

Prova de Carga Estática Prévia Instrumentada em Estação em Diadema/SP

Virgínia Lucchesi Maset

Sócia, ZF & Engenheiros Associados S/S, São Paulo, Brasil, virginia@zfsolos.com.br

Wanderley Perez Jr

Sócio, ZF & Engenheiros Associados S/S, São Paulo, Brasil, wanderley@zfsolos.com.br

Frederico Fernando Falconi

Diretor, ZF & Engenheiros Associados S/S, São Paulo, Brasil, fred@zfsolos.com.br

RESUMO: Este trabalho apresenta os resultados da prova de carga estática prévia instrumentada em profundidade realizada em estação de 80 cm de diâmetro e 18 metros de comprimento em obra na cidade de Diadema/SP. O ensaio atingiu 5.023 kN, cerca de 2 vezes a carga de trabalho da estaca, com deslocamento máximo de 13,09 mm. A instrumentação em profundidade foi feita em 3 níveis, sendo 2 strain gages por seção. Os resultados da instrumentação serão analisados e comparados com os resultados esperados pela utilização de métodos semiempíricos de capacidade de carga. Por fim, serão analisados os aspectos econômicos da realização da prova de carga prévia, com a diminuição do fator de segurança das fundações de 2,0 para 1,6 e a consequente economia no concreto e aço das estacas.

PALAVRAS-CHAVE: Prova de Carga Estática, Prova de Carga Prévia, Estaca Escavada de Grande Diâmetro, Instrumentação em Profundidade.

ABSTRACT: This paper presents the results of an instrumented static load test in a large diameter bored pile with 80 cm diameter and 18 m depth in the city of Diadema/SP. The load test reached 5.023 kN, around twice the working load of the pile, with a settlement of 13,09 mm. The strain was measured at 3 different depths of the pile with 2 strain gages per section. The instrumentation results will be analyzed and compared with the expected results by means of the most commonly used pile bearing capacity methods. Since the load test was conducted before the rest of the piles, according to ABNT NBR 6122/2010, the foundation design was reviewed to lower the factor of safety, given the results of the test. The economic aspects of the factor of safety reduction from 2,0 to 1,6 will be analyzed in terms of the cost reductions in concrete and steel for the piles.

KEYWORDS: Static Load Test, Previous Static Load Test, Large Diameter Bored Pile, Instrumentation in Depth.

1 Introdução

O advento da NBR 6122:2010, na qual foi introduzida a obrigatoriedade da execução de provas de carga em obras cujo número de estacas exceda o valor tabelado, acarretou em um aumento significativo no acervo de provas de carga em estacas. Anteriormente a essa norma, provas de carga em estacas eram executadas, geralmente, para fins acadêmicos, ou quando havia suspeita de algum problema na execução das estacas. O tipo de carregamento pode ser estático ou dinâmico e, no primeiro, pode ser lento, rápido, misto ou cíclico. A interpretação do ensaio deve levar em consideração o tipo e a velocidade de carregamento.

Além da comprovação do desempenho das estacas, a realização de prova de carga estática pode acarretar considerável economia no projeto de fundações. A NBR 6122:2010 discorre sobre a redução do fator de segurança para determinação da carga admissível nas fundações de 2,0 para 1,6, quando forem executadas provas de carga prévias, ou seja, na fase de elaboração ou adequação do projeto. Para que essa redução seja possível, é necessário que as provas sejam de carga estática, especificadas e executadas no início da obra, possibilitando a adequação do projeto antes da execução das demais estacas, e atinjam no mínimo duas vezes a carga admissível prevista em projeto.

A realização de provas de carga estática para a comprovação do desempenho das fundações em estacas de concreto moldadas in loco levantou algumas dúvidas sobre o desempenho da ponta dessas estacas. Em especial em estacas escavadas de grande diâmetro com fluido estabilizante, quando a limpeza do fundo da escavação não é executada corretamente, a capacidade de carga da ponta da estaca é bastante prejudicada. A limpeza do fundo da escavação pode ser feita através de sistema *air lift* ou bombeamento submerso de eficiência comprovada para melhorar o contato do concreto da ponta da estaca com o solo ou a rocha.

2 Características geotécnicas

Foram executadas 9 sondagens à percussão, com profundidades entre 19,10 e 23,27 m. Apenas a sondagem SP-3 atingiu o impenetrável à ferramenta de percussão, aos 23,27 m de profundidade.

O subsolo local é constituído de camada de 1,00 a 4,00 m de argila silto arenosa, muito mole a média, vermelha, com SPT entre 1 e 7, sobre camada de 9,00 a 13,00 m de silte argilo arenoso, pouco micáceo, mole a médio, roxo (solo residual), com SPT entre 4 e 16, seguido de camada de silte areno argiloso, pouco micáceo, compacto a muito compacto, cinza e amarelo ou cinza e roxo (solo residual), com SPT maior que 20, até o limite das sondagens.

O perfil da sondagem SP-6, mais próxima à estaca ensaiada, está ilustrado na Figura 1.

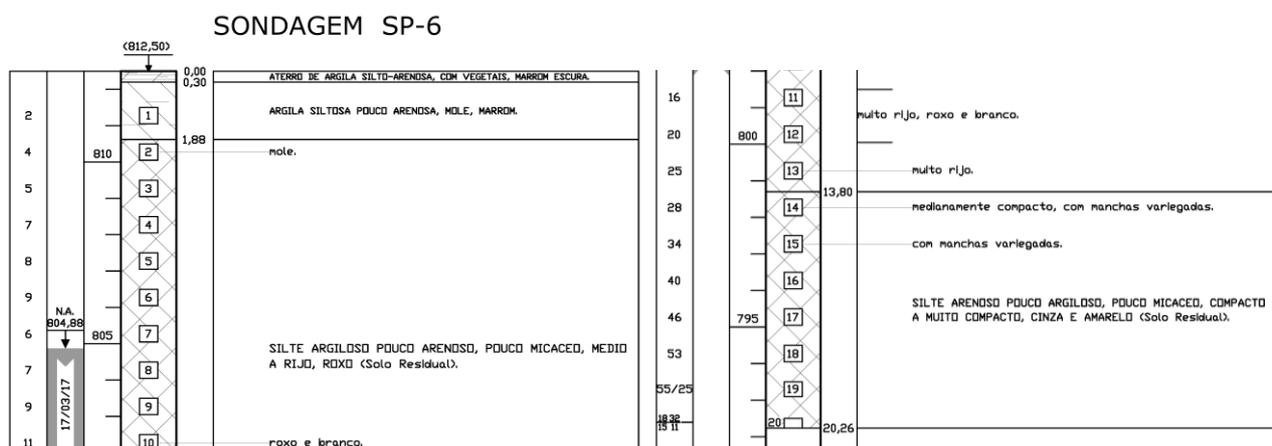


Figura 1. Perfil geotécnico de acordo com a sondagem SP-6.

3 Características da obra e do ensaio

A obra na qual foi realizado o ensaio é um edifício residencial de 27 pavimentos e 3 subsolos localizado na cidade de Diadema/SP, região metropolitana de São Paulo. As cargas dos pilares da torre variavam entre 3.750 e 19.890 kN. Considerando a magnitude das cargas dos pilares e as características geotécnicas da região, a solução de fundação escolhida foi estacas escavadas de grande diâmetro com fluido estabilizante, com diâmetros de 80 a 130 cm e comprimentos variando de 18,00 a 21,00 m a partir da cota 809,98 (3º subsolo). Devido às altas cargas de trabalho das estacas e às características das sondagens, foi necessário considerar, na capacidade de carga das estacas, a parcela de ponta. Assim, foi especificado em projeto procedimento específico para a limpeza do fundo da escavação, com utilização de caçamba com *flap* ou fundo duplo rotativo e remoção do material no fundo do furo com bomba, pelo interior do tubo tremonha, e desarenação da lama com lançamento em um reciclador para remoção de todo o material suspenso.

A Figura 2 ilustra os gráficos de capacidade de carga por atrito lateral (PL), ponta (PP) e total (PR) segundo os métodos semiempíricos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e David Cabral. Percebe-se que a capacidade de carga por atrito lateral é relativamente baixa, daí a necessidade da limpeza da ponta da estaca.

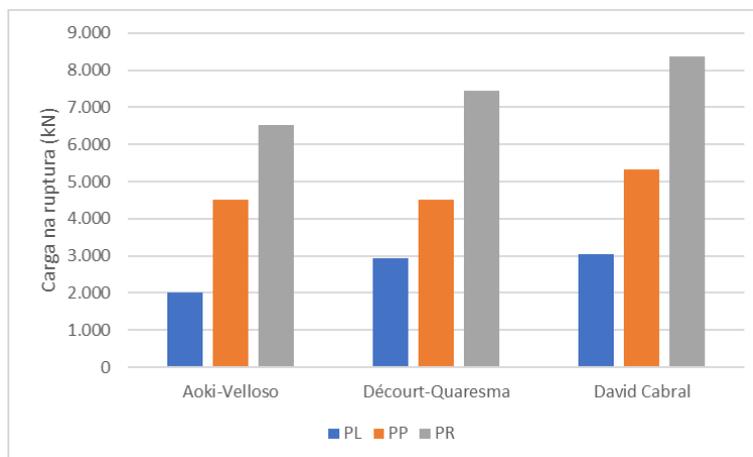


Figura 2. Gráficos de capacidade de carga para a estaca da prova de carga.

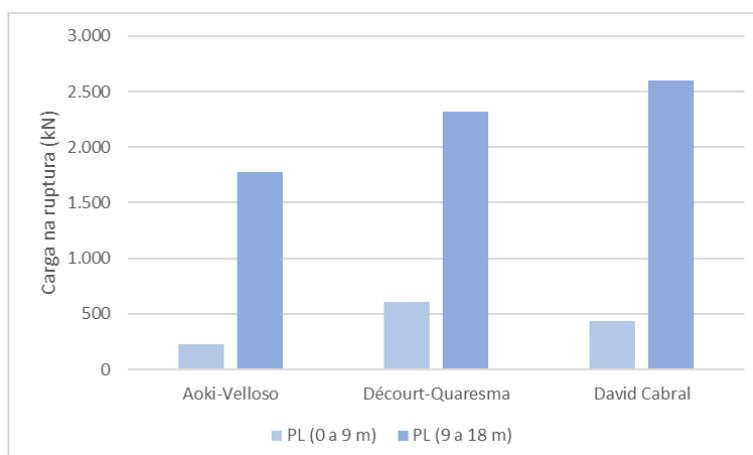


Figura 3. Gráficos de capacidade de carga por atrito lateral em cada trecho da estaca.

Como o número total de estacas da obra excedia 75, de acordo com a NBR 6122:2010, foi necessário ensaio para comprovação de desempenho das fundações. Optou-se por executar prova de carga estática prévia e instrumentada em profundidade para possibilitar a redução do fator de segurança das fundações,

gerando economia significativa nas estacas, além de aferir o atrito lateral mobilizado e a resistência de ponta da estaca.

A estaca ensaiada E.PC, de 80 cm de diâmetro e 18,00 m de comprimento, não faz parte das fundações da torre e foi executada apenas para a realização do ensaio. Para a reação da prova de carga, foram utilizadas quatro estacas, sendo duas de 130 cm de diâmetro do bloco de fundação do P19 e duas de 110 cm de diâmetro do bloco de fundação do P24. O carregamento da prova de carga foi do tipo lento e a carga máxima atingida no ensaio foi de 5.023 kN. As estacas de reação foram armadas, além da armação convencional de aço CA-50, com 3 barras axiais de aço especial com 15,00 m de comprimento (sem contar o arranque), dimensionadas para suportar os 1.256 kN de tração em cada estaca.

DETALHE TÍPICO DE ARMAÇÃO PARA AS ESTACAS DE REAÇÃO DA PROVA DE CARGA (ESTACAS P19A, P19B, P24A e P24B)

S/ESCALA

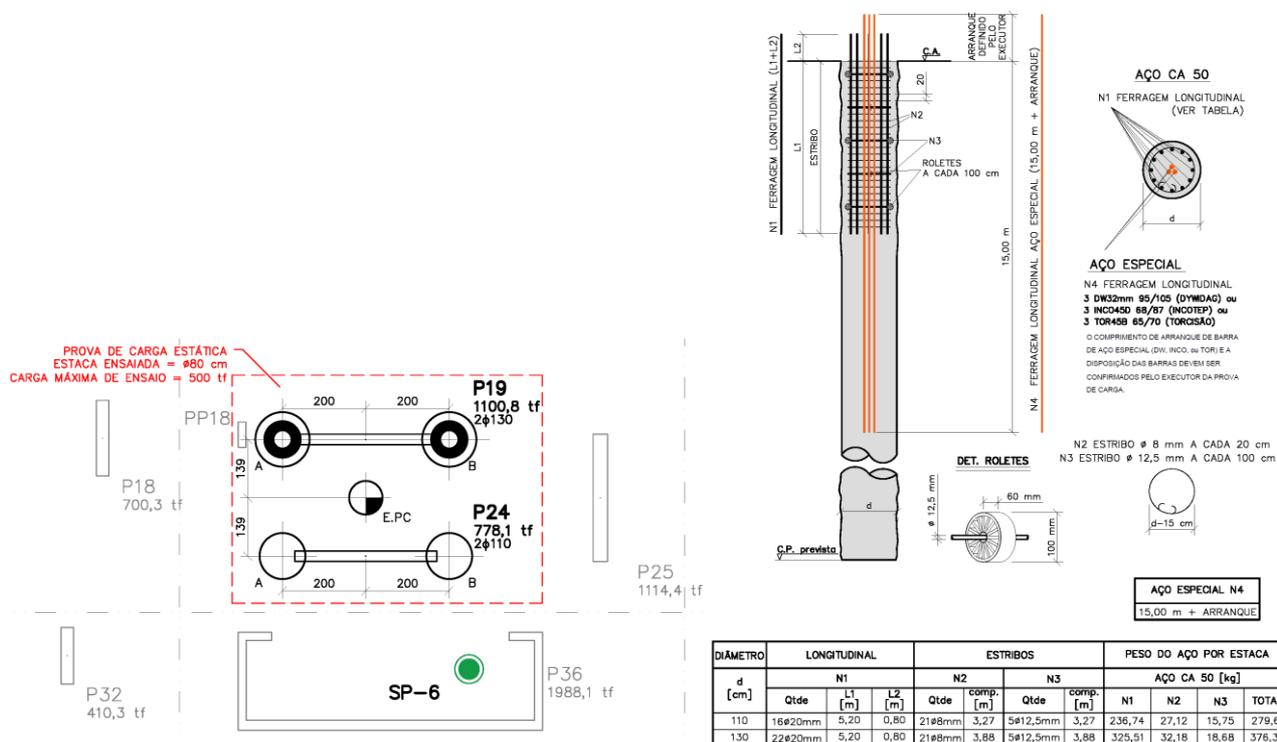


Figura 4. Bloco da prova de carga estática e armação das estacas de reação da prova de carga estática.

A estaca foi instrumentada em profundidade com extensômetros elétricos montados em barras de aço CA-50, pertencentes à armação da estaca, em três níveis, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Dados da instrumentação em profundidade.

Nível	Profundidade (m)	Quantidade de sensores
Topo	0,80	2
Fuste	9,00	2
Ponta	17,50	2

Após a realização da prova de carga estática prévia, foi possível diminuir o fator de segurança geotécnico das fundações de 2,0 para 1,6, de acordo com a NBR 6122/2010. O projeto foi revisado considerando essa redução, e as estacas foram executadas para cargas de trabalho maiores que as usuais. De um projeto para o outro, a redução do fator de segurança de 2,0 para 1,6 devido à prova de carga prévia gerou economia de 10% em volume de concreto e de 13% em peso de aço para as estacas.

4 Resultados do ensaio

A prova de carga estática atingiu 500 tf com deslocamento de 13,09 mm. Na carga de trabalho de 250 tf, o deslocamento observado foi de 3,61 mm.

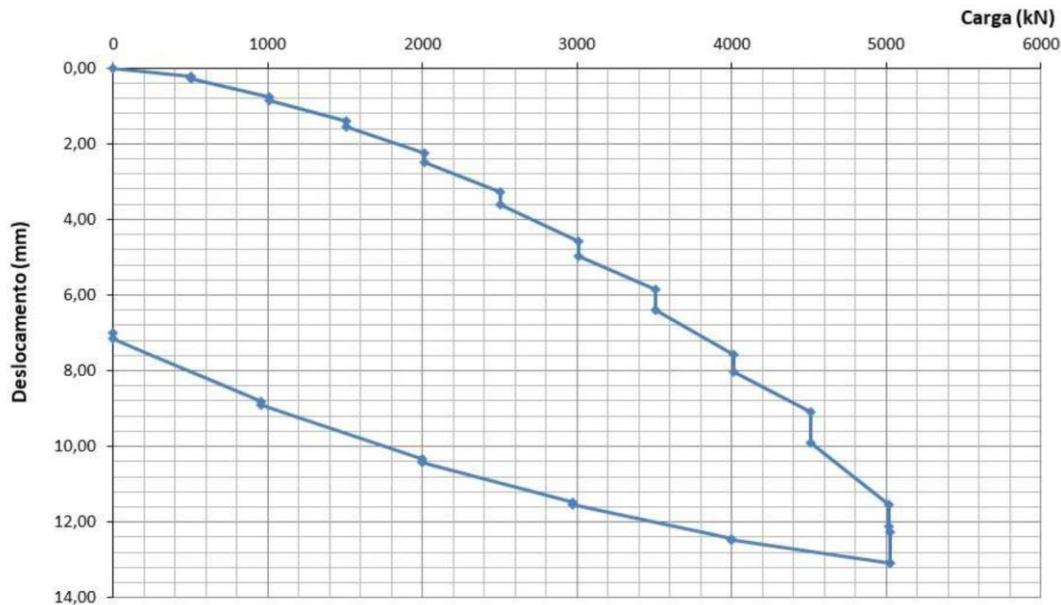


Figura 5. Curva carga-recalque da prova de carga estática.

Os diagramas de transferência de carga em profundidade, gerados pela instrumentação, estão ilustrados na Figura 6.

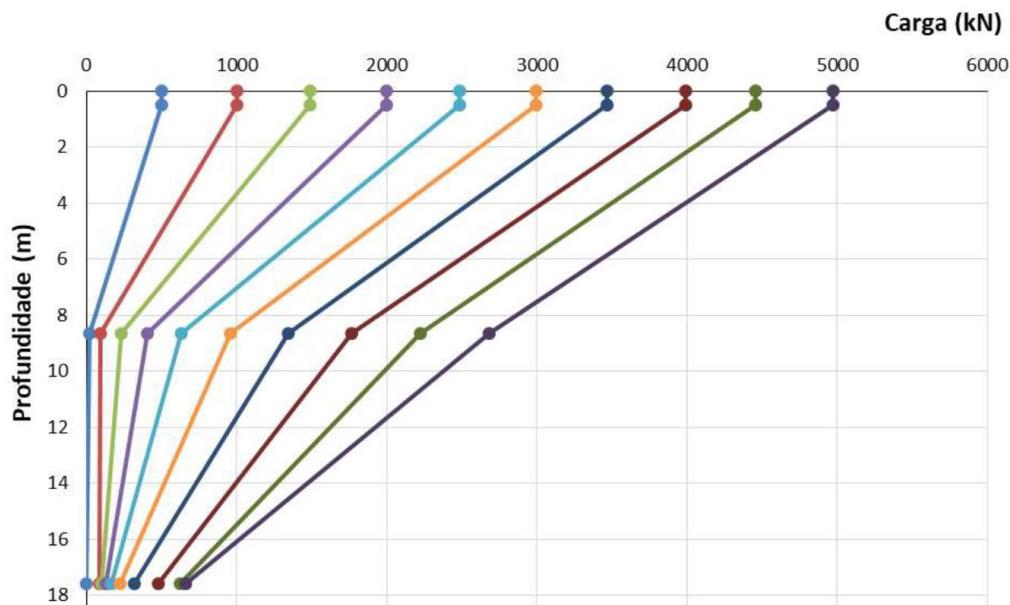


Figura 6. Diagramas de transferência de carga em profundidade.

Pela Figura 6, percebe-se que há grande mobilização de atrito lateral no fuste da estaca – na carga máxima do ensaio, de 5.023 kN, a carga no último nível de instrumentação foi de 660 kN, ou seja, foram mobilizados 4.340 kN de atrito lateral ao longo do fuste.

Analisando os diagramas de transferência de carga trecho a trecho para a carga máxima de ensaio, percebe-se grande discrepância entre os valores de capacidade de carga por atrito lateral calculados e medidos, em especial no primeiro trecho entre níveis de instrumentação. Este trecho, entre 0,5 e 9,0 m de profundidade, coincide aproximadamente com a camada de silte argilo arenoso, pouco micáceo, médio a rijo (solo residual), com SPT entre 4 e 16. De acordo com a Figura 3, o atrito lateral mobilizado de 0 a 9,0 m calculado pelos métodos semiempíricos varia entre 229 e 609 kN. De acordo com a Figura 6, a força medida no segundo nível de instrumentação na carga máxima de ensaio é de 2.679 kN, ou seja, houve mobilização de 2.344 kN de atrito lateral nos primeiros 9,0 m da estaca – valor 4 a 10 vezes maior que o calculado.

Entre 9,0 e 18,0 m, ocorre pequena discrepância entre o atrito lateral medido e calculado, em muito menor proporção que no trecho inicial. Os valores calculados variam entre 1.773 e 2.602 kN, enquanto que o atrito lateral medido pela instrumentação é de 2.019 kN. Para a camada de silte areno argiloso, pouco micáceo, compacto a muito compacto (solo residual), com valores de SPT maiores que 20, os métodos semiempíricos de cálculo de capacidade de carga foram mais precisos em estimar o atrito lateral mobilizado.

5 Conclusões

O cálculo de capacidade de carga das estacas é realizado, geralmente, utilizando métodos semiempíricos consagrados baseados em valores de SPT. Comparando os resultados da prova de carga instrumentada em profundidade com os valores calculados, observou-se que o atrito lateral mobilizado pelo fuste da estaca foi, na realidade, muito maior do que o previsto. Os métodos podem estar sendo conservadores, subdimensionando o atrito lateral em solos residuais. A ponta da estaca, ao contrário do previsto inicialmente, praticamente não foi solicitada.

A prova de carga estática instrumentada em profundidade apresentou bons resultados e atingiu 2 vezes a carga de trabalho da estaca sem atingir a ruptura geotécnica. Como o ensaio foi realizado previamente à execução das fundações, o projeto pôde ser adequado, diminuindo o fator de segurança das fundações e gerando economia no projeto do estaqueamento.

A instrumentação em profundidade, apesar de não ser exigida por norma, é ferramenta poderosa para auxiliar na interpretação dos resultados da prova de carga, principalmente no que diz respeito à separação das parcelas de atrito lateral e ponta da estaca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aoki, N.; Velloso, D. A. *Um método aproximado para estimativa da capacidade de carga de estacas*. In: Pan-American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1975. p. 377.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 12131. *Estacas - Prova de carga estática: método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Cabral, D. Método para a determinação da capacidade de carga de estacas escavadas, Catálogo da Fundesp. 1987.
- Décourt, 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 - COBRAMSEG. 1978. p. 45-53.