

## Análise de Ensaios Bidirecionais com Medida de Encurtamento Elástico em Estacas Hélice Contínua

Thaís Lucouvicz Dada

Engenheira Civil, Programa de Pós Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, thaisldada@gmail.com

Alysson Santos Resende

Engenheiro Civil, Arcos-Arquitetura Construções Ltda, ABMS-Núcleo MG, Belo Horizonte, Brasil, alysson@arcos.eng.br

Faiçal Massad

Professor Titular, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, faical.massad@usp.br

**RESUMO:** Seis estacas do tipo hélice contínua, com 0,40 a 0,60 m de diâmetro e 19 a 25 m de comprimento, de uma obra de edifício na cidade de São Paulo, foram submetidas a ensaios bidirecionais. O subsolo consistia de aterros, depósitos aluvionares e solos residuais. Os deslocamentos foram medidos em três níveis: a) no prato inferior da célula expansiva; b) em seu prato superior; e c) no topo da estaca. A leitura (a) indica o recalque da ponta fictícia. As leituras (b) e (c) indicam os deslocamentos do fuste e permitem a obtenção direta de seu encurtamento elástico. Este pode ser correlacionado com a carga aplicada pela célula expansiva através do coeficiente  $c'$  de Massad (2015), correlato do coeficiente  $c$  de Leonards e Lovell (1979), que é para carregamento no topo da estaca. É importante medir o encurtamento elástico diretamente para aumentar a precisão na estimativa da curva carga-recalque equivalente. O artigo apresenta a obtenção das curvas equivalentes das estacas hélice contínua ensaiadas, através de quatro métodos e utilizando-se os valores de encurtamento elástico lidos. Para comparação, as curvas também foram obtidas utilizando-se  $c$  e  $c'$  estimados com base no SPT. Todas as curvas resultantes apresentaram boa convergência quando comparadas entre si.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensaio Bidirecional, O-cell, Célula Expansiva, Prova de Carga em Estaca, Curva Carga-Recalque Equivalente, Encurtamento Elástico.

**ABSTRACT:** Six continuous flight auger piles, with 0.40 to 0.60 m in diameter and 19 to 25 m in length, of a building construction in São Paulo City, were submitted to bidirectional tests. The subsoil consisted of landfills, alluvial deposits and residual soils. The displacements were measured in three levels: a) at the expansive cell bottom plate; b) at its top plate; and c) at the pile top. The measurement (a) indicates the fictitious toe displacement. The measurements (b) and (c) indicate the shaft displacements and enable to obtain its elastic shortening directly. This shortening can be correlated with the upward loading through the Massad's (2015) coefficient  $c'$ , correlate of the Leonards & Lovell's (1979) coefficient  $c$ , which is for pile top downward loading. It is important to measure the elastic shortening directly to increase the accuracy in the estimated equivalent top-down load-settlement curve. The paper presents the equivalent curves for the tested CFA piles, applying four methods and using the elastic shortening measurements. For comparison, the curves were also obtained using  $c$  and  $c'$  based on SPT. All the resulting curves showed good convergence when compared to each other.

**KEYWORDS:** Bidirectional Test, O-cell, Expansive Cell, Pile Load Test, Equivalent Load-Settlement Curve, Elastic Shortening.

## 1 Introdução

A prova de carga estática bidirecional, ou ensaio bidirecional, consiste basicamente na instalação de uma ou mais células expansivas hidrodinâmicas, previamente aferidas, dentro do fuste da estaca, engastadas na armação, para a aplicação de carga em profundidade, empurrando para cima o trecho do fuste superior às células e, para baixo, o trecho inferior do fuste mais a ponta da estaca. Para o esquema de montagem, buscase o equilíbrio entre a resistência ao atrito lateral do trecho acima da célula mais o peso próprio submerso do mesmo, contra o atrito lateral do trecho abaixo mais a resistência de ponta, acrescentando-se a pressão da água aplicada na célula.

O trecho da estaca superior à célula expansiva reage contra o trecho inferior, não sendo necessário prever um sistema de reação, sendo a execução do ensaio bidirecional mais rápida e segura que a prova de carga convencional, além de poder ser mais econômica. Fellenius (2019) destaca a vantagem da possibilidade de obter, separadamente, o atrito lateral e a resistência de ponta, principalmente quando a célula expansiva está instalada próxima à ponta.

A leitura de deslocamentos comumente é feita no topo da estaca, com deflectômetros, e no prato inferior da célula expansiva com *telltale*, sendo obtidas duas curvas carga-deslocamento: uma do fuste e outra do trecho da estaca abaixo da célula, que pode ser tomado como uma “ponta fictícia”. Nesse caso, não se tem informação sobre o encurtamento elástico,  $\Delta e$ , ocorrido no fuste da estaca. Massad (2015) mostra que o  $\Delta e$  pode ser estimado através do coeficiente  $c'$ , correlato de  $c$  de Leonards e Lovell (1979), os quais podem ser aproximadamente determinados por estimativas de atrito lateral unitário último ao longo do fuste,  $f_{ult}$ , feitas através de métodos semiempíricos com uso de sondagens SPT.

O artigo apresenta o estudo de caso de uma obra em São Paulo, onde oito estacas do tipo hélice contínua, com 0,40 a 0,60 m de diâmetro e 19 a 25 m de comprimento, foram submetidas a ensaios bidirecionais com medida do encurtamento elástico. Os resultados de dois ensaios foram descartados, devido a interferências nas leituras dos deslocamentos.

Para cada estaca, além das leituras citadas acima, também foi feita a leitura do deslocamento no prato superior da célula expansiva, através da instalação de um *telltale* neste nível, podendo-se obter o encurtamento elástico do fuste diretamente. Foi possível obter o valor equivalente do  $c'$  de Massad (2015), sendo comparado ao valor de  $c'$  estimado com base nas estimativas de  $f_{ult}$  pelos métodos semiempíricos adequados a estacas do tipo hélice contínua.

A partir das curvas resultantes dos ensaios, foram obtidas as curvas carga-recalque equivalentes no topo de cada estaca através de quatro métodos: o Método de Elísio-Osterberg (Silva, 1983; Osterberg, 1995), precursores do ensaio, o Método de Massad (2015), a aplicação das formulações de Fleming (1992) e o método baseado no modelo de Coyle e Reese (1966), apresentados em Dada e Massad (2018a) e Dada e Massad (2018b). O primeiro método adota a hipótese de estaca infinitamente rígida e os demais, consideram a compressibilidade da estaca. Para comparação, foi aplicado o Método de Massad (2015) para obtenção da curva equivalente utilizando-se os valores de  $c'$  estimados pelos métodos semiempíricos.

A seguir, apresenta-se o estudo de caso da obra estudada, incluindo uma caracterização geológico-geotécnica do local, os dados das estacas ensaiadas, a descrição da metodologia dos ensaios executados e a análise dos resultados.

## 2 Caracterização Geológico-Geotécnica do Local

A obra estudada localiza-se na cidade de São Paulo, próxima ao rio Jurubatuba. Segundo o mapa geológico da Região Metropolitana de São Paulo, disponibilizado pela EMPLASA (1980), no local da obra ocorre um depósito quaternário, sobre solos residuais de micaxisto.

Foram executadas treze sondagens à percussão no local, indicadas na planta da Figura 1. As sondagens identificaram uma camada de aterro com até 3,5 m de espessura, sobre os depósitos aluvionares, constituídos por uma camada de argilas orgânicas siltosas com turfas, cinza escuras a pretas, com espessuras de 1 até 4m e índices SPT de 0/80 a 2/ 30 cm, sobre areias siltosas ou argilosas, com a presença de pedregulhos, tendo até 4 m de espessura. A partir das profundidades de 6,5 a 8m, observaram-se solos residuais, constituídos por

camadas intercaladas de siltes arenosos e argilosos, micáceos, de cores predominantemente cinza, branco, amarelo, marrom e verde. O nível d'água foi detectado nas profundidades de 1 a 3m.

Na Figura 1 estão apresentadas a localização das sondagens e das 6 estacas ensaiadas, em planta, e nas Figuras 2 a 4, os perfis geológico-geotécnicos A-A e B-B, inferidos a partir das sondagens.

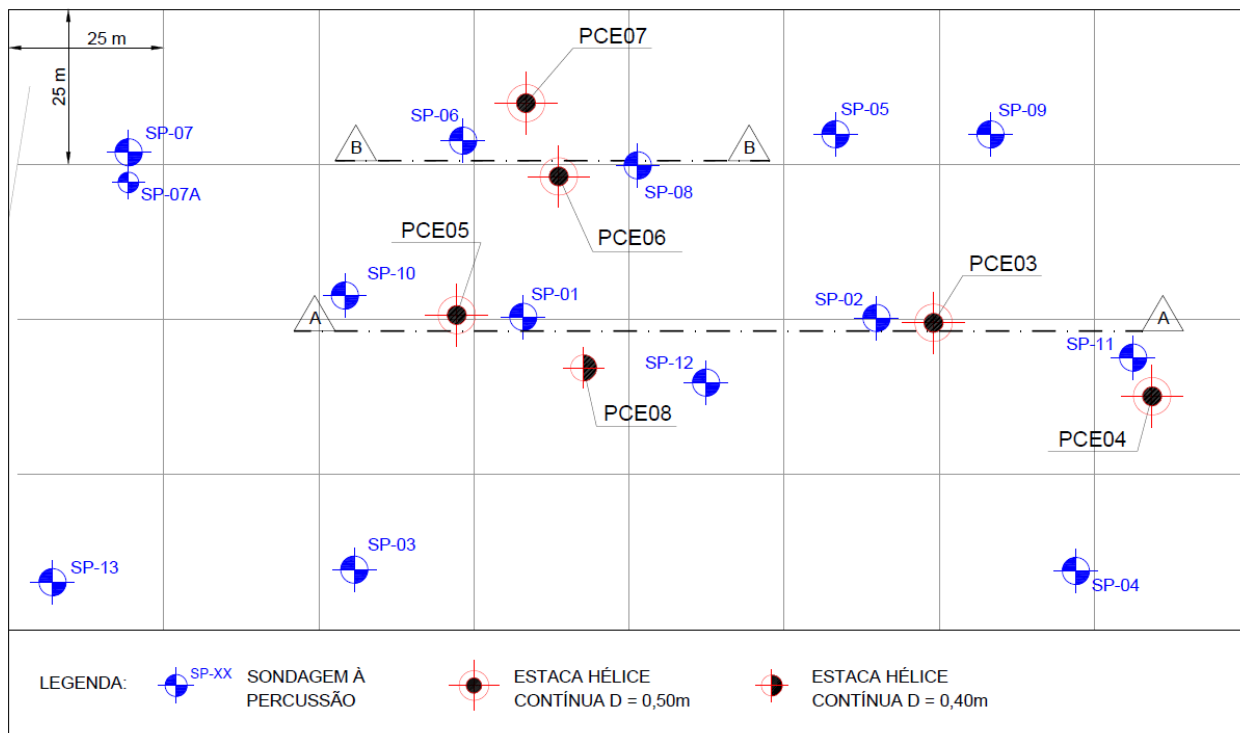


Figura 1. Planta de localização das sondagens e das seis estacas do tipo hélice contínua estudadas, submetidas ao ensaio bidirecional. Indicação dos Perfis A-A e B-B.

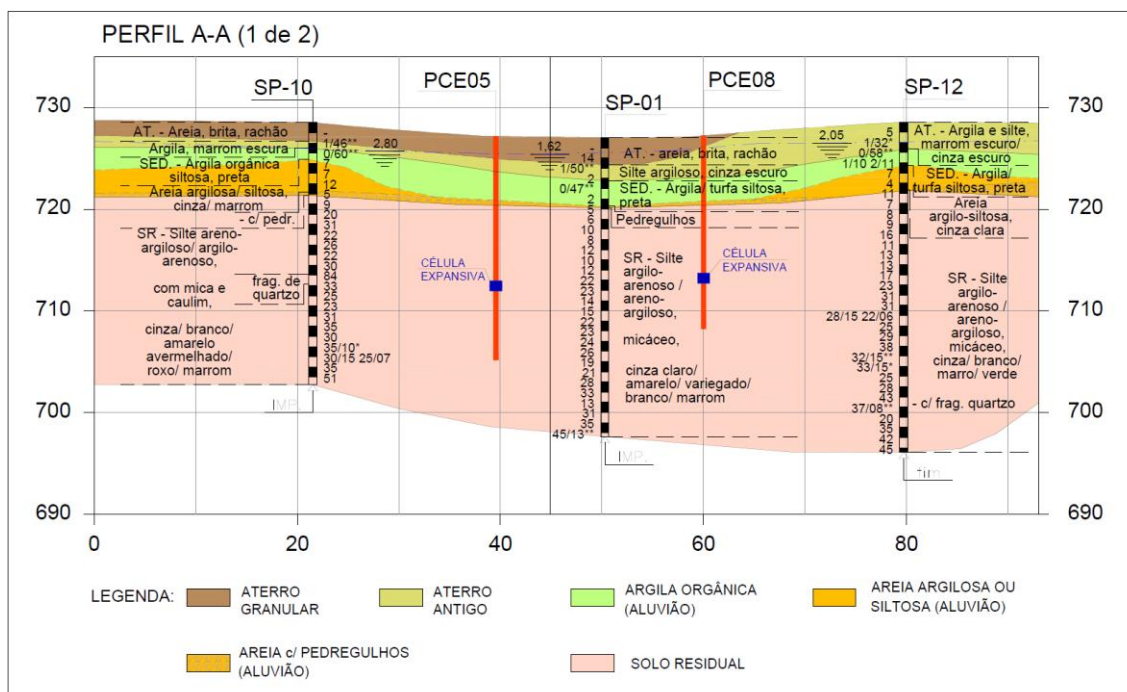


Figura 2. Perfil aproximado geológico-geotécnico A-A, inferido a partir das sondagens, com indicação das estacas PCE05 e PCE08.

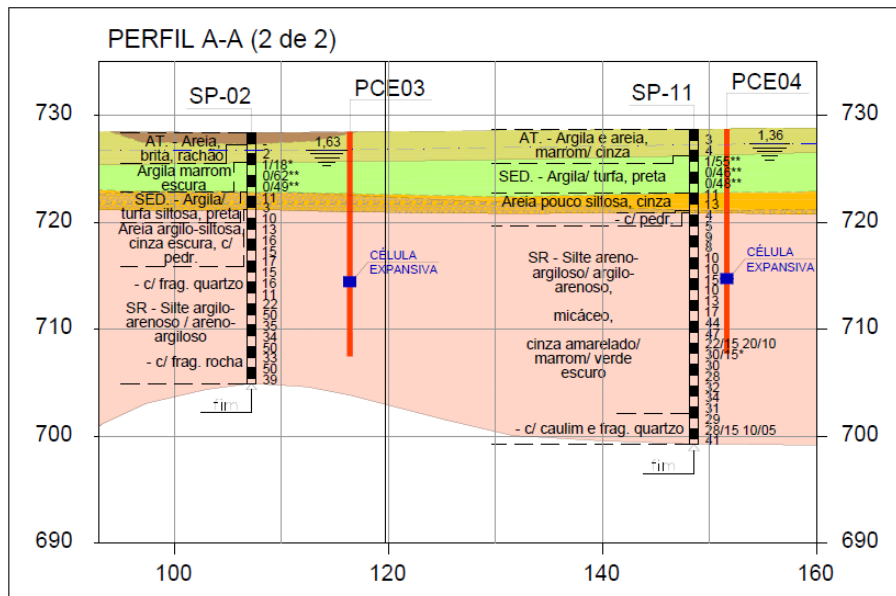


Figura 3. Perfil geológico-geotécnico A-A, inferido a partir das sondagens, com indicação das estacas PCE03 e PCE04.

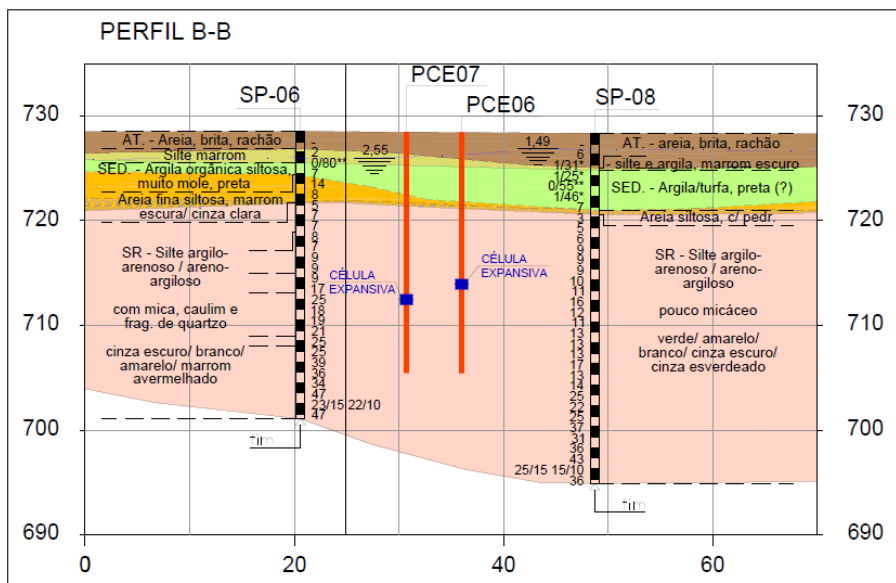


Figura 4. Perfil geológico-geotécnico B-B, inferido a partir das sondagens, com indicação das estacas PCE06 e PCE07.

A localização em planta e perfil das estacas estudadas, PCE03 a PCE08, está indicada nas Figuras 1 a 4. Observa-se que as células expansivas foram instaladas nas profundidades de 14 a 16m, ou seja, embutidas na camada de solos residuais.

### 3 Dados das Estacas Ensaçadas

O empreendimento em que as estacas foram executadas faz parte de um complexo residencial localizado na Zona Sul de São Paulo, próximo à Marginal Pinheiros.

As estacas ensaiadas foram do tipo hélice contínua monitorada que, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), são caracterizadas por execução no local mediante introdução no terreno, por rotação, de um trado helicoidal contínuo. A injeção de concreto é feita pela haste central do trado simultaneamente à sua retirada.

A armadura é sempre colocada após a concretagem da estaca. Os diâmetros das estacas ensaiadas foram de 0,40, 0,50 e 0,60 m, com profundidades de execução variando de 19 a 25 m.

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), quando o número de estacas hélice de um empreendimento for superior a 100, deve ser executado um número mínimo de provas de carga igual a 1% da quantidade total de estacas, arredondando-se sempre para mais. Para atendimento dessa recomendação, oito estacas da obra foram submetidas à prova de carga bidirecional.

As estacas foram executadas segundo as características especificadas pelo projeto estrutural, sendo: concreto com  $f_{ck} \geq 30$  MPa, consumo mínimo de cimento igual a 400 kg/m<sup>3</sup> e abatimento teórico de 220 +/- 30 mm. A execução das mesmas foi no período de 04 de julho de 2018 a 01 de agosto de 2018 e os ensaios foram executados após 13 a 15 dias de cura do concreto utilizado.

A Tabela 1 apresenta as características geométricas das estacas ensaiadas PCE03 a PCE08. Além destas, também foram ensaiadas as estacas PCE01 e PCE02; entretanto, as curvas dos deslocamentos lidos, apesar de não terem ultrapassado 3 mm, apresentaram comportamentos anômalos, provavelmente devido a trânsito de maquinários da obra nas proximidades, durante a execução dos ensaios, sendo os resultados desconsiderados no estudo realizado.

Tabela 1. Características geométricas das estacas submetidas ao ensaio bidirecional.

Estaca:	PCE03	PCE04	PCE05	PCE06	PCE07	PCE08
Diâmetro (m):	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,40
Comprimento da estaca (m):	21,0	21,0	22,0	23,0	23,0	19,0
Comprimento do trecho acima da célula (m):	14,0	14,0	14,70	14,50	16,0	14,0
Comprimento do trecho abaixo da célula (m):	7,0	7,0	7,30	8,50	7,0	5,0

#### 4 Descrição dos Ensaios Bidirecionais com Medida Direta de $\Delta e$

Para a realização dos ensaios bidirecionais, aguarda-se o tempo de cura do concreto até se atingir a resistência mínima suficiente para a realização dos mesmos. No caso desses ensaios foi, em média, 14 dias. Os deslocamentos da ponta foram medidos através de um *telltale* previamente instalado no fuste da estaca engastado no prato inferior da célula expansiva. Os deslocamentos do fuste foram medidos através da leitura do movimento ascendente do topo da estaca e através de um *telltale* posicionado no prato superior da célula, fornecendo a medida direta do encurtamento elástico,  $\Delta e$ , pela diferença entre essas duas leituras. Os deflectômetros utilizados para medição dos deslocamentos apresentavam leitura direta com precisão de 0,01mm.

Os ensaios foram do tipo com carregamento rápido, conforme o item 3.5.3 da norma NBR 12131: Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio (ABNT, 2006), aplicando-se estágios iguais e sucessivos de aproximadamente 108,50 kN para as PCE03, PCE04, PCE06 e PCE07, 117,50 kN para a PCE05 e 76,20 kN para a PCE08. As cargas foram transmitidas utilizando-se Células Expansivas Hidrodinâmicas, com área interna de 452 cm<sup>2</sup>, para as estacas de 0,50 m de diâmetro, e 254 cm<sup>2</sup> para a estaca de 0,40 m de diâmetro, situadas no interior das estacas da obra, conforme indicado nas Figuras 2 a 4.

Antes do início do ensaio, foi aplicada uma carga para promover a ruptura do concreto à tração na posição da célula, dividindo a estaca em duas partes. Em seguida, fez-se o descarregamento total e o registro da leitura inicial dos deflectômetros. Neste instante, o ensaio com carregamento rápido foi iniciado. A metodologia para preparação e execução do ensaio, de maneira geral, foi descrita por Resende (2015). Os resultados dos ensaios, bem como a interpretação, estão apresentados no item seguinte.

#### 5 Obtenção das Curvas Carga-Recalque Equivalentes por Quatro Métodos

Os resultados dos ensaios bidirecionais das estacas PCE03 a PCE08 estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 5a a 10a. Também são indicadas as curvas de aproximação matemática

utilizadas na obtenção das curvas carga-recalque equivalentes. Para o trecho do fuste, curva ascendente, foi feito um ajuste com função hiperbólica do tipo  $A_l=f(y_o)$ ; sendo  $A_l$  o atrito lateral e  $y_o$ , o deslocamento medido no topo da estaca.

Para o trecho de ponta, observou-se um comportamento rígido-elástico para deslocamentos de 1 a 3 mm para as estacas PCE03, PCE05 e PCE07, conforme a 2ª Lei de Cambeftort (1964), possivelmente associado à ocorrência de material mais competente sob a ponta. Para maiores deslocamentos, as curvas apresentaram comportamento hiperbólico. Para as estacas PCE04, PCE06 e PCE08, o trecho de ponta apresentou comportamento hiperbólico.

A partir do método de Chin (1970; 1971), fez-se a extrapolação das curvas hiperbólicas para a obtenção das cargas últimas, que foram de 10 a 25% maiores que as cargas máximas atingidas durante os ensaios realizados. Os valores também foram comparados com os resultados médios estimados por quatro métodos semiempíricos de capacidade de carga, que utilizam o SPT: o método de Aoki e Velloso (1975), de Décourt e Quaresma (1978), atualizado por Décourt (2016), o de Alonso (1996a; 1996b) e o método de Antunes e Cabral (1996).

Observou-se que o atrito lateral último estimado com base nos ensaios foi, em média, da ordem de 1,9 vezes o atrito último calculado através dos métodos semiempíricos. Associa-se essa diferença à natureza dos métodos, que são conservadores, e à possível ocorrência de aumento de seção transversal da estaca na camada de argila mole e de solo residual de baixos índices SPT, de 3 a 6 golpes/ 30 cm. O atrito unitário último,  $f_{ult}$ , estimado pela curva do ensaio bidirecional, através do método de Chin (1970; 1971) foi de 50 a 61 kPa, com média de 55 kPa, para todas as estacas. Pelos métodos semi-empíricos, chegou-se a  $f_{ult} = 21$  a 34 kPa, com média de 29 kPa.

Ao considerar a carga última total da estaca, somando-se os trechos de fuste e ponta, no caso “ponta fictícia”, a média das cargas estimadas pelas extrapolações das curvas dos ensaios bidirecionais foi da ordem de 1,3 vezes a média das estimadas pelos métodos semiempíricos, os quais, portanto, apresentaram melhores resultados para estimativas em termos de cargas totais.

A partir dos resultados dos ensaios bidirecionais, foram obtidas as curvas carga-recalque equivalentes, simulando carregamento no topo, sendo as medidas de encurtamento elástico obtidas diretamente pela diferença entre os deslocamentos lidos no topo da estaca e no topo da célula expansiva. Foram utilizados quatro métodos:

- a) Método de Elísio-Orterberg (Silva, 1983; Osterberg, 1995): Elísio Silva e Osterberg são os precursores do ensaio bidirecional. Propuseram um método que considera a hipótese de estaca infinitamente rígida, consistindo da soma das parcelas de carga de atrito lateral e ponta, no caso “ponta fictícia”, para um mesmo deslocamento;
- b) Método de Massad (2015): para um deslocamento  $y_p$  definido do topo, foram somadas as cargas de atrito lateral e de resistência de ponta, considerando a “ponta fictícia”. O deslocamento  $y_p$  foi corrigido pela relação entre  $c$  e  $c'$  e acrescentando-se a parcela referente à carga de ponta. Os coeficientes  $c'$  e  $c=1-c'$  foram definidos por duas maneiras:
  - a.i)  $c'$  variável: foi calculado o valor de  $c'$  para cada incremento de carga do ensaio, a partir do encurtamento elástico respectivo lido;
  - a.ii)  $c'$  eq.: foi definido um valor equivalente de  $c'$ , a partir do valor médio dos encurtamentos elásticos ocorridos em cada incremento;
- c) Aplicação das formulações de Fleming (1992), descrito em Dada e Massad (2018a): Com as curvas relativas ao fuste e à ponta, considerando a “ponta fictícia”, foram determinados os parâmetros definidos por Fleming (1992), obtendo-se a curva equivalente no topo, para estaca infinitamente rígida. Para a condição real, estaca compressível, foi adicionado o encurtamento elástico estimado através do  $c=1-c'$  equivalente.
- d) Método baseado no modelo de Coyle e Reese (1966), apresentado em Dada e Massad (2018b): As funções hiperbólicas ou de Cambeftort (1964), ajustadas ao trecho de ponta (descendente) dos ensaios bidirecionais, foram utilizadas como funções de transferência de carga da “ponta fictícia”. Para o trecho do fuste (ascendente), tomou-se a hipérbole transladada para a meia altura, levando em conta os encurtamentos elásticos ocorridos para cada incremento de carga. Dessa maneira, obtêm-se uma curva de atrito unitário médio que representa uma camada equivalente de subsolo homogêneo.

As curvas equivalentes das estacas PCE03 a PCE08 estão apresentadas, respectivamente, nas Figuras 5b a 10b. Também foi indicada, para comparação, a curva equivalente obtida pelo Método de Massad (2015) através da determinação aproximada de  $c'=I-c$ , por estimativas pelo SPT de  $f_{ult}$ , tomando-se as médias obtidas através dos quatro métodos semiempíricos citados, com uso da sondagem mais próxima. Os coeficientes  $c$  estimados foram de 7 a 19% menores que os  $c$  equivalentes de medidas diretas.

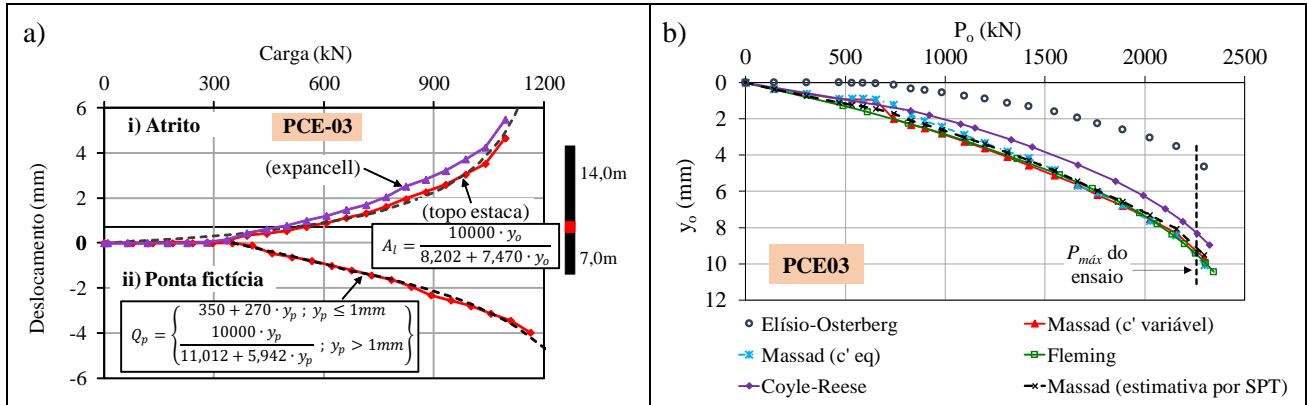


Figura 5. Estaca PCE03: a) Resultados do ensaio bidirecional; b) Curvas equivalentes.

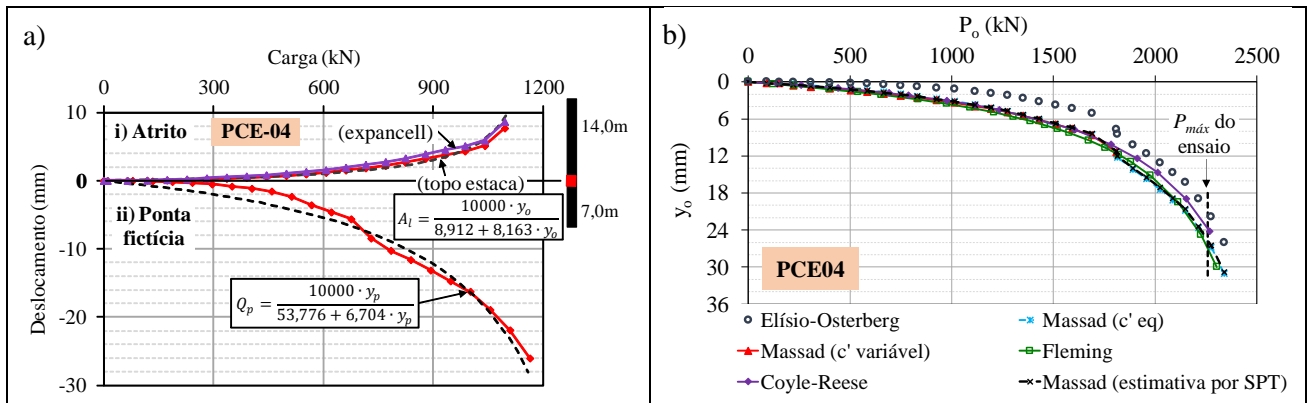


Figura 6. Estaca PCE04: a) Resultados do ensaio bidirecional; b) Curvas equivalentes.

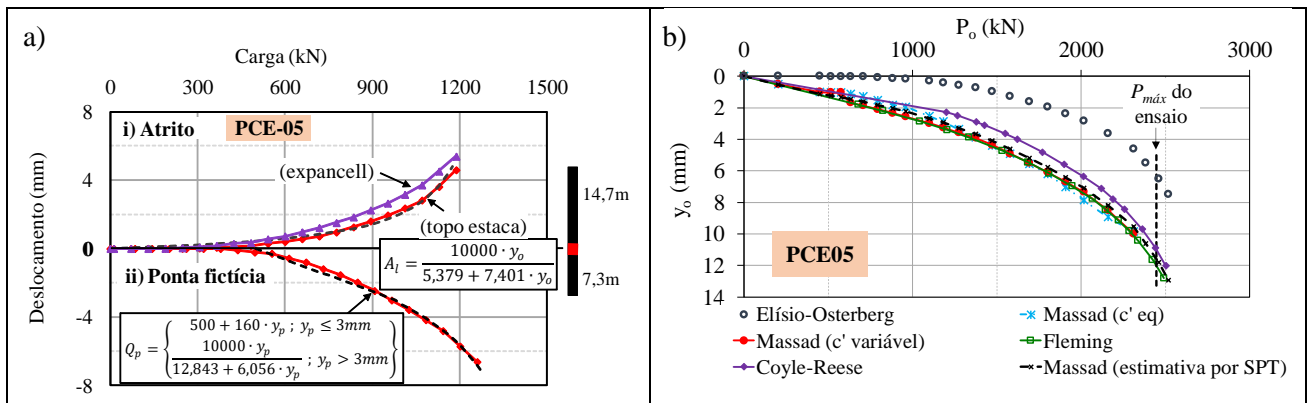


Figura 7. Estaca PCE05: a) Resultados do ensaio bidirecional; b) Curvas equivalentes.

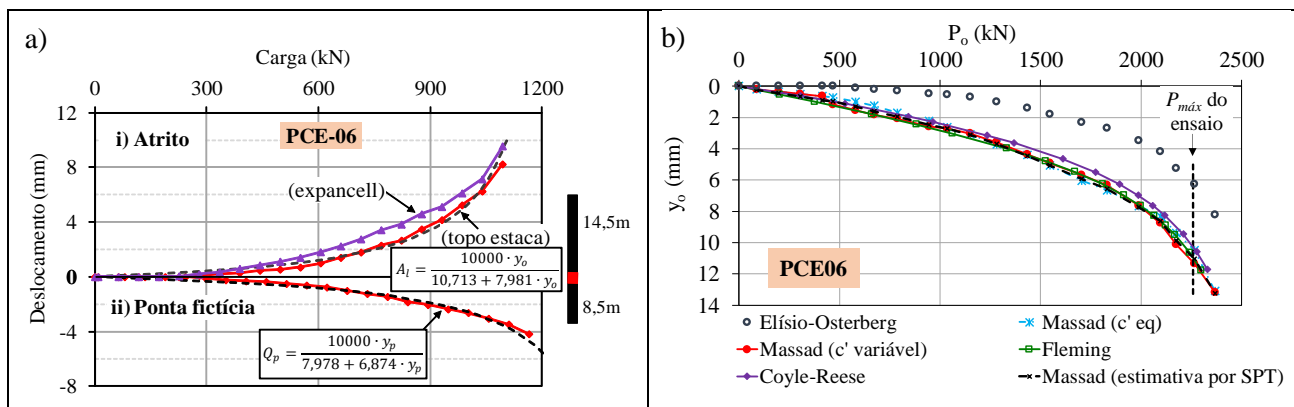


Figura 8. Estaca PCE06: a) Resultados do ensaio bidirecional; b) Curvas equivalentes.

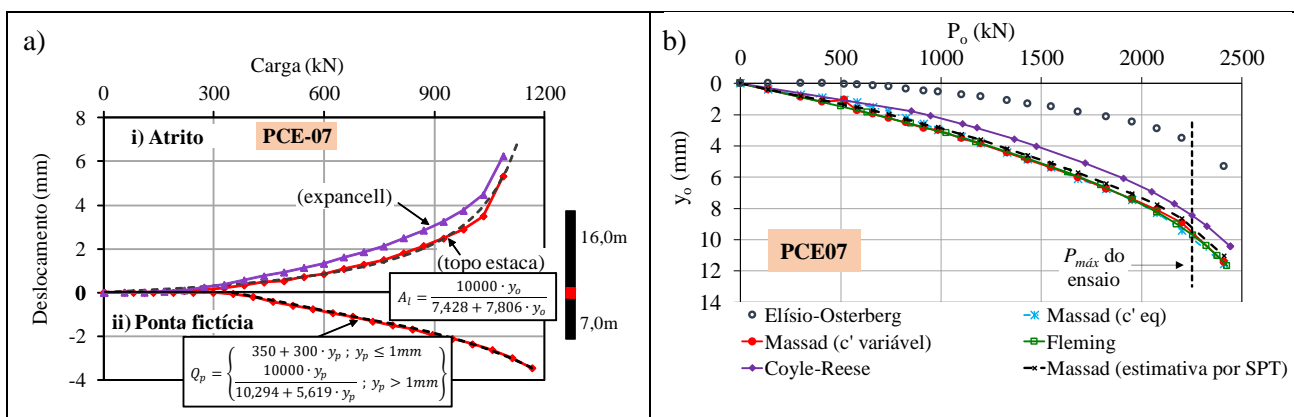


Figura 9. Estaca PCE07: a) Resultados do ensaio bidirecional; b) Curvas equivalentes.

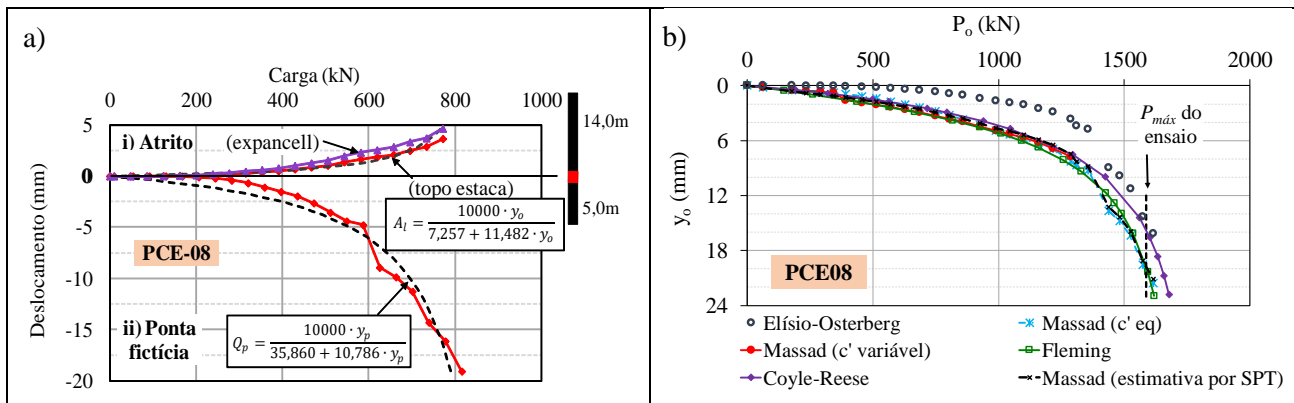


Figura 10. Estaca PCE08: a) Resultados do ensaio bidirecional; b) Curvas equivalentes.

Observa-se que as curvas equivalentes (Figuras 5b a 10b) obtidas através dos métodos que consideram a compressibilidade da estaca resultaram próximas ou mesmo aderentes entre si, especialmente as curvas estimadas pelos Métodos de Massad (2015) e pela aplicação das formulações de Fleming (1992), por serem métodos mais rigorosos matematicamente.

Para a hipótese de estaca infinitamente rígida, considerada no Método de Elísio-Osterberg (Silva, 1993; Osterberg, 1995), os deslocamentos equivalentes no topo resultaram até 6 mm menores, em relação à hipótese de estaca compressível.

As curvas equivalentes obtidas utilizando-se  $c' = I - c$  estimado com base em valores de  $f_{ult}$  dados por métodos semiempíricos, portanto com base no SPT, foram semelhantes às curvas que utilizaram os valores



de encurtamento elástico medido diretamente no ensaio, apesar da diferença dos valores entre  $c$  estimado e  $c$  equivalente, apresentada anteriormente.

## 6 Conclusões

Foi apresentado o estudo de seis estacas do tipo hélice contínua, executadas em um complexo residencial em São Paulo, submetidas ao ensaio bidirecional. A investigação do subsolo foi feita através de sondagens SPT. Observou-se que os métodos semiempíricos de estimativa de capacidade de carga utilizados forneceram resultados conservadores em termos de atrito lateral, porém coerentes quando consideradas as cargas totais últimas das estacas.

As curvas equivalentes foram mais precisas quando se consideraram as medições do encurtamento elástico do fuste ocorrido no ensaio, sendo obtidas através de três métodos, em relação às curvas obtidas para a hipótese de estaca infinitamente rígida. Verificou-se que a consideração do encurtamento elástico através de  $c'$  de Massad (2015), estimado pela distribuição do atrito unitário último dada por métodos semiempíricos, resultou em curvas equivalentes semelhantes às primeiras, apesar das diferenças de 7 a 19% entre  $c$  estimado e  $c$  obtido através dos encurtamentos medidos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e a CAPES, por viabilizarem a pesquisa realizada. Também agradecem à equipe de campo da ARCOS pela execução dos ensaios bidirecionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro. 91 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 12131. *Estacas - Prova de carga estática: Método de ensaio*. Rio de Janeiro. 8 p.
- Alonso, U. R. (1996a) |Estimativa da adesão em estacas a partir do atrito lateral medido com o torque no ensaio SPT-T. *Solos e Rochas*, 19 (1), p. 81-84.
- Alonso, U. R. (1996b). Estacas hélice contínua com monitoração eletrônica – previsão de capacidade de carga através do ensaio SPTT. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE, 3, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS. v. 2. p. 141-151.
- Antunes, W. R.; Cabral, D. A. (1996) Capacidade de carga de estacas hélice contínua. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE, 3, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS. v. 2. p. 105-109.
- Aoki, N.; Velloso, D. A. (1975). An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING – PCSMFE, 5, 1975, Buenos Aires, Argentina. *Proceedings...* Buenos Aires: SAIG. v. 1. p. 367-376.
- Cambefort, H. (1964). Essai sur le Comportement en Terrain Homogène des Pieux Isolés et des Groupes de Pieux. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n. 204, p. 1478-1518.
- Chin, F. K. (1970). Estimation of the ultimate load of piles not carried to failure. In: SOUTHEAST ASIAN CONFERENCE ON SOIL ENGINEERING, 2, 1970, Singapura. *Proceedings...* Singapura: Southeast Asian Society of Soil Engineering/ AIT/ IES/ Universidade de Singapura. p. 81-90.
- Chin, F. K. (1971). Discussion of Pile Tests – Arkansas River Project. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division/ ASCE*, v. 97-6, p. 930-932.

- Coyle, H. M.; Reese, L. C. (1966). Load transfer for axially loaded piles in clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 92 (2), p. 1-26.
- Dada, T. L.; Massad, F. (2018a) Ensaio bidirecional: características, interpretação e estudos de casos de estacas moldadas in loco no Brasil. *Geotecnia*, 143, p. 29-54.
- Dada, T. L.; Massad, F. (2018b) Proposta de novo método para obtenção da curva equivalente do ensaio bidirecional em estacas escavadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA – COBRAMSEG, 19, 2018, Salvador, Bahia. *Anais...* Salvador: ABMS/SPG/ CBMR. Disponível em: < <http://www.cobramseg2018.com.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- Décourt, L. (2016). Análise e Projeto de Fundações Profundas: Estacas. In: HACHICH, W. C. et al. *Fundações: Teoria e Prática*. 3a ed. São Paulo: PINI/ ABMS/ ABEF. cap. 8.1, p. 265-301.
- Décourt, L.; Quaresma, A. R. (1978). Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES – COBRAMSEF, 6, 1978, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS. v. 1. p. 45-53.
- EMPLASA/ SNM. 1980. *Carta geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo*. São Paulo. 1 mapa. Escala 1:100.000.
- Fellenius, B. H. (2019). *Basics of Foundation Design*. Edição Eletrônica. Sidney, Canadá: jan. 2018. Disponível em <<http://www.fellenius.net/papers.html>>. Acesso em: 22 fev 2019.
- Fleming, W. G. K. (1992). A new method for single pile settlement prediction and analysis. *Geotechnique*, 42 (3), p. 411-425.
- Leonards, G. A.; Lovell, D. (1979) Interpretation of Load Tests on High Capacity Driven Piles. In: Lundgren, R. Behavior of Deep Foundations. *ASTM STP 670*. Filadélfia: ASTM. p. 388-415.
- Massad, F. (2015) On the interpretation of the bidirectional static load test. *Soils & Rocks*, 38 (3), p. 249-262.
- Osterberg, J. O. (1995). The Osterberg Cell for loading testing drilled shafts and driven piles. *FHWA-SA-94-035/ PB95-209508*, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, EUA.
- Resende, A. S. (2015) Apresentação de Metodologia em Ensaio Bidirecionais, Provas de Carga Com Células Expansivas. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE, 8, 2015, São Paulo, São Paulo. *Mesa Redonda 3*. Disponível em: <<http://www.acquacon.com.br/sefe8/pt/downloadpdf.php>>. Acesso em: 07 fev. 2019.
- Silva, P. E. C. A. F. (1983). *Célula Expansiva Hidrodinâmica: Uma nova maneira de executar provas de carga*, 1a ed., Publicação independente, Belo Horizonte, 106 p.