

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/274

Análise estatística de métodos semiempíricos de previsão de capacidade de carga aplicados a estacas hélice contínua monitorada no município de Fortaleza

Carlos Eduardo de Sousa Pinto

Engenheiro Civil, Unichristus/Octha Engenharia, Fortaleza, Brasil, carloseduardo.speng@gmail.com

Fernando Feitosa Monteiro

Professor, Unichristus, Fortaleza, Brasil, fernando.monteiro@unichristus.edu.br

Caio Augusto Mota de Macedo

Engenheiro Civil, Unichristus/Qualitas Estrutural, Fortaleza, Brasil, caiomacedo679@gmail.com

Alfran Sampaio Moura

Professor Associado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, alfransampaio@ufc.br

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Professor Associado, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

RESUMO: O emprego de estacas do tipo hélice contínua monitorada tem sido progressivamente adotado no Brasil, particularmente em Fortaleza, Ceará, desde o início do século XXI. Embora existam vários métodos semiempíricos para determinar a estimativa da capacidade de carga de estacas do tipo hélice contínua monitorada, é necessário avaliá-los em relação à sua precisão e confiabilidade. A estimativa da capacidade de carga de fundações por estacas baseia-se em dois requisitos: a geometria da fundação e as características do solo em que está assentada. Neste trabalho, foram utilizados dados de sondagens SPT e de onze provas de carga estáticas em cinco obras localizadas no município de Fortaleza, no estado do Ceará. Dessa forma, este estudo tem como objetivo comparar os resultados obtidos nas estimativas de capacidade de carga pelos métodos de Aoki e Velloso (1975), Aoki e Velloso (1975) modificado por Laprovitera (1978), Benegas (1983), Décourt e Quaresma (1978), e Antunes e Cabral (1996) com os resultados interpretados a partir dos resultados de prova de carga estática. A análise estatística das estimativas realizadas pelos métodos semiempíricos foi conduzida por meio do Ranking Index (RI) modificado. Com base nessa análise, os métodos de Aoki e Velloso (1975) modificados por Laprovitera (1978), Benegas (1983), e Antunes e Cabral (1996) com coeficientes máximos destacaram-se como os mais assertivos na previsão da capacidade de carga das estacas avaliadas neste estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de carga, Estaca hélice contínua monitorada, Fundações Profundas, Prova de carga, Fortaleza.

ABSTRACT: The use of continuous flight auger (CFA) piles has been progressively adopted in Brazil, particularly in Fortaleza, Ceará, since the beginning of the 21st century. Although there are several semi-empirical methods for estimating the load capacity of monitored continuous flight auger (CFA) piles, it is necessary to assess them in terms of their accuracy and reliability. The estimation of pile foundation load capacity is based on two requirements: the foundation's geometry and the characteristics of the soil on which it is installed. In this study, data from Standard Penetration Tests (SPT) and eleven static load tests on five works located in the municipality of Fortaleza, in the state of Ceará, were used. Thus, this study aims to compare the results obtained in load capacity estimates by the methods of Aoki and Velloso (1975), Aoki and Velloso (1975) modified by Laprovitera (1978), Benegas (1983), Décourt and Quaresma (1978), and Antunes and Cabral (1996) with the results interpreted from the static load test results. The statistical analysis of the estimates made by the semi-empirical methods was conducted using the modified Ranking Index (RI). Based on this analysis, the methods of Aoki and Velloso (1975) modified by Laprovitera (1978), Benegas (1983), and Antunes and Cabral (1996) with maximum coefficients stood out as the most accurate in predicting the load capacity of the piles evaluated in this study.

KEYWORDS: Load capacity, Monitored continuous flight auger pile, Deep foundations, Load test, Fortaleza.

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e a magnitude dos projetos de arquitetura em todo o país, surge a necessidade de os projetos de fundações apresentarem métodos eficientes e com o melhor custo-benefício, a fim de garantir a segurança, a economia de recursos e a redução do tempo de obra. De acordo com as condições da região onde será localizada a edificação, profissionais atuantes em projetos de estruturas de fundações estão constantemente em busca de soluções estruturais que possuam bom desempenho técnico e sejam economicamente viáveis. Em Fortaleza, observa-se um rápido e elevado crescimento no uso de estacas do tipo hélice contínua monitorada, atendendo às solicitações do projeto. No entanto, para garantir a segurança e o sucesso da obra, é importante realizar investigações geotécnicas para determinar as propriedades do solo ao longo de sua profundidade e verificar a viabilidade da utilização desta solução. Segundo Rocha (2013), uma das principais investigações geotécnicas realizadas para avaliar a viabilidade do uso de estacas hélice contínua monitorada (HCM) é o ensaio SPT (Standard Penetration Test). Este ensaio de campo é um dos ensaios mais comumente utilizados em investigações geotécnicas em obras residenciais. Esse ensaio permite a identificação da compactidade e da consistência de solos granulares e solos coesivos, bem como o índice de resistência à penetração do solo (N_{SPT}).

Após a coleta dos resultados das investigações geotécnicas e do fornecimento de dados advindos do projeto estrutural, é necessário interpretá-los e analisá-los para realizar o devido dimensionamento dos elementos de fundação. Contudo, ajustes são necessários, por meio de coeficientes e com o auxílio da estatística, para determinar o método mais adequado para estimar a capacidade de carga de estacas do tipo HCM, de modo a determinar o comprimento total ideal para cada um dos elementos solicitados no projeto de fundações. Assim, torna-se evidente a necessidade de avaliar a eficácia de metodologias semiempíricas de capacidade de carga aplicadas a estacas do tipo hélice contínua monitorada, de modo que o dimensionamento realizado durante a etapa de concepção dos projetos de fundações apresente resultados mais precisos e confiáveis para estimar a capacidade de carga das estacas do tipo HCM para o município de Fortaleza. Este trabalho tem como objetivo geral realizar uma investigação da eficiência de métodos semiempíricos para a estimativa da capacidade de carga estacas do tipo HCM, utilizando dados de provas de carga em obras localizadas na cidade de Fortaleza.

2 RANKING INDEX – RI

Abu-Farsakh e Titi (2004) relatam que o uso da análise estatística aplicada a métodos de capacidade de carga de estacas foi feito por Briaud e Tucker (1988) e Long e Wysockey (1999) e tinha como objetivo avaliar o desempenho dos métodos de previsão de capacidade de carga de estacas. Com isso, os autores complementam que Briaud e Tucker (1988) Long e Wysockey (1999) sugeriram o uso de uma distribuição logarítmica da capacidade de carga estimada e da capacidade de carga medida em prova de carga ($Q_{estimado}/Q_{medido}$) para avaliar o desempenho dos métodos de previsão da capacidade de carga de estacas e utilizar os resultados como um indicativo para classificar diferentes métodos, com base na precisão da previsão de capacidade de carga e, assim, poder definir o melhor método a ser empregado na concepção do projeto de estrutura de fundações.

Na análise estatística, a média (μ) e o desvio padrão (σ) das razões (Q_p/Q_m) dos valores de capacidade de carga previstos (Q_p) e medidos (Q_m) são indicadores importantes da acurácia e da precisão dos métodos de previsão de capacidade de carga. Um método acurado e preciso apresenta $\mu(Q_p/Q_m) = 1$ e $\sigma(Q_p/Q_m) = 0$, respectivamente, o que significa que para cada estaca, a capacidade calculada da estaca é igual à medida. Este caso é ideal, porém, na realidade o método é melhor quando $\mu(Q_p/Q_m)$ está mais próximo de 1 e $\sigma(Q_p/Q_m)$ está mais próximo de 0. Neste presente trabalho, serão considerados dois dos critérios (R_1 e R_2) propostos por Abu-Farsakh e Titi (2004) para a classificação do desempenho de diferentes métodos de previsão de capacidade de carga, sendo eles:

1. As equações da linha de melhor ajuste da capacidade estimada (Q_p) e da capacidade medida (Q_m) com o correspondente coeficiente de correlação (R^2) e valor do coeficiente angular da reta ajustada, sendo este denominado como a nota R_1 , conforme indicado na Figura 1.
2. A média aritmética e desvio padrão da razão dos valores de capacidade de carga previstos e medidos (Q_p/Q_m) das estacas analisadas para cada método, sendo esta denominada como a nota R_2 ;

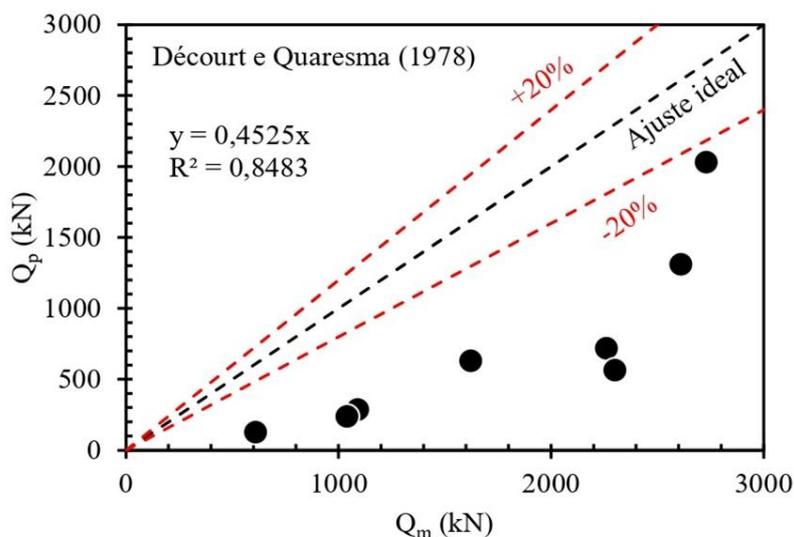


Figura 1 - Gráfico da capacidade de carga estimada (Q_p) versus capacidade de carga medida (Q_m).

A partir desses dois resultados, obtém-se o Ranking Index (RI) modificado a partir de Abu-Farsakh e Titi (2004), sendo este a soma de R_1 e R_2 . Cada método analisado é listado e classificado de acordo com a proximidade do cenário ideal próximo de um para o valor da razão (Q_p/Q_m) e R^2 , por R_1 , e com a média próxima a um e o desvio padrão próximo de zero, por R_2 . Quanto menor o valor do Ranking Index (RI), melhor é o desempenho do método. Maiores detalhes sobre a metodologia de análise estatística empregada pode ser encontrada em Abu-Farsakh e Titi (2004).

3 ESTUDO DE CASO

A metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho segue as seguintes etapas: revisão bibliográfica, coleta de dados de sondagens SPT e de provas de carga obtidas em Scipião (2019) e Dias (2016), cálculo da capacidade de carga estimada a partir dos métodos de Aoki Velloso (1975), Aoki Velloso modificado por Laprovitera e Benegas (1988), Décourt e Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996), análise estatística a partir do RI modificado para os métodos de estimativa de capacidade de carga utilizados, classificação dos métodos a partir do RI modificado e avaliação dos resultados. As regiões estudadas foram escolhidas de acordo com suas demandas de uso de estacas do tipo hélice contínua monitorada como solução para o projeto de estruturas de fundação, com obras localizadas na cidade de Fortaleza, Ceará.

Foram coletados dados de ensaios SPT (ABNT, 2001) e provas de carga estática (ABNT, 2006) de cinco obras localizadas no município de Fortaleza, no estado do Ceará. Deste modo, foram obtidos dados para análise e classificação dos métodos de previsão da capacidade de carga determinada por metodologias semiempíricas para onze estacas do tipo HCM. As obras analisadas estão localizadas nos bairros de Messejana (obra 1), Jacarecanga (obra 2), Joaquim Távora (obra 3) e Eng. Luciano Cavalcante (obra 4 e 5). O perfil estratigráfico do solo da obra 1 apresenta uma camada de solo areno-argiloso com 10,5 m de espessura, seguido por uma camada de solo de alteração de rocha muito compactado. Na camada areno argilosa, o N_{SPT} médio é de 23, ao passo que na camada de solo de alteração de rocha o N_{SPT} médio é da ordem de 50. O perfil estratigráfico da obra 2 é composto por uma extensa camada de areia siltosa com N_{SPT} médio da ordem de 15. Na obra 3, o perfil estratigráfico é composto por uma camada de areia com espessura de 12,5 m, seguida por uma camada de argila arenosa de 7 m. Na camada de areia, o N_{SPT} médio é de 12, ao passo que na camada de argilosa arenosa, o N_{SPT} médio é da ordem de 20. O perfil estratigráfico da obra 4 é composto por uma extensa camada de areia argilosa com N_{SPT} médio da ordem de 20. De forma semelhante, na obra 5, o perfil estratigráfico é composto por uma camada de areia argilosa com espessura de 15 m com N_{SPT} médio da ordem de 22. Na Tabela 1, são apresentadas geométricas das estacas, bem como informações relativas aos ensaios de prova de carga realizados, tais como deslocamento e carregamento máximo. A Tabela 2 apresenta os métodos estáticos de estimativa de capacidade de carga utilizados na pesquisa, bem como as respectivas legendas adotadas para análise dos resultados. As Figuras 2, 3 e 4 exibem as curvas carga versus recalque obtidas a partir dos ensaios de prova de carga estática conduzidos para as estacas avaliadas neste trabalho.

Tabela 1. Características geométricas e de carregamento das estacas analisadas.

Obra	Estaca	Comprimento (m)	Diâmetro (m)	Deslocamento Máximo (mm)	Carga de Ensaio (kN)
1	1	12,00	0,40	15,14	2250
	2	12,00	0,50	12,80	3150
	3	10,00	0,40	25,76	1050
	4	10,00	0,50	25,45	3150
2	5	12,40	0,60	10,10	3300
	6	11,70	0,60	13,10	3300
3	7	20,96	0,60	7,62	3300
	8	20,56	0,60	7,17	3300
4	9	12,08	0,60	2,23	2240
	10	11,12	0,60	2,45	2240
5	11	14,72	0,50	6,86	2200

Tabela 2. Métodos semiempíricos de capacidade de carga empregados para análise das estacas avaliadas.

Método	Legenda
Aoki e Velloso (1975)	AV (1975)
Aoki e Velloso (1975) - Modificado por Laprovitera (1988) e Benegas (1993)	AV (1975) - LB (1978;1983)
Décourt e Quaresma (1978)	DQ (1978)
Antunes e Cabral (1996) adotando coeficientes mínimos	AC (1996) - MN
Antunes e Cabral (1996) adotando coeficientes máximos	AC (1996) - MX

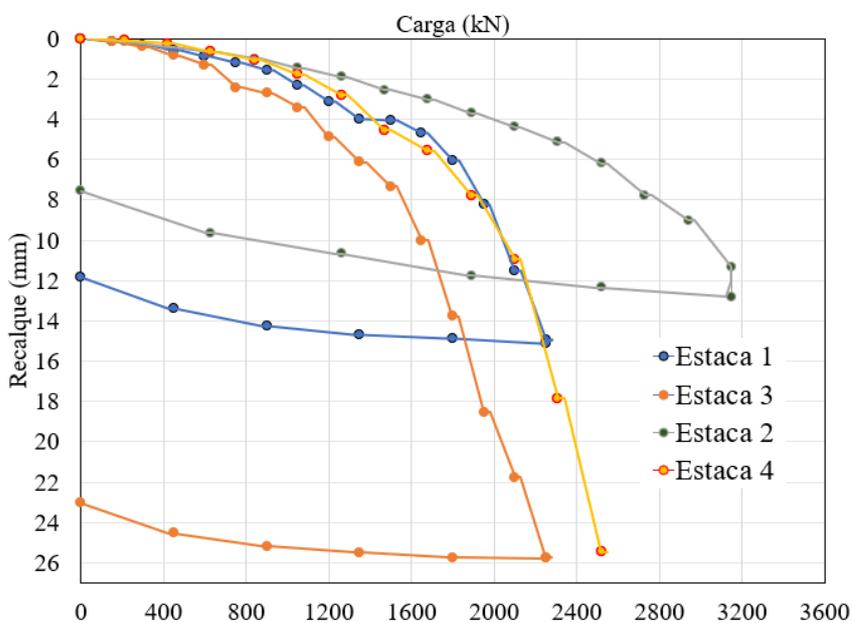


Figura 2. Curvas carga versus recalques das estacas 1 a 4.

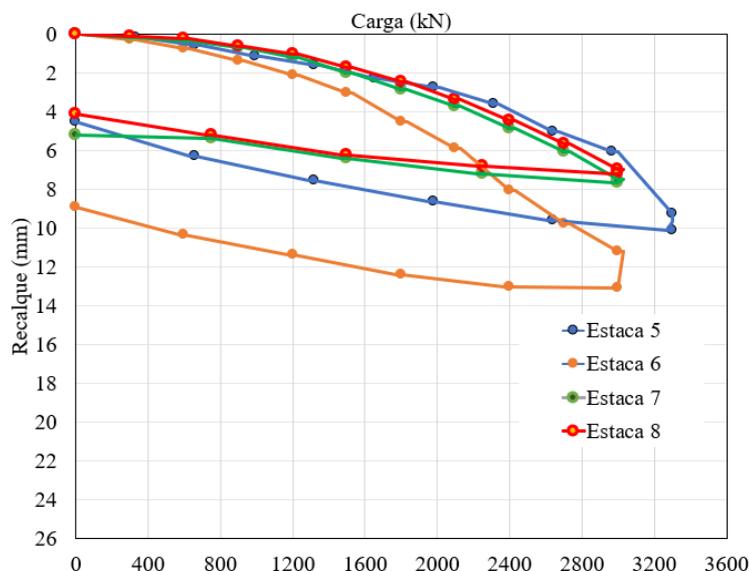


Figura 3. Curvas carga *versus* recalques das estacas 5 a 8.

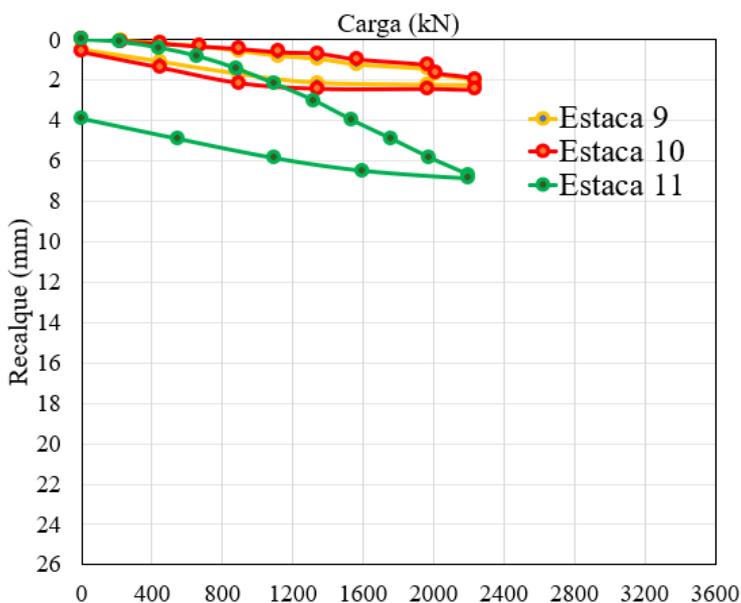


Figura 4. Curvas carga *versus* recalques das estacas 9 a 11.

Em alguns casos, não foi possível verificar uma ruptura geotécnica caracterizada na curva carga *versus* recalque. Deste modo, a extrapolação da prova de carga foi realizada a partir da metodologia de Décourt (1996). A partir da interpretação das curvas carga *versus* recalque extrapoladas, adotou-se o critério de deslocamento de 10% do diâmetro para obter a carga de ruptura convencional (CEN, 2004).

4 RESULTADOS

Neste item são apresentadas as estimativas de capacidade de carga realizadas a partir de métodos semiempíricos, bem como as cargas de ruptura interpretadas a partir das curvas carga *versus* recalque das estacas avaliadas neste trabalho. A Tabela 3 apresenta a estimativa de capacidade de carga para as onze estacas avaliadas a partir do emprego dos métodos de Aoki Velloso (1975), Aoki Velloso modificado por Laprovitera e Benegas (1988), Décourt e Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996). A Tabela 4 exibe os valores de carga de ruptura convencional para as estacas analisadas a partir do método do Eurocode 7 (CEN,2004).

Tabela 3. Capacidade de carga estimada a partir dos métodos semiempíricos avaliados (valores em kN).

Estaca	AV (1975)	AV (1975) - LB (1978, 1983)	DQ (1978)	AC (1996) - MN	AC (1996) - MX
1	2021	2177	3265	2156	2570
2	2840	3082	4867	2853	3369
3	1533	2453	2691	1608	1885
4	2247	3617	4023	2168	2513
5	2148	3242	4405	2559	2916
6	1246	1881	2634	2095	2618
7	3902	3953	7952	3131	3893
8	3808	3865	7070	3055	3921
9	3308	5513	2279	2503	2846
10	3422	5632	2374	2631	3007
11	3179	3599	5189	2966	3511

Tabela 4. Valores de carga de ruptura convencionadas por Eurocode 7 (CEN, 2004)

Estaca	Carga de ruptura convencionada (kN)
1	2492
2	3957
3	2272
4	2469
5	4529
6	3918
7	3985
8	3844
9	5286
10	3628
11	3403

A Tabela 3 apresenta os valores de capacidade de carga estimados (Q_p) a partir das metodologias semiempíricas, enquanto a Tabela 4 indica os valores de capacidade de carga medidos (Q_m) em prova de carga a partir da extrapolação e interpretação das curvas carga *versus* recalque das estacas avaliadas. Com base nos valores de capacidade de carga estimados (Q_p) para cada método semiempírico de previsão e nos valores medidos (Q_m) em prova de carga para cada estaca, torna-se possível elaborar gráficos semelhantes ao apresentado na Figura 1. Deste modo, é possível realizar uma regressão linear para os valores estimados e medidos, obtendo assim o valor do coeficiente de correlação (R^2) para cada metodologia de previsão e o valor do coeficiente angular da reta de ajuste, obtendo assim, a nota R_1 da metodologia proposta pelo *Ranking Index* (RI). Além disso, a partir da média aritmética e desvio padrão da razão dos valores de capacidade de carga previstos e medidos (Q_p/Q_m) das estacas analisadas para cada método, é possível determinar a nota R_2 . Por fim, é realizada uma classificação das metodologias a partir da soma das duas notas obtidas. A metodologia mais precisa e acurada é a que apresenta o menor valor de RI. A Tabela 5 exhibe os valores de RI modificado para as metodologias de previsão de capacidade de carga analisadas para as estacas do tipo HCM assentes no município de Fortaleza.

Tabela 5. Valores de RI para as metodologias de previsão de capacidade de carga analisadas.

Método	Classificação para o R1			Classificação para o R2			Ranking Final	
	Q_p/Q_m	R^2	R_1	Média	Desvio Padrão	R_2	$RI = R_1 + R_2$	Classificação final
AV (1975)	0,73	0,91	4	0,76	0,22	4	8	4
AV (1975) - LB (1978;1983)	0,96	0,92	1	1,00	0,31	1	2	1
DQ (1978)	1,12	0,82	3	1,22	0,51	3	6	3
AC (1996) - MN	0,67	0,96	5	0,72	0,14	5	10	5
AC (1996) - MX	0,80	0,95	2	0,86	0,18	2	4	2

A partir da análise do critério do RI modificado, verificou-se que o método de Aoki e Velloso (1975) modificado por Laprovitera (1978) e Benegas (1983) foi classificado, diante das condições limitadoras desta pesquisa, como o método mais indicado para estimativa da capacidade de carga para estacas HCM, levando em consideração sua razão entre os valores de capacidade de carga estimados e os valores de capacidade de carga obtidos a partir de provas de carga, seguido pelos métodos de Antunes e Cabral (1996) adotando coeficientes máximos, Décourt e Quaresma (1978), Aoki e Velloso (1975) e Antunes e Cabral (1996) adotando coeficientes mínimos, respectivamente.

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho, propôs-se uma análise estatística de métodos semiempíricos para a previsão da capacidade de carga de estacas do tipo hélice contínua monitorada no município de Fortaleza, no estado do Ceará. A partir dessa análise, buscou-se indicar quais desses métodos de previsão apresentam maior assertividade com base nas condições limitantes desta pesquisa, quando comparados aos resultados obtidos por meio das provas de carga realizadas nas obras referenciadas, situadas em cinco bairros da capital.

As metodologias de previsão de capacidade de carga analisadas possuem como parâmetros de entrada, valores obtidos a partir de ensaios SPT e características geométricas das estacas. A partir desses dados, foi possível estimar a capacidade de carga das estacas analisadas a partir dos métodos de Aoki e Velloso (1975), Aoki e Velloso (1975) modificado por Laprovitera (1978), Benegas (1983), Décourt e Quaresma (1978) e Antunes e Cabral (1996).

As estacas foram submetidas a ensaios de prova de carga, obtendo assim curvas carga *versus* recalque, posteriormente extrapoladas e interpretadas com o objetivo de identificar a carga máxima de ruptura. A partir desses dados, foi possível realizar uma comparação entre as cargas previstas pelos métodos semiempíricos e as cargas de ruptura, com o intuito de mensurar a precisão dos métodos de previsão de capacidade de carga empregados.

A classificação das metodologias foi baseada pela análise estatística do Ranking Index (RI) modificada, de acordo com os parâmetros R_1 e R_2 do método. Apesar dos dados de sondagens e provas de carga estarem restritos a cinco obras em Fortaleza - CE, é possível obter conclusões iniciais sobre o comportamento geral das estacas HCM na cidade.

Embora alguns métodos de previsão da capacidade de carga tenham apresentado resultados mais precisos do que outros, os estudos sobre esse assunto permitem seguir com a obtenção e análise de dados para aprimorar os resultados obtidos. Desse modo, torna-se possível realizar os devidos ajustes nos modelos com o objetivo de aumentar a precisão e a confiabilidade das estimativas de capacidade de carga. A partir dessas ações, será possível obter mais dados e analisar se a tendência se mantém nos mesmos bairros ou em diferentes partes da cidade, visando uma conclusão mais assertiva.

Diante dos dados analisados neste trabalho, é possível deduzir algumas conclusões gerais:

- Com base nos valores de capacidade de carga estimados e medidos, foi possível verificar que o método de Aoki e Velloso (1975) modificado por Laprovitera (1978) e Benegas (1983) apresenta

a maior precisão e acurácia na estimativa da capacidade de carga das estacas do tipo HCM no município de Fortaleza, para os dados até então avaliados.

- Na mesma análise do RI, o método de Antunes e Cabral (1996) com coeficientes mínimos apresentaram a última colocação, ou seja, os maiores valores de RI, sendo assim, os menos recomendados, para os dados até então avaliados.
- No geral, os quatro métodos abordados neste trabalho apresentam características semelhantes, fornecendo estimativas conservadoras para a grande maioria das estacas analisadas, considerando as premissas adotadas para alcançar esses resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Farsakh, M.Y., Titi, H.H. (2004) Assessment of Direct Cone Penetration Test Methods for Predicting the Ultimate Capacity of Friction Driven Piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(9), p. 935-944.
- Aoki, N., Velloso, D.A. (1975) An Approximate Method to Estimate Vertical Load Capacity of Piles. In: 5th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Buenos Aires. *Proceedings... ISSMGE*. v. 1, p 367-376.
- 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, São Paulo. *Anais... ABMS*. v. 2, p. 105-109.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001) NBR 6484. *Solo – sondagens de simples reconhecimento com SPT – método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006) NBR 12131. *Estacas- Prova de carga estática: método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Benegas, H. (1993) *Previsões para a curva carga-recalque de estacas a partir do SPT*. 2013. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, COPPE / UFRJ.
- Briaud, J. L, Tucker, L. M. (1988) Measured and predicted axial response of 98 piles. *J. Geotech Eng*, 114(9), p. 984-1001.
- Comité Européen de Normalização (2004) EN 1997-1: Eurocode 7. *Geotechnical Design – Part 1: General rules*. Bruxelas.
- 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 Fundações - CBMSEF 6, São Paulo. *Anais... ABMS*. v. 1, p. 45-53.
- Décourt, L. (1996) A ruptura de fundações avaliada com base no conceito de rigidez. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia - SEFE 3, São Paulo. *Anais... ABMS*. v. 1, p. 215-224.
- Dias, I. L. (2016) *Análise de dados de monitoramento da execução de estacas hélice contínua monitorada em Fortaleza - CE*. (2016). Trabalho de conclusão de curso, Universidade de Fortaleza, 167p.
- Laprovitera, H. (1988) *Reavaliação de método semiempírico de previsão da capacidade de carga de estacas a partir de banco de dados*. 2013. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, COPPE / UFRJ.
- Long, J. H, Wysockey, M. H. (1999) Accuracy of methods for predicting axial capacity of deep foundations. In: OTRC '99 Conference: Analysis, Design, Construction, and Testing of Deep Foundation, Reston. *Proceedings... ASCE*. v. 1, p 190-195.
- Rocha, B. P. (2013) *Emprego do ensaio SPT sísmico na investigação de solos tropicais*. 2013. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 117 p.
- Scipião, C. C. (2019) *Análise da previsão da capacidade de carga à tração de estacas hélice contínua em solo granular e proposta de alternativas*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de engenharia hidráulica e ambiental, Univrsidade Federal do Ceará/UFC, 105p.