

Análise Comparativa de Métodos de Determinação da Capacidade de Carga em Estacas Hélice Contínua com Ensaios de Prova de Carga Estática Realizados em Uberaba-MG

Camilla Ariane Probst

Instituto Brasileiro de Educação Continuada, São Paulo, Brasil, camillaprobst@hotmail.com

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Giullia Carolina de Melo Mendes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil, giucmendes@gmail.com

Francisco Heber Lacerda de Oliveira

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, heber@det.ufc.br

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo comparar as previsões de capacidade de carga pelos métodos de Aoki-Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996) com os resultados das provas de carga estáticas realizadas em cinco estacas do tipo hélice contínua, executadas na cidade de Uberaba-MG. Os métodos analisados obtiveram resultados próximos entre si, variando na faixa de 50% a 70% da carga de ruptura. Pôde-se perceber que o método de Décourt-Quaresma (1978) apresentou previsões mais próximas da carga de ruptura, e o método de Antunes e Cabral (1996), previsões mais distantes. Concluiu-se que todos os métodos analisados nesse trabalho apresentaram previsões satisfatórias, porém, a utilização dos métodos de Aoki-Velloso (1975) ou Antunes e Cabral (1996) para o dimensionamento das estacas, nesse caso de estudo, acarretaria um maior custo à obra, por demonstrarem-se mais conservadores que o método de Décourt-Quaresma (1978).

PALAVRAS-CHAVE: Fundações Profundas, Métodos Semi-empíricos, Prova de Carga Estática, Sondagem SPT.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento das construções, e consequentemente a evolução da engenharia civil, a busca de novos elementos de fundação que possuam alta produtividade, ausência de vibrações e ruídos, além de elevada capacidade de carga e controle de qualidade, vem tornando-se cada vez mais frequentes. Dessa forma, as estacas do tipo hélice contínua, tornaram-se um das opções mais utilizadas para suportar os esforços estruturais estabelecidos. Para a viabilização de projetos de fundações profundas, a determinação de capacidade de

carga das estacas requer investigação geotécnica do subsolo em questão por meio de sondagens e a avaliação de métodos semi-empíricos tais como Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996). Nesse contexto, o presente artigo tem por objetivo comparar resultados de provas de carga estáticas com previsões de capacidade de carga pelos métodos semi-empíricos citados. Para tal, foram executadas cinco estacas do tipo hélice contínua no Setor Industrial da cidade de Uberaba-MG.

2 ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA

A estaca “hélice contínua monitorada” é um tipo de fundação profunda, moldada *in loco*, executada por meio de trado contínuo com a injeção de concreto pela própria haste do trado (ABNT, 2010). Seu processo construtivo é composto por três principais etapas de execução. São elas: perfuração, concretagem e inserção da armadura, como apresentado na Figura 1 (PASCHOALIN *et al.*, 2008).

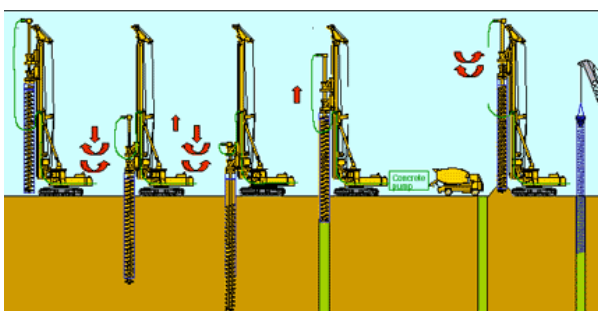


Figura 1. Etapas de execução das estacas hélice contínua monitorada (NETO, 2002).

2.1 Perfuração

A etapa de perfuração da estaca hélice contínua consiste na introdução do trado através da rotação da hélice contínua até a profundidade estabelecida em projeto, sem a retirada do solo escavado (ABNT, 2010).

Sua haste de perfuração é constituída de uma hélice espiral contendo em sua extremidade inferior garras capazes de escavar o subsolo (HACHICH *et al.*, 1996).

2.2 Concretagem

A partir da obtenção da profundidade estabelecida, é iniciada a injeção do concreto através da haste central do trado com a retirada simultânea do trado contínuo que contém o material escavado.

Devido a alta pressão no concreto, inicia-se a retirada do trado contínuo. A pressão visa garantir a continuidade e integridade do fuste da estaca (NETO, 2002).

2.3 Inserção da Armadura

Devido ao processo executivo da estaca hélice contínua, a inserção da armadura é realizada após o término da concretagem, sendo introduzida manualmente por operários (VELLOSO E LOPES, 2010).

O sucesso dessa etapa está diretamente ligada o abatimento do concreto e o tempo entre o término na concretagem e o início da colocação da armadura, que deverá ser o menor possível (LÁZARO, 2004).

3 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS DE DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS

A fundação é considerada o elemento responsável por transmitir as cargas ao terreno, devendo ser dimensionada e executada sem gerar problemas para a estrutura (DANZIGER, 2008). A mobilização das tensões resistentes por adesão ou atrito lateral e as tensões resistentes normais à ponta é dada pelo acréscimo de carga (CINTRA e AOKI, 2010). Os métodos semi-empíricos levam em consideração o somatório dessas resistências, em função do tipo de estaca a ser executada, tipo de solo local e sua resistência, assim como as características geométricas da estaca.

3.1 Aoki-Velloso (1975)

O método de Aoki-Velloso (1975) foi desenvolvido inicialmente relacionado aos resultados de ensaios CPT. Devido a sua pouca utilização quando comparado ao SPT, foi posteriormente adaptado, resultando na seguinte expressão:

$$R = \frac{kN_p}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum_1^n (\alpha \cdot k \cdot N_L \cdot \Delta L) \quad (1)$$

Sendo R é a capacidade de carga da estaca, k um coeficiente dependente do tipo de solo, N_p o valor do N_{SPT} na cota de apoio da ponta, F_1 e F_2 são fatores de correção, A_p a área da ponta, U é

o perímetro, α o coeficiente dependente do tipo de solo, e N_L valor do N_{SPT} médio referente ao ΔL , que é a altura da camada, por tipo de solo.

3.2 Décourt-Quaresma (1978)

Segundo Velloso e Lopes (2010), o método de Décourt-Quaresma (1978) foi proposto correlacionado a resultados de sondagem SPT, e sofreu ajustes quanto a parcela de atrito lateral, resultando na seguinte expressão:

$$R = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot 10 \cdot \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \cdot U \cdot L \quad (2)$$

Sendo R é a capacidade de carga, α e β são coeficientes dependentes do tipo de estaca, C o coeficiente característico do solo, N_p valor do N_{SPT} na cota de apoio da ponta e o imediatamente anterior e posterior, A_p é a área da ponta, N_L o valor do N_{SPT} , U o perímetro do fuste, e L é a altura da camada por tipo de solo.

3.3 Antunes e Cabral (1996)

Baseados em dados de provas de carga estáticas realizadas em estacas do tipo hélice contínua, Antunes e Cabral (1996), propuseram um método de previsão de capacidade de carga voltado para estacas do tipo hélice contínua, como segue:

$$Q_u = U \cdot \sum (N \cdot \beta_1) \cdot \Delta L + \beta_2 \cdot N \cdot A_p \quad (3)$$

Sendo Q_u é a carga última da estaca, β_1 e β_2 são fatores que dependem do tipo de solo, A_p é a área da seção, N é o índice de resistência à penetração, U é a perímetro e ΔL é a profundidade da camada de solo.

4 PROVAS DE CARGA ESTÁTICAS

A finalidade da execução de provas de carga é a verificação do desempenho do elemento de fundação por meio da aplicação de carga e análise de recalques, consistindo em aplicar esforços crescentes e registrar os deslocamentos

correspondentes (ABNT, 2006). Com o desenvolvimento da construção, tornou-se usual a determinação da capacidade de carga das estacas fazendo uso desse ensaio de campo para comprovação de resultados (TERZAGHI e PECK, 1967). Elas também definem a carga de serviço nos casos em que não se consegue realizar uma previsão do comportamento. Como há formas de prever a carga de um determinado tipo de estaca num determinado terreno, esses ensaios são executados principalmente para verificação de comportamento previsto em projeto (VELLOSO e LOPES, 2010).

5 RESULTADOS

Com o objetivo de realizar as previsões de capacidade de carga pelos métodos citados, foram realizados cinco furos de sondagem SPT no Setor Industrial, na cidade de Uberlândia-MG. As sondagens à percussão, denominadas SPT-01, SPT-02, SPT-03, SPT-04 e SPT-05 apresentaram material característico predominante de argila siltosa e silte argiloso, com consistência mole a rijá. Os resultados de índice de resistência à penetração (N_{SPT}) por profundidade de cada furo de sondagem são apresentados nas Figuras 2 a 6.

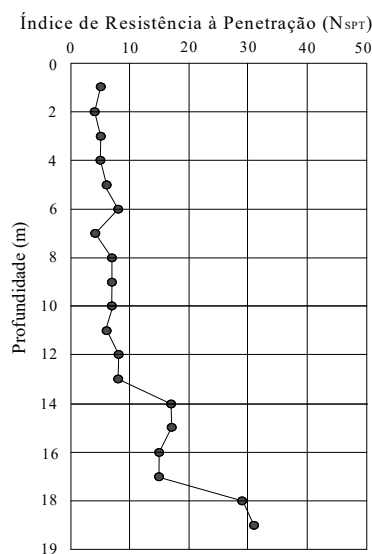


Figura 2. Variação do N_{SPT} ao longo do furo SPT-01.

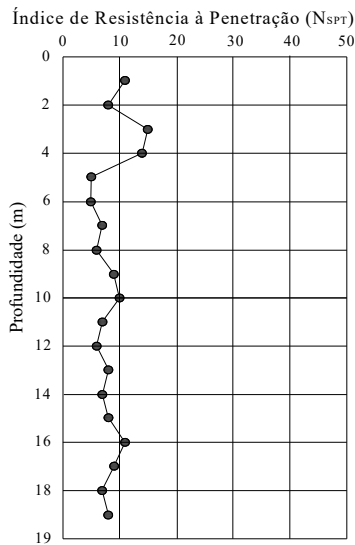


Figura 3. Variação do N_{SPT} ao longo do furo SPT-02.

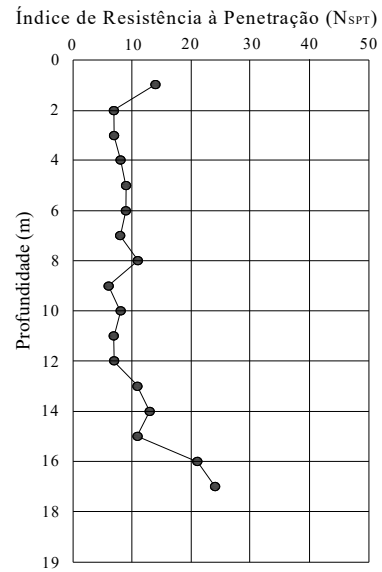


Figura 5. Variação do N_{SPT} ao longo do furo SPT-04.

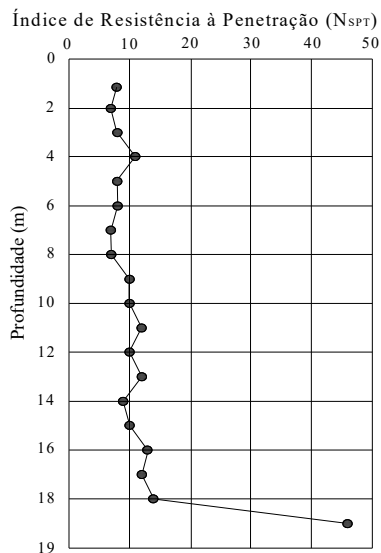


Figura 4. Variação do N_{SPT} ao longo do furo SPT-03.

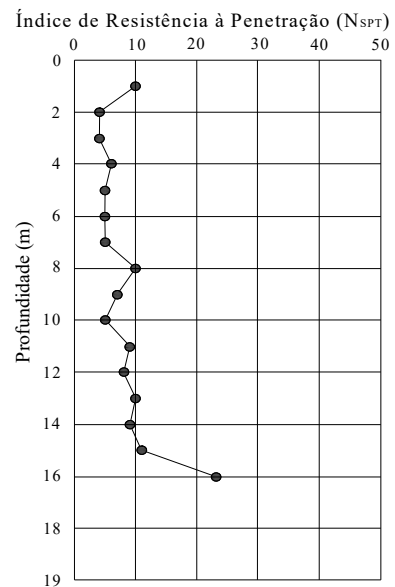


Figura 6. Variação do N_{SPT} ao longo do furo SPT-05.

Além disso, foram executadas cinco estacas do tipo hélice contínua cujo as características geométricas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Característica geométrica das estacas executadas no Setor Industrial de Uberaba-MG.

Denominação	Diâmetro (mm)	Profundidade (m)
Estaca A	500	19,00
Estaca B	500	19,00
Estaca C	500	18,00
Estaca D	500	17,00
Estaca E	500	16,00

Ademais, foram realizadas as previsões de capacidade de carga das estacas pelos métodos de Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996), conforme demonstrado na Tabela 2, utilizando-se dos resultados obtidos nas sondagens SPT e nas características geométricas determinadas.

Tabela 2. Previsões das capacidades de carga pelos métodos semi-empíricos, em tf.

Denominação	Aoki-Velloso (1975)	Décourt-Quaresma (1978)	Antunes e Cabral (1996)
Estaca A	148,11	157,78	130,38
Estaca B	70,04	123,48	74,38
Estaca C	102,92	142,89	74,38
Estaca D	110,31	147,11	117,10
Estaca E	92,16	112,18	96,60

Destaca-se que, para a previsão da capacidade de carga pelo método de Aoki-Velloso (1975) foram utilizados fatores corretivos de F1=2 e F2=4. E para o método de Décourt-Quaresma (1978) utilizou-se $\alpha=0,3$ e $\beta=1,0$.

Posteriormente, as estacas foram submetidas a ensaios de provas de carga estáticas a fim de obter-se as cargas últimas. As curvas “carga versus recalque” são apresentadas nas Figuras 7 a 11.

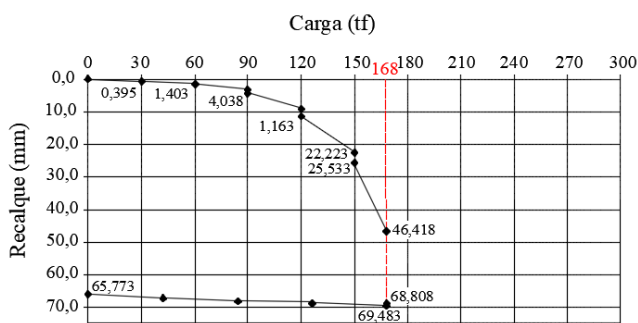


Figura 7. Gráfico da curva “carga versus recalque” para a estaca A.

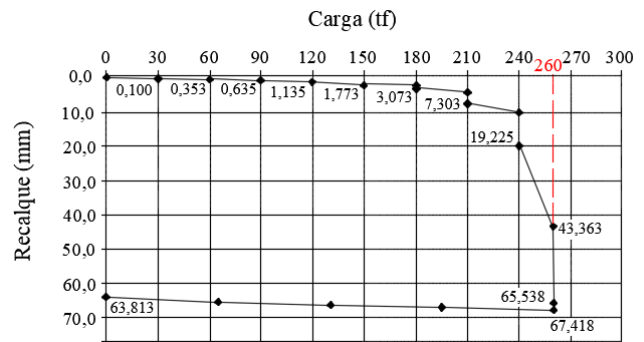


Figura 8. Gráfico da curva “carga versus recalque” para a estaca B.

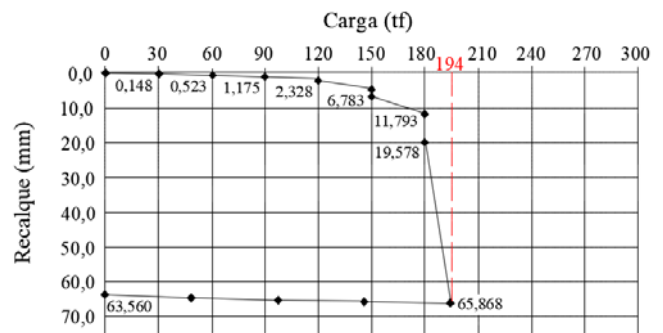


Figura 9. Gráfico da curva “carga versus recalque” para a estaca C.

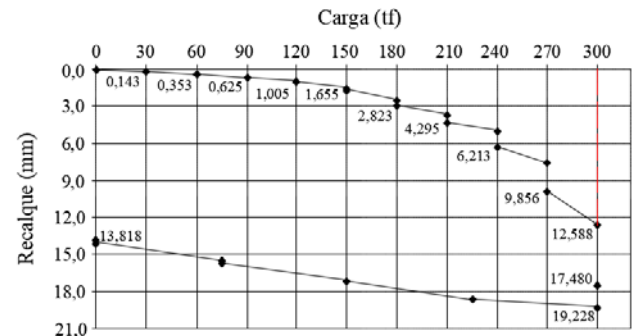


Figura 10. Gráfico da curva “carga versus recalque” para a estaca D.

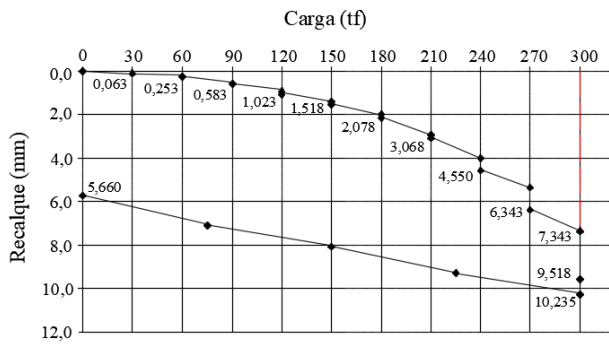


Figura 11. Gráfico da curva “carga versus recalque” para a estaca E.

Na Tabela 3, são apresentadas as cargas últimas determinadas pelas curvas “carga versus recalque”.

Tabela 3. Carga última das estacas, resultante das provas de carga estáticas.

Estaca de Realização da Prova de Carga	Carga última (tf)
Estaca A	168,00
Estaca B	260,00
Estaca C	194,00
Estaca D	300,00
Estaca E	300,00

5.1 Análise dos Resultados

Apresenta-se, nas Figuras 12 a 16, os gráficos que demonstram os resultados de capacidade de carga pelos métodos semi-empíricos e pela prova de carga.

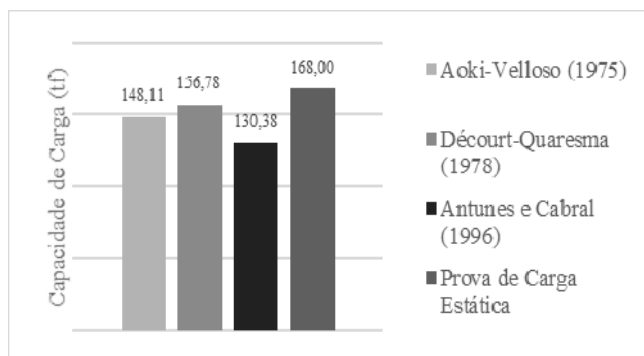


Figura 12. Gráfico dos valores de capacidade de carga pelos métodos semi-empíricos e da prova de carga para a estaca A.

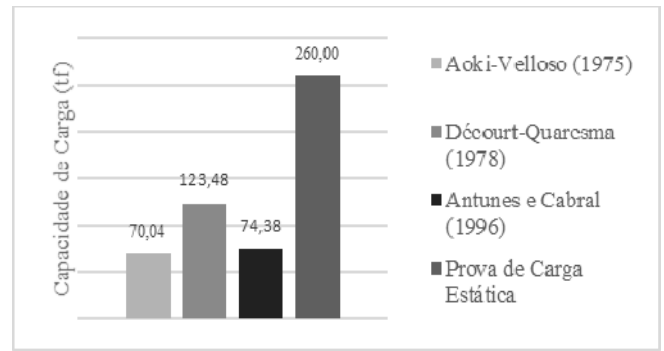


Figura 13. Gráfico dos valores de capacidade de carga pelos métodos semi-empíricos e da prova de carga para a estaca B.

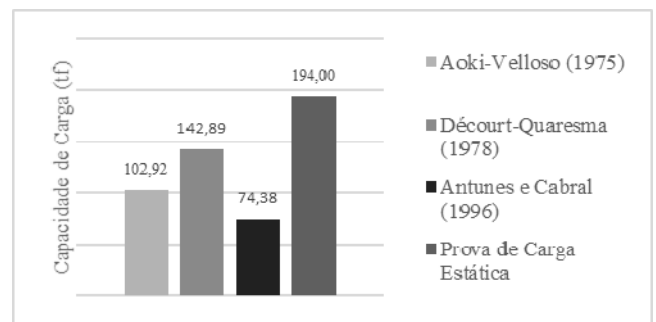


Figura 14. Gráfico dos valores de capacidade de carga pelos métodos semi-empíricos e da prova de carga para a estaca C.

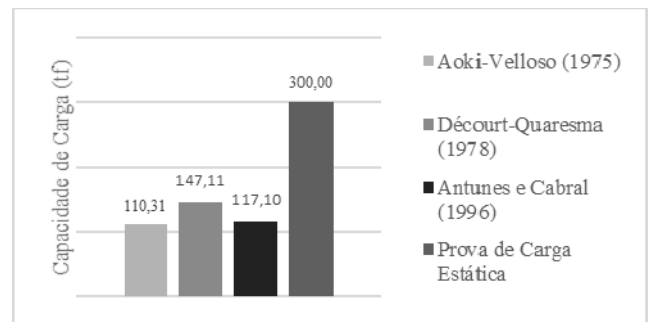


Figura 15. Gráfico dos valores de capacidade de carga pelos métodos semi-empíricos e da prova de carga para a estaca D.

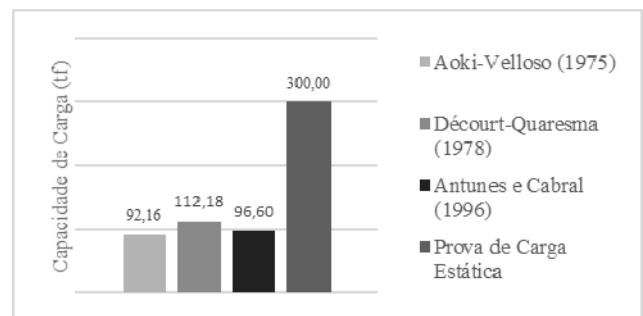


Figura 16. Gráfico dos valores de capacidade de carga pelos métodos semi-empíricos e da prova de carga para a estaca E.

Com isso, pôde-se determinar as diferenças percentuais dos métodos semi-empíricos com relação à prova de carga, conforme exposto nas Tabela 4 a 8.

Tabela 4. Diferença percentual entre a carga última indicada pela prova de carga e as previsões pelos métodos semi-empíricos para a estaca A.

Método	Diferença Percentual (%)
Aoki-Velloso (1975)	-11,84
Décourt-Quaresma (1978)	-6,68
Antunes e Cabral (1996)	-22,40

Tabela 5. Diferença percentual entre a carga última indicada pela prova de carga e as previsões pelos métodos semi-empíricos para a estaca B.

Método	Diferença Percentual (%)
Aoki-Velloso (1975)	-73,06
Décourt-Quaresma (1978)	-52,51
Antunes e Cabral (1996)	-71,39

Tabela 6. Diferença percentual entre a carga última indicada pela prova de carga e as previsões pelos métodos semi-empíricos para a estaca C.

Método	Diferença Percentual (%)
Aoki-Velloso (1975)	-46,95
Décourt-Quaresma (1978)	-26,35
Antunes e Cabral (1996)	-61,66

Tabela 7. Diferença percentual entre a carga última indicada pela prova de carga e as previsões pelos métodos semi-empíricos para a estaca D.

Método	Diferença Percentual (%)
Aoki-Velloso (1975)	-63,23
Décourt-Quaresma (1978)	-50,96
Antunes e Cabral (1996)	-60,97

Tabela 8. Diferença percentual entre a carga última indicada pela prova de carga e as previsões pelos métodos semi-empíricos para a estaca E.

Método	Diferença Percentual (%)
Aoki-Velloso (1975)	-69,28
Décourt-Quaresma (1978)	-62,61
Antunes e Cabral (1996)	-67,80

Quando comparados os resultados das previsões de capacidade de carga, percebeu-se que o método que mais se aproximou, no geral, do

resultado da prova de carga foi o de Décourt-Quaresma (1978). Para as estacas A e C, o método com estimativas mais conservadoras foi o de Antunes e Cabral (1996), e para as estacas B, D e E, foi o método de Aoki-Velloso (1975).

É apresentado, na Tabela 9, os fatores de segurança das provas de carga com relação à carga de trabalho, que é, nesse caso, de 150 tf.

Tabela 9. Fatores de segurança para as provas de carga das estacas ensaiadas.

Estaca Submetida à Prova de Carga	Fator de Segurança
Estaca A	1,12
Estaca B	1,73
Estaca C	1,29
Estaca D	2,00
Estaca E	2,00

Observa-se que, as estacas A e C não atenderam o critério mínimo estabelecido pela ABNT (1996), que determina fator de segurança mínimo de 1,6 para estacas com prova de carga. Já as estacas B, D e E atenderam ao proposto em norma.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os dados apresentados e analisados, pôde-se perceber um maior conservadorismo por parte dos métodos de Aoki-Velloso (1975) e Antunes e Cabral (1996) com relação ao método de Décourt-Quaresma (1978), para esse caso de estudo.

Acredita-se que as diferenças apresentadas entre os métodos está relacionada ao fato de cada método ter sido inicialmente proposto em regiões distintas. Apesar disso, todos os métodos demonstraram-se a favor da segurança, para esse caso de estudo. Já quando foram realizadas as provas de carga nas estacas, percebeu-se que as estacas A e C não demonstraram-se a favor da segurança, devido os fatores de segurança terem sido inferiores a 1,6. Acredita-se que falhas durante a execução das estacas, ou mesmo durante o ensaio de carregamento estático tenham ocasionado esses resultados.

Recomenda-se a avaliação de outros métodos de previsão de capacidade de carga a

fim de verificar as possíveis disparidades, bem como verificação da influência do comprimento das estacas, pressão de injeção e outras influências na execução de estacas do tipo hélice contínua.

de Textos.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa do autor³.

REFERÊNCIAS

- Antunes, W.R e Cabral, D.A. (1996). Capacidade de carga em estacas hélice contínua. 3º Seminário de Engenharia de Fundações e Geotecnia. São Paulo, 2: 105 - 109.
- Aoki, N. e Velloso, D. A. (1975) An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. Proceedings of Panamerican CSMFE. Buenos Aires, ARG. v. 1, p. 367 – 376.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 12131. (2006). Estacas – Prova de carga estática: método de ensaio. Rio de Janeiro. 8 p.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 6122. (2010). Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro.
- Cintra, J. C. A., Aoki, N. (2010). Fundações por estacas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos.
- Danziger, F. A. B. (2008). Fundações. Notas de aula, Escola politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Décourt, L., Quaresma, R. (1978) Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: Anais do CBMSEF. Rio de Janeiro, RJ. v. 1, p. 45 – 53.
- Hachich, W., Falconi, F.F., Saes, J.L., Frota, R.G.Q., Carvalho, C.S. & Niyama, S. (1996). Fundações Teórica e Prática. 1 edição, Ed. PINI, São Paulo, SP.
- Lázaro, A. A., Wolle, C. M. (2004). Estacas Hélice contínua: correlações entre a monitoração e características do solo. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia. São Paulo: ABMS.
- Neto, J. A. A. (2002). Análise do Desempenho de Estacas Hélice Contínua e Ômega – Aspectos Executivos. Dissertação de Mestrado. EPUSP, São Paulo, SP.
- Paschoalin, J.A.F., Carvalho, D., Albuquerque, P.J. de R., Nogueira, R.C.R. (2008). Comportamento à tração de estacas tipo hélice contínua executadas em solo de diabásio. Exacta São Paulo, v.6, n.1, p. 75-82.
- Terzaghi, K.; Peck, R. B. (1967). Soil Mechanics in engineering practice. 2 ed. New York: John Wiley and Sons.
- Velloso, D. A.; Lopes, F. R. (2010). Fundações: Volume 2 – Fundações Profundas. São Paulo: Editora Oficina