

# Comportamento à tração de estacas tipo hélice contínua executadas em solo de diabásio

João Alexandre Paschoalin Filho

Doutor em Engenharia Civil – Uninove.  
São Paulo – SP [Brasil]  
jalexandre@uninove.br; joao.paschoalin@gmail.com.br.

David de Carvalho

Doutor em Engenharia Agrícola – Unicamp.  
Campinas – SP [Brasil]  
david@agr.unicamp.br

Paulo José da Rocha Albuquerque

Doutor em Engenharia Civil – Unicamp.  
Campinas – SP [Brasil]  
pjra@fec.unicamp.br

Rogério Carvalho Ribeiro Nogueira

Engenheiro Civil e Doutorando da Faculdade de Engenharia  
Agrícola – Unicamp.  
Campinas – SP [Brasil]  
rogeriocrnogueira@agr.unicamp.br

Neste trabalho, é apresentado um estudo do comportamento de três estacas tipo hélice contínua com 12 m de comprimento e 400 mm de diâmetro. As estacas foram executadas no Campo Experimental para Estudos de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp, na cidade de Campinas. Para a verificação do comportamento dessas estacas a esforços de arranque, foram executadas provas de cargas estáticas, do tipo lenta, de acordo com as recomendações da NBR 12131 (ABNT, 1991). A capacidade de carga dessas estacas foi prevista por meio de métodos teóricos, próprios para esforços de tração, e semi-empíricos, próprios para esforços de compressão, considerando-se somente a parcela de resistência lateral e a inexistência da parcela de resistência de ponta. Os valores estimados pelos métodos considerados foram comparados com os obtidos das provas de carga.

**Palavras-chave:** Esforços de tração. Hélice contínua.  
Provas de carga. Solo residual.



## 1 Introdução

Em projetos de fundações profundas, é freqüente a necessidade de determinar a capacidade de carga última desses elementos, considerando-se os esforços de tração. Um caso bastante corriqueiro é o projeto de elementos enterrados que servirão de fundações para estruturas de porte delgado e de elevada altura, como o caso de projeto de fundações que servirão de base para torres de linhas de transmissão.

É importante ressaltar que, geralmente, pequenos deslocamentos são necessários à mobilização da capacidade de carga total do conjunto estaca/solo, quando ele for solicitado a esforços de tração.

Entretanto, na prática, os métodos teóricos, próprios para a previsão da capacidade de carga de estacas submetidas a esforços de tração, na maioria das vezes, conduzem a valores distantes dos obtidos nas provas de carga.

Diante dessa situação, é prática comum entre diversos projetistas a adoção de métodos empíricos e semi-empíricos, desenvolvidos para estacas submetidas a esforços axiais de compressão. Adota-se, neste caso, a hipótese de que a resistência última de uma estaca tracionada corresponderia a uma porcentagem da resistência lateral, no instante de ruptura, de uma mesma estaca solicitada a esforços de compressão.

Esta suposição também acarreta erros, pois, geralmente, um método que é adequado para determinado terreno e tipo de estaca, em outra condição poderá fornecer parâmetros não adequados.

## 2 Estacas hélice contínuas

### 2.1 Generalidades

O início do emprego de estacas escavadas, com trado tipo hélice contínua, ocorreu na década

de 1950, nos Estados Unidos. Na Europa foram introduzidas na Alemanha na década de 1970. Posteriormente, foram inseridas na Ásia, iniciando-se no Japão. No Brasil, a utilização dessas estacas já se tornou freqüente em obras de grande e médio porte, principalmente no Estado de São Paulo (ALBUQUERQUE, 2001).

A estaca hélice contínua corresponde a uma estaca moldada *in loco*, que utiliza como ferramenta de escavação, um trado contínuo vazado, circundado por hélices. Para evitar que, o trado seja contaminado com resíduos de água ou solo, durante sua introdução no maciço, uma tampa metálica encontra-se na extremidade inferior da haste tubular que é deslocada por meio da pressão exercida pelo concreto no transcorrer da operação de preenchimento da escavação. Após atingir, no subsolo, a cota de projeto desejada, a haste tubular é sacada. Ao ser retirada do solo a tampa metálica desprende-se e, concomitantemente, o concreto bombeado é lançado pelo interior do tubo vazado do trado, minimizando-se, dessa maneira, problemas de desconfinamento do solo e garantindo a estabilidade da escavação. Logo após a concretagem, introduz-se a armadura.

No concreto utilizado consumiram-se, no mínimo, 400 quilos/m<sup>3</sup> de cimento, empregaram-se finos no traço (materiais passantes na peneira 200) de, no mínimo, 650 quilos/m<sup>3</sup>. O fator água/cimento do concreto bombeado deve se situar entre 0,53 a 0,56 com *slump* 22±2 cm. A resistência mínima de projeto deve ser de 20MPa (ABEF, 1999).

## 3 Esforços de tração em fundações profundas

A análise da resistência a esforços de tração em estacas depende, basicamente, segundo Orlando (1999), dos seguintes fatores:

- a) tipo de solo, diferenciando-se os conceitos em solos arenosos e em argilas;
- b) propriedades geomecânicas das camadas do maciço;
- c) processo executivo da estaca;
- d) tipo de carregamento que solicitará a estrutura (estático, cíclico, cargas atuando de maneira excêntrica etc.).

O problema de avaliação da capacidade de carga de estacas submetidas a esforços de tração apoiando-se nos fundamentos da mecânica dos solos é relativamente recente, tanto que somente passou a ser abordado com mais atenção a partir de 1960.

Existem vários métodos de cálculo para se avaliar a resistência de fundações profundas submetidas a esforços de tração. Uma descrição desses métodos pode ser encontrada na monografia de Campelo (1995), ou nas dissertações de mestrado de Danziger (1983) ou nas teses de doutorado de Carvalho (1991) e Orlando (1999).

Na avaliação da resistência de estacas tracionadas de seção cilíndrica e ou prismática, segundo Orlando (1999), tem-se empregado duas linhas de métodos de cálculo:

- a) Métodos de cálculo que admitem superfícies de ruptura cilíndricas ou prismáticas no contato solo-estaca, ou, muito próximo a ele, da mesma forma como se faz com estacas comprimidas, por meio da resistência lateral ou do atrito lateral (métodos teóricos ou semi-empíricos).
- b) Métodos específicos para estacas tracionadas: que podem admitir superfícies de ruptura diferentes das cilíndricas ou prismáticas.

## 4 Materiais e métodos utilizados

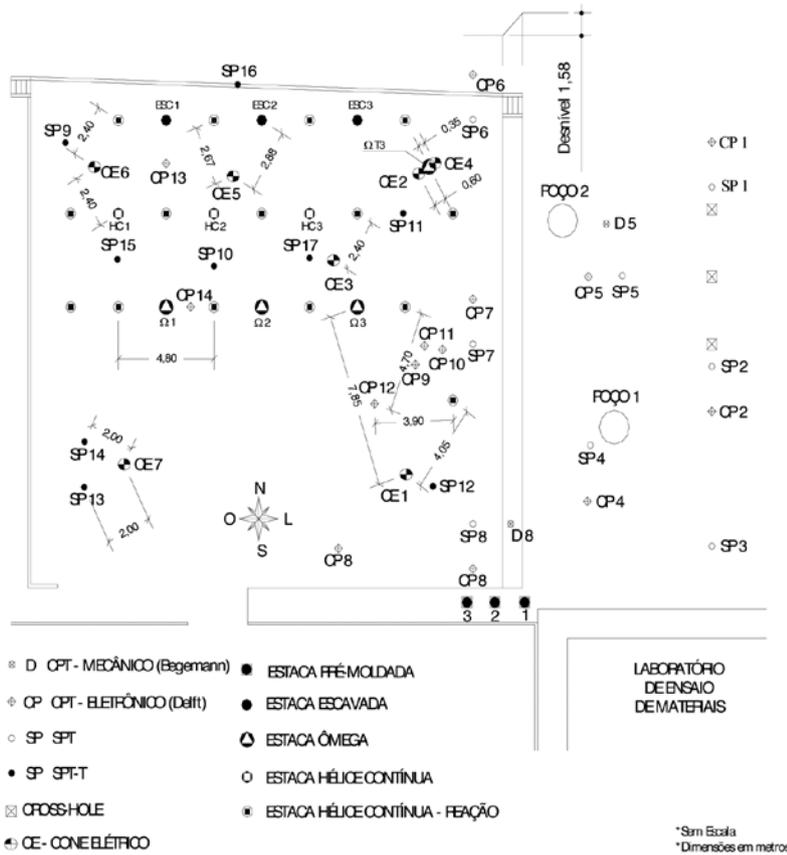
### 4.1 Campo Experimental Feagri/Unicamp

O Campo Experimental Feagri/Unicamp está localizado na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), no município de Campinas/SP, nos limites da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri/Unicamp) e possui uma área aproximada de 400 m<sup>2</sup>. A Unicamp localiza-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo, no planalto atlântico. Sua posição geográfica é determinada pelas coordenadas 22° 53' 22" de Latitude Sul e 47° 04' 39" de Longitude Oeste.

No local foram executados diversos tipos de ensaios de campo, tais como SPT; SPT com verificação de torque (SPT-T); ensaios de cone elétrico (CPTU) e mecânico (CPT) com luva de Begeman; ensaio tipo *cross-hole*; sondagem sísmica vertical; ensaios pressiométricos tipo Menard; entre outros. Também já se realizaram, nesse local, diversas provas de carga tipo estáticas, lentas e rápidas (com solicitações à compressão, tração e horizontal) em estacas executadas *in loco*, além de provas de carga dinâmicas em estacas pré-moldadas de concreto, metálicas e trilho. A Figura 1 apresenta uma vista geral da área em questão.

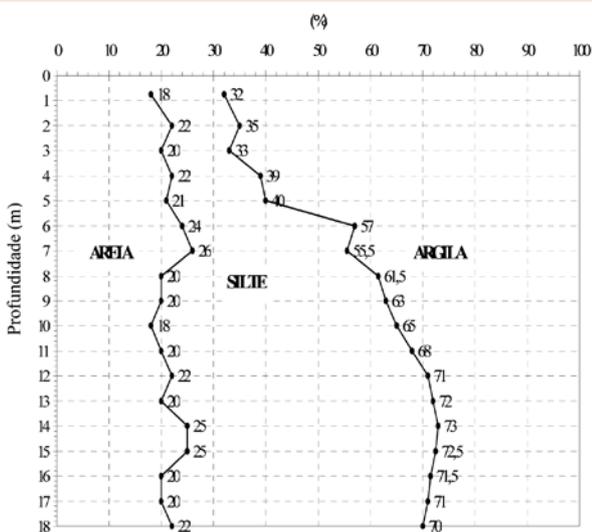
### 4.2 Aspectos geológicos

O subsolo da região do Campo Experimental é formado por magmatitos básicos, sendo observada a presença de rochas intrusivas básicas da formação Serra Geral. Este subsolo ocupa um total de 98 km<sup>2</sup>, correspondendo a 14% da área total da cidade de Campinas. O subsolo do Campo Experimental é constituído por um solo poroso, originado pela intemperização de diabásio, apresentando uma primeira camada de 6,5 m de espessura, formada de argila silto-arenosa de alta porosidade, seguida da segunda, de silte arenoso até 19 m; o lençol freático é encontrado a 17,7 m. Apresenta-se na Figura 2 a variabilidade granulométrica.



**Figura 1: Vista superior do Campo Experimental**

Fonte: Os autores.



**Figura 2: Variabilidade granulométrica do subsolo do Campo Experimental**

Fonte: Os autores.

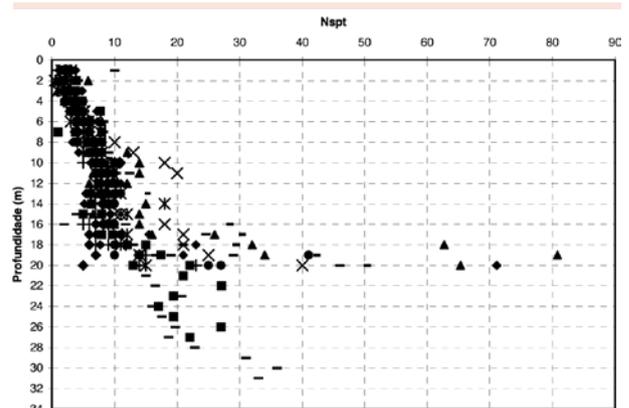
métrica do Campo Experimental até a profundidade de 18 m.

Pela Figura 3, pode-se verificar a variação dos valores de  $N_{spt}$  até uma profundidade de 28 m. São apresentadas nas Figuras 4 e 5 as variações de  $f_s$  e  $f_r$  (coeficiente de atrito  $f_s/q_c$ ) obtidos por meio de ensaios de CPTU.

### 4.3 Execução das estacas

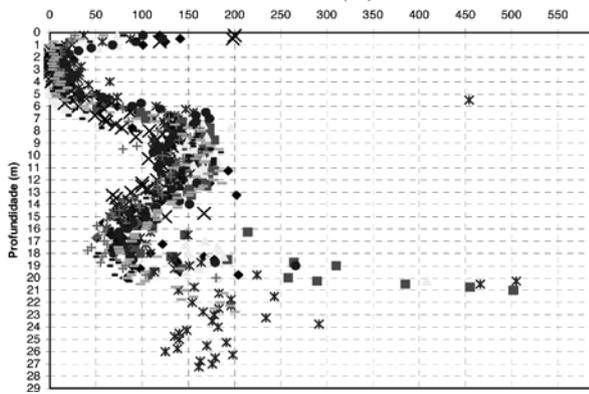
Para realizar esta pesquisa foram executadas três estacas-teste tipo hélice contínua de 0,40 m de diâmetro e 12,0 m de profundidade (HC-1, HC-2 e HC-3 com concreto bombeável, *slump* de 24 cm e consumido o equivalente a 400 kg/m<sup>3</sup> de cimento. Para cada estaca-teste, executaram-se duas estacas de reação também do tipo hélice contínua, porém com 18 m de profundidade. O espaçamento

entre as estacas-teste e as de reação chegou a 2,40 m (equivalendo a seis vezes o diâmetro da estaca-teste), já entre estacas-teste atingiu 4,80 m, o que corresponde a 12 vezes o diâmetro da estaca.



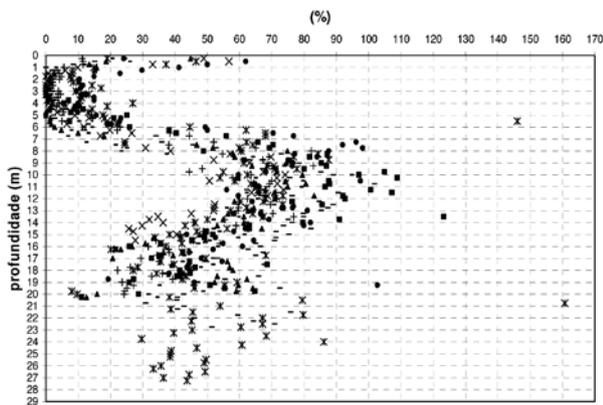
**Figura 3: Variação do  $N_{spt}$  com a profundidade**

Fonte: Os autores.



**Figura 4: Variação do  $f_s$  (kPa) com a profundidade**

Fonte: Os autores.



**Figura 5: Variação do coeficiente de atrito  $f_r$  (%) com a profundidade**

Fonte: Os autores.

#### 4.4 Sistema de reação das provas de carga

O sistema de reação foi composto por uma viga metálica, de atirantamento, utilizando-se tirantes de aço fundidos nas estacas-teste e macaco hidráulico de 2000 kN.

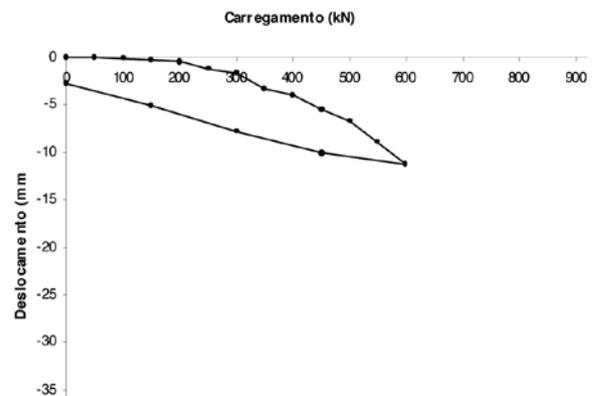
A viga de reação corresponde a um perfil tipo "I" com largura de 0,80 m, 5,30 m de comprimento, 0,75 m de altura e massa total de 31 kN. Os tirantes utilizados foram barras de aço tipo Dywidag ST 85/105, com 32 mm de diâmetro.

#### 4.5 Execução das provas de carga

As provas de carga executadas de acordo com as recomendações da Norma Brasileira (NBR 12131/91) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1991) foram as estáticas, do tipo lenta. Para verificar as deformações sofridas pela estaca, a cada incremento de carregamento, instalaram-se relógios comparadores, com precisão de 0,01 mm e curso de 50 mm sobre os blocos de coroamento das estacas-teste.

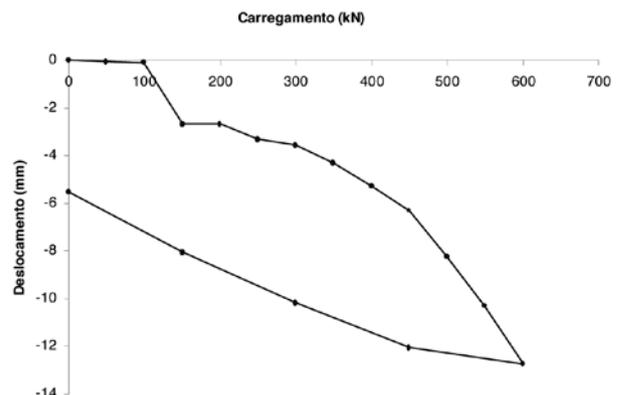
### 5 Resultados

Apresenta-se nas Figuras 6, 7 e 8 as curvas carga x recalque obtidas para as estacas ensaiadas.



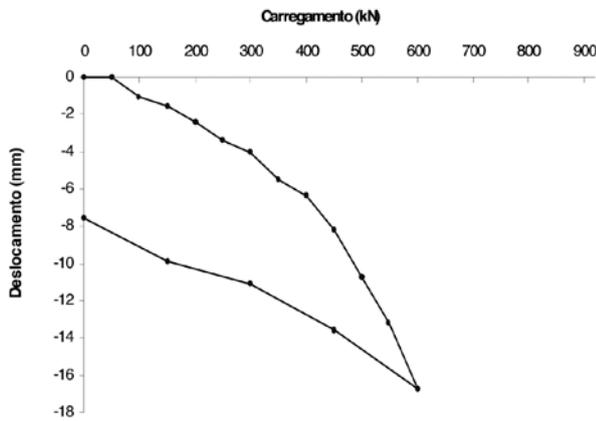
**Figura 6: Curva carga recalque. Estaca HC-1**

Fonte: Os autores.



**Figura 7: Curva carga recalque. Estaca HC-2**

Fonte: Os autores.



**Figura 8: Curva carga recalque. Estaca HC-3.**

Fonte: Os autores.

Na Tabela 1, apresentam-se os resultados das cargas últimas resistentes à tração das estacas ensaiadas, e também essas cargas descontadas do peso próprio da estaca.

**Tabela 1: Cargas últimas verificadas pelas provas de carga**

Estaca	R <sub>rup</sub> (kN)	R' <sub>rup</sub> (kN)	R' <sub>rup média</sub> (kN)
HC-1	680*	645	652
HC-2	695*	660	
HC-3	685*	650	

\*Obtidas por meio de extrapolação utilizando-se Método de Van der Veen (1953)

Fonte: Os autores.

Onde:

R<sub>rup</sub> = Carga última resistente à tração;

R'<sub>rup</sub> = Carga última resistente à tração, descontando-se o peso próprio da estaca.

Na Tabela 2, apresentam-se os valores de resistência lateral unitária das estacas ensaiadas, admitindo-se a ruptura pelo contato estaca-solo.

**Tabela 2: Resistências laterais unitárias obtidas**

Estaca	fs (kN/m <sup>2</sup> )	fs médio (kN/m <sup>2</sup> )
HC-1	42,68	43,17
HC-2	43,85	
HC-3	42,99	

Obs: fs= Resistência lateral unitária (R'<sub>rup</sub>/SI)

Fonte: Os autores.

## 6 Relação dos valores obtidos nas provas de carga com os alcançados por meio de métodos de estimativa de capacidade de carga

### 6.1 Métodos teóricos para esforços de tração

Foram estimados, por meio de métodos teóricos próprios para esforços de tração, os valores da carga última dessas estacas. Logo após, esses valores previstos foram comparados aos obtidos por meio das provas de carga. Os métodos utilizados nesta pesquisa foram os de Grenoble (apud ORLANDO, 1999) e Meyerhoff (1973, apud ORLANDO, 1999).

Na Tabela 3 são apresentados os valores obtidos.

**Tabela 3: Valores estimados pelos métodos utilizados**

Método	Valor estimado (kN)	R' <sub>rup med (pc)</sub> /R <sub>estimado</sub>
Grenoble	480,5	1,35
Meyerhoff (1973)	1356	0,48

Fonte: Os autores.

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 3, observa-se que o método que forneceu valor mais próximo da média obtida nas provas de carga foi o de Grenoble, com uma relação  $R'_{rup \text{ média (pc)}/R_{estimado}} = 1,35$ .

### 6.2 Métodos semi-empíricos

Foram estimados também os valores das cargas últimas por meio de métodos semi-empíricos próprios para esforços de compressão, desprezando-se a parcela referente à resistência de ponta. Os valores estimados foram então comparados com os obtidos nas provas de carga. Os métodos utilizados foram: Aoki e Veloso (1975),

Décourt e Quaresma (1978), Alonso (1996) e Philliponat (1978). Apresentam-se na Tabela 4 os valores obtidos.

**Tabela 4: Valores estimados pelos métodos utilizados**

Método	Valor estimado (kN)	$f_{s_{estimado}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$f_{s_{med(pc)}/f_{s_{estimado}}}$
A&V <sup>1</sup> (SPT)	135	8,96	4,82
A&V <sup>2</sup> (CPT)	354	23,5	1,84
D&Q <sup>3</sup> (1978)	358	23,7	1,82
Al <sup>4</sup>	304,2	20,17	2,14
Ph <sup>5</sup>	501	33,20	1,30

<sup>1</sup>Aoki e Veloso (1975);

<sup>2</sup>Aoki e Veloso (1975);

<sup>3</sup>Décourt e Quaresma (1978);

<sup>4</sup>Alonso (1996);

<sup>5</sup>Philliponat (1978).

Fonte: Os autores.

De acordo com os parâmetros demonstrados na Tabela 4, pode-se verificar que os métodos considerados apresentaram valores conservadores em relação aos obtidos pelas provas de carga. O Método de Philliponat foi o que apontou valores mais próximos aos alcançados pelas provas de carga.

## 7 Considerações finais

Com base no que foi apresentado neste trabalho, conclui-se que:

- de maneira geral, os métodos semi-empíricos aqui expostos, considerando-se que a carga última à tração seja igual à carga lateral à compressão obtida pelos métodos, apresentaram valores conservadores.
- entre os métodos teóricos próprios para esforços de tração, o de Meyerhoff (1973, apud ORLANDO, 1999) apresentou valores superiores aos reais.

- os resultados obtidos neste trabalho indicam a necessidade de maiores estudos, para formular métodos que estimem, com maior precisão, a carga última de estacas tracionadas executadas em solos tropicais.

### Behavior of continuous flight auger piles subjected to uplift loads tests in unsaturated diabasic soil

This paper presents the behavior of three continuous flight auger piles conducted in unsaturated diabasic soil submitted to uplift forces. The piles were built at the site for Experimental Studies of Soil Mechanics and Foundations at Unicamp situated in the city of Campinas, Brazil. Field tests have already been conducted at the site (SPT, CPT, DMT and PMT), as well as laboratory tests using sample soils taken from a well up to 17m deep. The water table is not checked until a depth of 17. In order to check the behavior of the piles when submitted to uplift forces, slow static load tests were carried out as per the recommendations of NBR 12.131/92. The carrying capacity of these piles was also provided by means of theoretical methods, appropriate for uplift forces, and through semi-empirical methods appropriate to compression forces, considering only the portion of lateral resistance. The values estimated by the methods considered were compared to those obtained by means of the load tests.

**Key words:** Diabasic soil. Flight auger piles. Uplift forces.

### Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA (ABEF). *Manual de especificações e procedimentos*. 1. ed. São Paulo: ABEF, 1999. 282p.

ALBUQUERQUE, P. J. R. *Estacas escavadas, hélice-continua e ômega: estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio através de provas de carga instrumentadas em profundidade*. 272p. Tese (Doutorado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.



ALONSO, U. R. Estimativa de adesão em estacas a partir do atrito lateral medido com o torque no ensaio SPT-T. *Solos e rochas*, São Paulo, v.1, n.19, p. 81-84, abr. 1996.

AOKI, N.; VELOSO, D. A. *Approximate method to estimate the bearing capacity of piles*. In: Congresso Panamericano de Mecânica de Suelos e Ingenieria de Fundaciones, 5., Buenos Aires, 1975. *Memórias*, Rio de Janeiro, v. 1, p. 367-376, 1975.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12131. Provas de carga estática*. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

CAMPELO, N. S. *Capacidade de carga de fundações tracionadas*. 1995. Monografia Geotécnica n. 6 – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995. 62p.

CARVALHO, D. *Análise de cargas últimas à tração em estacas escavadas instrumentadas em Campo Experimental de São Carlos*. 1991. 204p. Tese (Doutorado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

DANZIGER, F. A. B. *Capacidade de carga de fundações submetidas a esforços verticais de tração*. 1983. 331p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1983.

DECOURT, L.; QUARESMA, A. R. *Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 6., 1978, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro, v. 1, p. 45-53, 1978.

ORLANDO, C. *Contribuição ao estudo da resistência de estacas tracionadas em solos arenosos: análise comparativa da resistência lateral na tração e compressão*. 1999. 332p. Tese (Doutorado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PHILLIPONAT, G. *Méthode pratique de calcul des pieux à l'aide du pénétromètre statique*. Informations Techniques Bulletin. Paris: Soletanche Enterprise, 21p. 1978.

Recebido em 12 jun. 2006 / aprovado em 28 abr. 2008

**Para referenciar este texto**

PASCHOALIN FILHO, J. A. et al. Comportamento à tração de estacas tipo hélice contínua executadas em solo de diabásio. *Exacta*, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 75-82, jan./jun. 2007.