

# Comportamento à Tração De Estacas Tipo Hélice-Contínua Executadas Em Solo De Diabásio.

João Alexandre Paschoalin Filho

Faculdade de Engenharia Civil, Centro Universitário Nove de Julho (Uninove), São Paulo, Brasil.

Maurício Pereira

Faculdade de Engenharia Civil, PUC-Campinas, Campinas, Brasil.

David de Carvalho

Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas, Brasil.

Paulo José da Rocha Albuquerque

Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp, Campinas, Brasil.

Rogério Carvalho Ribeiro Nogueira

Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas, Brasil.

**RESUMO:** Apresenta-se neste trabalho um estudo do comportamento de 3 estacas tipo Hélice Contínua com 12m de comprimento e 400mm 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 destas estacas a esforços de arranque, foram executadas provas de carga estáticas, do tipo lenta, de acordo com as recomendações da NBR 12.131/91. A capacidade de carga destas estacas foi prevista por meio de métodos teóricos, próprios para esforços de tração e por meio de métodos semi-empíricos, próprios para esforços de compressão, considerando-se somente a parcela de resistência lateral e inexistência da parcela de resistência de ponta. Os valores estimados através dos métodos considerados foram comparados com os obtidos por meio das provas de carga.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hélice-Contínua, Esforços de Tração, Provas de Carga, Solo Residual.

## 1. INTRODUÇÃO.

Em projetos de fundações profundas é freqüente a necessidade da determinação da capacidade de carga última destes elementos considerando-se esforços de tração.

Um caso bastante corriqueiro consiste no 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.

Importante ressaltar que geralmente pequenos deslocamentos são necessários para a mobilização da capacidade de carga total do conjunto estaca-solo quando este estiver solicitado a esforços de tração.

Entretanto, o que ocorre na prática é que 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 em 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 determinado método que se

apresenta como adequado para um determinado terreno e tipo de estaca, em outra condição poderá fornecer parâmetros não adequados.

## 2. ESTACAS HÉLICE-CONTÍNUA

### 2.1 Generalidades.

O início do emprego de estacas escavadas com trado tipo hélice contínua ocorreu na década de 50 nos Estados Unidos. Na Europa sua introdução ocorreu através da Alemanha na década de 70, e posteriormente na Ásia através do Japão. No Brasil, a utilização destas estacas já se tornou uma constante 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 durante a introdução do trado no maciço este seja contaminado com resíduos de água ou solo, na extremidade inferior da haste tubular encontra-se uma tampa metálica, que é deslocada por meio da pressão exercida pelo concreto durante a operação de preenchimento da escavação. Após atingir no subsolo a cota de projeto desejada, a haste tubular é sacada. A medida em que esta é retirada do solo, a tampa metálica desprende-se e concomitantemente o concreto bombeado é lançado pelo interior do tubo vazado do trado, minimizando-se desta maneira problemas de desconfinamento do solo e garantindo a estabilidade da escavação. Logo após a concretagem se introduz a armadura.

O concreto utilizado é caracterizado por um consumo de cimento de no mínimo 400 quilos/m<sup>3</sup>, emprego de 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 situar-se entre 0,53 a 0,56 com *slump* 22±2cm. A resistência mínima de projeto deve ser de 20MPa Abef (1999).

## 3. ESFORÇOS DE TRAÇÃO EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS.

### 3.1 Introdução

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

- a) Tipo de solo, diferenciando-se basicamente os conceitos em solos arenosos e em argilas;
- b) das propriedades geo-mecânicas das camadas do maciço;
- c) do processo executivo da estaca;
- d) do 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. Somente a partir de 1960 é que este problema passou a ser abordado com mais atenção.

Existem vários métodos de cálculo para se avaliar a resistência de fundações profundas submetidas a esforços de tração. Uma descrição destes métodos pode ser encontrada na monografia de Campelo (1995), ou nas dissertações de mestrado de Danziger (1983) ou nas teses de doutoramento 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 este:* 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:* os quais podem admitir superfícies de ruptura diferentes das cilíndricas ou prismática.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS.

### 4.1 Campo Experimental Feagri/Unicamp.

O Campo Experimental Feagri/Unicamp está localizado na Universidade Estadual de Campinas, no município de Campinas/SP, dentro dos limites da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri/Unicamp) e possui uma área aproximada de 400m<sup>2</sup>. A Universidade Estadual de Campinas 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 já foram executados diversos tipos de ensaios de campo: 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 neste local diversas provas de carga tipo estática-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 seguinte apresenta uma vista geral da área em questão.

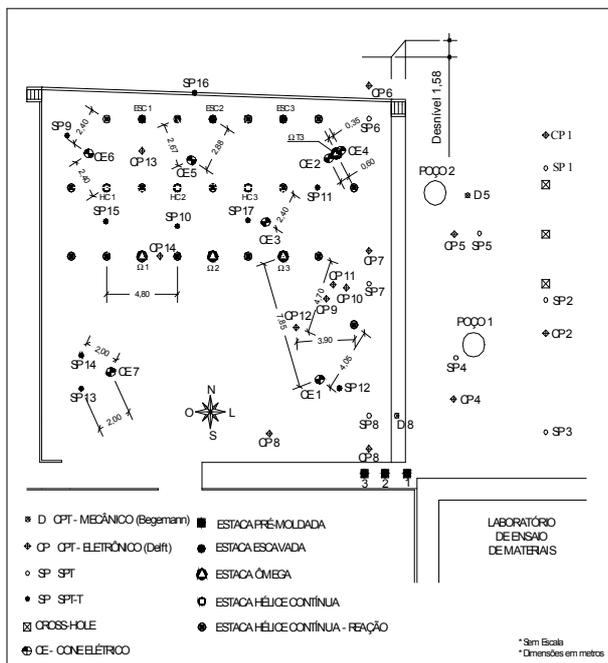


Figura 1. Vista superior do Campo Experimental.

### 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 98km<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 6,5m de espessura, constituída de argila silto-arenosa de alta porosidade, seguida de uma camada de silte-arenoso até 19m; o lençol freático é encontrado a 17,7m. Apresenta-se na figura 2 a variabilidade granulométrica do Campo Experimental até a profundidade de 18m.

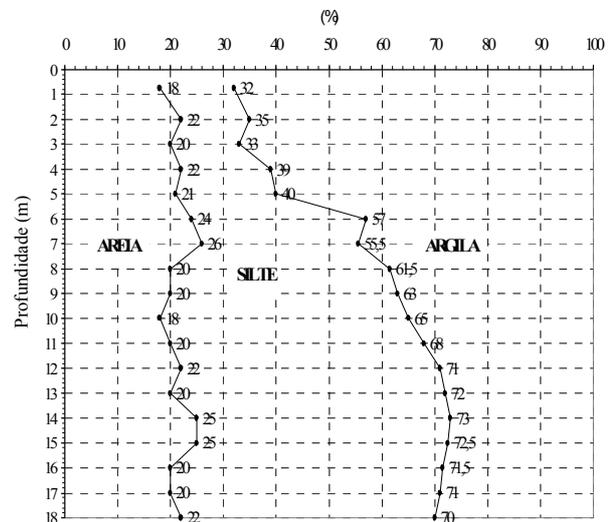


Figura 2. Variabilidade granulométrica do subsolo do Campo Experimental.

Pela figura 3 pode-se verificar a variação dos valores de  $N_{spt}$  até uma profundidade de 28m. 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.

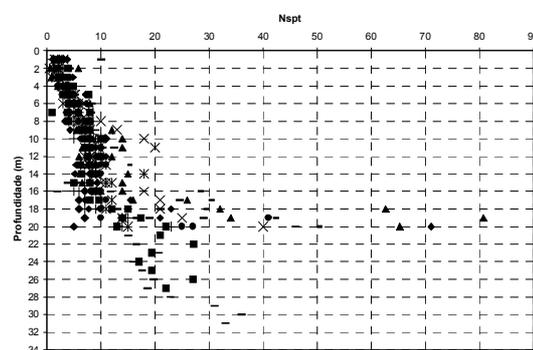


Figura 3. Variação do  $N_{spt}$  com a profundidade.

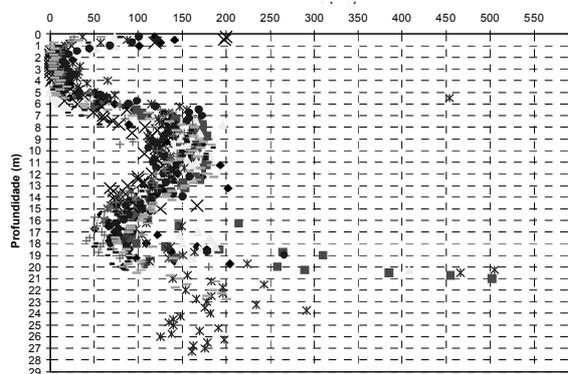


Figura 4. Variação do  $f_s$  (kPa) com a profundidade.

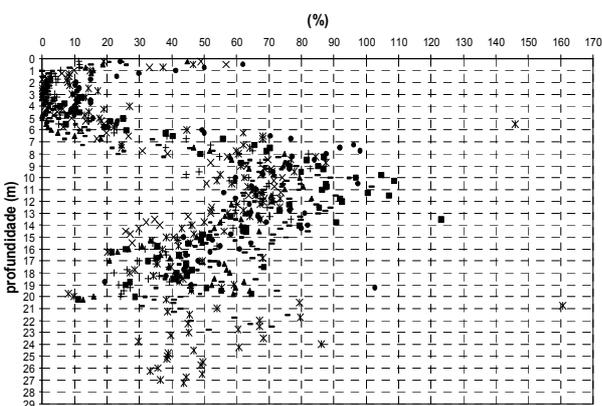


Figura 5. Variação do coeficiente de atrito  $f_r$  (%) com a profundidade.

#### 4.3 Execução das Estacas.

Para a execução desta pesquisa foram executadas três estacas teste tipo hélice contínua com 0,40m de diâmetro e 12,0m de profundidade (HC-1, HC-2 e HC-3). As estacas foram executadas com concreto bombeável, *slump* de 24cm e consumo de cimento equivalente a 400 kg/m<sup>3</sup>. Para cada estaca teste foram executadas duas estacas de reação também do tipo hélice-contínua, porém com 18m de profundidade. O espaçamento entre as estacas de reação e as estacas teste foi de 2,40m (equivalendo a 6 vezes o diâmetro da estaca teste). O espaçamento entre estacas teste foi de 4,80m, o que corresponde a 12 vezes o diâmetro da estaca.

#### 4.4 Sistema de Reação das Provas de Carga.

O sistema de reação foi composto por uma viga metálica, sistema 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 0,80m, 5,30m de comprimento, 0,75m de altura e massa total de 31kN. Os tirantes utilizados foram barras de aço tipo Dywidag ST 85/105, com 32mm de diâmetro.

#### 4.5 Execução das Provas de Carga.

As provas de carga foram executadas de acordo com as recomendações da Norma Brasileira (NBR) 12.131/91 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Estas provas foram estáticas do tipo lenta. Para a verificação das deformações sofridas pela estaca a cada incremento de carregamento, foram instalados relógios comparadores, com precisão de leitura de 0,01mm e curso de 50mm, sobre os blocos de coroamento das estacas teste.

### 5. RESULTADOS OBTIDOS

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

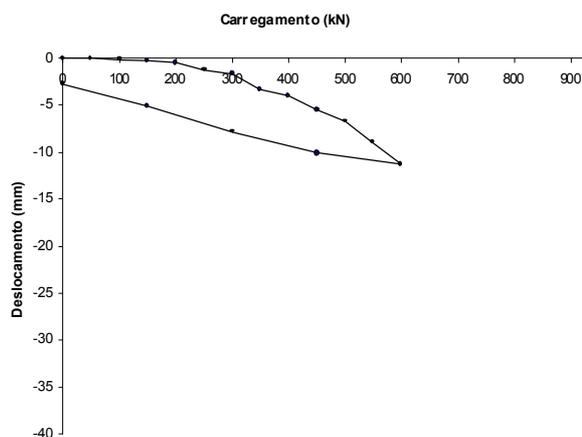


Figura 6. Curva carga recalque. Estaca HC-1

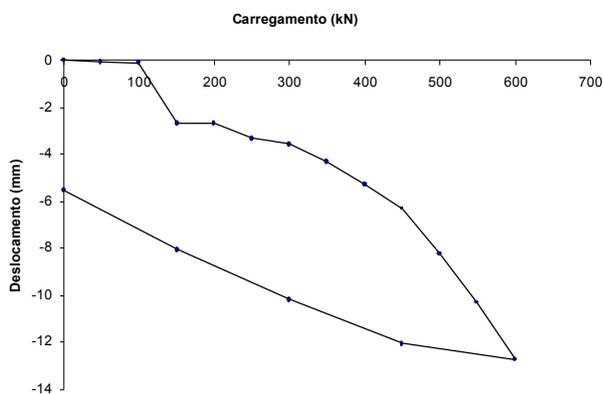


Figura 7. Curva carga recalque. Estaca HC-2

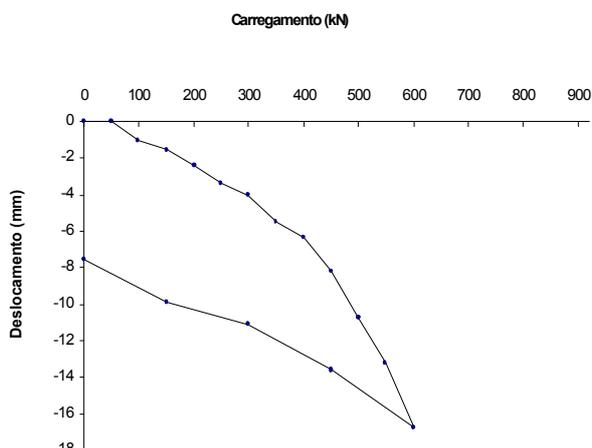


Figura 8. Curva carga recalque. Estaca HC-3

Apresenta-se na tabela 1 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	$R_{rup}$ (kN)	$R'_{rup}$ (kN)	$R'_{rup}$ média (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.

Onde:

$R_{rup}$  = Carga última resistente à tração;

$R'_{rup}$  = Carga última resistente à tração descontando-se o peso próprio da estaca.

A tabela 2 seguinte apresenta os valores de resistência lateral unitária das estacas ensaiadas, admitindo-se ruptura pelo contato estaca-solo.

Tabela 2. Resistências laterais unitárias obtidas.

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

Obs:  $f_s$  = Resistência lateral unitária ( $R'_{rup}/S_l$ ).

## 6. RELAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS NAS PROVAS DE CARGA COM VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE CAPACIDADE DE CARGA.

### 6.1 Métodos teóricos para esforços de tração.

Foram estimados através de métodos teóricos, próprios para esforços de tração, os valores da carga última destas estacas. Logo após estes valores previstos foram comparados aos obtidos por meio das provas de carga. Os métodos utilizados nesta pesquisa foram: Métodos de Grenoble, *apud* Orlando (1999) e Meyerhoff (1973) *apud* Orlando (1999). Na tabela 3 seguinte são apresentados os valores obtidos.

Tabela 3. Valores estimados pelos métodos utilizados.

Método	Valor estimado (kN)	$R'_{rupmed(pc)}/R_{estimado}$
Grenoble	480,5	1,35
Meyerhoff (1973)	1356	0,48

Através 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  $R'_{rup}$  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 valores obtidos nas provas de carga. Os métodos utilizados foram: Aoki-Veloso (1975), Decourt-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

Obs: 1-Aoki-Veloso (1975); 2-Aoki-Veloso (1975); 3-Decourt-Quaresma (1978); 4-Alonso (1996); 5- Philliponat (1978).

Com base nos parâmetros apresentados na tabela 4 pode-se verificar que os métodos considerados apresentaram valores conservadores em relação àqueles obtidos pelas provas de carga. O Método de Philliponat foi o que apresentou valores mais próximos àqueles obtidos pelas provas de carga.

## 7. CONCLUSÕES

Baseado no que foi apresentado neste trabalho pode ser feito as seguintes conclusões:

a) De uma maneira geral, os métodos semi-empíricos aqui apresentados, considerando-se que a carga última à tração seja igual à carga lateral à compressão obtida pelos métodos, apresentaram valores conservadores.

b) Dentre os métodos teóricos próprios para esforços de tração, o método de Meyerhoff (1973) apresentou valores superiores aos reais.

c) Os resultados obtidos neste trabalho indicam a necessidade de maiores estudos objetivando-se a formulação de métodos que estimem com maior precisão a carga última de estacas tracionadas executadas em solos tropicais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundesp, Fundações Especiais, pelo apoio dado na execução das estacas necessárias a esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS.

Para a realização deste trabalho foram consultadas as seguintes referências:

- ABEF- Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia. *Manual de Especificações e procedimentos*. ABEF. 282p. São Paulo. 1999.
- 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. **Memorias**, v.1, p.367-376.
- Alonso, U.R. *Estimativa de adesão em estacas a partir do atrito lateral medido com o torque no ensaio SPT-T*. Solos e rochas, v.1, n.19. p.81-84, abr., 1996.
- Danziger, F.A.B. *Capacidade de carga de fundações submetidas a esforços verticais de tração*. 331p. (Dissertação de 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, Rio de Janeiro, 1978. **Anais**, v.1, p.45-53.
- Campelo, N.S. *Capacidade de carga de fundações tracionadas*. Monografia Geotécnica nº 6. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 62p, 1995.
- Carvalho, D. *Análise de cargas últimas à tração em estacas escavadas instrumentadas em Campo Experimental de São Carlos*. 204p. (Tese de Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.
- NBR 12.131. Provas de carga estática. Rio de Janeiro : ABNT.1991.
- Orlando, C. *Contribuição ao estudo da resistência de estacas tracionadas em solos arenosos. Análise comparativa da resistência lateral na tração e compressão*. 332p. (Tese de Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.