

## Provas de carga em estacas pré-moldadas ensaiadas em areias porosas

Stélio Maia Menezes

*Eng. Civil, DSc., Professor Adjunto da UFLA, E-mail: stelio@ufla.br*

Fabrcio de Menezes Telo Sampaio

*Eng. Agrcola, MSc., UFLA*

Ktia Daniela Ribeiro

*Eng. Agrcola, MSc., UFLA*

David de Carvalho

*Eng. Civil, DSc., Professor Titular da UNICAMP*

### Resumo

Os solos porosos arenosos colapsveis ocorrem na regio central do Brasil, representando 5% da rea do pas. Esses coluies porosas alcanam espessuras de at 15 metros. Nesse trabalho, foram construdas estacas pr-moldadas de concreto, instrumentadas, especialmente confeccionadas para essa pesquisa. Essas estacas foram cravadas em solo arenoso de alta porosidade, colapsvel, situado na regio oeste do Estado de So Paulo. Diversas provas de carga axiais, estticas, foram efetuadas em seis estacas (por ensaios de compresso, trao e carregamento horizontal). Foram realizados, ainda, ensaios geotcnicos laboratoriais e de campo nesses solos, com o intuito de melhor caracterizar o campo experimental estudado.

**Palavras-chave:** Estacas, provas de carga, solos porosos.

### Abstract

*Collapsible porous sands are found to a large extent of Brazil, representing 5% of the country. In the layers of those soils the thickness are of to 15 meters. Precast-concrete piles were build, with instrumentation, made to that research. The piles were drive in soil sandy porous collapsible, found in the state of So Paulo (Brazil). Vertical static load tests were made in six piles (compression, uplift forces and horizontal loading). There were performed field tests and laboratory in samples obtained from the subsoil, aiming geotechnical characterization of the place.*

**Keywords:** Piles, load test, porous soils.

## 1. Introdução

Analisou-se, nesse trabalho, o comportamento de estacas pré-moldadas, instrumentadas, submetidas a esforços axiais de tração, compressão e a carregamentos horizontais, por meio de provas de carga estáticas executadas em areias porosas. As estacas (de concreto protendido), pré-fabricadas especialmente para esta pesquisa, apresentaram materiais característicos (aço com  $f_{yk} = 1500\text{MPa}$  e concreto com  $f_{ck} \geq 35\text{MPa}$ ), possuindo, ainda, os seguintes elementos:

- Bainha (chapa galvanizada) com diâmetro de 40mm.
- Tirante (aço Dywidag normalizado ST 85/100) com diâmetro de 32mm.
- Estacas-teste (17x17)cm<sup>2</sup> com bainha e tirante.
- Estacas de reação (23x23)cm<sup>2</sup> com tirante.

## 2. Caracterização do solo em estudo

Com o intuito de realizar um estudo sobre fundações por estacas, *in situ*, foi utilizado um campo experimental de fundações. Está situado no campus da FEIS/UNESP, em local cujo subsolo é característico de várias cidades importante do interior do Estado de São Paulo, sendo representativo dos solos arenosos de

alta porosidade, encontrados em todo o centro-sul do Brasil. Nessa região, o solo tem uma formação inicialmente coluvionar (até 11 metros), de areia fina pouco argilosa e, em seguida, uma camada de solo aluvionar (em torno de 6 metros). Esses coluviões, com elevada porosidade, alcançam, em muitos locais, espessuras de até 15 metros, sendo comum valores de até 8 metros.

Em razão de sua estrutura muito porosa, apresentam elevada compressibilidade, alta permeabilidade ( $k_{20} = 10^{-3}\text{cm/s}$ ), baixa resistência à penetração (SPT < 4 golpes e  $Q_C < 2,5\text{MPa}$ ), e pequena capacidade de carga ( $\sigma_{ADM} < 50\text{kPa}$ ), tendo, como principal característica, sua elevada colapsividade, quando inundado após carregamentos, observando-se colapsos de até 15%.

Devido à elevada colapsividade e grandes espessuras em que ocorrem esses solos, os mesmos constituem um grave problema para a estabilidade e integridade de obras civis, principalmente as de médio e pequeno porte, para as quais soluções mitigadoras se tornam caras. No complexo de Urubupungá (região de ilha Solteira), o enchimento de lagos de usinas hidrelétricas necessita ser antecedido de cuidadosos estudos, uma vez que é freqüente a interferência do lençol freático com as pequenas construções, ou mesmo cidades inteiras, existentes às bordas das bacias.

## 3. Material e métodos

Foram realizadas sondagens SPT (com medição da resistência à penetração do solo e do torque máximo do solo), CPT (com medições das resistências de ponta, atrito lateral local e atrito lateral total do solo) e retirados blocos indeformados, nos quais se realizaram ensaios classificatórios e especiais no solo dessa pesquisa. A Tabela 1 apresenta os resultados desses ensaios, enquanto a Tabela 2 mostra os valores dos ensaios SPT e CPT.

## 4. Instrumentação realizada nas estacas

A instrumentação nas estacas, para realização das provas de carga axiais, consistiu na colocação de *strain gauges*, inseridos ao longo do fuste das estacas, em cinco níveis diferentes de profundidade. O primeiro nível esteve situado próximo da cabeça da estaca, livre das camadas de solo, objetivando a determinação do valor do Módulo de Young.

Já para a realização das provas de carga horizontais, a instrumentação nas estacas foi constituída por sensores instalados em oito níveis de profundidade, os quais mediram a sua inclinação - devida à aplicação de cargas transversais no seu topo. Esses sensores, inseridos

Tabela 1 - Ensaios de caracterização e parâmetros de resistência.

Prof. (m)	LL (%)	LP (%)	$\rho$ ( $\text{kN/m}^3$ )	Granulometria (%)				C (kPa)	$\phi$ (°)
				Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média		
1,0	23	14	16,0	29	8	59	4	0,0	32,2
3,0	24	17	14,9	20	11	65	4	2,0	32,5
5,0	27	16	14,8	33	8	56	3	2,0	33,3
7,0	29	18	15,9	27	15	55	3	3,0	33,0
9,0	28	16	18,4	28	12	57	3	16,0	30,3
11,0	28	16	17,7	26	17	54	3	20,0	28,8
13,0	29	17	18,8	30	15	52	3	20,0	28,8
15,0	28	17	17,0	25	18	53	4	17,0	30,1

LL = limite de liquidez, LP = limite de plasticidade, c = coesão (efetiva),  $\phi$  = ângulo de atrito (efetivo)  
 $\rho$  = massa específica do solo

no interior das bainhas, foram posteriormente recuperados - após o ensaio - e utilizados nas demais estacas. A monitoração automática e contínua de inclinações em profundidade das estacas foi obtida através do sistema de mini-inclinômetros ou sistema Clipper. Esse aparelho consta de uma série de medidores de rotação instalados permanentemente, possuindo sensores de nível líquido.

## 5. Provas de carga axiais

Seis provas de carga, três à tração (estacas 1, 2 e 3) e três à compressão (estacas 4, 5 e 6), foram realizadas ao longo dessa pesquisa. Essas provas de carga (lentas) foram conduzidas de acordo com a Norma Brasileira (NBR-12131/97). Foram, também, realizadas duas outras provas de carga (uma à tração e outra à compressão) com inundação do solo. Para tanto, foi aberta uma cava no terreno em torno da estaca, de 60cm de profundidade e área de  $(1,0 \times 1,0) \text{m}^2$ . Em seguida, esquematizou-se uma pré-inundação do solo, com vazão controlada. O tempo de inundação do solo foi de 72 horas e observaram-se médias de vazão d'água de  $0,5 \text{m}^3/\text{h}$ . Os resultados desses ensaios são apresentados nas Figuras 1 e 2.

## 6. Provas de carga horizontais

Foram executadas três provas de carga horizontais nas mesmas estacas das provas de carga axiais. As provas de carga horizontais foram do tipo lenta (SML), observando-se os procedimentos conforme a MB-3472/91. A aplicação das cargas foi efetuada próxima a base do bloco - ao nível do terreno, mesmo nível dos extensômetros. Os ensaios foram efetuados em três estacas (7, 8 e 9). Aplicaram-se incrementos de carga de  $0,5 \text{kN}$  e  $1,0 \text{kN}$  - a cada 5 minutos -, sendo feita uma esquematização de reação em que duas estacas empurravam a estaca-teste - por intermédio de um tirante (perfil metálico). Completando o

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de penetração SPT, SPT-T e CPT.

Profundidade (m)	N	T (N.m)	Q <sub>c</sub> (MPa)	A <sub>LL</sub> (kPa)	A <sub>LT</sub> (kN)
1,0	6	32	4,7	60,7	3,7
3,0	2	13	1,9	40,6	3,5
5,0	4	31	3,4	66,3	4,3
7,0	6	31	4,5	99,6	11,3
9,0	7	45	4,8	114,0	17,5
11,0	9	78	6,8	228,4	16,3
13,0	10	82	6,7	314,5	28,2
15,0	10	54	6,9	269,1	32,3

N = número de golpes, obtido ensaio SPT.

T = momento torsor máximo, obtido do SPT-T.

Q<sub>c</sub> = resistência de ponta, obtido do ensaio CPT.

A<sub>LL</sub> = atrito lateral local, obtido do ensaio CPT.

A<sub>LT</sub> = atrito lateral total, obtido do ensaio CPT.

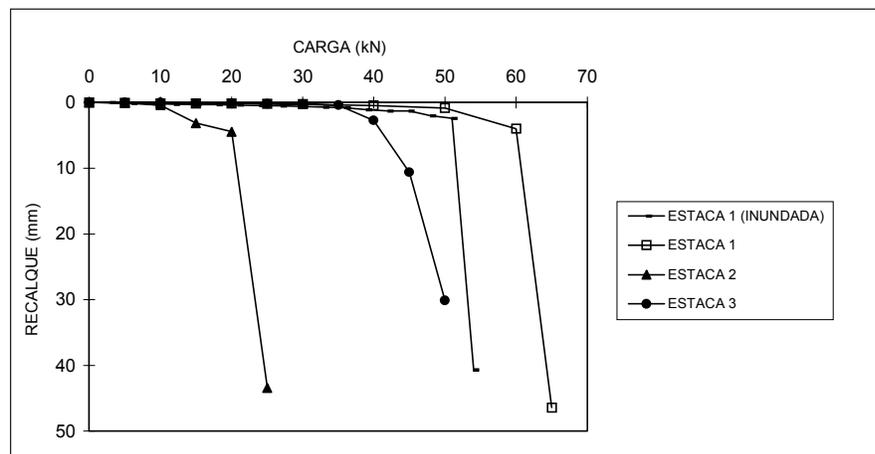


Figura 1 - Carga x recalque (estacas de tração 1, 2 e 3).

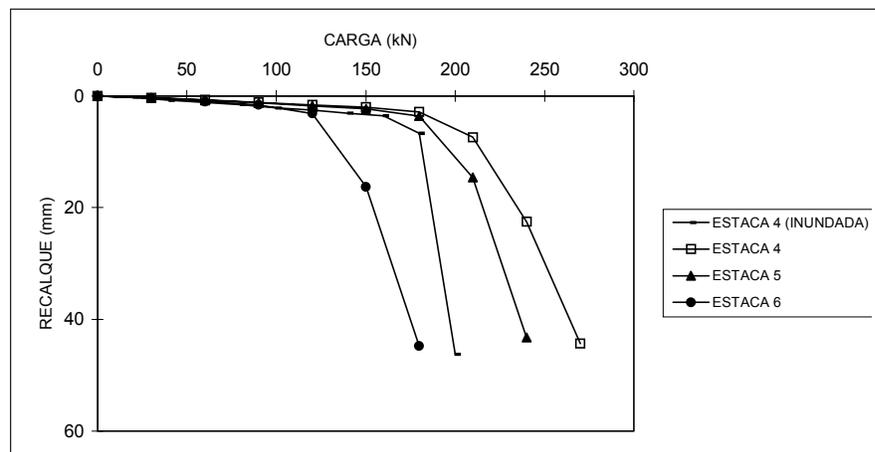


Figura 2 - Carga x recalque (estacas de compressão 4, 5 e 6).

comprimento do tirante, entre a viga e a estaca-teste, instalou-se um macaco hidráulico. Os descarregamentos realizaram-se em quatro estágios proporcionais. Para cada estaca utilizou-se uma metodologia diferente de execução de ensaio.

Para o ensaio na estaca 7, foi imposta à mesma um deslocamento horizontal - em nível do terreno - de 30mm, para incrementos de carga de 0,5kN.

Já na estaca 8, foram realizados três ciclos de carregamentos, com incrementos de 1,0kN, junto ao seu topo (Figura 3). No primeiro ciclo, efetuaram-se carregamentos que mobilizaram a estaca horizontalmente em até 20mm, para, em seguida, após o seu descarregamento, aplicar-se um segundo ciclo de mais 20mm. Após a realização dos dois ciclos iniciais, foi efetuada uma escavação (1,5x1,5x1,5)m<sup>3</sup> no solo, ao redor da estaca, para, em seguida, executar-se uma compactação do mesmo, em 9 camadas, até o nível do terreno anteriormente existente. Em seguida, procedeu-se a rotina para a realização do terceiro ciclo de carregamento - com o solo compactado (grau de compactação igual a 94%). Para esse ciclo, levou-se a estaca até deslocamento horizontal de 20mm.

Com relação à estaca 9, foram realizados três ciclos de carga (com acréscimos de 1,0kN) junto ao seu topo (Figura 4), sendo que os dois primeiros foram realizados com o solo em seu estado natural e o terceiro, com um pré-inundamento do terreno. Nos ciclos iniciais, levou-se a estaca a dois deslocamentos de 20mm.

Após a realização desses ciclos, foi aberta uma pequena cava no terreno (suficiente para manter uma lâmina d'água com 10cm de altura), em torno do topo da estaca e efetuados quatro furos a trado (com 10cm de diâmetro) - nas extremidades da mesma - de 1,5m de profundidade. Em seqüência, iniciou-se a inundação do terreno por um período de 63 horas (com vazão de 0,5m<sup>3</sup>/h). Decorrido esse período, iniciou-se o terceiro ciclo de carga, levando o mesmo até um deslocamento horizontal de 35mm.

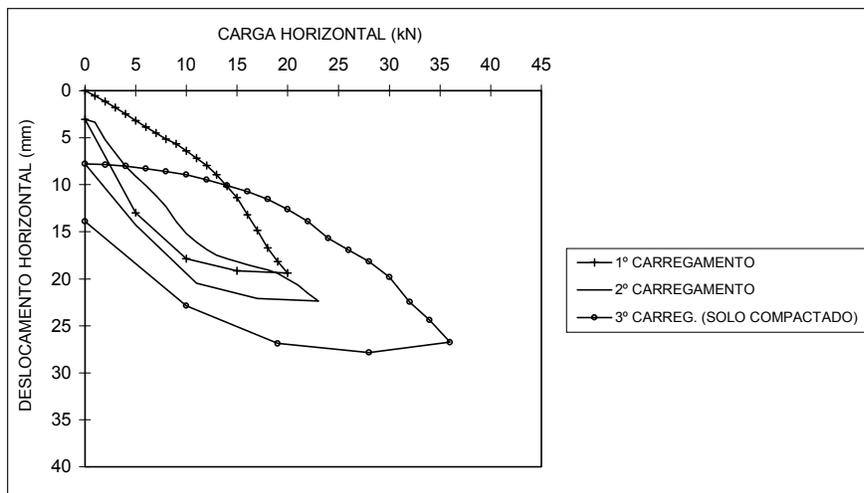


Figura 3 - Provas de carga horizontais (estaca 8).

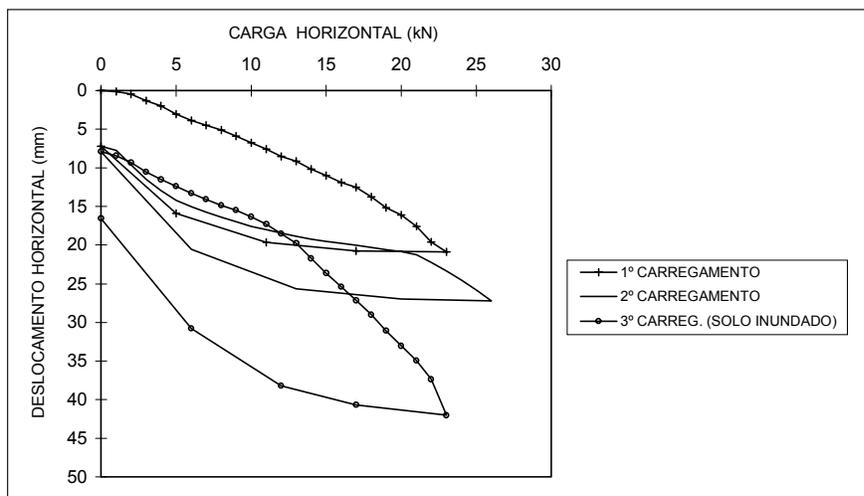


Figura 4 - Provas de carga horizontais (estaca 9).

## 7. Resultados e discussão

Os valores de cargas máximas foram extremamente baixos nas estacas ensaiadas à tração (Tabela 3). Esses resultados, em comparação com as estacas escavadas, indicam que as estacas pré-moldadas não apresentam bons resultados de atrito lateral para o solo pesquisado. A Tabela 4 mostra que as estacas pré-moldadas utilizadas nessa pesquisa, submetidas a provas de carga à compressão, tiveram valores de cargas superiores àquelas ensaiadas por tração.

Os atritos laterais, determinados pelos métodos analíticos, mostraram-se bastante coerentes para as estacas de compressão e divergentes para as esta-

cas de tração (Tabelas 5 e 6). Essas análises confirmam que os atritos laterais não apresentam bons resultados para uso das fórmulas analíticas nesse tipo de estaca. Com relação aos carregamentos horizontais, foi calculado o valor do coeficiente de reação do solo (Tabela 7), utilizando-se a expressão proposta por Alizadeh e Davisson (1970). Esses resultados foram determinados para um intervalo de deslocamentos compreendidos entre 6,0 e 12,0mm. Esse valor está abaixo do indicado por Davisson (1963) para areias fofas ( $\eta_H = 2600\text{kN/m}^3$ ), porém superior ao encontrado por Miguel (1996) para as estacas tipo “apiloadas” ( $\eta_H = 300\text{kN/m}^3$ ) e para as estacas escavadas ( $\eta_H = 650\text{kN/m}^3$ ), executadas em solos semelhantes.

Tabela 3 - Provas de carga à tração realizadas.

Estaca	Condições do solo	Carga máxima (kN)
1	Inundado	54
1	Sem inundação	65
2	Sem inundação	25
3	Sem inundação	50

Tabela 4 - Provas de carga à compressão realizadas.

Estaca	Condições do solo	Carga máxima (kN)
4	Inundado	200
4	Sem inundação	270
5	Sem inundação	240
6	Sem inundação	180

Tabela 5 - Valores à tração por métodos analíticos.

Autor	Carga lateral (kn)	Carga máxima (kN)
DAS	224	246
Grenoble	366	378

Tabela 6 - Valores à compressão por métodos analíticos.

Método	Carga lateral (kn)	Carga máxima (kN)
Zeevaert-Kédzi	248	373
Poulos-Davis	243	307

Tabela 7 - Valores de  $\eta H$  (para o intervalo entre 6 e 12mm).

Estaca	1º Carregamento $\eta H$ (kN/m <sup>3</sup> )	2º Carregamento $\eta H$ (kN/m <sup>3</sup> )	3º Carregamento $\eta H$ (kN/m <sup>3</sup> )
7	1444	-	-
8	1275	509	4069 (*)
9	1221	597	852 (**)
Média ( $\eta H$ )	1313	553	-

(\*) Solo compacto em 9 camadas.

(\*\*) Solo pré-inundado por 63 horas.

## 8. Conclusões

O efeito de inundação do terreno, em torno da cabeça da estaca, durante as primeiras 48 horas, causou a perda de 50% do atrito lateral nos 8 metros iniciais de profundidade do solo.

Já a inundação superficial do terreno, para os ensaios de carregamento horizontal, reduziu o valor do coeficiente de reação horizontal do solo ( $\eta_H$ ) em 35%. Esse coeficiente, determinado através da expressão de Alizadeh e Davisson (1963), teve um valor médio de 1313kN/m<sup>3</sup>. Isto indica a cautela que se deve ter na utilização desses valores, principalmente devido aos mesmos serem muito influenciados pelo solo superficial, o qual é sujeito a variações de umidade e grau de compactação, devido à ação de agentes externos.

As medidas de inclinações em profundidade do solo indicaram movimentações de até 2 metros de profundidade, o que corresponde cerca de 12 vezes o lado (0,17m) da estaca.

## Referências bibliográficas

- ALIZADEH, M., DAVISSON, M. T. Lateral load tests on piles-arkansas river project, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, v. 96, N°SM5, p.1583-1604, 1970.
- CARVALHO, D. *Análise de cargas últimas a tração de estacas escavadas, instrumentadas, em Campo Experimental de São Carlos-SP*. EESC-USP, 1991. (Tese de Doutorado).
- DAVISSON, M. T. Estimating buckling load for piles. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 2, São Paulo, 1963. *Proceedings...*
- MATLOCK, H., REESE, L. C. Foundation analysis of off-shore pile supported structures. IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 5, Paris, 1961. *Proceedings...*
- MENEZES, S. M. *Análise do comportamento de estacas pré-moldadas em solo de alta porosidade do interior do Estado de São Paulo*. EPUSP, 1997. (Tese de Doutorado).
- MIGUEL, M. G. *Execução e análise de provas de carga horizontal em estacas em solo colapsível*. EESC-USP, 1996. (Tese de Mestrado).

Artigo recebido em 02/06/2003 e  
aprovado em 03/11/2004.