto de muita observação, muita análise e cuidadosa interpretação de resultados.

A importância desses parâmetros, é tão grande, que a rigor, deveriam ser classificados como “parâmetros fundamentais”, pois fornecem todo o balizamento para a interpretação dos resultados dos ensaios.

No quadro adiante, estão apresentados esses três parâmetros.

<b>QUADRO RESUMO DOS PARÂMETROS INTERMEDIÁRIOS</b>			
<b>PARÂMETRO</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>EXPRESSÃO</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
Índice do material	$I_d$	$I_d = \frac{P_1 - P_0}{P_0 - \mu_0}$	Identificação do comportamento granulométrico do solo (argilas, siltes e areias)
Módulo dilatométrico	$E_d$	$E_d = 34,7 \cdot (P_1 - P_0) \text{ Kgf/cm}^2$	Quantificação da compressibilidade do solo
Índice de tensão horizontal	$K_d$	$K_d = \frac{P_0 - \mu_0}{\sigma'_{vo}}$	Avaliação do histórico de tensões já aplicadas ao solo

## **DESCRIÇÃO DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS NOS LOCAIS DOS DOIS EDIFÍCIOS**

Os dois edifícios utilizados com exemplo, neste trabalho, foram construídos na cidade de São Paulo e estão situados em região característica de ocorrência de solos da bacia de sedimentos terciários da cidade de São Paulo.

Um deles, foi construído no bairro da Pompéia, em terreno no qual, os sedimentos terciários apresentam granulação predominantemente arenosa e outro no bairro da Moóca, em terreno no qual, os sedimentos apresentam granulação predominantemente mais fina, argilosa.

## **DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS**

As duas edificações, objeto deste trabalho, compreendem vinte e dois pavimentos tipo, térreo, dois subsolos, casa de máquinas e barrilete.

A torre elevada, compreende pilares com cargas entre 3000 KN (300 tf) até 8.000 KN (800 tf).

Para a implantação das garagens, em subsolos, a escavação do terreno envolveu profundidades da ordem de 5,5 m de retirada de terra.

### **Edifício no bairro da Pompéia, em São Paulo/SP**

As investigações geotécnicas preliminares, compreenderam 4 (quatro) sondagens “SPT”.

Na figura “1” está apresentada, como exemplo, a sondagem SP-02, da primeira campanha de investigação.

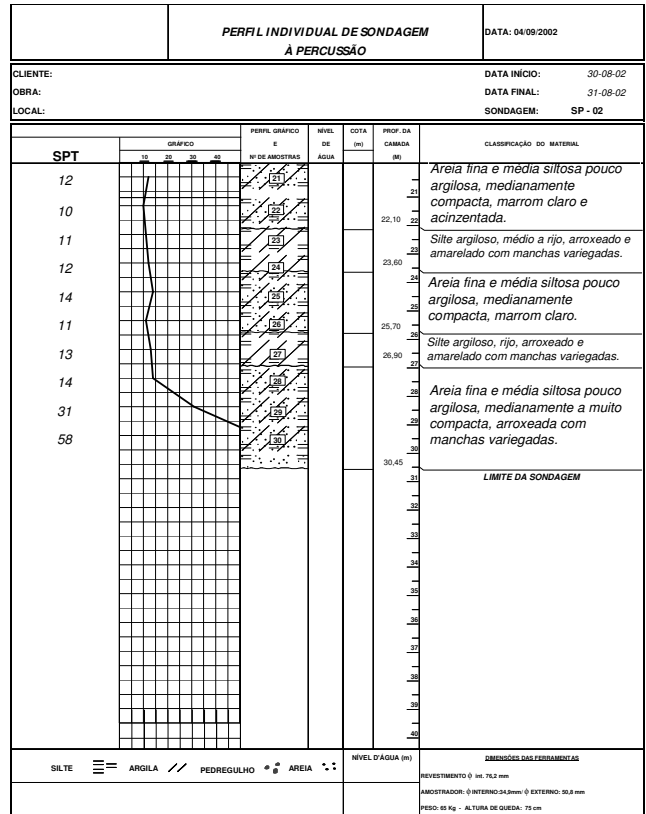
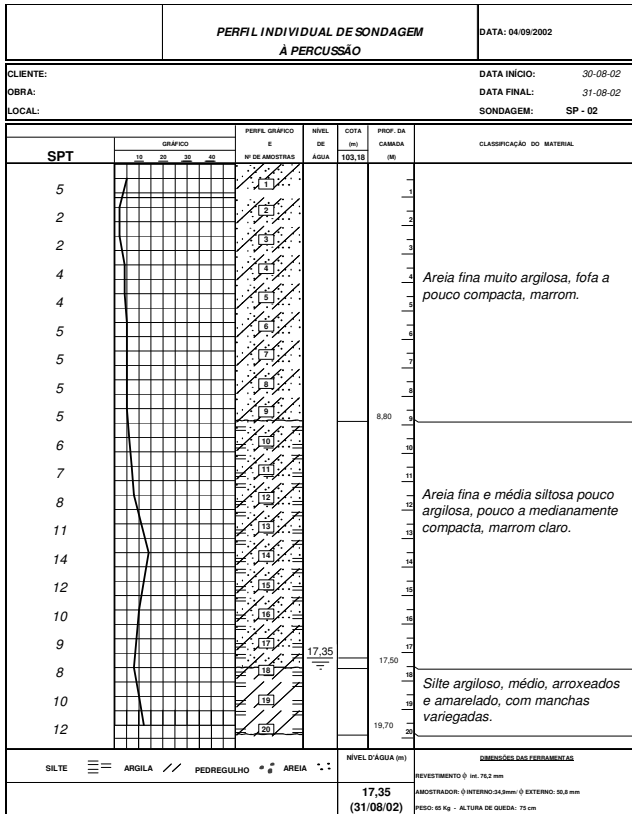


Figura 1 – Sondagem SP-02 da primeira campanha de investigação geotécnica – Pompéia

Pode-se observar, entre 8,80 m e 17,50 m de profundidade, a ocorrência de solo arenoso, com SPT na faixa de 5 a 14 golpes.

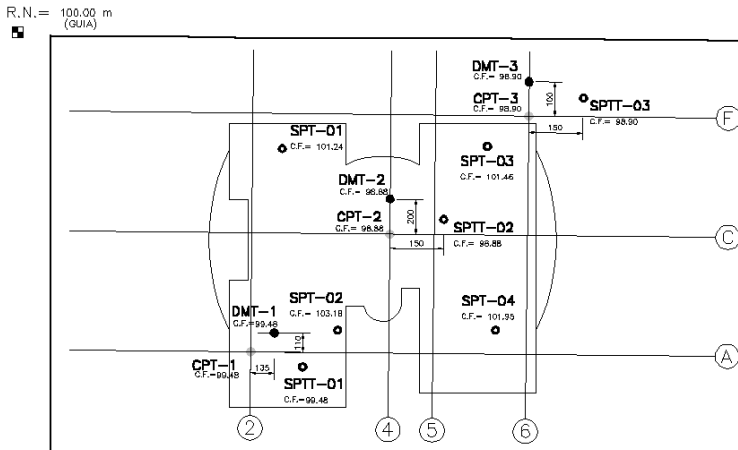


Figura 2 – Croquis de localização de sondagens – Pompéia

Como complementação da investigação geotécnica, posteriormente foram executados ensaios “SPTT” (sondagem à percussão com medida de torque), “CPT” (ensaios de penetração estática de cone) e “DMT” (dilatômetro de Marchetti), em três posições no terreno, sempre dispostos em grupos, com um furo de cada modalidade, próximos entre si, conforme figura 2.

Como exemplos dos resultados obtidos, estão apresentados na figura 3, o conjunto SPTT-3, CPT-3 e DMT-3.

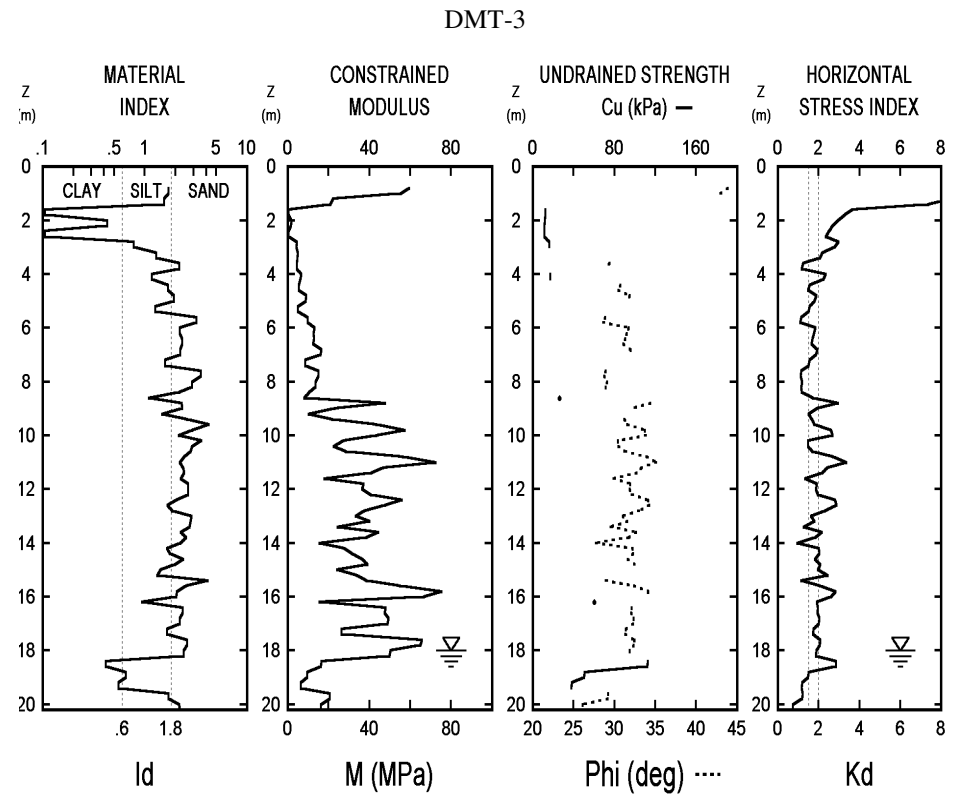
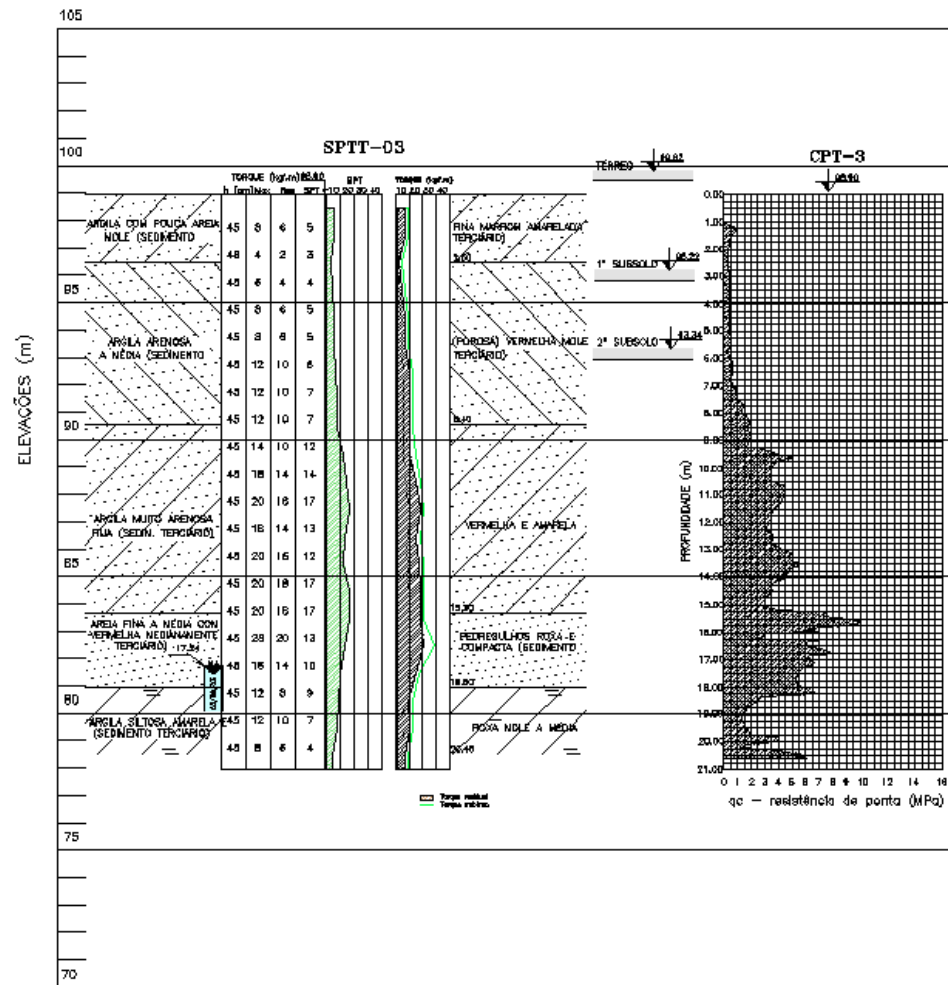


Figura 3 – Resultados dos furos de ordem “3” – Pompéia – Ensaios SPTT, CPT e DMT.

<h1>DMT-3</h1>
<b>Exemplo de ensaio DMT</b>
<b>SOLOS ARENOSOS BAIRRO POMPEIA SÃO PAULO/SP</b>

**LEGEND**  
 Z = Depth Below Ground Level  
 P0,P1,P2 = Corrected A,B,C readings  
 Id = Material Index  
 Ed = Dilatometer modulus  
 Ud = Pore Press. Index = (P2-U0)/(P0-U0)  
 Gamma = Bulk unit weight  
 Sigma' = Effective overb. stress  
 U0 = Pore pressure

**INTERPRETED PARAMETERS**  
 Phi = Safe floor value of Friction Angle  
 Ko = In situ earth press. coeff.  
 M = Constrained modulus (at Sigma')  
 Cu = Undrained shear strength  
 Ocr = Overconsolidation ratio  
 (OCR = "relative OCR"- generally realistic. If accurate independent OCR available, apply suitable OCR Factor)

**SOUNDING PARAMETERS**  
 DeltaA = 20 kPa  
 DeltaB = 20 kPa  
 GammaTop = 17.0 kN/m³  
 FactorEd = 34.7  
 Zm = 0.0 kPa  
 Zabs = 98.9 m  
 Zw = 18.0 m

WaterTable at 18.0 m

Reduction formulae according to Marchetti, ASCE Geot. Jnl. Mar. 1980, Vol. 109, 299-321; Phi according to TC16 ISSMGE, 2001

Z	A	B	C	P0	P1	P2	Gamma	Sigma'	U0	Id	Kd	Ed	Ud	Ko	Ocr	Phi	M	Cu	DMT-3	Z	A	B	C	P0	P1	P2	Gamma	Sigma'	U0	Id	Kd	Ed	Ud	Ko	Ocr	Phi	M	Cu	DMT-3												
(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kN/m³)	(kPa)	(kPa)			(MPa)				(Deg)	(MPa)	(kPa)	DESCRIPTION	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kN/m³)	(kPa)	(kPa)			(MPa)			(Deg)	(MPa)	(kPa)	DESCRIPTION													
0.8	310	850		305	830		17.7	14	0	1.72	22.4	18.2				44	59.5			10.4	280	1050		264	1030		18.6	177	0	2.91	1.5	26.6	30	22.6	SILTY SAND	10.4	280	1050		264	1030		18.6	177	0	2.91	1.5	26.6	30	22.6	SILTY SAND
1.0	310	850		305	830		17.7	17	0	1.72	17.8	18.2				43	55.5			10.6	330	1200		309	1180		18.6	181	0	2.82	1.7	30.2	31	28.6	SILTY SAND	10.6	330	1200		309	1180		18.6	181	0	2.82	1.7	30.2	31	28.6	SILTY SAND
1.2	170	470		177	450		16.7	21	0	1.54	8.6	9.5					22.3			10.8	540	1750		502	1730		19.6	184	0	2.45	2.7	42.6	34	56.4	SILTY SAND	10.8	540	1750		502	1730		19.6	184	0	2.45	2.7	42.6	34	56.4	SILTY SAND
1.4	170	470		177	450		16.7	24	0	1.54	7.4	9.5					20.9			11.0	680	2050		633	2030		19.6	188	0	2.20	3.4	48.5	35	72.6	SILTY SAND	11.0	680	2050		633	2030		19.6	188	0	2.20	3.4	48.5	35	72.6	SILTY SAND
1.6	80	130		99	110		14.7	27	0	0.11	3.6	0.4		0.92	2.6		0.5	13		11.2	500	1600		467	1580		19.6	192	0	2.38	2.4	38.6	33	46.9	SILTY SAND	11.2	500	1600		467	1580		19.6	192	0	2.38	2.4	38.6	33	46.9	SILTY SAND
1.8	80	130		99	110		14.7	30	0	0.11	3.3	0.4		0.84	2.2		0.5	12		11.4	460	1500		430	1480		19.6	196	0	2.44	2.2	36.4	33	41.1	SILTY SAND	11.4	460	1500		430	1480		19.6	196	0	2.44	2.2	36.4	33	41.1	SILTY SAND
2.0	80	160		98	140		15.7	33	0	0.43	3.0	1.5		0.77	1.8		1.8	12		11.6	280	900		271	880		18.6	200	0	2.25	1.4	21.1	30	18.0	SILTY SAND	11.6	280	900		271	880		18.6	200	0	2.25	1.4	21.1	30	18.0	SILTY SAND
2.2	80	160		98	140		15.7	36	0	0.43	2.7	1.5		0.72	1.6		1.7	12		11.8	420	1450		391	1430		18.6	204	0	2.66	1.9	36.1	32	37.1	SILTY SAND	11.8	420	1450		391	1430		18.6	204	0	2.66	1.9	36.1	32	37.1	SILTY SAND
2.4	80	130		99	110		14.7	39	0	0.11	2.5	0.4		0.68	1.4		0.4	12		12.0	420	1450		391	1430		18.6	207	0	2.66	1.9	36.1	32	36.5	SILTY SAND	12.0	420	1450		391	1430		18.6	207	0	2.66	1.9	36.1	32	36.5	SILTY SAND
2.6	80	130		99	110		14.7	42	0	0.11	2.3	0.4		0.63	1.3		0.4	11		12.2	450	1550		417	1530		19.6	211	0	2.67	2.0	38.6	32	40.8	SILTY SAND	12.2	450	1550		417	1530		19.6	211	0	2.67	2.0	38.6	32	40.8	SILTY SAND
2.8	120	260		135	240		15.7	45	0	0.78	3.0	3.6		0.78	1.9		4.6	16		12.4	640	1850		601	1830		19.6	215	0	2.04	2.8	42.6	34	56.0	SILTY SAND	12.4	640	1850		601	1830		19.6	215	0	2.04	2.8	42.6	34	56.0	SILTY SAND
3.0	120	260		135	240		15.7	49	0	0.78	2.8	3.6		0.74	1.7		4.4	16		12.6	660	1700		630	1680		19.1	219	0	1.67	2.9	36.4	34	47.7	SANDY SILT	12.6	660	1700		630	1680		19.1	219	0	1.67	2.9	36.4	34	47.7	SANDY SILT
3.2	100	280		113	260		15.7	52	0	1.30	2.2	5.1					5.2			12.8	540	1500		514	1480		19.6	223	0	1.88	2.3	33.5	33	37.5	SILTY SAND	12.8	540	1500		514	1480		19.6	223	0	1.88	2.3	33.5	33	37.5	SILTY SAND
3.4	100	280		113	260		15.7	55	0	1.30	2.1	5.1					4.9			13.0	400	1450		370	1430		18.6	227	0	2.87	1.6	36.8	31	33.4	SILTY SAND	13.0	400	1450		370	1430		18.6	227	0	2.87	1.6	36.8	31	33.4	SILTY SAND
3.6	60	250		72	230		16.7	58	0	2.17	1.3	5.5				29	4.6			13.2	450	1600		415	1580		19.6	230	0	2.81	1.8	40.4	32	40.0	SILTY SAND	13.2	450	1600		415	1580		19.6	230	0	2.81	1.8	40.4	32	40.0	SILTY SAND
3.8	60	250		72	230		16.7	61	0	2.17	1.2	5.5				29	4.6			13.4	320	1150		301	1130		18.6	234	0	2.76	1.3	28.8	30	24.5	SILTY SAND	13.4	320	1150		301	1130		18.6	234	0	2.76	1.3	28.8	30	24.5	SILTY SAND
4.0	140	350		152	330		16.7	65	0	1.18	2.3	6.2		0.63	1.3		6.6	17		13.6	550	1700		515	1680		18.6	238	0	2.27	2.2	40.4	33	44.3	SILTY SAND	13.6	550	1700		515	1680		18.6	238	0	2.27	2.2	40.4	33	44.3	SILTY SAND
4.2	140	350		152	330		16.7	68	0	1.18	2.2	6.2		0.60	1.2		6.3	17		13.8	480	1600		446	1580		19.6	242	0	2.54	1.8	39.3	32	38.6	SILTY SAND	13.8	480	1600		446	1580		19.6	242	0	2.54	1.8	39.3	32	38.6	SILTY SAND
4.4	100	320		111	300		15.7	71	0	1.70	1.6	6.6				31	5.6			14.0	240	780		235	760		18.6	246	0	2.23	1.0	18.2	28	15.5	SILTY SAND	14.0	240	780		235	760		18.6	246	0	2.23	1.0	18.2	28	15.5	SILTY SAND
4.6	100	320		111	300		15.7	74	0	1.70	1.5	6.6				30	5.6			14.2	520	1350		501	1330		19.1	250	0	1.66	2.0	28.8	32	27.7	SANDY SILT	14.2	520	1350		501	1330		19.1	250	0	1.66	2.0	28.8	32	27.7	SANDY SILT
4.8	140	450		147	430		17.7	78	0	1.94	1.9	9.8				32	9.2			14.4	540	1450		517	1430		19.1	254	0	1.77	2.0	31.7	32	31.4	SANDY SILT	14.4	540	1450		517	1430		19.1	254	0	1.77	2.0	31.7	32	31.4	SANDY SILT
5.0	140	450		147	430		17.7	81	0	1.94	1.8	9.8				32	8.8			14.6	500	1600		467	1580		19.6	257	0	2.38	1.8	38.6	32	36.6	SILTY SAND	14.6	500	1600		467	1580		19.6	257	0	2.38	1.8	38.6	32	36.6	SILTY SAND
5.2	120	320		132	300		15.7	85	0	1.27	1.6	5.8					5.0			14.8	580	1650		549	1630		19.6	261	0	1.97	2.1	37.5	32	39.0	SILTY SAND	14.8	580	1650		549	1630		19.6	261	0	1.97	2.1	37.5	32	39.0	SILTY SAND
5.4	120	320		132	300		15.7	88	0	1.27	1.5	5.8					5.0			15.0	540	1300		524	1280		19.1	265	0	1.44	2.0	26.2		24.3	SANDY SILT	15.0	540	1300		524	1280		19.1	265	0	1.44	2.0	26.2		24.3	SANDY SILT
5.6	100	460		104	440		17.7	91	0	3.23	1.1	11.7				29	9.9			15.2	680	1550		658	1530		19.1	269	0	1.32	2.4	30.2		34.0	SANDY SILT	15.2	680	1550		658	1530		19.1	269	0	1.32	2.4	30.2		34.0	SANDY SILT
5.8	100	460		104	440		17.7	94	0	3.23	1.1	11.7				29	9.9			15.4	360	1650		318	1630		18.6	273	0	4.13	1.2	45.5	29	38.7	SAND	15.4	360	1650		318	1630		18.6	273	0	4.13	1.2	45.5	29	38.7	SAND
6.0	180	600		181	580		17.7	98	0	2.20	1.8	13.8				32	13.1			15.6	620	2050		570	2030		19.6	277	0	2.56	2.1	50.6	32	54.9	SILTY SAND	15.6	620	2050		570	2030		19.6	277	0	2.56	2.1	50.6	32	54.9	SILTY SAND
6.2	180	600		181	580		17.7	101	0	2.20	1.8	13.8				32	12.6			15.8	850	2450		792	2430		19.6	281	0	2.07	2.8	56.8	34	75.3	SILTY SAND	15.8	850	2450		792	2430		19.6	281	0	2.07	2.8	56.8	34	75.3	SILTY SAND
6.4	180	620		180	600		17.7	105	0	2.33	1.7	14.6				31	13.0			16.0	800	2300		747	2280		19.6	284	0	2.05	2.6	53.2	34	66.8	SILTY SAND	16.0	800	2300													

Deve-se observar a variação de resistência de ponta, medida no ensaio CPT, a partir de 8,40 m de profundidade, bem como as variações do parâmetro “M” (módulo edométrico) do ensaio DMT, indicando, de forma mais sensível, a diferença de comportamentos dessa camada e da anterior.

Com essas informações, o projeto foi desenvolvido, com o uso de sapatas, apoiadas no nível 90,50 m, aplicando ao terreno, tensão nominal de 0,3 MPa (3,0 Kgf/cm<sup>2</sup>), conforme figura “4” adiante.

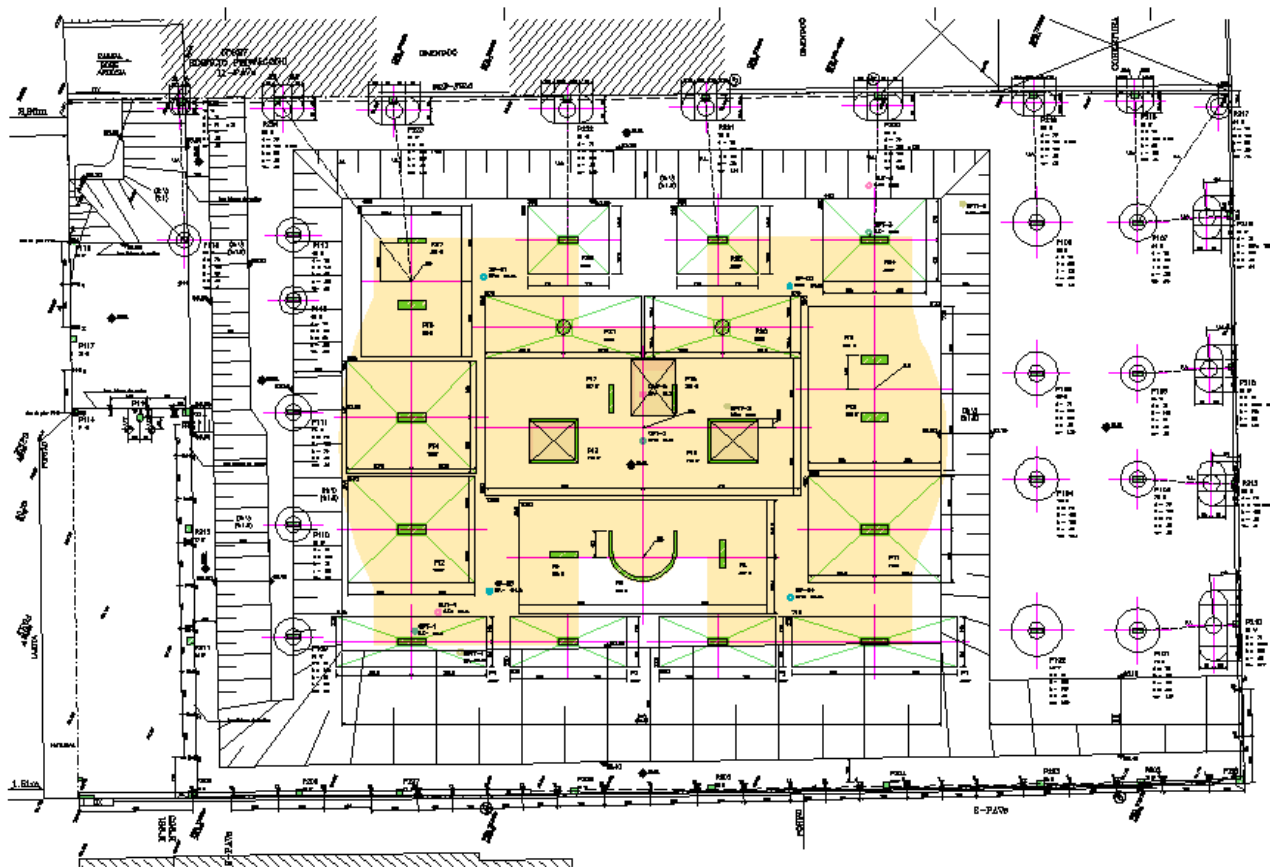


Figura 4 – Croquis das sapatas – Pompéia

Na avaliação dos recalques das sapatas da torre elevada, foi considerado que o conjunto de sapatas envolve cerca de 399 m<sup>2</sup> de área, em uma forma retangular de 23,75 m x 16,81 m.

A escavação do terreno, promoveu um alívio de pressões avaliado em 101,9 KN/m<sup>2</sup> (10,19 tf/m<sup>2</sup> ou 1,019 Kgf/cm<sup>2</sup>) computado em toda a área do terreno e as fundações, então, introduziram um acréscimo líquido de pressão de 300 KN/m<sup>2</sup> – 101,9 KN/m<sup>2</sup> = 198,1 KN/m<sup>2</sup> (19,81 tf/m<sup>2</sup> ou 1,981 Kgf/cm<sup>2</sup>).

Com esses elementos, empregando um processo de propagação das tensões em camadas do terreno e usando o módulo edométrico “M”, obtidos nos ensaios “DMT”, para cada camada do terreno, foram calculados os recalques da área retangular equivalente de 23,75 m x 16,81 m, abrangida pelas sapatas, resultando nos elementos indicados na tabela “1” adiante.

Tabela 1 – Resumo das previsões de recalques – Pompéia	
Ponto	Recalque calculado (cm)
Centro da área retangular	5,96
Vértice da área retangular	0,06
Metade do lado menor do retângulo	1,48
Metade do lado maior do retângulo	2,14

### Edifício no bairro da Moóca, em São Paulo/SP

As investigações geotécnicas preliminares, compreenderam quatro sondagens “SPT”. Na figura “5” estão indicadas as posições dos furos e os resultados dessas sondagens.



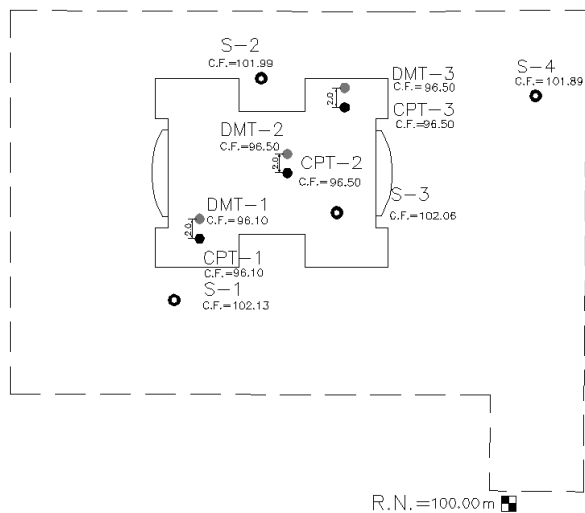


Figura 6 – Croquis de locação das sondagens – Moóca

Para a implantação das garagens em subsolo, foi escavado 5,20 m de profundidade do terreno, atingindo camada classificada como argila silto-arenosa, mole a rija, amarela, roxa e cinza.

Como complementação, foram executados três grupos de ensaios “CPT” e “DMT”, dispostos nas posições indicadas na figura “6”.

Como exemplo dos resultados obtidos, estão apresentados, na figura “8”, o conjunto S-3, CPT-2 e DMT-2.

Deve-se observar a presença de camadas de maior compressibilidade, situadas em profundidade em torno dos níveis 84,00 m a 86,00 m, que foi refletida nos valores “SPT” como 9 a 12 golpes, e nos ensaios “CPT” como resistência de ponta “Rp” entre 1,0 e 3,0 MPa (10 a 30 Kgf/cm<sup>2</sup>) e nos ensaios “DMT” como módulo edométrico “M” entre 10 e 26 MPa (100 a 260 Kgf/cm<sup>2</sup>).

Esses valores, comparados aos demais, do trecho situado entre os níveis 86,00 e 94,00 m, demonstram maior sensibilidade às variações de comportamento, quando medidas em ensaios mais precisos, e mais contínuos, como o “CPT” e o “DMT”.

Com essas informações, o projeto foi desenvolvido, com o uso de sapatas, apoiadas no nível 94,00 m, aplicando ao terreno, tensão nominal de 0,32 MPa (3,2 Kgf/cm<sup>2</sup>), conforme figura “7” adiante.

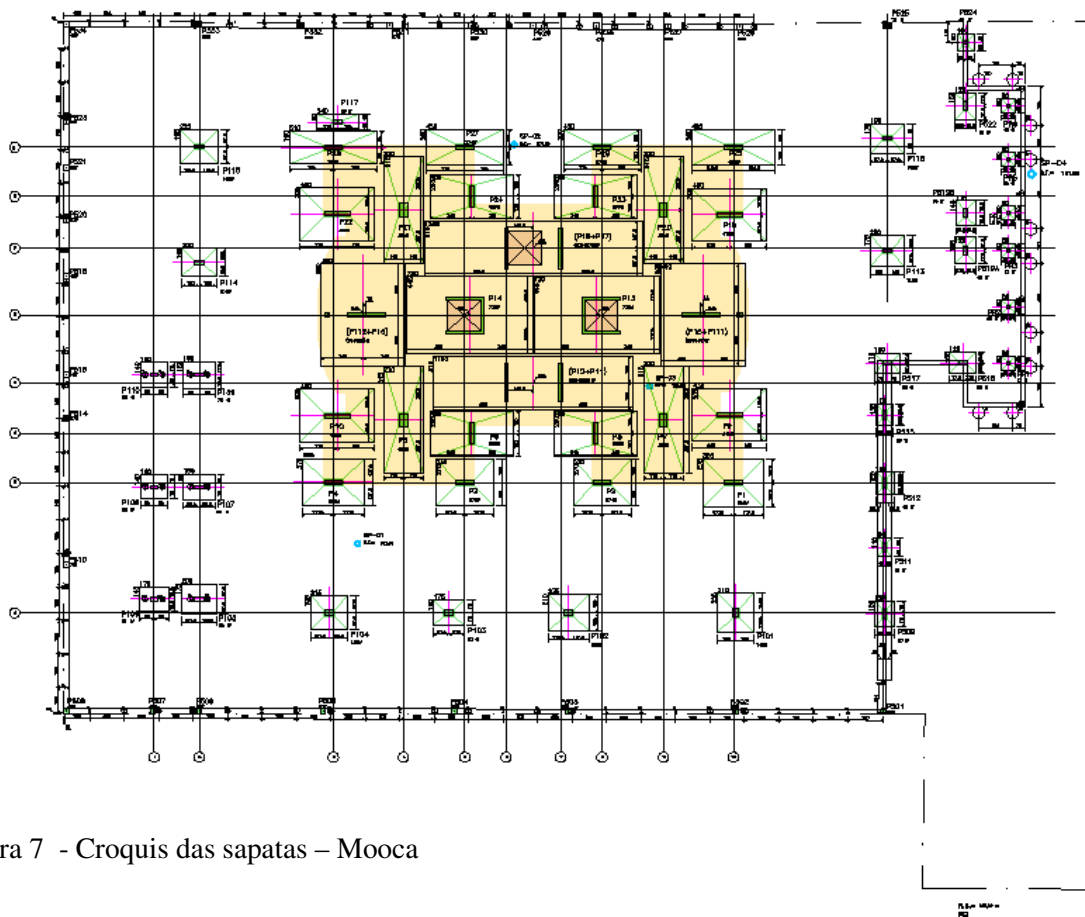


Figura 7 - Croquis das sapatas – Mooca



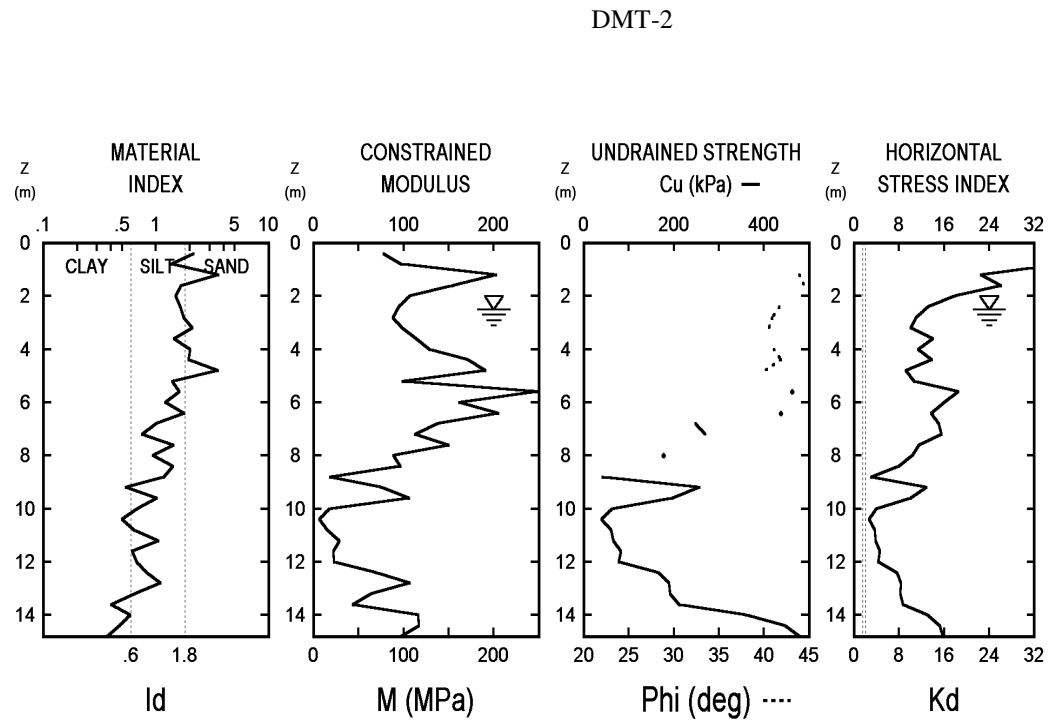
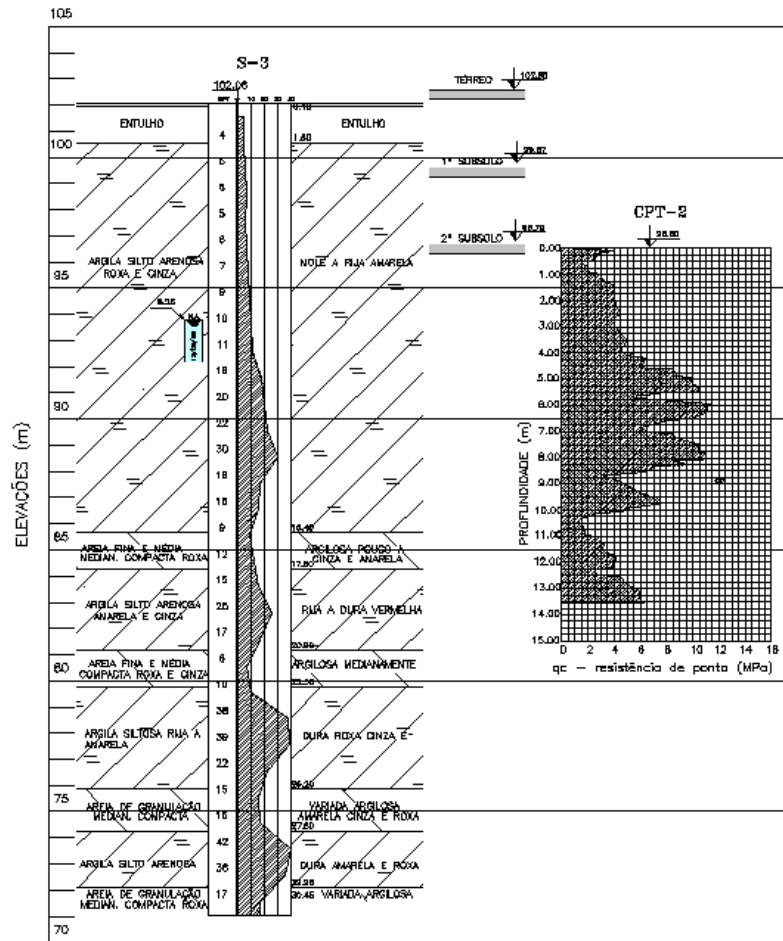


Figura 8 – Resultados dos ensaios SPT, CPT e DMT – Moóca

Da mesma forma descrita para o outro edifício, foram avaliados os recalques de uma área retangular de 24,60 m X 17,67 m (434 m<sup>2</sup>).

Como alívio de pressão, devido à escavação, foi computado, em toda a área do terreno, o valor 94,1 KN/m<sup>2</sup> (9,41 tf/m<sup>2</sup> ou 0,941 Kgf/cm<sup>2</sup>) e a fundação introduziu um acréscimo líquido de pressão de 320 KN/m<sup>2</sup> - 94,10 KN/m<sup>2</sup> = 225,9 KN/m<sup>2</sup> (22,59 tf/m<sup>2</sup> ou 2,259 Kgf/cm<sup>2</sup>).

Com o mesmo processo de propagação de tensões e com os módulos edométricos “M” obtidos nos ensaios “DMT”, para cada camada do terreno, foram calculados os recalques, apresentados na tabela “2” adiante.

Ponto	Recalque calculado (cm)
Centro da área retangular	2,19
Vértice da área retangular	0,00
Metade do lado menor do retângulo	0,60
Metade do lado maior do retângulo	0,68

## CONCLUSÕES

O uso de ensaios especiais de campo, pode apresentar, em algumas condições, a fonte de informações necessárias para uma decisão relativa à solução da fundação de um edifício, que venha proporcionar substancial economia, principalmente quando ocorre, como nos dois casos descritos neste trabalho, uma mudança de solução, originalmente concebida em fundação profunda, por estacas, para uma solução em fundação direta, por sapatas.

A precisão das informações, a forma de obtenção dos dados no campo, que é quase contínua ao longo da profundidade, aliada à rapidez e ao baixo custo desses ensaios (da ordem do dobro ao triplo de uma sondagem à percussão), representam uma alternativa cujo uso tende a se intensificar em nosso meio técnico.

## BIBLIOGRAFIA

ASTM D6635-01. “Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer”. American Society for Testing and Materials ASTM, 2001.

EUROCODE 7 (1997). Geotechnical Design - Part 3: Design assisted by field testing, Section 9: “Flat dilatometer Test (DMT) Final Draft, ENV 1997-3, Apr. 66-73, CEN-European Committee for Standardization.

MARCHETTI, S. (1975). “A New In Situ Test for the measurement of horizontal soil deformability”. Proc. Conf. On In Situ Measurement of Soil Properties, ASCE, Special Conf., Raleigh, Vol. 2, 255-259, June.