

Parâmetros de Compressibilidade de Solos da Baixada Santista

Atilio Oliveira Moretti

Moretti Engenharia Consultiva Ltda., São Paulo, Brasil, atilio@morettiengenharia.com.br

Geraldo Vanzolini Moretti

Moretti Engenharia Consultiva Ltda, São Paulo, Brasil, geraldo@morettiengenharia.com.br

António Viana da Fonseca

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, viana@fe.up.pt

Denis Kenhiti Suzuki

Moretti Engenharia Consultiva Ltda., São Paulo, Brasil, denis@morettiengenharia.com.br

Ivo José Ferreira Teixeira

Moretti Engenharia Consultiva Ltda., São Paulo, Brasil, ivo.teixeira@morettiengenharia.com.br

RESUMO: A obtenção de parâmetros geotécnicos por diferentes tipos de ensaios, que vem a complementar os dados encontrados na bibliografia, é de grande interesse dos pesquisadores e projetistas. Desta forma, este trabalho tem o intuito de apresentar os resultados das investigações geotécnicas realizadas para obtenção de parâmetros de compressibilidade, para o entendimento dos fenômenos de adensamento em andamento em um condomínio residencial situado no município de Monguagá, SP. Para os estudos foram realizados ensaios de campo (sondagens SPT e ensaio de piezocone ou CPTu) e ensaios de laboratório (caracterização completa e compressão física edométrica). Os resultados obtidos nos ensaios de campo e em laboratório foram comparados entre si e com os encontrados em publicações e bibliografia dos solos da Baixada Santista.

PALAVRAS-CHAVE: Baixada Santista, Aterro sobre solos moles, Parâmetros de Compressibilidade, Adensamento, Ensaios de campo.

Tema: Investigações geotécnicas de laboratório e campo e suas aplicações em obras de engenharia

1. INTRODUÇÃO

Os solos da baixada santista sempre foram objeto de estudo de diversos autores e pesquisadores, que buscavam transpor obstáculos referentes às condições impostas pela geologia e geotecnia regional.

A presença ao longo de toda planície costeira santista de camadas de areia, de espessura variável, sobrepostas e por vezes intercaladas com camadas de argilas holocênicas, sedimentos fluviolagunares (SFL), de consistência muito mole a mole, e sobrejacentes a camadas de argilas pleistocênicas, transicionais (AT), de

consistência média a rija, compõem a estratigrafia desta área costeira situada na parte central da costa do estado de São Paulo, compreendendo uma área escarpada da Serra do Mar, expressa numa planície sedimentar que se desenvolve até o mar, entre os rios Mongaguá (ao sul e Itapanhaú (ao norte).

As regiões centrais e nordeste da planície de Santos são drenadas por uma rede de lagunas e canais de maré, que delimitam as Ilhas de São Vicente e Santo Amaro, onde desembocam diversos rios, como o Mogi, Quilombo, Jurubatuba, entre outros, que acompanham aproximadamente a zona de falhas que cortam

as rochas pré-cambrianas, com direção sudoeste-nordeste.

As obras civis realizadas na Baixada Santista defrontam-se com alguns dos mais difíceis problemas da engenharia de solos, podendo ser resumidos segundo Massad (2009) em:

- a existência de extensas áreas de manguezais, que acarretam problemas de recalques excessivos e, não raro, de ruptura de aterros;
- a necessidade de executar fundações profundas, de elevado custo, para diversos tipos de obra;
- o custo de materiais de construção tanto para serviços de terraplenagem (aterros de solos argilosos) quanto para o uso de concreto (areias e materiais pedregosos).

Embora amplamente estudado, as propriedades, características e o comportamento dos materiais que compõe a estratigrafia do subsolo da Baixada Santista ainda remetem a questões básicas, como por exemplo, a ocorrência de camadas profundas de argilas duras, com propriedades e índices semelhantes às argilas mais superficiais, ou mesmo, quais são os condicionantes que determinam o recalque secundário. Estas e muitas outras questões ainda carecem de soluções e pesquisas que possam explicar tais fenômenos.

2. OBJETIVO

Desta forma, este trabalho tem o intuito de complementar a base de dados existente, para aplicação em projetos de Engenharia Civil, de parâmetros de compressibilidade, obtidos em ensaios de laboratório e de campo, em uma área situada no município de Mongaguá.

3. GEOLOGIA REGIONAL

O município de Mongaguá, litoral do Estado de São Paulo e local objeto do estudo realizado, está inserido geologicamente no contexto do Complexo Costeiro. Possuindo também expressivos depósitos quaternários ao longo da linha de costa, depósitos aluvionares também

são encontrados ao longo de drenagens e em áreas de alagadiços.

O Complexo Costeiro, no Estado de São Paulo, é delimitado a norte, pela Falha de Cubatão, e a sul, pela linha de costa e ilhas vizinhas. Esta unidade é constituída por três conjuntos litológicos distintos representados por sequências gnáissico-migmatíticas, para-derivadas e granulíticas.

Na região estudada ainda podem ser encontrados sedimentos pertencentes à Formação Cananéia. Entre as unidades quaternárias mapeadas no litoral paulista, três são de especial importância dentro da área de estudo, são elas, os cordões litorâneos arenosos holocênicos, os terraços marinhos holocênicos e os terraços marinhos pleistocênicos. A Formação Cananéia de idade pleistocênica tem sua formação associada diretamente a um evento transgressivo-regressivo e é composta por sedimentos arenosos finos predominantemente, na base ocorrem níveis de minerais pesados e intercalações de argila. Nesses ambientes arenosos genérica e inapropriadamente chamados de restinga, predominam os Espodossolos e os Neossolos Quartzarênicos.

4. PARÂMETROS DE COMPRESSIBILIDADE

A determinação de parâmetros de compressibilidade é de extrema importância para as obras que se desenvolvem sobre solos compressíveis moles, dada incompatibilidade de deformações entre estes materiais e as estruturas sobrejacentes.

A determinação destes parâmetros pode ser obtida através de ensaios de campo e laboratório. Dentre os ensaios de campo, é comum o SPT embora menos competentes para este tipo de solo, as provas de carga interessantes, mas onerosas e demoradas, e ainda os ensaios de cone penetrômetro em particular o CPTu, que é particularmente rico em informação e que se reconhece hoje muito vantajoso. Os ensaios de laboratório aos ensaios de caracterização completa para

determinação dos índices físicos, aos de compressão edométrica e triaxiais.

Em seu trabalho, Massad (1985), obteve através de amostras indeformadas tipo Shelby valores médios de $C_c/(1+e_0)$ de 0,43 para argilas de SFL. Para as argilas SFL da região de Alemoa e Conceiçãozinha, mais arenosas, a média foi de 0,34. A relação entre C_r/C_c , onde C_r é o índice de recompressão, apresentou valores de 5 a 14%, média de 8%, para argilas SFL; de 9%, para as ATs; e 12% para argilas de mangues.

Na Tabela 4.1 são apresentados alguns parâmetros referentes aos horizontes geológicos encontrados na Baixada Santista e Iguape.

Tabela 4.1 – Propriedades dos solos da Baixada Santista e Iguape (Massad, 2009)

Item/Unidade	Mangue	SFL	AT
δ (kN/m ³)	26,5	26,6	26
% < 5 μ	-	20-90	20-70
LL	40-150	40-150	40-150
IP	30-90	20-90	40-90
IA	1,2-2,2	0,7-3	0,8-2,0
IL (%)	50-160	50-160	20-90
$C_c/1+e_0$	0,35-0,39 (0,36)	0,33-0,51 (0,43)	0,35-0,43 (0,39)
C_r/C_c (%)	12	5-14 (8)	9
EL/σ'_a (RSA>1)	13	13-18	11
EL/σ'_v ($\sigma'_a \leq \sigma'_v \leq 2 \sigma'_a$)	8	8	9
EL/σ'_v ($\sigma'_v \geq 2 \sigma'_a$)	8	8	9
E_r/Su (1)	140	138	143
E_{50}/Su (1)	-	237	234
Su/σ'_c (1)	-	0,34 RSA ^{0,78}	0,40 RSA ^{0,60}
Su/σ'_a (1)	-	0,28	3
K_0 (lab)	-	0,57 RSA ^{0,45}	0,58 RSA ^{0,45}
Rf (%)	-	1,5-4,0	1,5-2,0

(1) Ensaios triaxiais de compressão axial (CIU-C)

Observando-se os valores nota-se que mesmo com os diferentes parâmetros disponíveis, é difícil a diferenciação dos tipos de argila encontrados na Baixada Santista, principalmente entre as argilas de mangue e SFL.

Na Tabela 4.2 é apresentado um resumo das propriedades geotécnicas das argilas de mangue e SFL de outros locais da costa brasileira.

Tabela 4.2 – Características e propriedades de geotécnicas de outros solos da costa brasileira (Massad, 2009)

Item	Rio de janeiro	Recife (PE)	Vitória (ES)	Rio Grande (RS)	Porto Alegre	Porto Sergipe
	Mangues e SFL	Mangues e SFL	Mangues e SFL	SFL	Mangues e SFL	SFL
Prof. (m)	15	28	13	40	10	11
SPT	0	0 a 2	0 a 5	0 a 9	0 a 1	-
e	1 a 5	1 a 5	-	0,6 a 3,6	-	1 a 2
σ'_0 (kPa)	≤ 60	15 a 190	≤ 300	30 a 350	50 a 130	60 a 100
Su (kPa)	5 a 30	2 a 40	-	7 a 90	8 a 30	15 a 25
γ_n (kN/m ³)	12 a 17	11 a 17	-	15 a 17,8	14	-
Minerais	Caulinita	Caulinita	-	-	-	-
Matéria orgânica (%)	3 a 33 (5)	3 a 10	5 e 8	-	-	-
Sensitividade	5-10 (4,3)	6	-	2,5	4,5	-
ϕ^*	25° (30°)	23 a 29°	-	23 a 29°	-	27°
Cv^{lab} (cm ² /s) (n.a.)	(0,2-20).10 ⁻⁴	(1-10).10 ⁻⁴	-	(1-5).10 ⁻⁴	(0,3-5).10 ⁻⁴	-
Cv^{lab} (cm ² /s) (s.a.)	(35-75).10 ⁻⁴	(20-70).10 ⁻⁴	-	-	(10-30).10 ⁻⁴	-
Cv^{ampo}/Cv^{lab}	20-30 crosta:100	-	-	-	1-10	-
δ (kN/m ³)	26-26,7	23-27	-	25-27	-	-
% < 5 μ	20-80	25-80	> 70	34-96	50-70	-
LL	60 a 450	30 a 230	30 a 130	30 a 120	60 a 120	-
IP	30 a 150	40 a 120	10 a 90	20 a 60	10 a 70	20 a 70
IA	1,4 a 2,3	0,5?	-	-	-	-
$C_c/1+e_0$	0,3-0,5 (0,41)	0,45	0,22	0,2-0,55	-	-
C_r/C_c (%)	7 a 15	10 a 15	-	-	-	10
E_{50}/Su (1)	100-400 (125)	-	-	-	-	250
Su/σ'_0	0,30 - 0,49 (0,35)	0,28 - 0,32	-	-	-	-
Su/σ'_c	0,31 RSA ^{0,77} (1)	-	-	-	-	0,31 RSA ^{0,80} (2)
K_0 (lab)	0,58 RSA ^{0,42}	-	-	-	-	0,61 RSA ^{0,502}

(1) Ensaios triaxiais de compressão; (2) Vane Test; n.a. - Normalmente adensado; sa - Sobreadensado

Os valores apresentados mostram a ampla faixa de variação das propriedades geotécnicas dos solos da costa brasileira, denotando a importância da realização de ensaios específicos de campo e laboratório para cada local e ilustrando a dificuldade dos projetistas em adotar parâmetros para aplicação em projetos.

Na são apresentados valores de índices de vazios e pressões de pré-adensamento para as argilas encontradas na Baixada Santista.

Tabela 4.3 – Índices de vazios e pressões de pré-adensamento (Massad, 2009)

Unidade genética	Local	Obra	Prof. (m)	% < 5 μ	LL	Índice de vazios natural	Tensão de pré-adensamento σ_a (kPa)		
Mangue	Vale do Rio Diana	Piaçaguera-Guarujá/Itapema	0,50	-	-	7,06	10		
			0,85	-	-	4,48	50		
			1,15	-	-	4,91	20		
			2,15	-	-	4,56	30		
	Vale do Rio Mogi	Cosipa - Laminação	2,70	-	-	3,97	32		
			1,95	47	138	3,80	22		
			2,24	50	133	4,01	24		
SFL	Alemoa e Jardim Casqueiro	Tanque de óleo Petrobrás Ponte sobre	8,00	-	65	2,30	110		
			13,25	66	111	2,26	120		
			6,90	-	110	2,40	100		
	Cubatão	Imigrantes Estaca 56	4,30	60	11	3,43	43		
			6,30	67	126	3,68	46		
			8,30	65	126	4,06	46		
			10,30	54	118	4,10	60		
			12,30	74	125	3,74	70		
			12,32	53	135	3,72	56		
			14,20	59	104	2,94	67		
			16,32	80	104	3,18	80		
			16,30	75	116	3,10	70		
			Imigrantes Estaca 127	5,00	55	108	3,69	60	
				5,30	65	111	2,90	74	
				7,00	74	107	3,25	70	
			Vale do rio Mogi	Cosipa - Laminação	7 a 9	63 \pm 12(4)	121 \pm 6 (5)	3,11 \pm 0,13 (5)	69 \pm 9 (5)
					11 a 13	71 \pm 4 (5)	121 \pm 7 (5)	2,90 \pm 0,27 (5)	71 \pm 5 (5)
	13,00	76			132	2,96	100		
	Piaçaguera-Guarujá SP1, SP2, SP3 e SP4	3 a 6			73 \pm 6 (5)	103 \pm 15 (5)	3,31 \pm 0,48 (5)	54 \pm 11 (5)	
		8 a 10	75 \pm 3 (4)	97 \pm 8 (4)	3,14 \pm 0,36 (4)	65 \pm 1 (4)			
Vale do Rio Quilombo	Piaçaguera-Guarujá	6,75	69	106	3,84	37			
		11,25	78	126	3,65	48			
Ilha de Santo Amaro	Piaçaguera-Guarujá SP7	3,25	60	100	4,11	27			
		6,25	60	93	2,79	50			
AT	Alemoa e Jardim Casqueiro	Ponte sobre o Canal do Casqueiro	12 a 17	44 \pm 10 (10)	124 \pm 13 (14)	2,06 \pm 0,35 (14)	266 \pm 33 (14)		
			27 a 32	29 \pm 10	120 \pm 18	1,89 \pm 0,21	350 \pm 25 (9)		
		Petrobras	22,25	70	120	2,29	340		
			24,50	50	80	1,60	450		
			36,00	53	80	1,77	475		
	Cubatão	Imigrantes Estaca 127	37,50	66	68	1,55	600		
			16,30	61	121	1,85	270		
	Imigrantes Estaca 56	16,30	62	98	1,97	300			
		19,30	65	93	2,13	290			
	Canal de Bertioga	Piaçaguera-Guarujá	22,70	-	-	2,65	300		
Ilha de Santo Amaro	Piaçaguera-Guarujá SP7	22,25	66	89	1,94	190			

$\mu \pm s$ - Média \pm desvio padrão; (N) - Número de pontos

Nota-se uma redução dos índices de vazios das argilas de mangue, argilas de SFL e argilas transicionais, em ordem decrescente. Segundos os valores da Tabela 4.3, as argilas de mangue apresentam índices de vazios médios da

ordem de 4,0, as argilas de SFL apresentam médias da ordem de 3,0 e as argilas de AT de 2,0.

Na Tabela 4.4 são apresentados índices de compressão e expansão para os diferentes tipos de argila encontrados na Baixada Santista.

Tabela 4.4 – Índices de compressão e expansão (Massad, 2009)

Unidade genética	Local	Obra	Cc/(1+e ₀)			Cr/Cc (%)			Ce/Cc (%)			
			μ	S	N	μ	S	N	μ	S	N	
Mangue	Vale do Rio Diana	Itapema	0,386	0,06	5	11,3	1,8	4	-	-	-	
	Vale do Rio Mogi	Cosipa - Laminação	0,335	0,07	5	12,7	2,6	5	-	-	-	
SFL	Alemoa	Petrobrás	0,327	0,1	6	14,4	9,1	6	9,8	3,3	6	
		Praia de Santos	Edifício A	0,4	0,12	16	7,4	4,7	12	10,3	2,5	12
	Edifício B		0,377	0,11	23	6,1	3,3	23	8,1	2	24	
	Edifício C e D		0,462	0,13	27	5,3	2,5	27	8,2	1,7	27	
	Cubatão	Via dos Imigrantes Est. 56	0,467	0,12	16	10,4	3,8	16	11,3	2,9	15	
	Vale do Rio Piaçaguera	Cosipa - Laminação	0,424	0,03	17	9,2	0,4	17	-	-	-	
	Vale do Rio Quilombo	Via Piaçaguera-Guarujá	0,444	0,13	6	13,6	4,2	6	12	3,4	6	
	Vale do Rio Jurubatuba	Via Piaçaguera-Guarujá	0,479	0,11	6	9,9	4,8	6	10,4	1,5	6	
	Vale do Rio Diana e Canal de Bertioga	Itapema	Itapema	0,411	0,08	11	11,4	5,4	10	-	-	-
			Via Piaçaguera-Guarujá (SP5)	0,445	0,05	5	9,4	2,1	4	9,7	1,4	5
			Via Piaçaguera-Guarujá (SP6)	0,514	0,05	5	7,4	3	5	10	1,1	5
			Ilha de Sto. Amaro	Via Piaçaguera-Guarujá (SP7)	0,477	0,04	6	9	1,6	5	9,2	3,2
AT	Alemoa	Petrobrás	0,43	0,12	5	6,8	3,7	5	12,7	2,7	4	
	Cubatão	Via dos Imigrantes Est. 127	0,347	0,07	6	8,5	4,3	6	14,4	3,1	4	
		Iguape	-	0,349	138	8	9 10,2*	6,2 5,8	7 7*	10,9 16,6*	5,1 5,6*	8 8*

Cc - Índice de compressão; Cr - Índice de recompressão (*) corresponde a um segundo carregamento; Ce - Índice de expansão; e₀ - Índice de vazios natural; μ , S, N - Média, desvio padrão e número de amostras

Segundo Massad (2009), a diferenciação entre os diferentes tipos de argila (mangue, SFL e AT) pode ser distinguida através da relação entre pressão de pré-adensamento e o índice de vazios, quando os teores de argila no solo são acima de 50% (% < 5 μ). Para os sedimentos argilosos, com % < 5 μ \geq 50%, essa diferenciação pode ser feita quanto ao teor de umidade natural (h): para h < 75%, para ATs; para h > 150%, argilas de mangues; e para valores intermediários, argilas de SFL.

5. ÁREA ESTUDADA

A área estudada situa-se no município de Mongaguá, em uma região aterrada e urbanizada, localizada junto ao Parque Estadual da Serra do Mar e a Rodovia Padre Manoel da Nóbrega. Trata-se de um terreno com cerca de 13800m², no qual foi construído um conjunto habitacional, com 12 prédios.

A área em epígrafe foi objeto deste estudo uma vez que foram constatados problemas de recalques diferidos no tempo do

aterro, que ocasionaram danos às estruturas existentes, como tubulações de redes de água, esgotos, sistemas de drenagem e passeio. Os recalques ocorridos ultrapassaram 0,60m, porém as edificações, com fundações profundas, não apresentam nenhum recalque.

Na Figura 5.1 é apresentada a localização da área estudada.



Figura 5.1 – Localização da área estudada

5.1 Perfil geológico-geotécnico local

Através das sondagens executadas no local elaborou-se o perfil geológico-geotécnico local, conforme apresentado na Figura 5.2.

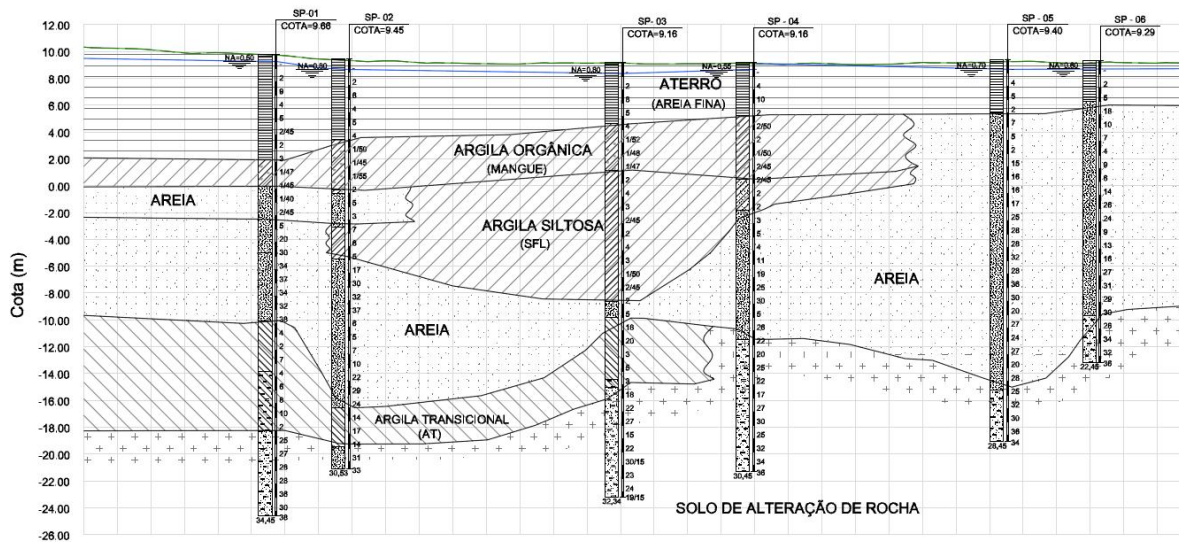


Figura 5.2 – Perfil geológico-geotécnico local

Observando essa figura, nota-se a existência de uma camada de aterro, de compactidade variando de muito fofa a fofa, e espessura entre 3 a 8 metros. Abaixo desta, verifica-se a presença de uma camada composta por uma argila orgânica, cinza escura, de consistência muito mole, e espessura entre 2 a 5 metros, que se encontra sobreposta a uma camada de argila siltosa de cor cinza, de consistência variando de muito mole a mole, e espessura variando de 2 metros, próximo à região do bloco 8, a 10 metros, na área situada na região central do terreno (Bloco 6 e 7). Verificam-se ainda camadas intercaladas de areia, com espessura variável, entre as camadas de argila. O nível freático encontra-se em média a um metro de profundidade.

6. ENSAIOS REALIZADOS

Os ensaios foram distribuídos em 4 ilhas de ensaio (IE), no qual foram realizadas sondagens à percussão, ensaios com piezocone (CPTu), que incluíram provas de dissipação e coleta de amostras Shelby, para realização de ensaios de laboratório, conforme descrito na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Ensaio realizados

Laboratório	Campo
Análise Granulométrica	Sondagem a percussão
Limites de Atterberg	Ensaio CPTu
Massa específica real dos grãos	Ensaio de Dissipação (CPTu)
Ensaio edométrico estendido	Retirada de amostra indeformada do tipo Shelby

Os ensaios CPTu, foram executados, após a realização das sondagens à percussão, com profundidades que variaram entre 12 e 20m, e, portanto, não atingindo a camada de argila transicional (AT), devido à impossibilidade de penetração do cone na camada de areia compacta subjacente. Os ensaios de dissipação foram realizados a meia

altura tanto da camada de mangue como da camada de argila siltosa (SFL), assim como a coleta de amostras indeformadas.

Nos ensaios edométricos, para o valor da tensão vertical à qual o solo amostrado estava submetido, os tempos de leitura foram estendidos em mais um ciclo logaritmico (até 7 dias), de modo a permitir a caracterização do trecho de adensamento secundário e a obtenção dos seus respectivos parâmetros de fluência

Os ensaios de massa específica real dos grãos, limites de Atterberg, análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, bem como o adensamento unidimensional, foram executados, respectivamente, de acordo com os métodos NBR-6457/86, NBR-6459/84, NBR-7180/84, NBR-7181/84, NBR-6502/95 e NBR-12007/90, da ABNT.

Nos ensaios para obtenção da umidade as amostras que continham matéria orgânica foram secadas em estufa a uma temperatura de 60°C; as demais amostras foram secas a uma temperatura de 105°C.

A área e as edificações existentes foram também monitoradas através de instrumentos geotécnicos, como pinos de recalque, piezômetros elétricos, piezômetros Casagrande, indicadores de nível d'água e referencial de nível profundo.

7. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na é apresentado o resumo dos resultados obtidos nos ensaios de laboratório.

Tabela 7.1 - Resultados obtidos nos ensaios de laboratório.

Ilha de ensaio	1	2	2	3	3	4	4
Amostra	1	1	2	1	2	1	2 (*)
Prof. (m)	6,00 - 6,65	12,00 - 12,70	6,00 - 6,55	6,00 - 6,70	12,00 - 12,70	5,00 - 5,70	10,00 - 10,70
Umidade (%)	554,1	64,2	449,8	568,3	63,1	564,7	56,4
γ_n (Kg/m ³)	0,984	1,56	0,978	1,004	1,568	0,963	1,607
δ (kg/m ³)	1,434	2,651	1,448	1,535	2,649	1,538	2,643
< 5 μ (%)	75	33	60	58	35	45	27
σ'_a (kPa)	48	75	76	48	82	33	20
e_0	8,35	1,79	7,14	10,53	1,76	9,62	1,57
Cr	0,06	0,01	0,11	0,14	0,01	0,20	0,06
Cc	1,33	0,18	0,93	1,61	0,20	1,39	0,19
Cc/(1+ e_0)	0,14	0,07	0,11	0,14	0,07	0,13	0,07
Cr/Cc (%)	4,21	7,69	12,07	8,71	5,53	14,58	31,18
Cv (10 ⁻⁴ cm ² /s) (n.a.)	27,00	4,80	6,20	8,90	7,20	-	-
Cv (10 ⁻⁴ cm ² /s) (sa)	(0,3-3,8)	(1,5-2,5)	(0,9-4,5)	(0,2-1,6)	(1,7-1,9)	(1,3-24,2)	(1,06-2,00)
LL (%)	684,0	71,0	623,0	789,0	68,3	707,0	57,1
IP (%)	182,1	34,8	195,7	213	35,7	224,6	27,1

(*) amostra amolgada(n.a) - normalmente adensado; (sa) - sobreadensado

Observando-se os resultados obtidos para a amostra 2 da ilha de ensaio 4, verifica-se um possível amolgamento da amostra, principalmente se analisarmos a pressão de pré-adensamento da amostra, cujo valor foi de 20kPa, para uma amostra retirada entre 10 e 10,7m de profundidade, e a razão Cr/Cc que apresentou valor de 31%, cerca de 1/3.

Os valores de índice de vazios obtidos para o mangue situaram-se entre 7,14 e 10,53, sendo superiores aos encontrados em bibliografia para os solos da Baixada Santista. Para as argilas de SFL os valores ficaram entre 1,57 e 1,79, e encontram-se ligeiramente inferiores aos de bibliografia. Conseqüentemente, os valores de $Cc/(1+e_0)$ situaram-se abaixo de 0,2, enquanto que os valores da bibliografia situaram-se entre 0,335 e 0,386 para o mangue, entre 0,327 e 0,514 para as argilas SFL; e entre 0,347 e 0,430 para argilas transicionais, conforme apresentado na Tabela 4.4.

Os valores dos coeficientes de adensamento secundário ($C_{\alpha\epsilon}$) foram obtidos do ensaio de adensamento estendido, obtendo-se o coeficiente angular da reta neste trecho, para a pressão vertical atuante em campo. A Figura 7.1 ilustra um dos ensaios executados.

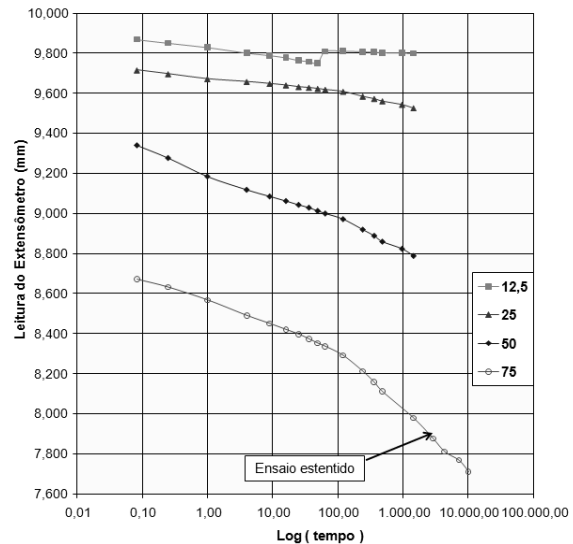


Figura 7.1 – Ensaio de adensamento edométrico estendido para a pressão vertical atuante em campo

Os valores de $C_{\alpha\epsilon}$ para o mangue foi de 11,6% e de 1,2% para as argilas SFL. Para as argilas SFL da Baixada Santista e Iguape, Massad (2009) obteve valores entre 3 e 6%.

Fazendo-se a distinção entre as amostras analisadas segundo a relação entre pressão de pré-adensamento e o índice de vazios e tensão de pré-adensamento e a umidade, com base nos teores de argila, sugerida por Massad (2009), obtemos os resultados apresentados nas Figura 7.3 e Figura 7.4.

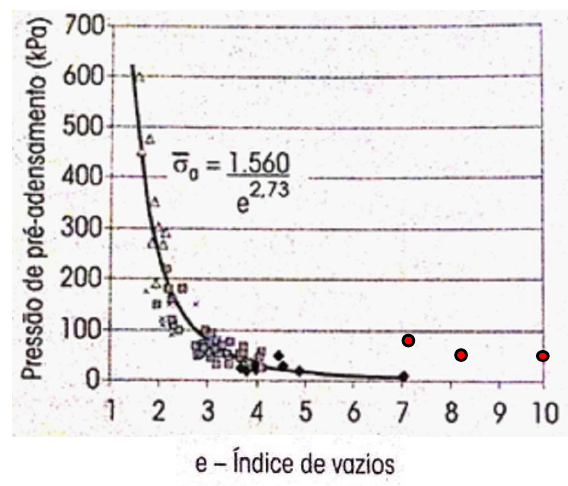


Figura 7.2a – Relação entre pressão de pré-adensamento e índice de vazios, para teores de argila acima de 50%

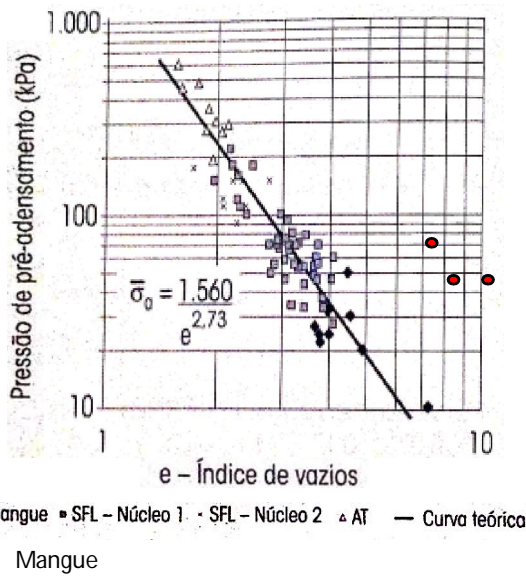


Figura 7.3b – Relação entre pressão de pré-adensamento e índice de vazios, para teores de argila acima de 50%, escala logarítmica

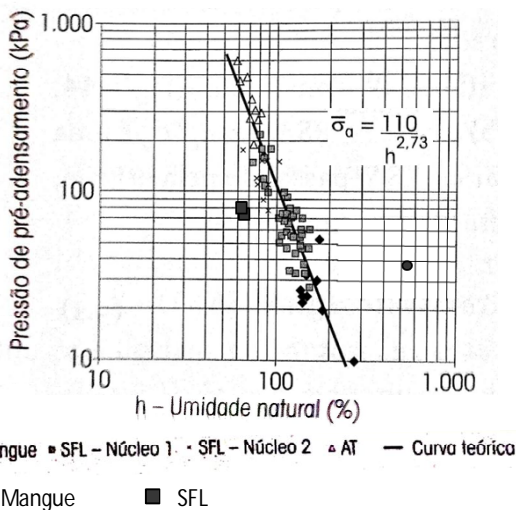
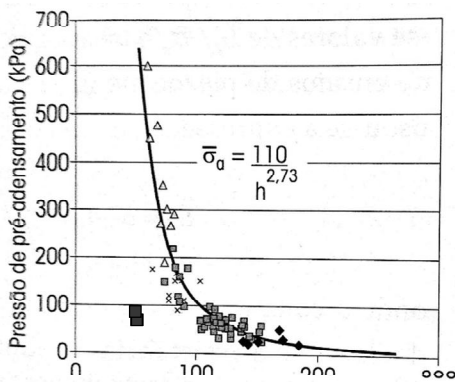


Figura 7.4 - Relação entre pressão de pré-adensamento e umidade natural, para teores de argila abaixo de 50%.

Na Figura 7.5 são apresentados em forma de gráfico os valores da e os obtidos nos ensaios de laboratório realizados em Mongaguá.

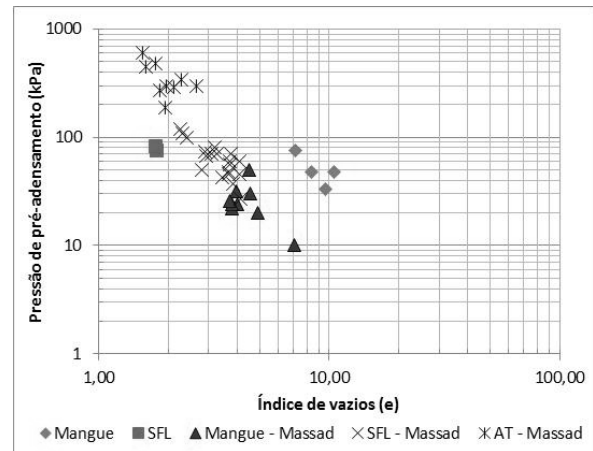


Figura 7.5 – Comparação entre os valores de pressão de pré-adensamento e índice de vazios, obtidos por Massad (2009) e os obtidos dos ensaios da área estudada

Observando o gráfico, nota-se que os valores para o mangue apresentam índices de vazios superiores a 3,5 e baixas pressões de pré-adensamento (< 85kPa). As argilas de AT apresentam índices de vazios inferiores a 3 e pressões de pré-adensamento superiores a cerca de 200kPa e as argilas SFL assumem valores intermediários. Os resultados obtidos nos ensaios de laboratório para o mangue apresentam maiores índices de vazios do que os publicados pelo autor, enquanto que os valores para as argilas SFL encontram-se mais próximos aos valores da bibliografia.

Na Figura 7.6 é apresentado um perfil, obtido do ensaio CPTu executado próximo a sondagem SP03 da Figura 5.2, onde indica a classificação segundo a metodologia apresentada por Robertson do solo analisado, com os valores de ângulo de atrito efetivo (ϕ') e o módulo confinado ou edométrico (M). Lembrando que o módulo edométrico representa a relação entre o acréscimo de tensão vertical efetiva ($\Delta\sigma'$) e a deformação axial específica ($\Delta\varepsilon_v = \Delta e / (1 + e_0)$) em adensamento primário ou hidrodinâmico correspondente, e compressão unidimensional (confinada, ou edométrica), obtida em ensaio no anel de adensamento no laboratório.

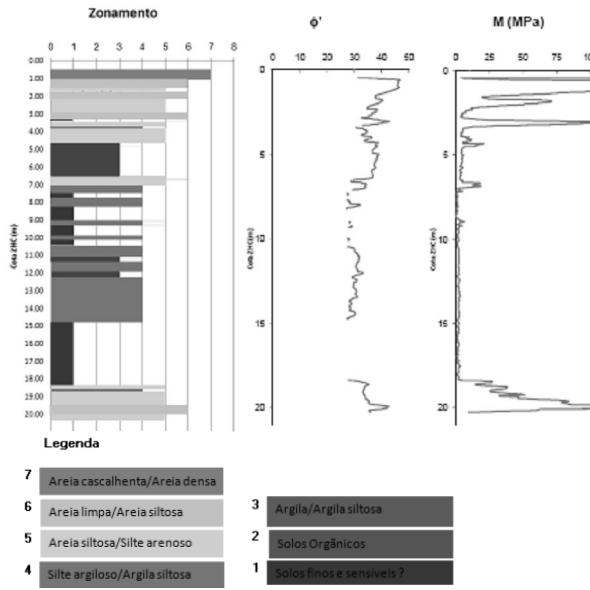


Figura 7.6 – Resultados do ensaio CPTu

O perfil obtido no ensaio CPTu confirma o perfil geológico-geotécnico elaborado, onde nota-se a presença de um aterro arenoso com cerca de 4m de espessura, a presença de uma camada de argila compressível até 19m e uma camada arenosa subjacente.

Na Figura 7.7 são apresentados alguns resultados de dissipação realizados no mesmo furo da ilha de ensaio 3, junto a SP03. Os ensaios realizados à 5m e 8m de profundidade foram realizados no topo e na base da camada de mangue, enquanto que o ensaio de dissipação à 12m corresponde ao meio da camada de argila de SFL.

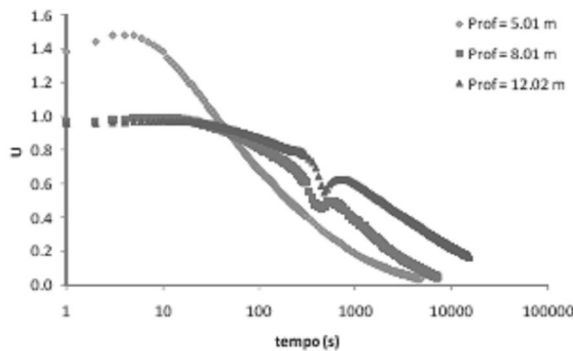


Figura 7.7 – Ensaio de dissipação realizados em um dos furos.

Os valores de coeficiente de adensamento radial e vertical, obtidos nos ensaios de dissipação, CPTu, são apresentados na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 – Resumo dos coeficientes de adensamento radial e vertical, obtidos dos ensaios CPTu

Ensaio	Prof. (m)	Material	Ch (m ² /s)	Cv (m ² /s)*
CPTu-01	9,0	Areia	1,66.10 ⁻³	1,11.10 ⁻³
CPTu-01	6,0	Mangue	1,95.10 ⁻⁵	1,3.10 ⁻⁵
CPTu-02	6,0	Mangue	2,08.10 ⁻⁵	1,39.10 ⁻⁵
CPTu-03	5,0	Mangue	1,08.10 ⁻⁵	7,22.10 ⁻⁶
CPTu-03	8,0	Mangue	5,89.10 ⁻⁶	3,93.10 ⁻⁶
CPTu-04	5,0	Mangue	2,71.10 ⁻⁵	1,81.10 ⁻⁵
CPTu-04	8,0	Mangue	1,86.10 ⁻⁵	1,24.10 ⁻⁵
CPTu-01	10,0	SFL	9,81.10 ⁻⁷	6,54.10 ⁻⁷
CPTu-02	12,0	SFL	1,09.10 ⁻⁶	7,27.10 ⁻⁷
CPTu-03	12,0	SFL	2,96.10 ⁻⁷	1,97.10 ⁻⁷
CPTu-04	10,0	SFL	8,32.10 ⁻⁷	5,54.10 ⁻⁷

(*) Se Kh/Kv = 1,5

Os resultados apresentados mostram que os coeficientes de adensamento radial para o mangue variaram de 1,08.10⁻⁵ a 5,89.10⁻⁶ m²/s; para as argilas SFL de 1,09.10⁻⁶ a 9,81.10⁻⁷ m²/s. Os coeficientes de adensamento vertical variaram de 1,24.10⁻⁵ a 7,22.10⁻⁶ m²/s para mangue e entre 1,92.10⁻⁷ a 7,27.10⁻⁷ m²/s. Os valores obtidos nos ensaios de campo são cerca de 10 vezes maiores do que os encontrados em bibliografia para ensaios de laboratório. Tal diferença, já relatada por Pinto (2000), deve-se à presença de pequenas lentes de areia em campo, que justificam o maior coeficiente de adensamento.

8. CONCLUSÕES

Este trabalho constitui mais uma contribuição para a complementação da base de dados existentes dos solos da Baixada Santista.

Os resultados apresentados mostram a variabilidade e dificuldade em se estabelecer parâmetros de compressibilidade para aplicação em projetos de engenharia, reforçando a importância da realização de ensaios de campo e laboratório em subsolos compressíveis.

A realização de ensaios CPTu tem-se mostrado muito útil como ferramenta para obtenção de parâmetros de resistência e compressibilidade dos solos compressíveis encontrados na costa brasileira e, certamente, deverá fazer parte dos rumos que engenharia geotécnica deve seguir para a obtenção de parâmetros para estes materiais.

A complementação destes testes, com ensaios de adensamento de longa duração permitiu identificar a grande relevância da fluência em camadas de mangue.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, RJ .1986.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, RJ .1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Solo – Determinação do limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro, RJ .1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, RJ .1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Rochas e Solos*. Rio de Janeiro, RJ. 1985.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Solo – Ensaio de adensamento unidimensional*. Rio de Janeiro, RJ. 1990.

Massad, F.. *Solos marinhos da Baixada Santista: características e propriedades geotécnicas*, 2009, Oficina de Textos, São Paulo, SP.

Massad, F.. *As argilas quarternárias da Baixada Santista: características e propriedades geotécnicas*. 1985. 250f. Tese

(Livre Docência) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1985.

Pinto, C.S.. *Curso Básico de Mecânica dos solos*, 2000. Oficina de Textos, São Paulo, SP.

Matos Fernandes, M.. *Mecânica dos Solos Conceitos e Principios Fundamentais*, 2006. FEUP-Edições, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Matos Fernandes, M.. *Mecânica dos Solos Introdução à Engenharia Geotécnica*, 2011. FEUP-Edições, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Robertson, P.K. *Soil Classification Using the Cone Penetration Test*, 1990 Can. Geotech. J.27:151-158

Marcelo Devincenzi, M.; Powell, J.J.M.; Cruz, N..“*Theme 1 – Mechanical in-situ testing methods*”. *General Report*, 2004, 2nd International Conference on Site Characterization, ISC’2. Porto, Portugal. Vol. 1, pp 253 – 263.