

Provas de Carga: Problemas na Interpretação de Diferentes Métodos de Ensaio na Mesma Estaca

Thaís Lucouvicz Dada

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

Façal Massad

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

RESUMO: A programação de diferentes métodos de ensaios de carga em estacas de uma mesma obra, sendo provas de carga estática convencionais, ensaios de carregamento dinâmico e ensaios bidirecionais, consiste em uma boa prática da engenharia. Obtêm-se maior quantidade de dados e a validação dos resultados entre si. Entretanto, quando se escolhe uma mesma estaca para a realização de um ou mais ensaios diferentes, podem surgir problemas na interpretação dos resultados, visto que as condições da estaca e dos parâmetros de interface com o solo ou rocha são modificadas durante cada ensaio. Estas alterações podem ocorrer devido a diversos fenômenos: surgimento de cargas residuais, compressão do solo sob a ponta da estaca, quebra de "set up" das argilas no entorno do fuste, ruptura frágil do atrito lateral de estacas embutidas em rocha, entre outros. Serão apresentados dois estudos de casos em que alguns destes fenômenos ocorreram: um estacão em São Paulo e uma estaca raiz no Rio de Janeiro. A interpretação dos resultados foi feita através das curvas carga-recalque no topo, estimadas por modelos de previsão específicos de cada método de ensaio. Para mitigar os problemas na interpretação, recomenda-se executar ensaios diferentes em estacas próximas, com características semelhantes quanto ao tipo de estaca e ao subsolo.

PALAVRAS-CHAVE: Estacas, Problemas de Interpretação. Prova de Carga Convencional, Ensaio Dinâmico, Ensaio Bidirecional.

ABSTRACT: Planning different methods of load tests on piles of the same site, such as conventional static load tests, dynamic load tests and bidirectional tests, is a good engineering practice. More data is obtained and it is possible to validate the results with each other. However, some problems in interpretation may arise when carrying out one or more different tests in the same pile, owing to modifications of the pile conditions and of the soil or rock interface parameters during each test. These changes can occur due to several phenomena: residual loads, compression of the soil under the pile tip, set up of the clays around the shaft, brittle failure of lateral friction of piles embedded in rock, among others. Two case studies will be presented in which some of these phenomena occurred: a bored pile in São Paulo and a root pile in Rio de Janeiro. The interpretation of the results was done through top load-settlement curves, predicted by specific models to each test method. In order to mitigate the problems in interpretation, it is recommended to perform different tests on nearby piles, with similar characteristics with respect to pile type and subsoil.

KEYWORDS: Piles, Problems in Interpretation, Static Load Test, Dynamic Test, Bidirectional Test.

1 Introdução

A execução de provas de carga em estacas é de extrema importância para a verificação de sua capacidade de carga e desempenho em termos de recalques, sendo, em muitos casos, obrigatórias, conforme a ABNT (2010). Podem ser: a) prova de carga estática convencional; b) prova de carga dinâmica, ou ensaio de carregamento dinâmico e c) prova de carga estática com carregamento bidirecional, ou ensaio bidirecional.

As formas de carregamento e os dados das estacas obtidos através de cada tipo de prova de carga estão apresentados na Tabela 1, observando-se as vantagens e desvantagens na execução de cada um. Uma campanha ideal de execução de provas de carga no estaqueamento de uma obra provavelmente é aquela que prevê os três diferentes tipos, pois assim é possível obter diferentes parâmetros, que são complementares, fornecendo informações mais completas sobre o comportamento das estacas.

Tabela 1. Formas de carregamento e dados das estacas obtidos através de cada tipo de prova de carga.

Item	Prova de Carga Estática Convencional	Ensaio de Carregamento Dinâmico	Ensaio Bidirecional
Tipo de carregamento	Estático, simulando a condição mais próxima da de trabalho.	Dinâmico, sendo necessário descontar as parcelas dinâmicas.	Estático, simulando a condição mais próxima da real.
Ponto de aplicação da carga	Topo da estaca, simulando a condição de trabalho.	Topo da estaca, simulando a condição de trabalho.	Em profundidade, devendo ser interpretada para obter a carga no topo.
Sentido da carga	Para baixo, simulando a condição de trabalho.	Para baixo, simulando a condição de trabalho.	Para cima e para baixo, devendo ser interpretada.
Separação das parcelas de atrito lateral e resistência de ponta	Não *	Sim	Sim
Obtenção do atrito lateral unitário	Não **	Sim, obtendo-se a distribuição de atrito unitário ao longo da profundidade.	Sim, obtendo-se o valor médio do atrito unitário ao longo da profundidade.
Função de transferência de carga da ponta	Não**	Sim	Sim
Curva carga-recalque no topo da estaca	Sim. A curva é obtida diretamente através das leituras durante o ensaio.	Sim. A curva estática é simulada, descontando-se as parcelas dinâmicas.	Sim. A curva é interpretada, considerando-se o encurtamento elástico da estaca ocorrido.

* Há métodos para interpretar a curva carga-recalque, buscando separar as parcelas de atrito e ponta (Massad, 1995; Décourt, 2008). Caso a estaca seja instrumentada próxima à ponta, é possível estimar aproximadamente a carga na ponta da estaca.

** A não ser que a estaca seja instrumentada em profundidade, com medição em vários níveis ao longo do fuste e no nível da ponta.

Deve-se atentar que as condições da interface estaca-solo são modificadas durante a aplicação de cada carregamento. Assim, quando a mesma estaca é submetida a mais de um ciclo de carga, estas alterações devem ser levadas em conta para a interpretação do ciclo seguinte. Muitos destes fenômenos já foram

amplamente estudados, conforme exemplos citados a seguir, observando-se que passa a ser necessária uma interpretação mais apurada dos dados para a interpretação correta dos resultados.

Massad (1992; 1993) e Fonseca et al. (2007) mostram que as estacas podem ficar com uma carga residual "aprisionada" na ponta quando submetidas a uma prova de carga. Caso se execute um segundo ciclo de carga, ou uma outra prova de carga na mesma estaca, o formato da curva carga-recalque é afetado.

No caso de estacas inseridas em camadas de argilas moles, sensíveis, ocorre o efeito da cicatrização ou "set up" ao longo do tempo, levando ao aumento do atrito lateral unitário ao longo do fuste. Valverde e Massad (2018) explicam que, durante o ensaio de carregamento dinâmico, cada golpe aplicado na estaca pode gerar uma quebra do "set up" das argilas e, portanto, no último golpe, a resistência por atrito lateral será menor do que aquela em longo prazo. Para obter a curva carga-recalque que representa a condição da estaca em trabalho, a metodologia de interpretação deve considerar a envoltória máxima de atrito lateral da estaca dada pela interpretação dos resultados para cada golpe. Daí decorre que, se uma mesma estaca for submetida a um ensaio dinâmico, com a análise de um só golpe, e, após algum tempo, a uma prova de carga estática convencional, os resultados poderão ser diferentes.

Em estacas escavadas, é muito comum ocorrer material amolgado sob a ponta, devido à limpeza ineficiente ou atrelado ao próprio método executivo. Assim, em uma primeira prova de carga, este solo é comprimido, adquirindo ou aumentando a resistência de ponta, que irá se manifestar numa segunda prova de carga na mesma estaca. Em estacas embutidas em rocha, a aplicação de carregamento, quando excede o atrito lateral último da interface estaca-rocha no trecho embutido, pode levar à ruptura frágil do contato, e, portanto, o atrito não é mais recuperado. Neste caso, deve-se ter cautela caso se execute o ensaio em uma estaca da obra, ou um segundo ensaio na mesma estaca.

Essas alterações nas condições do sistema estaca-solo devem ser consideradas em cada diferente método de interpretação, relacionado a cada tipo de ensaio. No Item 2, são apresentados os estudos de duas estacas executadas em obras do Brasil em que se observou esta questão.

2 Casos de Obras

A Tabela 2 apresenta os dados de duas estacas, ambas submetidas a duas provas de carga diferentes. A primeira é uma estaca raiz executada para um viaduto da cidade do Rio de Janeiro, sendo submetida a um ensaio bidirecional (BID) e, posteriormente, a um ensaio de carregamento dinâmico (ECD). A segunda é um estacão executado no interior do estado de São Paulo, submetido a uma prova de carga estática convencional (PCE) e, depois, a um ensaio BID.

Tabela 2. Dados das estacas e ensaios executados.

Local da obra	Fonte	Estaca	Diâmetro D (m)	Comprimento L (m)	z_{cell} (m)**	Tipo de Ensaio*
Cidade do Rio de Janeiro	Dada e Massad (2018a)	Raiz (E-B3)	0,50/0,40	15,5	10,5	BID e ECD
Estado de São Paulo	De Mello et al. (2015) Dada e Massad (2018b)	Estação (Pile 1)	0,80	13,5	9,5	PCE e BID

* BID = Ensaio bidirecional;

ECD = Ensaio de carregamento dinâmico;

PCE = Prova de carga estática convencional.

** z_{cell} = Profundidade da expãncell.

2.1 Obra na Cidade do Rio de Janeiro

A estaca raiz E-B3 foi executada para uma obra viária na cidade do Rio de Janeiro, estando localizada no pé de uma encosta próxima à costa oceânica. Para investigação geotécnica, foram executadas duas

sondagens mistas na região da estaca E-B3, que detectaram uma camada de aterro e colúvios, sobre o horizonte residual, atingindo o embasamento rochoso de gnaíse. Pela proximidade do mar, parte dos aterros pode estar apoiada sobre argilas marinhas moles, não detectadas pelas sondagens. O perfil geológico-geotécnico inferido do local está apresentado na Figura 1.

A estaca raiz E-B3 possuía diâmetro nominal em solo de 0,50 m. A partir da profundidade de 8,10 m, a estaca atravessou solo saprolítico, tendo seu diâmetro reduzido para 0,40 m. Foi instalada uma expancell a 10,5 m de profundidade, conforme indicado na Tabela 2 e na Figura 1.

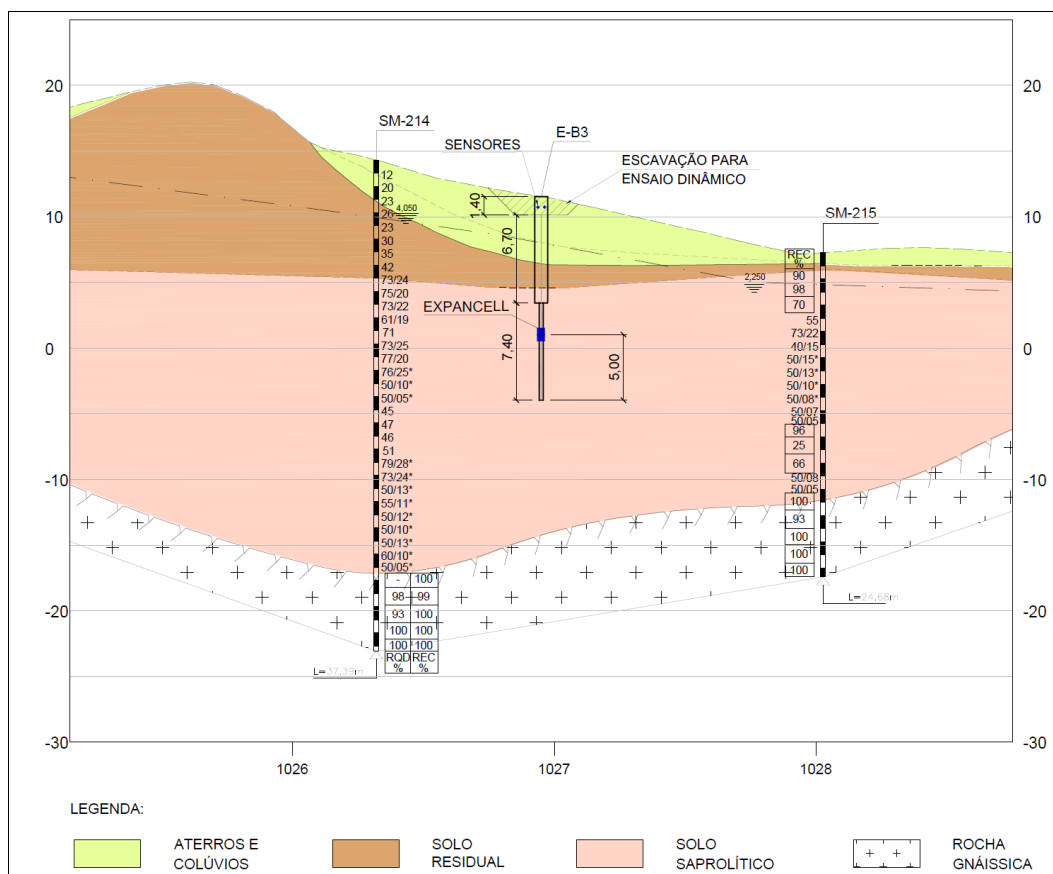


Figura 1. Geometria da estaca raiz E-B3 e perfil geológico-geotécnico inferido do local, a partir das sondagens (medidas em metro).

A estaca foi primeiramente submetida a um ensaio bidirecional (BID) e, depois de aproximadamente três meses, foi executado um ensaio de carregamento dinâmico (ECD). Para a execução deste último, o trecho inicial da estaca foi arrasado, sendo construído, no topo da estaca, um bloco prolongador cilíndrico com o mesmo diâmetro da estaca e altura de 1,40 m. As curvas carga-recalque resultantes dos dois diferentes ensaios estão apresentadas na Figura 2.

Para a obtenção das capacidades de carga de atrito e ponta (ponta fictícia) últimas, a partir das curvas do ensaio BID, adotou-se o Método de Chin (1970; 1971), utilizando-se as curvas hiperbólicas indicadas na Figura 2a. O valor obtido para o atrito último do fuste até o nível da expancell, 1394 kN, foi aproximadamente 26% inferior ao estimado pelo método semi-empírico de Cabral (1986), 1885 kN. A carga máxima atingida no trecho de ponta (ponta fictícia) foi de 1264 kN, ocorrendo a ruptura. A resistência última deste trecho, estimada pelo método de Cabral (1986), foi de 1296 kN, muito próxima à carga máxima.

Conforme apresentado em Dada e Massad (2018a), no ECD (2º ensaio), o atrito lateral obtido para o trecho da estaca acima da expancell foi 18% menor em relação ao obtido no BID (1º ensaio). Entende-se que pode ter havido alguma quebra de "set up" durante os primeiros golpes do ECD, já que os dados analisados se referem ao sexto golpe. No trecho abaixo da expancell, a resistência última do ECD resultou 36% maior

que a do BID, indicando ter havido possível ganho de resistência. A partir da análise dos resultados, mostrou-se que a resistência de ponta era praticamente nula após a execução da estaca. Durante o BID, ocorreu o recalque de aproximadamente 100 mm da ponta, além do recalque ocorrido nos primeiros golpes do ECD, levando à compressão do solo amolgado sob a ponta da estaca.

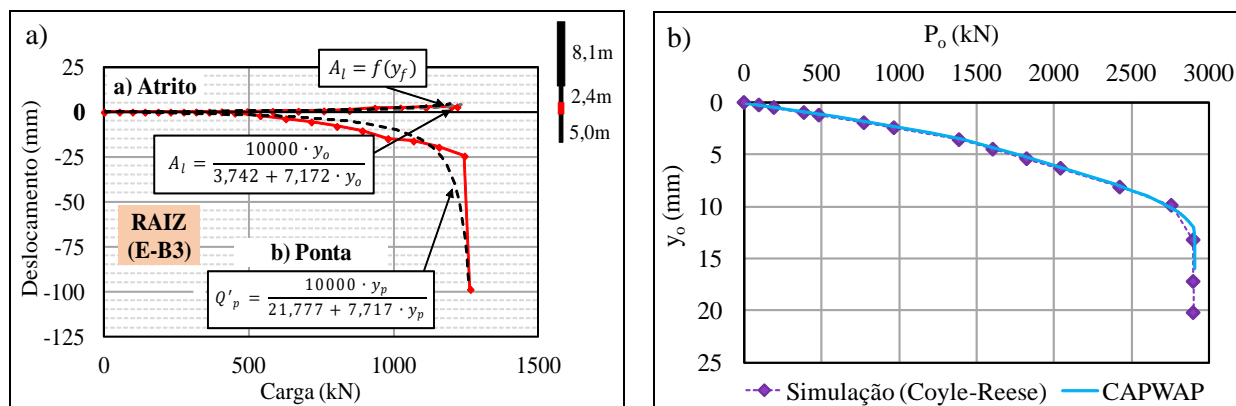


Figura 2. Obra do Rio de Janeiro, Estaca raiz E-B3. a) Resultados do ensaio bidirecional; b) Resultados do ensaio de carregamento dinâmico (curva estática simulada através do CAPWAP) e curva simulada pelo método de Coyle-Reese (1966).

Para a interpretação do ECD, inseriram-se os resultados de atrito lateral unitário, resistência de ponta e "quake", além dos dados de geometria da estaca, no modelo de previsão da curva carga-recalque de Coyle e Reese (1966). Neste ensaio, a resistência de ponta real foi de 437 kN, além da estaca ter apresentado uma resistência de ponta intermediária de 707 kN na profundidade de 8,1 m, onde ocorre a estricção da seção transversal (Figura 1). A curva obtida pelo Método de Coyle e Reese (1966) está apresentada na Figura 2b, observando-se que a mesma apresenta ajuste excelente com relação à curva carga-recalque estática simulada pelo CAPWAP.

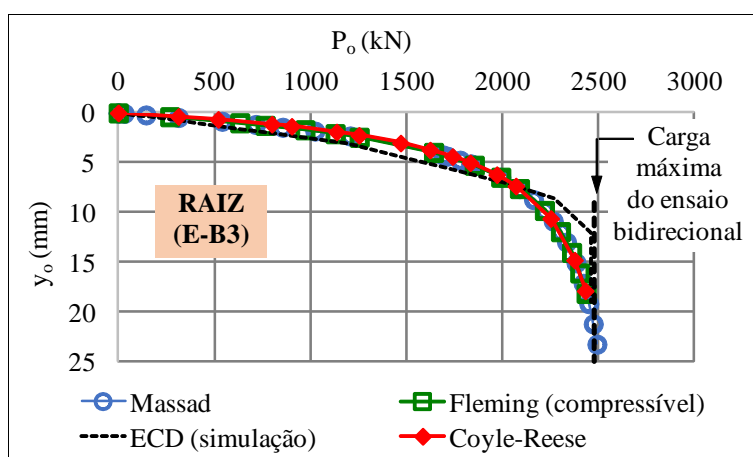


Figura 3. Obra do Rio de Janeiro, Raiz E-B3 – Curvas equivalentes do ensaio bidirecional e curva estática simulada através do ensaio de carregamento dinâmico.

A partir das curvas de fuste e ponta do BID, foram interpretadas as curvas carga-recalque equivalentes para carregamento no topo da estaca utilizando-se três metodologias, que estão descritas em Dada e Massad (2018a; 2018b): o Método de Massad (2015), a aplicação das formulações de Fleming (1992) e o método baseado no modelo de Coyle e Reese (1966). Todos os métodos consideram a estaca compressível, sendo calculado o encurtamento elástico através do parâmetro c' de Massad (2015), correlato de c de Leonards e Lovell (1979), a partir de valores do atrito unitário estimado pelo método semi-empírico de Cabral (1986).

As curvas equivalentes resultantes estão indicadas na Figura 3, observando-se que são praticamente coincidentes entre si.

Conforme explicado acima, houve alteração das parcelas de atrito lateral e resistência de ponta durante ambos os ensaios na estaca E-B3. Para a comparação entre si, a curva carga-recalque obtida através do ECD foi reinterpretada, utilizando-se o modelo de Coyle e Reese (1966). Foi adotada a hipótese de resistência de ponta real nula, obtendo-se a curva indicada na Figura 3, que resultou próxima às curvas obtidas através do BID.

2.2 Obra no Interior do Estado de São Paulo

De Mello et al. (2015) apresentaram o estudo de caso do estacão Pile 1, com 80 cm de diâmetro e 13,5m de comprimento (ver a Tabela 2), escavado com lama bentonítica, na região próxima à cidade de Limeira, no interior do estado de São Paulo. A Figura 4 ilustra esquematicamente a estaca e a sondagem mais próxima. Superficialmente, ocorre uma fina camada de solo orgânico, não indicada na Figura, sobre solos residuais argilo-arenosos ou arenosos, até 8,5 m de profundidade. Abaixo, observam-se camadas intercaladas de rochas carbonáticas ou calcários e siltitos, pertencentes à Formação Irati da Bacia do Paraná, sendo que no contato solo-rocha as camadas consistem de material rochoso alterado com espessuras centí a decimétricas.

A estaca foi executada com comprimento de 8,5 m em solo e 5,0 m em material rochoso. Foi instalada uma expancell a 9,5 m de profundidade, conforme indicado na Tabela 2 e na Figura 4.

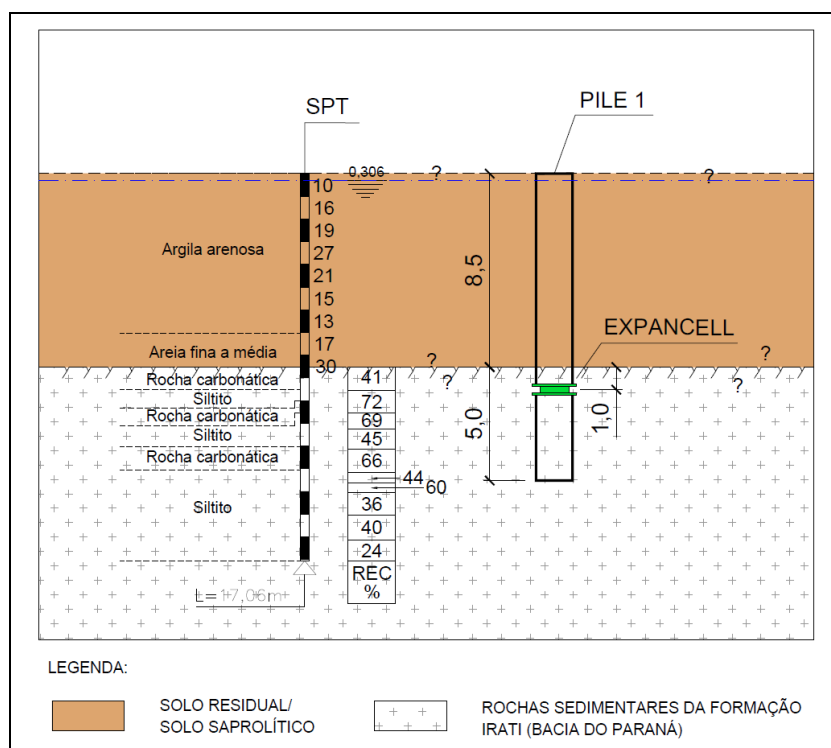


Figura 4. Geometria do estacão "Pile 1" e perfil esquemático do subsolo inferido a partir da sondagem próxima (comprimentos em metro).

O estacão Pile 1 foi submetido a uma prova de carga estática convencional (PCE) e, posteriormente, a um ensaio bidirecional (BID). Os resultados de ambos estão apresentados na Figura 5.

A curva carga-recalque obtida através da PCE (1º ensaio) (Figura 5a) apresentou um comportamento aproximadamente linear elástico, indicando mobilização praticamente apenas do atrito lateral. O $A_{l,ult}$ total estimado foi de 8480 kN, sendo maior que a carga máxima atingida durante o ensaio, de 6040 kN. A estimativa foi feita pelo método semi-empírico de Décourt-Quaresma (1978), atualizado por Décourt (2016),

no trecho em solo, obtendo-se $f_{med(solo)} = 59$ kPa. No trecho em rocha, admitiu-se $f_{med(rocha)} = 575$ kPa, a partir de dados fornecidos por De Mello et al. (2015) para o atrito unitário, com base em ensaios de carregamento dinâmico em outras estacas do local.

A Figura 5b apresenta os resultados do ensaio bidirecional (2º ensaio) e as curvas de aproximação matemática adotadas. A carga máxima aplicada no fuste, corrigida conforme Dada e Massad (2018a), foi de 2807 kN, muito próximo ao $A_{l,ult}$ estimado para este trecho pelo método de Décourt e Quaresma (1978), atualizado por Décourt (2016), de 2705 kN. Os valores sugerem que o trecho do fuste foi levado próximo à ruptura, então, adotou-se $A_{l,ult}$ aproximadamente igual a 3000 kN. O trecho da ponta (ponta fictícia) apresentou deslocamentos relativamente elevados para as magnitudes de cargas aplicadas, visto que está embutido em material rochoso. O comportamento foi do tipo rígido-elástico segundo a 2ª Lei de Cambeport (1964), o que é típico para estacas escavadas, conforme Massad (2008), significando que o atrito lateral neste trecho foi relativamente baixo e predominou o comportamento da ponta.

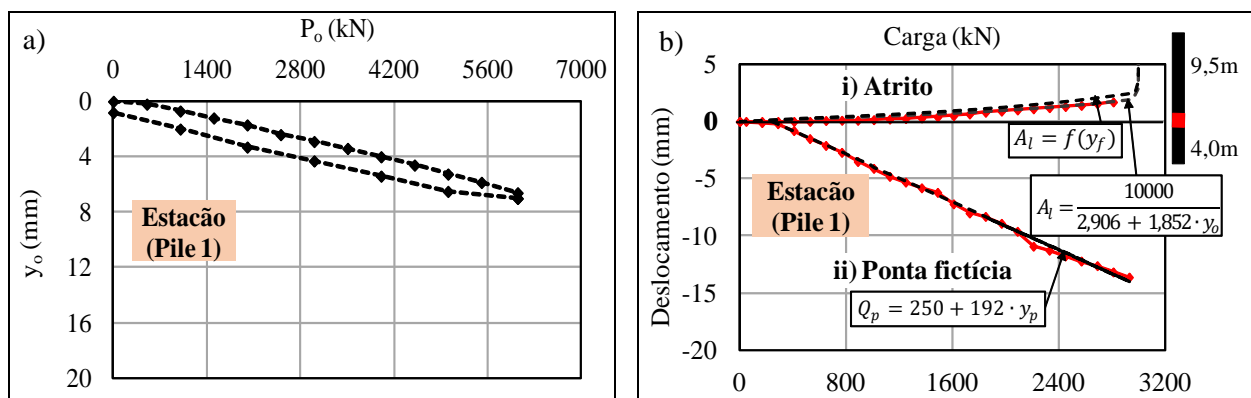


Figura 5. Obra do estado de SP, Estação "Pile 1". a) Resultados da prova de carga estática convencional; b) Resultados do ensaio bidirecional (fonte: dados obtidos em De Mello et al., 2015).

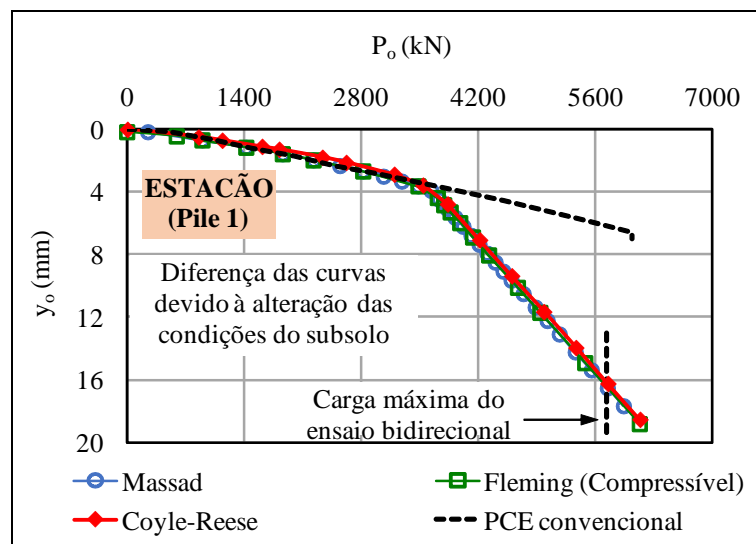


Figura 6. Obra no estado de SP, Estação Pile 1 – Curvas equivalentes do ensaio bidirecional, em comparação à curva da prova de carga estática convencional.

Como o trecho de ponta fictícia tem comprimento de 4 m embutido em siltitos e calcários, interpreta-se que, no momento do ensaio bidirecional, o contato entre a parede da estaca e as rochas estava cisalhado, devido possivelmente a carregamentos prévios. Na PCE, a magnitude mínima de carga que atingiu o trecho abaixo da expancell foi da ordem de 3040 kN, que é a diferença entre a carga máxima aplicada, 6040 kN, e o $A_{l,ult}$ do trecho acima, igual a 3000 kN. Este carregamento ultrapassa a resistência por atrito lateral dos

primeiros metros do material rochoso, podendo ter ocorrido a ruptura do contato, levando o atrito lateral a valores residuais. Além disso, conjectura-se que a carga inicial do BID, para rompimento do selo da expancell, pode ter provocado o cisalhamento dos metros restantes do contato rocha-estaca, levando à queda da resistência no trecho todo do embutimento.

A Figura 6 apresenta as curvas equivalentes do BID, estimadas analogamente ao feito para a estaca raiz E-B3, observando-se que resultaram convergentes entre si. Também é indicada a curva de carregamento da PCE, executada previamente. Observa-se que ela praticamente coincidiu com as curvas equivalentes até a carga aproximada do atrito lateral último do trecho do fuste (~3000 kN), que corresponde ao trecho da estaca imersa em solo e rocha muito alterada. As curvas se afastam após esta carga, devido à diferença de comportamentos do trecho abaixo da expancell em cada um dos ensaios, possivelmente devido à ruptura frágil do contato estaca-rocha, levando a valores residuais de atrito durante o ensaio bidirecional.

3 Conclusões

Foram apresentados dois estudos de casos de estacas executadas no Brasil: a estaca raiz E-B3 (Rio de Janeiro), submetida a um ensaio bidirecional e, posteriormente, a um ensaio de carregamento dinâmico, e o estacão Pile 1 (São Paulo), submetido a uma prova de carga estática convencional e a um ensaio bidirecional. Durante cada ensaio, ocorreram modificações nos parâmetros de interface da estaca com o solo ou rocha, que resultaram em curvas carga-recalque, a princípio, incompatíveis entre si. Foi necessário assumir algumas hipóteses para reproduzir estas alterações de comportamento, obtendo-se, então, curvas coerentes.

Para minimizar a adoção de hipóteses e a complexidade na interpretação dos resultados, recomenda-se executar provas de carga com diferentes métodos de ensaios em estacas diferentes, que sejam próximas entre si e com características semelhantes quanto ao tipo de estaca e ao subsolo. Caso a estaca seja embutida em material rochoso, recomenda-se realizar o ensaio em uma estaca teste.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e a CAPES, por viabilizarem a pesquisa, e aos engenheiros Werner Bilfinger (Vecttor Projetos) e Fernando Villar Perez (EGB – Escritório Geotécnico Brasileiro), pelo fornecimento dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro. 91 p.
- Cabral, D. A. (1986) O uso da estaca raiz como fundação de obras normais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES – COBRAMSEF, 8, 1986, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ABMS. v. 6. p. 71-82.
- Cambeftort, 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*, 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*, 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*, 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.
- De Mello, L. G.; Bilfinger, W.; Perez, F. V. (2015) A case study of bearing capacity of bored piles in weak rocks based on static load tests. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING – PCSMG, 15, 2015, Buenos Aires, Argentina. *Proceedings...* Buenos Aires: SIMSG-ISSMGE/ SAIG/ ISRM. p. 1575-1582.
- Décourt, L. (2008) Provas de carga em estacas podem dizer muito mais do que têm dito. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE, 6, 2008, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS. v. 1, p. 221-245.
- Décourt, L. (2016) Análise e Projeto de Fundações Profundas: Estacas. In: HACHICH, W. C. et al. *Fundações: Teoria e Prática*, 3a ed., PINI/ ABMS/ ABEF, São Paulo. 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 – COBRAMSEG, 6, 1978, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS. v. 1. p. 45-53.
- Fleming, W. G. K. (1992) A new method for single pile settlement prediction and analysis. *Géotechnique*, 42 (3), p. 411-425.
- Fonseca, A. V.; Santos, J. A.; Esteves, E. C.; Massad, F. (2007) Analysis of piles in residual soil from granite considering residual loads. *Soils & Rocks*, 30 (1), p. 63-80.
- 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*, ASTM, Filadélfia. p. 388-415.
- Massad, F. (1992) Sobre a interpretação de provas de carga em estacas, considerando as cargas residuais na ponta e a reversão do atrito lateral. Parte I: Solos relativamente homogêneos. *Solos e Rochas*, 15 (2), p. 103-115.
- Massad, F. (1993) Sobre a interpretação de provas de carga em estacas, considerando as cargas residuais na ponta e a reversão do atrito lateral. Parte I: Estaca embutida em camada mais resistente. *Solos e Rochas*, 16 (2), p. 93-112.
- Massad, F. (1995) Pile analysis taking into account soil rigidity and residual stresses. In: PAN-AMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING – PANAM, 10, 1995, Guadalajara, Mexico. *Proceedings...* Guadalajara: SMIG/ ISSMFE. v. 2, p. 1199-1210.
- Massad, F. (2008) Fundamentação matemática do método da rigidez de Décourt e definição de seu campo de aplicação. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE, 6, 2008, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS. v. 1. p. 117-131.
- Massad, F. (2015) On the interpretation of the bidirectional static load test. *Soils & Rocks*, 38 (3), p. 249-262.
- Valverde, R. M.; Massad, F. (2018) Maximum envelope of lateral resistance through dynamic increasing energy test in piles. *Soils & Rocks*, 41 (1), p. 75-88.