

3

Provas de Carga Instrumentadas

Para análise comparativa da previsão de capacidade de suporte de estacas empregando-se alguns dos diferentes métodos mencionados no capítulo 2, além da simulação numérica pelo método dos elementos finitos através do programa computacional Plaxis v.8 (PLAXIS BV, 2004), foram considerados os resultados experimentais medidos em duas provas de carga realizadas no Brasil. A obtenção de dados de provas de carga instrumentadas, revelou-se mais difícil do que o inicialmente contemplado: os trabalhos publicados em literatura usualmente apresentam os resultados das análises mas não informações detalhadas das provas de carga, tornando praticamente impossível replicá-los; algumas provas de carga obtidas junto a empresas brasileiras, que raramente utilizam instrumentação, também apresentaram problemas para a completa definição do caso em estudo, faltando informações sobre características da estaca, propriedades dos materiais, etc.

Assim, restaram apenas provas de carga realizadas em universidades do Brasil, envolvendo os casos de estaca escavada em solo residual colapsível do Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp e estaca escavada em solo colapsível do Campo Experimental de Geotecnia da UnB, cujos resultados já haviam sido utilizados em dissertações de mestrado para avaliação da influência da sucção na capacidade de suporte de estacas escavadas (Mascarenha, 2003 - UnB) e para estudo do comportamento à compressão de estacas escavadas, hélice e ômega (Albuquerque, 2001 – Unicamp).

3.1

Prova de carga em estaca escavada no solo residual de Campinas

3.1.1

Perfil geológico-geotécnico

O perfil do subsolo do Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp (figura 3.1) é constituído por camada superficial de solo

maduro com aproximadamente 6,5 m de espessura classificada como argila silto-arenosa de alta porosidade. Após esta profundidade, segue uma camada de silte argilo-arenoso de 19m de espessura, com nível do lençol d'água localizado a 17,7m de profundidade.

Albuquerque (2001) informa que a primeira camada de solo residual é proveniente de intenso intemperismo de diabásio, com o processo de lixiviação explicando a alta porosidade e carreamento de finos para os horizontes mais profundos. A segunda camada do perfil (silte argilo-arenoso) é composta por um solo residual jovem, que guarda ainda características herdadas do diabásio.

A figura 3.2. apresenta um boletim da sondagem de simples reconhecimento realizada no local, com a tabela 3.1 listando os valores das propriedades dos materiais ao longo do perfil geotécnico investigado.

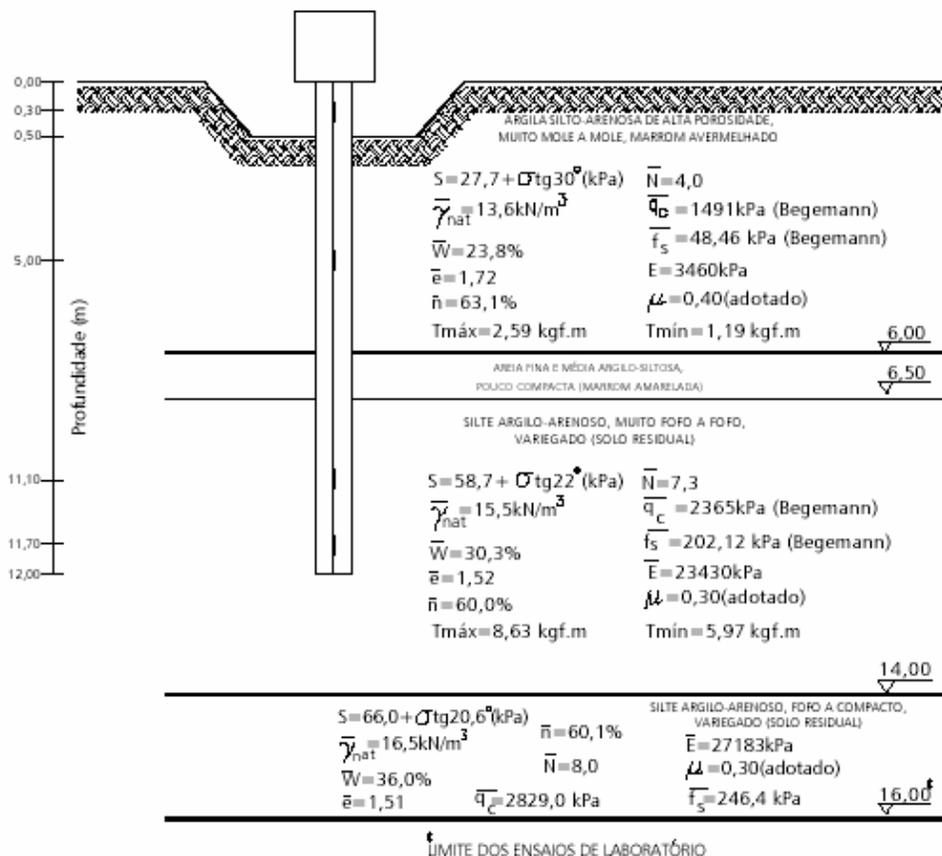


Figura 3.1 – Prova de carga em estaca escavada no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp (Albuquerque, 2001)

COTA (m)	PERF. GEOL.	S. P. T.	TORQUE MÁXIMO (kgf.m)	TORQUE RESIDUAL (kgf.m)	PENETRAÇÃO N.º GOLFES / 30 cm				DESCRIÇÃO DO MATERIAL	N.A. (m)	
					10	20	30	40			50
95.00	1	2	2	1					ARGILA SILTOSA, MUITO MOLE A MOLE, VERMELHA ESCURA. (SOLO RESIDUAL).		
	2	3	2	1							
	3	3	2	1							
	4	4	2	1							
	5	4	3	1							
90.00	6	5	4	2					SILTE ARENOSO, COM NÓDULOS DE ARGILA, FOFO, VERMELHO ESCURO. (SOLO RESIDUAL).	6.45 7.00	
	7	4	3	1							
	8	4	4	2							
	9	5	6	4							
	10	5	8	5							
85.00	11	8	11	6					SILTE ARGILO ARENOSO, FOFO A POUCO COMPACTO, LAMINADO, COM VESTÍGIOS DE ROCHA DECOMPOSTA, VARIEGADO, VERMELHO CLARO, MARRON CLARO, AMARELO ESCURO. (SOLO RESIDUAL).	17.77	
	12	6	11	7							
	13	9	13	10							
	14	8	10	08							
	15	7	10	07							
	16	5	10	07							
	17	7	15	09							
	18	7	12	08							
80.00	19	15	28	20					**** (VER OBSERVAÇÃO) **** LIMITE DA SONDAGEM	18.80 20.45	
	20	23	35	24							
Lavragem por Tempo - 30 minutos		Leitura		Intervalo	N.A. (m)	Método		Início (m)	Fim (m)	Início	Fim
Prof. Inicial: --- m - Estágios: 1		08/02/99		18.80		T. Cavadeira		0.00	18.45	05/02/99	
1.ª --- cm - 2.ª --- cm - 3.ª --- cm		09/02/99		17.77		T. Espiral		19.00	20.45	05/02/99	
						Lavragem		19.00	20.45	Reedimento: 19.00 m	
Obs: SILTE ARGILO ARENOSO, COM FRAG. DE ROCHA DECOMPOSTA, COM VESTÍGIOS DE MICA, MEDIAN, COMPACTO A COMPACTO, VARIEGADO, VERM. CLARO, MARRON CLARO, BRANCO, SOLO SAPROLÍTICO. VERIF. DOS NÍVEIS D'ÁGUA: 08/02/99: 15.35, 09/02/99: 10.00											
DOUGLAS CONSTANCIO - CREA 68.930											

Figura 3.2: Sondagem de simples reconhecimento realizada no Campus Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp (Albuquerque, 2001).

Tabela 3.1 – Parâmetros geotécnicos ao longo da profundidade (Albuquerque, 2001)

Prof. (m)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	w (%)	Sr (%)	e	n(%)	c (kPa)	ϕ^o	Rc(kPa)	C_c	σ_{ad} (kPa)
1	13,4	29,7	24,3	40,8	1,77	63,8	5	31,5	26,2	0,62	52
2	13,0	29,1	23,4	38,7	1,76	63,7	11	31,5	48,0	0,60	130
3	13,0	29,5	22,8	37,6	1,79	64,1	2	30,5	40,7	0,58	198
4	13,0	30,1	23,7	38,4	1,86	65,0	0	26,5	11,2	0,60	91
6	15,4	30,1	24,6	51,4	1,44	59,0	18	18,5	54,1	***	***
7	15,4	29,1	26,3	54,7	1,40	58,2	31	22,5	76,1	***	***
8	14,8	29,5	28,1	53,1	1,56	60,1	18	25,5	59,1	0,65	120
9	15,0	30,1	29,9	56,2	1,60	61,5	64	14,5	50,6	0,60	140
10	15,1	30,1	30,5	57,4	1,60	61,6	78	22,8	67,0	***	***
12	16,1	29,6	33,8	68,5	1,46	59,4	87	18,3	145,1	***	***
14	16,4	30,6	32,8	67,8	1,48	59,7	76	19,1	185,4	***	***
16	16,7	30,1	39,2	78,1	1,51	60,1	55	22,0	218,7	***	***

3.1.2

Resultados das provas de carga

Foram realizadas três provas de carga estáticas em estacas escavadas de concreto armado com 12m de comprimento e 0,4m de diâmetro. As estacas foram instrumentadas ao longo do fuste com extensômetros elétricos localizados nas profundidades 0,3m, 5m, 11,1m e 11,7m de profundidade, tendo sido realizadas provas de carga lenta e rápida, mantendo-se um intervalo de quatro dias entre os ensaios.

Os furos das estacas foram executados com o emprego de trado mecânico. Após a perfuração colocou-se a armadura da estaca e executou-se a concretagem, protegendo-se a instrumentação no interior de um tubo de aço.

As estacas foram carregadas através de um sistema de reação composto por viga de reação, sistema de atirantamento e estacas como ilustra a figura. 3.3.

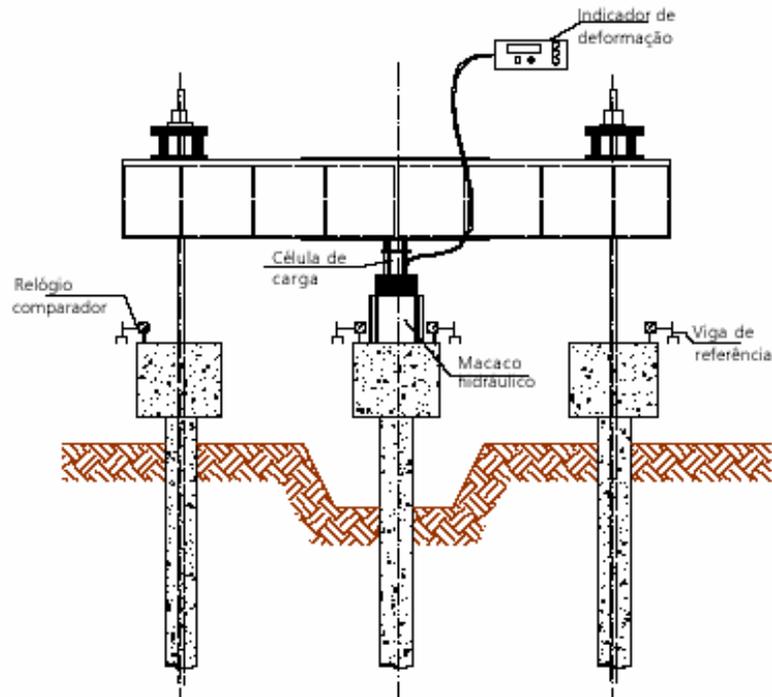


Figura 3.3 - Sistema de reação das provas de carga em estaca escavada (Albuquerque, 2001).

Os resultados das provas de carga estão sumarizados na tabela 3.2, em termos da carga de ruptura e do recalque máximo observados nos ensaios. As respectivas curvas carga x recalque estão ilustradas na figura 3.4.

Tabela 3.2: Cargas de ruptura e recalques máximos observados nas provas de carga (Albuquerque, 2001).

Ensaio	Estaca	Carga de Ruptura (kN)	Recalque Máximo (mm)
1ª Lenta	1	400 (interrompida)	1,55
2ª Lenta		600 (interrompida)	3,82
3ª Lenta		684	112,48
Lenta	2	670	107,7
Rápida		717	71,19
Lenta	3	693	65,94
Rápida		771	65,43

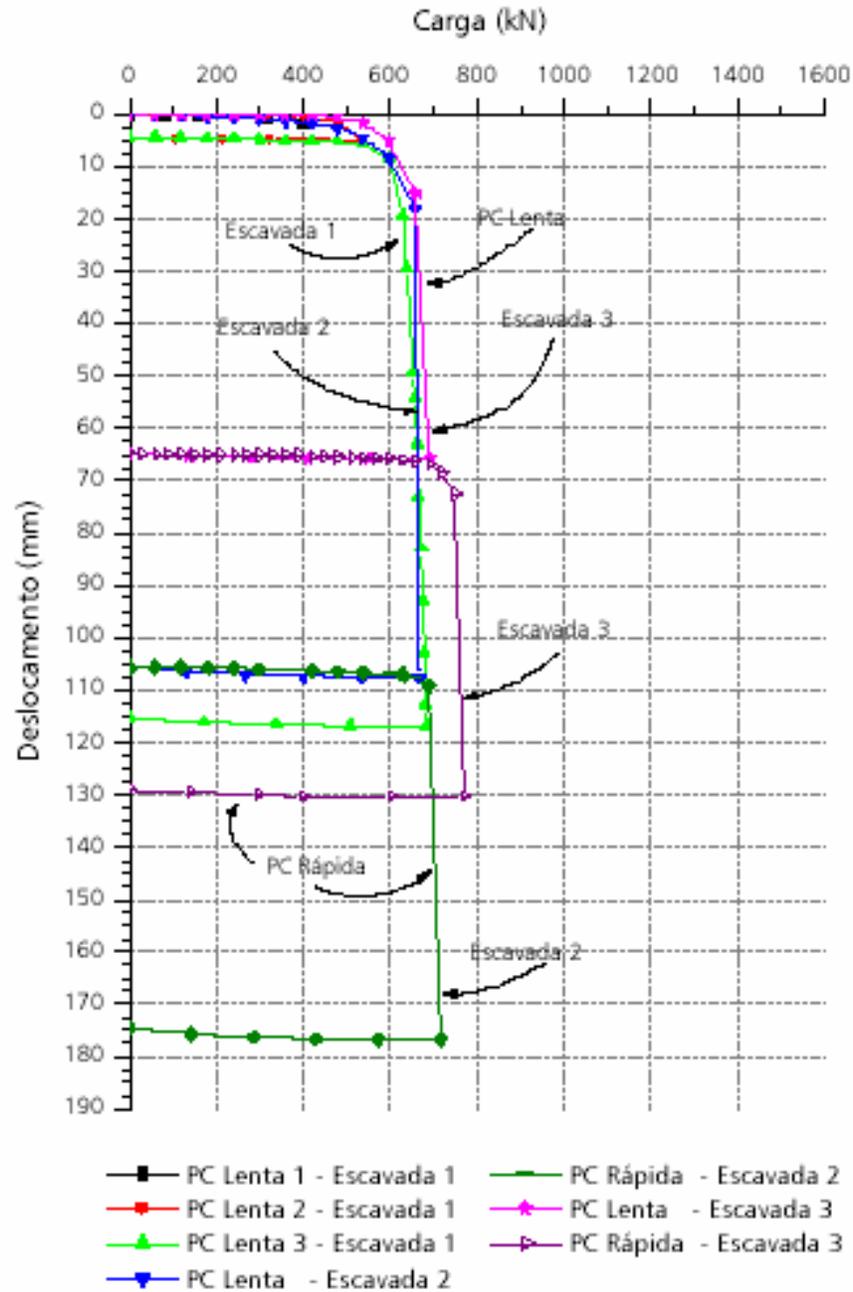


Figura 3.4: Curvas carga x recalque das provas de carga em três estacas escavadas no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp (Albuquerque, 2001).

3.2

Prova de carga em estaca escavada no solo residual de Brasília

3.2.1

Perfil geológico-geotécnico

Para Mendonça et al (1994) (citado por Araki, 1997) o solo residual do Campo Experimental de Geotecnia da UnB é resultante de intemperismo predominantemente químico, associado a processos de lixiviação e laterização. Apresentam altos índices de vazios, baixa resistência à penetração ($SPT < 4$) e quando submetidos a variação no estado de tensões (pela aplicação de um esforço externo e/ou aumento do teor de umidade) suas estruturas podem ser destruídas, revelando tratar-se de solo colapsível. De acordo com Camapum de Carvalho et al. (1993), outras causas do colapso dos solos de Brasília estariam relacionadas com a qualidade do fluido de saturação (propiciando ataque às ligações cimentícias da estrutura do solo pelo fluido) e grau de saturação inicial.

O perfil típico do solo de Brasília está apresentado na figura 3.5, constituído por uma camada de areia argilo-siltosa até a profundidade de 3m, camada de argila areno-siltosa entre as profundidades de 4 a 8m, e camada de silte argilo-arenoso a partir da profundidade de 8m. Não foi detectado o lençol d'água até a profundidade máxima investigada de 14m. Os resultados da caracterização física do perfil do solo no Campo Experimental de Geotecnia da UnB estão ilustrados na figura 3.6.

3.2.2

Resultados das provas de carga

Cinco provas de carga em estacas escavadas de concreto armado (0,3m de diâmetro, três com 7,5m de comprimento e duas com 8m de comprimento) foram ensaiadas por Mascarenha (2003), em diferentes épocas do ano, tendo como objetivo estudar a influência da sucção e do recarregamento na capacidade de suporte de solos colapsíveis de Brasília. Ensaio de cisalhamento direto também foram executados para estudar as características de interação na interface solo-concreto. Para medição dos deslocamentos foram utilizados seis extensômetros elétricos, quatro deles instalados no topo da estaca e dois ao longo do fuste. As cargas aplicadas foram medidas por células de carga.

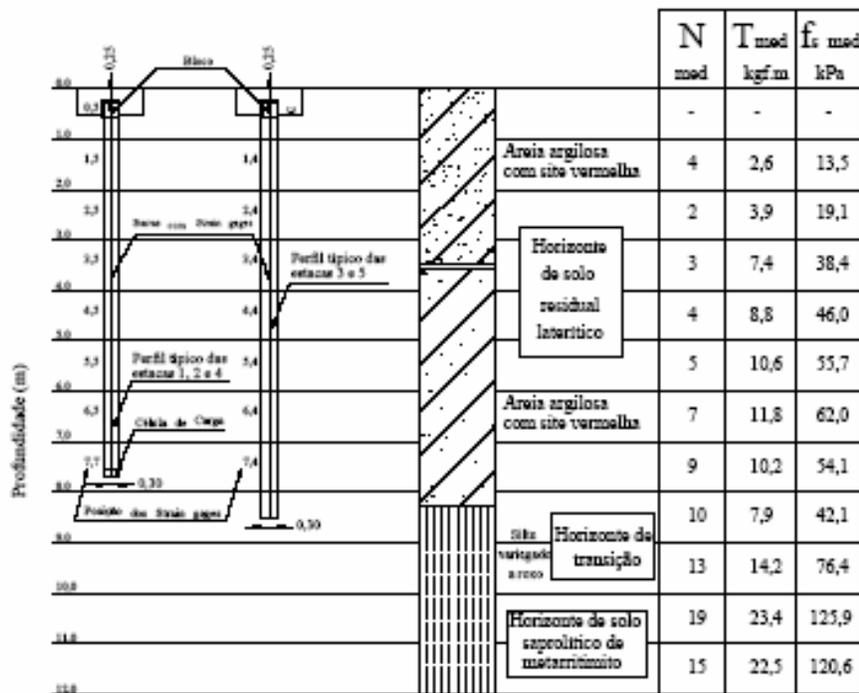


Figura 3.5: Perfil típico de solo do Distrito Federal, em sondagem realizada no Campo Experimental de Geotecnia da UnB (Mascarenha, 2003).

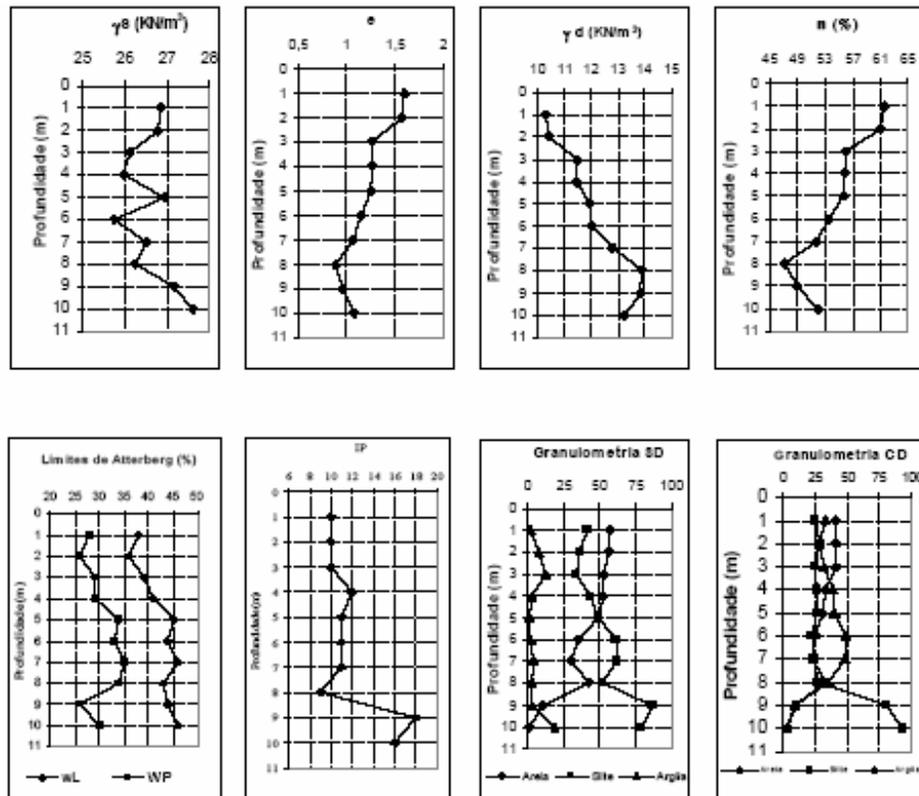


Figura 3.6: Propriedades do solo do Campo Experimental de Geotecnia da UnB (Mascarenha, 2003).

As estacas já haviam sido ensaiadas no ano 2000 por Guimarães (2002) em uma pesquisa sobre a investigação das propriedades de solos lateríticos, com base nos resultados de provas de carga escavadas.

As figuras 3.7 e 3.8 apresentam a variação com a profundidade do ângulo de atrito e coesão do solo nas condições de umidade natural e saturado, bem como os respectivos valores no contato solo-estaca.

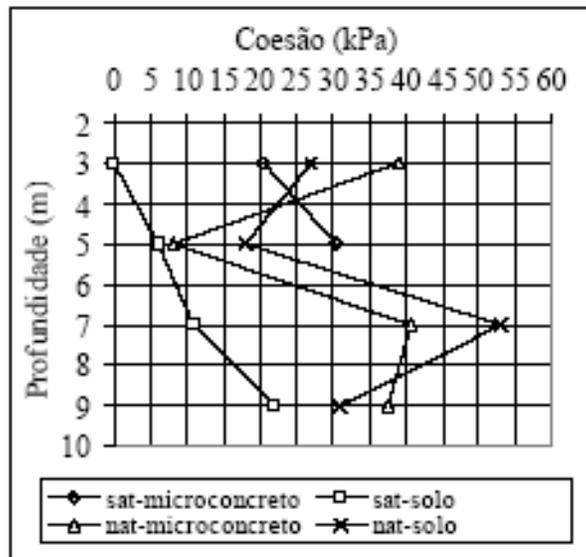


Figura 3.7: Variação da coesão com a profundidade (Mascarenha, 2003).

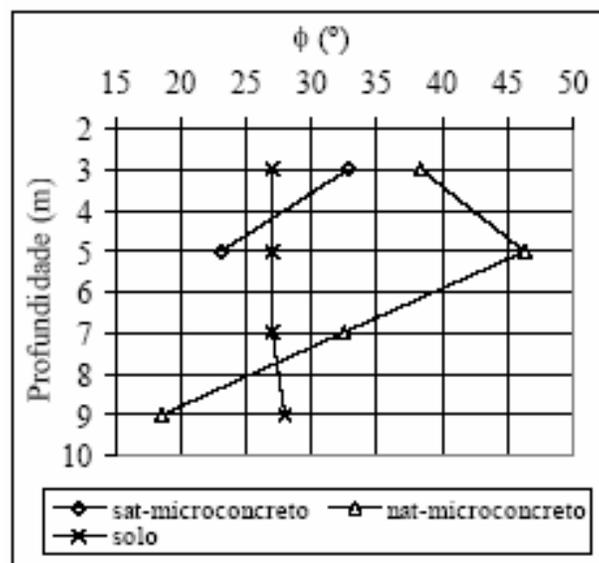


Figura 3.8: Variação do ângulo de atrito com a profundidade (Mascarenha, 2003).

De acordo com Mascarenha (2003) a carga de ruptura das estacas tende a crescer linearmente com o aumento da sucção, tendo sido verificado uma variação de até 62,5% na capacidade de suporte da estaca com a variação da sucção. Assim, na presente pesquisa, optou-se em analisar as curvas carga x recalque realizadas nos meses de menor precipitação pluviométrica (maio a agosto), considerando os parâmetros de resistência na condição não saturada, e aquelas realizadas nos meses de maior precipitação pluviométrica (novembro a março), admitindo os valores dos parâmetros de resistência na condição saturada.

A tabela 3.3 apresenta os resultados das provas de carga realizadas e a figura 3.9 as correspondentes curvas carga x recalque das estacas escavadas ensaiadas.

Tabela 3.3: Quadro resumo das provas de carga em estacas escavadas no Campo Experimental de Geotecnia da UnB (Mascarenha 2003)

PC	Estaca	Início	Fim	Duração (h)	Tipo	ΔQ (kN)	Q_{max} (kN)	d_{max} (mm)	d_{final} (mm)	d_{ac} (mm)
01	01	21/02/00	22/02/00	21:00	Lento	30	270	16,10	14,94	14,94
02	05	22/06/00	23/06/00	31:00	Lento	30	270	9,42	7,32	7,32
03	02	09/08/00	10/08/00		Lento	30	300	3,82	2,59	3,82
04	03	26/10/00	27/10/00	22:10	Lento	30	240	8,71	5,22	5,22
05	04	06/03/01	06/03/01	7:00	Lento	30	210	6,82	6,15	6,15
06	01	06/11/01	07/11/01	34:00	Lento	30	390	6,39	4,30	19,24
07	05	13/11/01	14/11/01	15:50	Lento	40	360	9,51	7,74	15,06
08	05	21/11/01	21/11/01	11:45	Lento	30	390	28,37	26,32	41,38
09	03	04/12/01	05/12/01	27:30	Lento	30	270	5,15	3,80	9,02
10	03	06/12/01	07/12/01	18:00	Lento	40	310	7,19	6,01	15,03
11	03	12/12/01	13/12/01	13:50	Lento	40	310	2,99	1,14	16,17
12	03	13/12/01	13/12/01	3:00	Rápido	20	330	6,02	3,74	19,91
13	03	13/12/01	13/12/01	3:00	Rápido	20	330	3,85	1,86	21,77
14	04	22/01/02	23/01/02	30:25	Lento	30	240	5,09	3,37	9,52
15	04	24/01/02	25/01/02	20:10	Lento	30	270	13,00	12,46	21,98
16	04	25/01/02	25/01/02	10:30	Lento	30	270	27,70	26,93	48,91
17	01	26/03/02	26/03/02	8:00	Lento	30	330	150,85	150,46	169,7
18	01	14/05/02	15/05/02	10:00	Lento	30	210	179,53	178,08	347,8
19	01	21/05/02	21/05/02	7:00	Lento	30	180	4,61	1,26	349,0
20	01	28/05/02	29/05/02	19:50	Lento	30	240	206,52	202,65	551,7
21	01	07/08/02	07/08/02	9:55	Lento	30	300	209,43	209,26	761,0

PC – prova de carga; ΔQ – acréscimo de carga; Q_{max} – carga máxima; d_{max} – recalque máximo; d_{final} – recalque final (recalque máximo – recalque recuperado); d_{ac} – recalque acumulado.

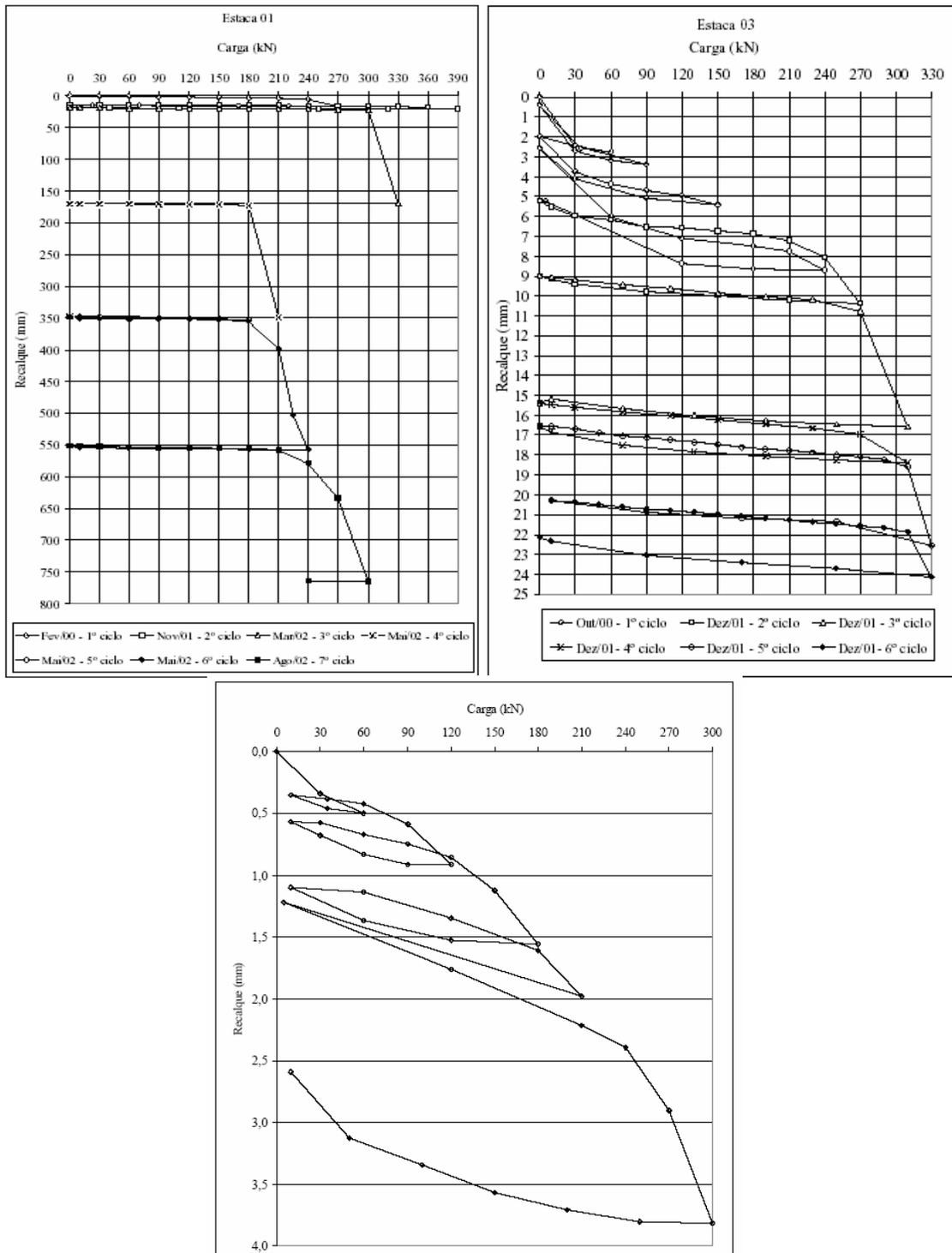


Figura 3.9: Curvas carga x recalque para estacas escavadas 1 (superior esquerda), 3 (superior direita), 2(inferior central) - Mascarenha 2003.

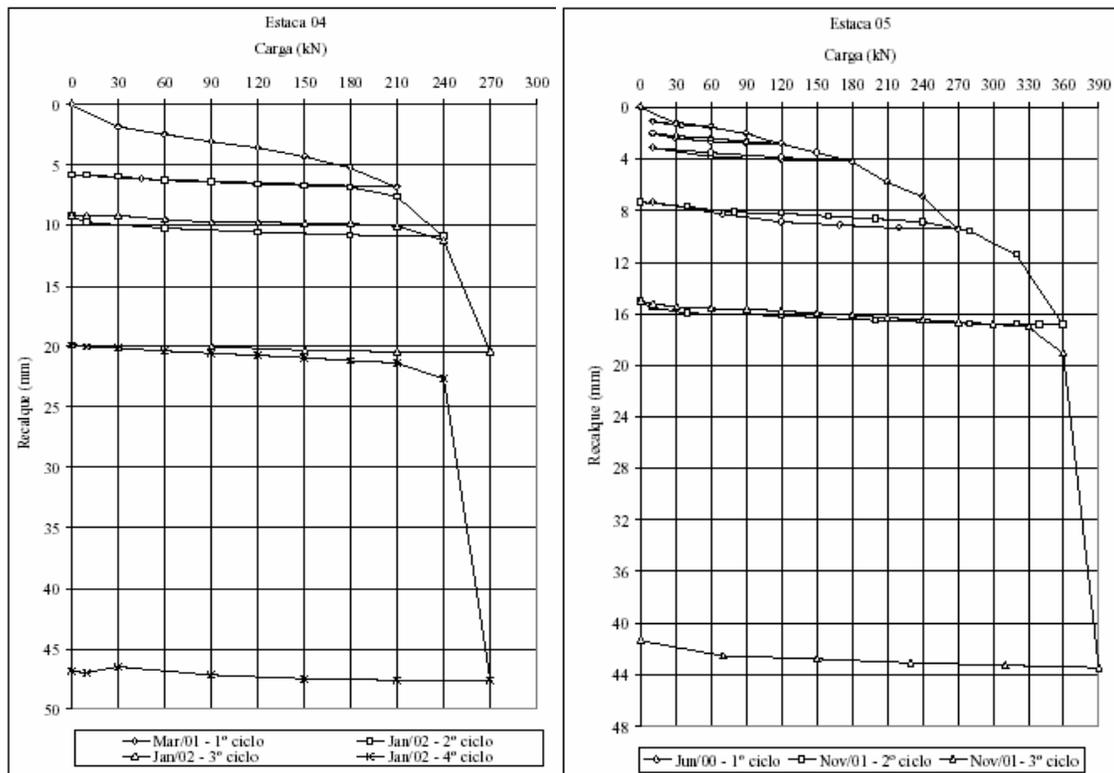


Figura 3.10: Curvas carga x recalque para estacas escavadas 4 (esquerda), 5 (direita) - Mascarenha 2003.