

## Sobre a interpretação da capacidade de carga em provas de carga em estacas

Felipe Vianna Amaral de Souza Cruz

Mestrando, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, [felipe@geoestatica.com.br](mailto:felipe@geoestatica.com.br)

Francisco de Rezende Lopes

Professor Titular, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, [flopes@coc.ufrj.br](mailto:flopes@coc.ufrj.br)

Alessandra Conde de Freitas

Professora Adjunta, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil,  
[alessandracfreitas@poli.ufrj.br](mailto:alessandracfreitas@poli.ufrj.br)

**RESUMO:** O trabalho se propõe a contribuir para a interpretação da capacidade de carga (carga de ruptura convencional) em provas de carga em estacas. Serão analisadas provas de carga em estacas pelo chamado “método bidirecional”, no qual uma célula expansiva, instalada no fuste da estaca, carrega os dois segmentos de estaca. Como um segmento serve de reação para o carregamento do outro, nesse tipo de ensaio não há necessidade de um sistema de reação, como nas provas de carga convencionais, o que leva, a depender da carga de ensaio, a uma redução considerável de custo. Essa modalidade de prova foi proposta, originalmente, pelo brasileiro Silva (1983) e, depois, aperfeiçoada pelo norte americano Osterberg (1989), vindo a célula expansiva a ser conhecida internacionalmente como Osterberg-cell. No presente trabalho é proposta uma nova interpretação da curva carga-recalque da estaca visando definir a capacidade de carga (carga de ruptura). A curva pode ser obtida em uma prova de carga convencional ou em prova bidirecional, após a construção da chamada curva equivalente, como proposto por Silva (1983) e Cruz (2019). Um conjunto de provas de carga realizadas no Brasil em estacas escavadas, hélice contínua e Ômega é analisado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Prova de Carga em Estacas, Método Bidirecional, Osterberg-cell.

**ABSTRACT:** This paper intends to contribute to the interpretation of the ultimate bearing capacity (failure load) in pile load tests. Static load tests by the "bidirectional method", in which an expansive cell, installed in the pile shaft, applies load to the two pile segments, are analyzed. As one segment serves as a reaction to the loading of the other, in this type of test there is no need for a reaction system as in conventional load tests, which leads, depending on the test load, to a considerable reduction of cost. This type of test was first proposed by the Brazilian Silva (1983) and, later, further developed by the American Osterberg (1989), the expansion cell being internationally known as Osterberg-cell. A new procedure for the interpretation of the load-settlement curve aiming at the definition of the ultimate bearing capacity is proposed. The load-settlement curve may be obtained in a conventional load test (top load) or in a bidirectional test after an equivalent curve is constructed, as proposed by Silva (1983) and Cruz (2019). A set of bidirectional load tests performed in Brazil on bored, continuous flight auger and Omega piles are analyzed.

**KEYWORDS:** Pile Load Test, Bidirectional Test, Osterberg-cell.

## 1 Introdução

Uma modalidade de prova de carga em estacas tem ganhado espaço ultimamente: o chamado “método bidirecional”. Nessa modalidade, uma célula expansiva é instalada no fuste da estaca, que, ao ser pressurizada e expandindo-se, carrega os dois segmentos de estaca (um servindo de reação ao carregamento do outro). Esse ensaio tem sido designado, internacionalmente, como Método Bidirecional (embora essa expressão não seja correta do ponto de vista da terminologia da Física). O apelo desse tipo de prova de carga, a depender da carga de ensaio, é o menor custo em relação à prova de carga convencional, em que o macaco carrega o topo da estaca. A redução de custo se deve à dispensa do sistema de reação da prova convencional (por tirantes ou estacas de tração), que é o principal item de custo desses ensaios. Em ensaios de estacas de grande diâmetro (em que duas ou três células são colocadas lado a lado para causar a expansão de uma seção da estaca) – que precisam ser ensaiadas a grandes cargas – a diferença de custo é enorme.

Essa modalidade de prova de carga foi proposta, originalmente, pelo brasileiro Silva (1983) e, depois, aperfeiçoada pelo norte americano Osterberg (1989). A célula expansiva (como é conhecida no Brasil) é perdida, ou seja, descartável. Essa célula é conhecida internacionalmente como Osterberg-cell ou simplesmente O-cell. Ensaios desse tipo estão sendo feitos no mundo todo e há uma discussão sobre as condições em que esse tipo de prova substitui o ensaio convencional e como interpretar seus resultados.

O presente trabalho se propõe a contribuir para a interpretação da capacidade de carga (carga de ruptura convencional). O processo pode ser aplicado tanto a provas de carga convencionais como por método bidirecional. No segundo caso, é construída uma curva equivalente ao carregamento no topo (convencional). São comparados os resultados obtidos pelo método proposto (Cruz, 2019) com o critério da norma brasileira NBR 6122. Um conjunto de resultados de provas de carga realizadas no Brasil em estacas escavadas, hélice contínua e Ômega é interpretado.

## 2 Construção da Curva Equivalente a partir do Método Bidirecional

No método bidirecional, a carga máxima aplicada pela célula expansiva é o limite das curvas carga-deslocamento dos dois segmentos de estaca. A instrumentação padrão no método bidirecional é constituída por extensômetros no topo da estaca, como nas provas convencionais, e mais extensômetros de hastes (*telltales*) indo até o topo e base da célula. Uma interpretação mais refinada dos resultados da prova bidirecional é aquela em que se leva em conta o peso próprio da estaca, o que desloca para menos a curva do segmento superior e para mais a curva do segmento inferior (Figura 1). Outra correção usualmente feita é do encurtamento elástico, que pode ser medido ou estimado (ver, p. ex., Massad, 2015).

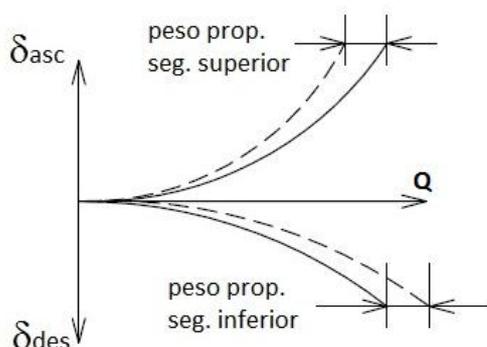


Figura 1. Interpretação da prova bidirecional levando em conta o peso próprio da estaca, com curva corrigida em tracejado (Cruz, 2019).

Como a estaca, na obra, será carregada pelo topo, busca-se construir uma curva equivalente ao ensaio convencional (carregamento pelo topo) a partir dos resultados do ensaio bidirecional. Silva (1983) propôs um procedimento em que se escolhe um valor de deslocamento de cada vez e as cargas na curva superior e inferior a ele correspondente são obtidas. Essas cargas são somadas e levadas a um outro gráfico como correspondentes ao dobro do valor do deslocamento escolhido (Figura 2). Para essa construção, as curvas carga-deslocamento completas (até o final da prova) precisam estar disponíveis. Cruz (2019) propôs um outro procedimento em que a construção da curva equivalente é feita com os resultados de cada incremento de carga, portanto, permitindo uma avaliação do comportamento da estaca à medida em que a prova evolui. Nesse procedimento, os deslocamentos ao final de cada estágio de carga são somados, assim como as cargas naquele estágio, e as somas levadas a um gráfico (Figura 3). Para efeito de entendimento, a Figura 4 apresenta a construção da curva equivalente a partir de curvas do ensaio bidirecional não corrigidas para o peso próprio; no caso dessa correção, as cargas (corrigidas) ao final de cada estágio devem ser somadas (ao invés de  $2 Q_i$ ).

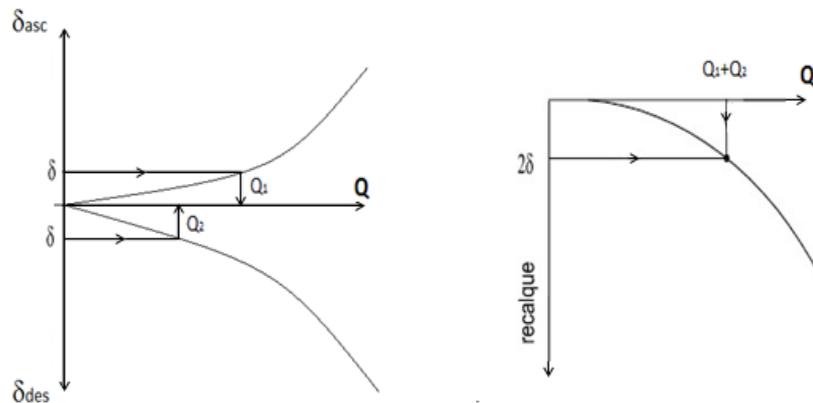


Figura 2. Construção da curva carga-recalque equivalente segundo Silva (1983), apud Cruz (2019).

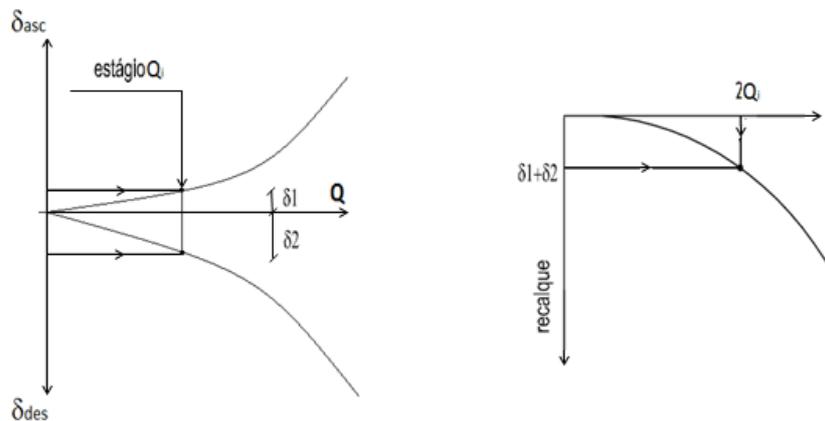


Figura 3. Construção da curva carga-recalque equivalente proposta por Cruz (2019).

Conforme dito anteriormente, as cargas totais devem considerar o peso próprio da estaca, submerso quando for o caso (para o segmento acima da célula, carga ascendente – peso próprio do segmento, e para o segmento abaixo da célula, carga descendente + peso próprio do segmento).

### 3 Proposta para a Determinação da Carga de Ruptura (Convencionada) em Provas de Carga

Observa-se, na prática, que a maioria das curvas carga-recalque de provas de carga em estacas (por método convencional ou bidirecional) não apresenta uma assíntota vertical, que definiria claramente uma carga de ruptura. É mais comum as curvas apresentarem uma assíntota inclinada, que corresponde a um

aumento de capacidade de carga com a penetração da estaca no terreno. Alguns métodos, então, definem uma carga de ruptura convencionada, por um dado recalque (em geral função do diâmetro da estaca), como é o caso do método da NBR 6122, ou por um critério gráfico que inclui a assíntota inclinada, como os métodos de Fuller e Hoy (1970) e Butler e Hoy (1977). Na proposta de Butler e Hoy (1977), a carga de ruptura (convencionada) é definida pelo encontro de uma linha tangente ao trecho inicial (considerado elástico) com a assíntota inclinada do trecho plástico. O reconhecimento da assíntota inclinada, com dado valor de inclinação, havia sido feito por Fuller e Hoy (1970).

A proposta de Cruz (2019) é semelhante a esses últimos métodos, mas considera que o trecho inicial da curva carga-recalque (antes do trecho final, assintótico) não pode ser interpretado simplesmente com uma reta uma vez que corresponde a um comportamento elastoplástico. Propõe, então, um critério gráfico inspirado no procedimento de Pacheco Silva (1970) para determinação da tensão de pré-adensamento em ensaio de adensamento (oedométrico). A utilização de um critério semelhante ao de Pacheco Silva se justificaria porque, no ensaio oedométrico, a tensão de pré-adensamento corresponde a uma mudança de estado. Assim, a carga de ruptura (convencionada) numa prova de carga – que corresponde à mudança de um estado elastoplástico para um estado puramente plástico – poderia ser obtida com uma construção geométrica semelhante.

Fuller e Hoy (1970) consideram que o trecho plástico da curva carga-recalque tem uma inclinação bem definida, tendo sido obtido o valor médio de 1,4mm/10kN (0,05 in/ton) para um pequeno conjunto de provas de carga. A atual proposta considera o trecho plástico como definido por uma reta com rigidez  $K_{plast}$  (que seria o inverso da inclinação) mostrada na Figura 4. O valor de  $K_{plast}$  (dimensão F/L) será avaliado mais adiante nesse item.

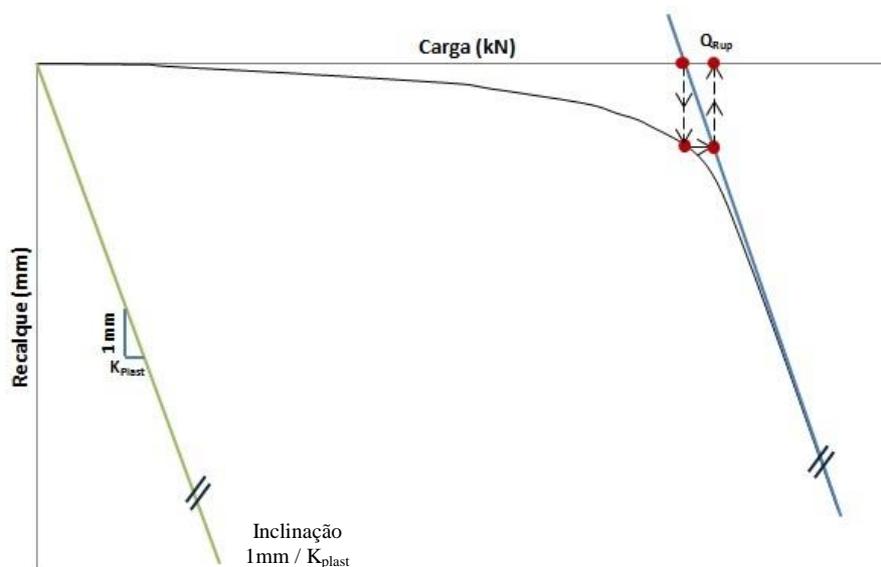


Figura 4. Esquema da aplicação do método proposto por Cruz (2019).

As etapas da aplicação do procedimento proposto são (Figuras 4 e 5):

- 1) Traçar a Reta (1) com inclinação ( $1 / K_{plast}$ ) tangente ao trecho final da curva carga-recalque;
- 2) Definir o ponto (2) de interseção da Reta (1) com o eixo das abscissas (eixo das cargas);
- 3) Do ponto (2), traçar uma vertical (3) até atingir a curva carga-recalque;
- 4) Definir o ponto (4) na interseção da reta (3) com a curva carga-recalque;

- 5) Pelo ponto (4) traçar a horizontal (5);
- 6) Definir o ponto (6) na interseção da horizontal (5) com a Reta (1), que define a carga de ruptura (convencionada)  $Q_{rup}$ .

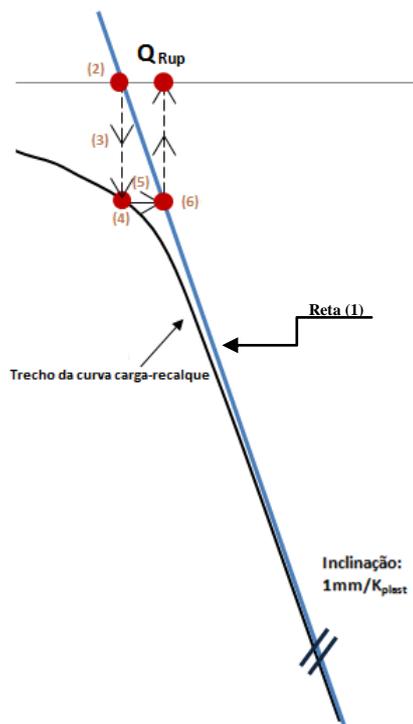


Figura 5. Etapas da aplicação do método proposto por Cruz (2019).

A rigidez  $K_{plast}$  foi obtida através da análise de 32 provas de carga bidirecionais em estacas do tipo escavada, hélice contínua e Ômega, sendo que os dois últimos tipos foram avaliados conjuntamente. Para cada prova de carga foi obtida uma rigidez  $K_{plast}$  correspondente ao melhor ajuste do trecho final (plástico) da curva carga-recalque equivalente.

Como há duas formas de construção da curva equivalente, a proposta por Silva (1983) e a de Cruz (2019), foram observadas duas rigidezes  $K_{plast}$  diferentes. E se esperava que os diferentes tipos de estacas também fornecessem resultados diferentes. A Tabela 1 resume os coeficientes  $K_{plast}$  obtidos (onde  $d$  é o diâmetro da estaca).

Tabela 1. Valores de  $K_{plast}$  para as diferentes *curvas equivalentes* e diferentes tipos de estacas.

Tipo de estaca	Silva (1983)	Cruz (2019)
	$K_{plast}$ (kN/mm)	$K_{plast}$ (kN/mm)
Escavada	$11,6 - 0,0006.d$	$12,2 - 0,0017.d$
Hélice Contínua e Ômega	$11,0 - 0,0018.d$	$8,4 + 0,0015.d$

Verificou-se que a variação do  $K_{plast}$  com o diâmetro e o tipo de estaca é relativamente pequena. Sendo assim, decidiu-se utilizar um valor único de  $K_{plast}$ : 10 kN/mm (correspondendo à inclinação da assíntota, chamada Reta (1), de 1mm /10kN).

#### 4 Conjunto de Provas de Carga Analisadas

Foi analisado um conjunto de 21 estacas escavadas, 9 estacas tipo hélice contínua e 2 do tipo Ômega, como indicado nas tabelas a seguir.

Tabela 2. Estacas escavadas.

Local	Nº. da prova de carga	Nº. da estaca na obra	Diâmetro (cm)	Comprimento (m)	Carga Máxima (kN)	Deslocamento Máximo (mm)	Fonte
Paraná	PC-02B	PC01	90	26,9	5050	7,0	Falconi e Maset (2016) e Maset <i>et al</i> (2016)
Rio de Janeiro	PC-06B	P6B	130	22,3	5272	69,0	Consultrix Engenheiros Associados
Santa Catarina	PC-07B	ET6	100	24,3	5400	195,0	Sestren (2018)
Rio de Janeiro	PC-08B	P6C	130	28,0	8474	236,0	Consultrix Engenheiros Associados
São Paulo	PC-09B	PCE-CEL-03	120	23,0	7214	45,0	Acervo Pessoal
São Paulo	PC-10B	Teste	80	20,0	4982	45,2	Acervo Pessoal
Rio de Janeiro	PC-11B	P-241A	110	32,3	7313	94,4	Consultrix Engenheiros Associados
Rio de Janeiro	PC-12B	P-222	140	25,8	5724	128,7	Consultrix Engenheiros Associados
Rio de Janeiro	PC-13B	P-130	120	27,2	9132	128,7	Consultrix Engenheiros Associados
Rio de Janeiro	PC-14B	P-16E	100	22,0	3796	89,8	Consultrix Engenheiros Associados
Rio de Janeiro	PC-15B	P-23B	100	22,0	5845	133,2	Consultrix Engenheiros Associados
Paraná	PC-19B	PC02	100	24,0	8410	12,4	Falconi e Maset (2016) e Maset <i>et al</i> (2016)
Rio de Janeiro	PC-20B	P48	130	30,0	9800	131,0	Consultrix Engenheiros Associados
Rio de Janeiro	PC-21B	PET-04	130	30,0	10109	29,7	ABS Fundações
Rio de Janeiro	PC-22B	PET-05	70	30,0	2079	20,0	ABS Fundações
Rio de Janeiro	PC-23B	PET-06	70	30,0	3011	41,0	ABS Fundações
Bahia	PC-28B	T-55A	70	71,3	5030	120,1	Hecksher e Freitas (2018)
Espírito Santo	PC-29B	E-27	110	33,2	9541	6,6	Acervo Pessoal
Espírito Santo	PC-30B	E-125	60	23,4	5500	0,8	Acervo Pessoal
São Paulo	PC-32B	Apoio 3	180	27,2	56500	5,9	Resende <i>et al</i> (2018)
São Paulo	PC-33B	E-45	180	23,0	28400	20,5	Malachias Filho <i>et al</i> (2017)

Tabela 3. Estacas hélice contínua e Ômega.

Local	No. da prova de carga	No. da estaca na obra	Diâmetro (cm)	Comprimento (m)	Carga Máxima (kN)	Deslocamento Máximo (mm)	Fonte
São Paulo	PC-01B	PCE-07	70	11,5	1580	37,5	Fellenius (2014)
Rio de Janeiro	PC-04B	P-35B	70	16,6	2713	62,3	Consultrix Engenheiros Associados
Rio de Janeiro	PC-05B	P-42B	70	16,6	3000	21,9	Consultrix Engenheiros Associados
Minas Gerais	PC-16B	P-46A	60	15,6	3270	33,8	Alonso e Silva (2000)
São Paulo	PC-18B	PC-02	50	9,9	2065	51,0	Acervo Pessoal
São Paulo	PC-24B	PE11-2	80	24,0	5022	8,0	Damasco Penna Engenharia
São Paulo	PC-25B	P21A-2	80	21,0	4097	4,2	Damasco Penna Engenharia
São Paulo	PC-26B	PE3-1	80	24,0	5066	7,6	Damasco Penna Engenharia
Minas Gerais	PC-27B	-	60	15,8	2445	42,8	Pereira <i>et al</i> (2016)
Paraná	PC-34B	EP	100	14,7	5100	24,4	Rambo <i>et al</i> (2018)
São Paulo	PC-35B	PCE-02	70	11,5	1850	30,3	Fellenius (2014)

## 5 Comparação entre o método proposto e o método da NBR 6122

Para avaliação do método proposto por Cruz (2019), cargas de ruptura (convencionada) obtidas com essa metodologia foram comparadas com resultados obtidos com a norma brasileira NBR 6122.

**Avaliação com a curva equivalente construída segundo Silva (1983).** A partir das curvas equivalentes construídas segundo Silva (1983), as Figuras 6 e 7 apresentam, para estacas escavadas e para hélice contínua e Ômega, comparações entre cargas de ruptura (convencionada) obtidas pelo método ora proposto e pela NBR 6122.

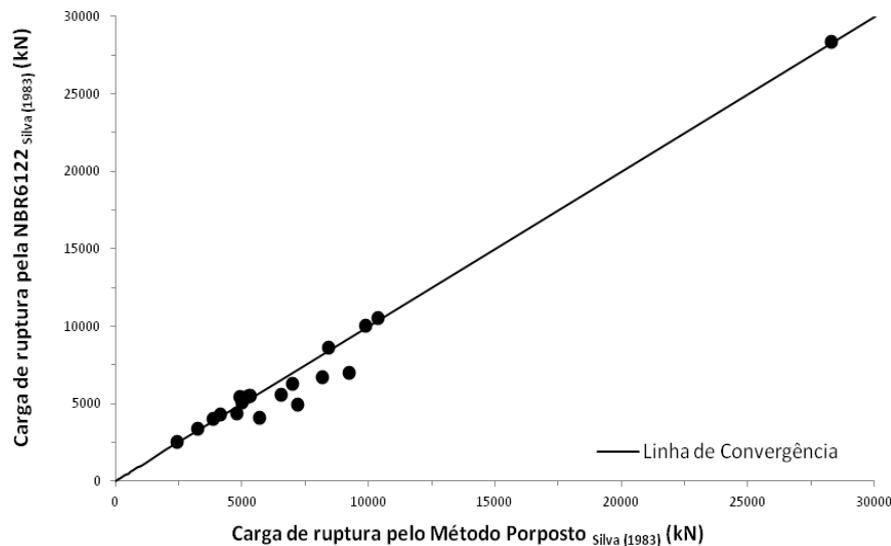


Figura 6. Comparação entre cargas de ruptura (convencionada) obtidas pelo método proposto por Cruz (2019) e pela NBR 6122, utilizando a construção de curva equivalente segundo Silva (1983) - Estacas escavadas.

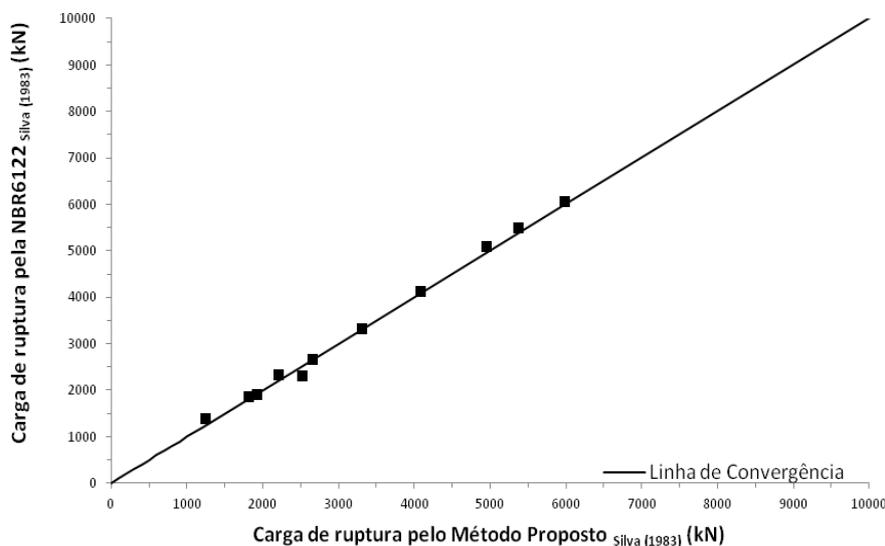


Figura 7. Comparação entre cargas de ruptura (convencionada) obtidas pelo método proposto por Cruz (2019) e pela NBR 6122, utilizando a construção de curva equivalente segundo Silva (1983) - Estacas hélice contínua e Ômega.

**Avaliação com a curva equivalente construída segundo Cruz (2019).** A partir das curvas equivalentes construídas segundo Cruz (2019), as Figuras 8 e 9 apresentam, para estacas escavadas e para hélice contínua e Ômega, comparações entre cargas de ruptura (convencionada) obtidas pelo método ora proposto e pela NBR 6122.

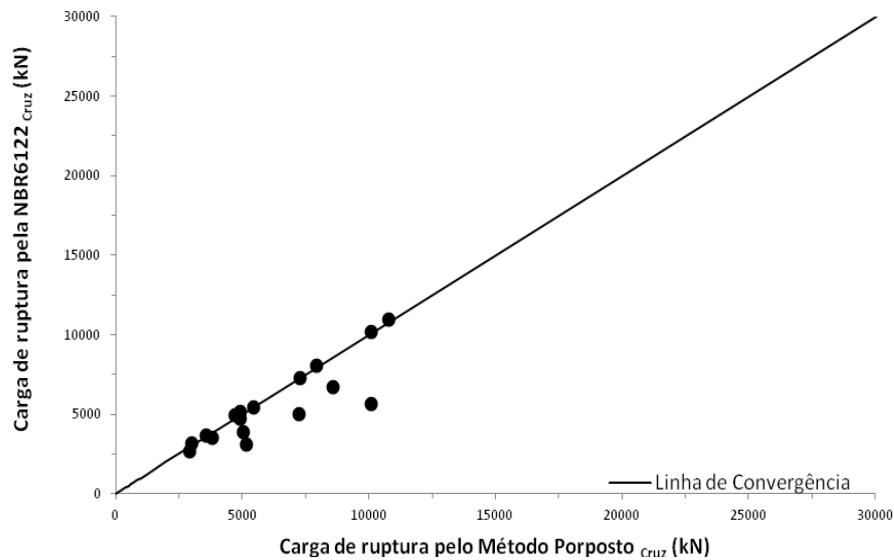


Figura 8. Comparação entre cargas de ruptura (convencionada) obtidas pelo método proposto por Cruz (2019) e pela NBR 6122, utilizando a construção de curva equivalente segundo Cruz (2019) - Estacas escavadas.

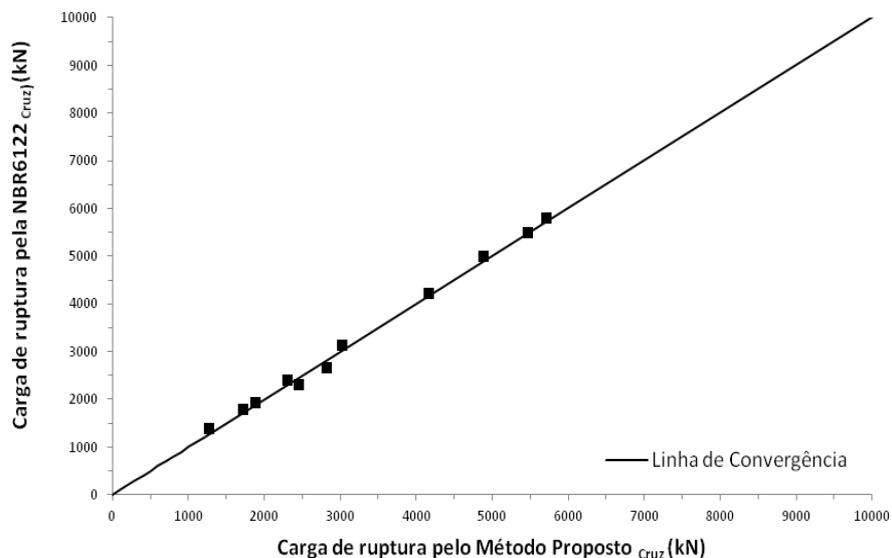


Figura 9. Comparação entre cargas de ruptura (convencionada) obtidas pelo método proposto por Cruz (2019) e pela NBR 6122, utilizando a construção de curva equivalente segundo Cruz (2019) - Estacas hélice contínua e Ômega.

## 6 Considerações Finais

As seguintes considerações podem ser feitas:

Não há dúvidas de que a prova de carga pelo método bidirecional é uma solução interessante do ponto de vista de custos e prazos. No caso de obras portuárias e offshore é, frequentemente, a única solução viável para um ensaio estático em estacas de grande capacidade. Nessas obras, há a opção de ensaios dinâmicos, mas que devem ser correlacionados/complementados com alguns ensaios estáticos.

Para que a prova de carga pelo método bidirecional seja capaz de indicar a capacidade de carga (na ruptura) da estaca ensaiada é necessário, inicialmente, que a célula tenha sido posicionada em um nível tal que a capacidade de carga do segmento inferior seja próxima da capacidade de carga do segmento superior. O nível da célula é escolhido a partir da estimativa da capacidade de carga (ao longo) do fuste e da base da estaca, um exercício nem sempre trivial. Caso a escolha não tenha sido acertada, a capacidade de carga de um segmento se esgota antes do outro, e a prova se encerra, sendo necessária uma extrapolação da curva que terminou precocemente.

A prova de carga realizada pelo método bidirecional fornece diretamente curvas de comportamento dos dois segmentos em que a estaca foi dividida. Se essas curvas indicarem a ruptura, o valor da capacidade de carga total pode ser obtido diretamente pela soma. Já em relação ao comportamento carga-recalque (ou a obtenção do recalque para a carga de serviço) da estaca ensaiada – que deveria representar uma estaca que será, na obra, carregada pelo topo –, a construção das chamadas curvas equivalentes é uma questão controversa. Há a proposta de construção da curva equivalente do criador do ensaio (Silva, 1983) e uma recente, de Cruz (2019). As curvas são diferentes, com a segunda proposta apresentando, na maioria das vezes, uma rigidez menor do trecho inicial.

Este trabalho apresenta um método de obtenção da carga de ruptura (convencionada) em provas de carga cuja curva carga-recalque não indique uma ruptura nítida, mas, sim, um trecho final assintótico inclinado. Esse trecho, no qual o solo está em regime plástico, apresenta uma dada rigidez,  $K_{plast}$ . Essa rigidez deve ser função, pelo menos, do tipo de estaca e de seu diâmetro. No conjunto de provas de carga analisado, com 32 provas de carga bidirecionais, observou-se pequena dependência desses fatores, chegando-se a um valor médio de 10 kN/mm (Fuller e Hoy, 1970, obtiveram 7 kN/mm). Seria interessante avaliar um conjunto maior de provas de carga, e dos dois tipos (convencional e bidirecional).

Observou-se uma similaridade entre as cargas de ruptura (convencionada) obtidas com o método de Cruz (2019) e com o método da NBR 6122, com valores um pouco menores do primeiro critério no caso de estacas escavadas.

Há um interesse internacional em normatizar a execução e interpretação do ensaio; foi criada, recentemente, a norma norte-americana ASTM D8169 (2018), que detalha o procedimento de ensaio, mas não indica a interpretação. As publicações que tratam desse tipo de ensaio indicam que a interpretação dos resultados deve ser feita pelo contratante e seu(s) consultor(es).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos profissionais e firmas que forneceram dados de provas de carga utilizados no presente trabalho. Agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro a essa pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, U., Silva, P. E. C. (2000) *Curva de “recalque equivalente” do topo de uma estaca hélice contínua*

- ensaiada com célula expansiva hidrodinâmica (EXPANCELL)*. Anais, 4º Seminário de Engenharia de Fundações e Geotecnia, SEFE, São Paulo, Brasil, v. 1, pp. 416-425.
- American Society for Testing and Materials (2018). ASTM D8169 / D8169M. *Standard Test Methods for Deep Foundations under Bi-Directional Static Axial Compressive Load*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Butler, H. D., Hoy, H. E. (1977) *Users manual for the Texas quick-load method for foundation load testing*. Federal Highway Administration, Washington, Estados Unidos, p. 59.
- Cruz, F. V. A. S., 2019, *Contribuição à interpretação de provas de carga em estacas realizadas pelo método bidirecional*, Dissertação de mestrado, Universidade de Federal do Rio de Janeiro.
- Falconi, F. F., Maset, V. L. (2016) *Análise Prática de Resultados de Ensaio Bidirecionais*, Anais, 18º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil.
- Fellenius, B. H. (2017). *Basics of foundation design*. Red Book, Electronic Edition, British Columbia, Canada.
- Fuller, F. M., Hoy, H. E. (1970) *Pile load tests including quick-load test method, conventional methods and interpretations*. HRB 333, pp. 78-86.
- Hecksher, S. D. e Freitas, A. C. (2018). *Metodologia executiva de prova de carga estática em estaca moldada no local, utilizando célula expansiva hidrodinâmica, em obra near shore*. Anais, 10º Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, CBPE., Rio de Janeiro, Brasil.
- Malachias Filho, C. A., Resende, A. S., Porfírio, W. A., Beim, J. W., Araújo, S. P. M. (2017) *Deteção de patologia em estacas moldadas in loco com fluido estabilizante através de ensaios de desempenho (bidirecional e ensaio de carregamento dinâmico) e controle de integridade (crosshole) e avaliação dos tratamentos definidos*. Revista Fundações e Obras Geotécnicas, São Paulo, v. 83, pp. 40-51.
- Maset, V. L., Falconi, F. F., Hachich, W. C. (2016) *Interpretação de Resultados de Ensaio Bidirecionais*, Anais, 18º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil.
- Massad, F. (2015) *Bidirectional Test with Use of Hydrodynamic Cell - Testing and Its Interpretation*. Anais, 8º Seminário de Engenharia de Fundações e Geotecnia, SEFE, São Paulo, Brasil, v. II, pp. 1199-1210.
- Osterberg, J. (1989) *New Load Cell Testing Device*. *Proceedings - 14th Annual Conference*, Deep Foundations Institute, pp. 17-28.
- Pacheco Hecksher, P. (1970) *Uma nova construção gráfica para a determinação da pressão de pré-adensamento de uma amostra de solo*. Anais, Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Fundações, Rio de Janeiro, Brasil.
- Pereira, M. V., Pinto, S. E. L., Bragança, H. F., Velloso Filho, S. M. P. (2016) *Análise de Prova de Carga Bi-Direcional em Estaca Hélice Contínua na Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG*, Anais, 18º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil.
- Rambo, L. H., Aguiar, M. F. P., Mendes, G. C. M., Oliveira, F. H. L. (2018) *Verificação da Eficiência de Métodos Semi-Empíricos na Estimativa de Carga Usando Prova de Carga Bidirecional em Estacas Hélice Contínua*, Anais, 19º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Salvador, Brasil.
- Resende, A. S., Giaforte, S., Pinheiro, J. A., Golombek, M. (2018) *Apresentação de resultado recorde em ensaio bidirecional, provas de carga com células expansivas*, Anais, 19º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Salvador, Brasil.
- Sestrem, L. P. (2018) *Mecanismos de transferência de carga em estacas escavadas em solos arenosos através de provas de carga instrumentadas*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 256 p.
- Silva, P. E. C. A F. (1983) *Célula expansiva hidrodinâmica - uma nova maneira de executar provas de carga*. Publicação independente, Belo Horizonte, Brasil, 106 p.