XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/91

Prova de carga estática em estacas: Análise comparativa da capacidade de carga última por métodos teóricos/semiempíricos e métodos de extrapolação

Erland González Leaño
Doutor em Geotecnia, GEOCOBA, Rio de Janeiro, Brasil, gonzalez.erland@gmail.com

Rodman Raúl Córdova Rodriguez
Doutor em Geotecnia, GEOCOBA, Rio de Janeiro, Brasil, eng.raulcordova@gmail.com

Jaime Rodrigo Tamayo Aguilar
Doutorando em Geotecnia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, jrodrigo.tamayo@gmail.com

RESUMO: A determinação da capacidade de carga última de estacas constitui etapa fundamental no dimensionamento de fundações profundas, sendo comum a utilização de diferentes abordagens para sua estimativa. O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise comparativa da capacidade de carga última de quatro estacas tipo hélice contínua, confrontando os resultados obtidos por meio do método teórico e semiempíricos consagrados na prática geotécnica e prova de carga extrapolando a carga de ruptura mediante os métodos de extrapolação da curva carga–recalque. Foi utilizado o método teórico desenvolvido por Terzaghi (1943) e para as metodologias semiempíricas foram aplicados os métodos propostos por Aoki-Velloso (1975) bem como de Décourt-Quaresma (1978). Já para os métodos de extrapolação foram empregadas as metodologias propostas por Van Der Veen (1953), Chin-Kondner (1970), Décourt (1996) e pela ABNT NBR 6122:2022. Os resultados indicaram variações significativas entre as metodologias avaliadas, evidenciando que os métodos de extrapolação apresentaram melhor aproximação em relação ao valor experimental, enquanto alguns métodos semiempíricos demonstraram maior sensibilidade às características do perfil de solo.

PALAVRAS-CHAVE: Prova de carga estática, Estacas escavadas tipo hélice contínua, Curva carga–recalque, Métodos de extrapolação.

ABSTRACT: The determination of the ultimate bearing capacity of piles is a fundamental step in the design of deep foundations, and different approaches are commonly used for its estimation. The present study aims to perform a comparative analysis of the ultimate bearing capacity of four continuous flight auger (CFA) piles, confronting the results obtained from theoretical and well-established semi-empirical methods in geotechnical practice with those derived from static load tests, in which the failure load was determined through load–settlement curve extrapolation methods. The theoretical evaluation was carried out using the method proposed by Karl Terzaghi (1943). The semi-empirical assessment was performed using the methods developed by Aoki and Velloso (1975), as well as by Décourt-Quaresma (1978). For the extrapolation of the ultimate load from the load–settlement curves, the methods proposed by Van der Veen (1953), Chin–Kondner (1970), Décourt (1996), and the criterion established by the Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6122:2022 were adopted. The results indicated significant variations among the evaluated methodologies, showing that the extrapolation methods provided a better approximation to the experimental values, while some semi-empirical methods demonstrated greater sensitivity to the characteristics of the soil profile.

KEYWORDS: Static load test, Continuous flight auger (CFA) piles, Load–settlement curve, Extrapolation methods.

1 INTRODUÇÃO

A determinação da capacidade de carga de fundações profundas constitui uma das etapas mais relevantes no dimensionamento geotécnico, influenciando diretamente a segurança e a economia das obras. Entre os diferentes tipos de fundações profundas, as estacas hélice contínua têm sido amplamente empregadas em virtude da elevada produtividade executiva, redução de vibrações e bom desempenho estrutural (Danziger, 2021).

O cálculo da capacidade de carga última dessas estacas pode ser realizado por meio de distintas metodologias, destacando-se: (i) método teórico, (ii) métodos semiempíricos e (iii) métodos de extrapolação para provas de carga estática, caso a prova de carga não tenha atingido a ruptura.

2 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho foi comparar os resultados da previsão da capacidade de carga última de quatro estacas, estimados por diferentes abordagens de cálculo. Para a avaliação teórica, foi empregado o método clássico proposto por Terzaghi (1943).

No âmbito dos métodos semiempíricos, foram utilizadas as formulações propostas por Aoki-Velloso (1975), bem como por Décourt e Quaresma (1978). Para a determinação da carga última a partir das curvas carga–recalque das provas de carga, foram adotados os métodos de extrapolação propostos por Van der Veen (1953), Chin–Kondner (1970), Décourt (1996), além do critério estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas por meio da ABNT NBR 6122 (2022).

3 MÉTODOS ANÁLITICOS PARA DETERMINAR A CAPACIDADE DE CARGA

A capacidade de carga ou resistência total (R_T), apresentada na equação (1), de uma estaca é constituída por duas parcelas: a resistência de ponta ou resistência de base (R_P), mobilizada na extremidade inferior da estaca em contato com o solo de apoio, e a resistência lateral ou resistência por atrito ao longo do fuste (R_L), desenvolvida ao longo da interface solo–estaca.

$$R_T = R_P + R_L \tag{1}$$

3.1 Método teórico proposto por Terzaghi (1943)

Para este trabalho a estimativa da capacidade de carga ou resistência total (R_T) foi abordado o método clássico proposto por Terzaghi (1943), fundamentado nos princípios da Teoria da Plasticidade.

A determinação da resistência de ponta (R_P), é estabelecida em função da resistência ao cisalhamento do solo (na condição drenada ou não drenada dependendo do caso) na região de apoio da estaca considerando os parâmetros de resistência do solo e o mecanismo de ruptura generalizada, mostrado na equação (2), onde c' a coesão, σ'_v a tensão vertical efetiva na profundidade da base da estaca, N_c e N_q os fatores de capacidade de carga (função do angulo de atrito φ'), S_c e S_q os fatores de forma e A_p a área da base da estaca.

A resistência lateral (R_L) é estimada a partir da mobilização das tensões de cisalhamento ao longo do fuste (interface solo–estaca), sendo o cálculo realizado de maneira análoga ao problema de deslizamento de um elemento rígido em contato com o maciço de solo. Nesse caso, a resistência depende das tensões efetivas atuantes ao longo do fuste e dos parâmetros de resistência do solo (drenada ou não drenada dependendo do caso), podendo ser calculada com a equação (2) para condição não drenada e com a equação (3) para condição drenada, onde α o coeficiente de adesão, S_u a resistência ao cisalhamento não drenada, K o coeficiente de empuxo horizontal, δ o ângulo de atrito (interface solo-estaca), $\delta = \varphi'$ para estacas rugosas, φ' o ângulo de atrito efetivo do solo e A_L a área perimetral da estaca.

$$R_P = \left(c'\, N_c\, S_c + \sigma'_v\, N_q\, S_q\right) \cdot A_P \tag{2}$$

$$R_L = \left(\alpha \cdot S_u\right) \cdot A_L \tag{3}$$

$$R_L = \left(K \cdot \tan(\delta) \cdot \sigma'_v\right) \cdot A_L \tag{4}$$

3.2 Método semiempírico proposto por Aoki - Velloso (1975)

Para o método semiempírico proposto Aoki Velloso (1975), a resistência de ponta (R_P) (equação 5) e a resistência lateral (R_L) (equação 6) foram correlacionadas mediante o ensaio de penetração estática CPT e adaptadas para o índice de resistência a penetração (N_{SPT}), onde K e α são coeficientes que dependem do tipo de solo, N_P o número de golpes medido na profundidade da base da estaca, N_L o número de golpes medido na camada de solo na região lateral da estaca, F_1 e F_2 os fatores de correção que dependem do tipo de estaca, A_p a área da base da estaca e A_L a área perimetral da estaca.

$$R_P = (K \cdot N_P \,/\, F_1) \cdot A_P \quad (5)$$

$$R_L = (\alpha \cdot K \cdot N_L \,/\, F_2) \cdot A_L \quad (6)$$

3.3 Método semiempírico proposto por Decourt-Quaresma (1978)

Para o método semiempírico proposto por Decourt-Quaresma (1978), a resistência de ponta (R_P) (equação 7) e a resistência lateral (R_L) (equação 8) foram correlacionadas com o índice de resistência a penetração (N_{SPT}), onde C o coeficiente que depende do tipo de solo, N_P o valor médio do índice de resistência à penetração na ponta ou base da estaca obtido a partir de três valores correspondente ao nível da ponta, o anterior e posterior imediatos, N_L o valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo do fuste, A_p a área da base da estaca e A_L a área perimetral da estaca.

$$R_P = (C \cdot N_P) \cdot A_P \quad (7)$$

$$R_L = 10 \cdot (N_L/3 + 1) \cdot A_L \quad (8)$$

4 MÉTODOS DE EXTRAPOLAÇÃO PARA DETERMINAR A CAPACIDADE DE CARGA

Quando uma prova de carga não mostra uma ruptura nítida, pode-se recorrer à utilização de métodos de extrapolação da curva carga–recalque para a estimativa da capacidade de carga última da estaca. A literatura técnica apresenta diversas metodologias propostas por diferentes autores. No presente trabalho, foram aplicados os métodos propostos por Van Der Veen (1953), Chin–Kondner (1970), Décourt (1996), além do critério estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da ABNT NBR 6122:2022.

4.1 Método proposto por Van Der Veen (1953)

De acordo com o método proposto por Van Der Veen (1953), apresenta uma função exponencial é associada à curva carga – recalque conforme a equação (9), onde P a carga aplicada, R_{ult} a carga de ruptura, α o coeficiente angular da reta e ρ o recalque medido.

$$P = R_{ult} \cdot (1 - e^{-\alpha\rho}) \quad (9)$$

4.2 Método proposto por Chin-Kondner (1970)

O método proposto por Chin-Kondner (1970) consiste em plotar uma curva. No eixo horizontal são marcados os valores de recalque obtidos na prova de carga estática e no eixo vertical, os valores de recalque divididos pela carga correspondente. A carga última, é obtida a partir da inversa da inclinação da reta definida mostrada na equação (10), onde R_{ult} a carga de ruptura e C_1 a inclinação da reta.

$$R_{ult} = 1/C_1 \quad (10)$$

4.3 Método proposto por Décourt (1996)

O método proposto por Décourt (1996) trata-se de plotar uma curva, onde marca-se no eixo vertical a carga dividida pelo recalque lido na prova de carga estática e no eixo horizontal o correspondente valor da carga do estágio. Em seguida, executa-se a regressão linear considerando os últimos pontos medidos, para determinação da carga de ruptura por meio de extrapolação com base na reta assim determinada. Finalmente, a carga de ruptura é o valor obtido no eixo horizontal (carga) quando o quociente carga/recalque tende a zero.

4.4 Método proposto pela ABNT NBR 6122 (2022)

A ABNT NBR 6122 (2022) permite um método de extrapolação da curva carga x recalque para avaliação da carga de ruptura em duas circunstâncias. A primeira quando a carga de ruptura da estaca é superior à carga máxima que se pretende aplicar, e a segunda circunstância quando a aplicação dos carregamentos produz recalques elevados, mas sem que uma ruptura nítida seja notada. Este método baseia-se nos conceitos do método proposto de Davisson (1972), no qual se considera uma parcela referente ao deslocamento plástico inicial. Essa metodologia é dada pela equação (11) onde ρ recalque correspondente à carga aplicada, D o diâmetro da estaca, P carga aplicada, L comprimento da estaca, E o módulo de elasticidade da estaca e A a área da seção transversal da estaca.

$$\rho = D / 30 + P \cdot L / (E \cdot A) \tag{11}$$

5 ESTUDO DE CASO

O projeto está localizado em Suape – Pernambuco, o qual consiste em várias fundações do tipo radier estaqueada (estacas de 1m de diâmetro e 15m de comprimento) para a implantação de tanques de 30m de diâmetro aproximadamente. Os pontos azuis na Figura 1 apresentam os 29 furos de sondagem a percussão realizados e, com base nos resultados da campanha de investigação, indicam que o substrato é formado por sedimentos recentes do período Quaternário, com alternâncias de energia de deposição e sedimentação Leaño (2023). Observou-se a existência de sedimentos de origem fluvio-lagunar (intercalações estratigráficas constituídas de areias finas, siltes e argilas moles) e de sedimentos marinhos (camadas espessas de areia), sendo o nível do lençol freático raso, situado em uma profundidade média entre 2,5 a 3,5 m.

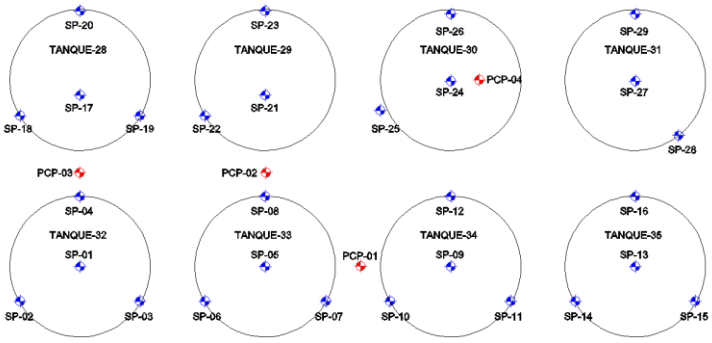
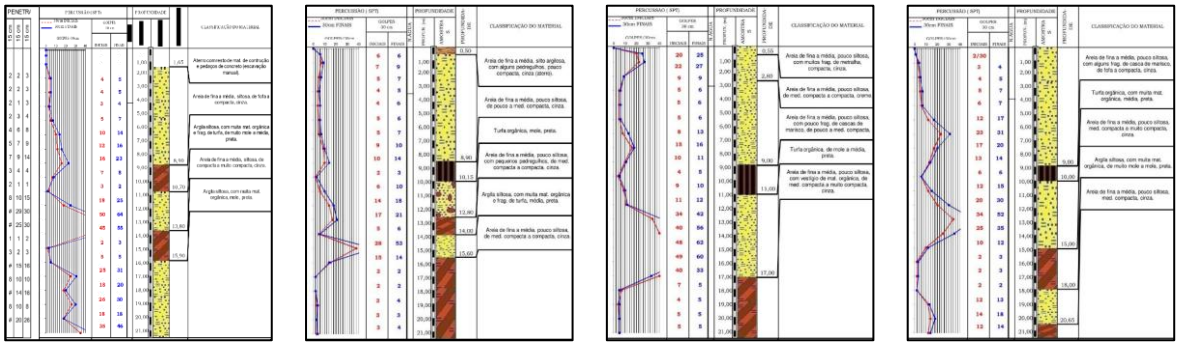


Figura 1. – Localização dos furos de sondagem (azul) e das provas de carga estática (vermelho).
Fonte: Leaño (2023).

Como parte do projeto executivo, foram realizadas quatro provas de carga em quatro estacas de concreto construídas com a metodologia de substituição por meio da hélice continua, denominadas PCP-01, PCP-02, PCP-03 e PCP-04 (pontos vermelhos da Figura 1).

Para fins comparativos, foi estimada a capacidade de carga última de cada estaca por meio dos métodos descritos na Seção 3 deste trabalho para os boletins de sondagem SP-10, SP-08, SP-04 e SP-24, apresentadas na Figura 2, as quais estão localizados nas proximidades das estacas submetidas às provas de carga PCP-03, PCP-02, PCP-01 e PCP-04, respectivamente.



a) SP-10 b) SP-08 c) SP-04 d) SP-24

Figura 2. – Boletins de sondagem a) SP-10, b) SP-08, c) SP-04 e d) SP-24.
Fonte: Leaño (2023).

5.1 Capacidade de carga obtida mediante o método teórico e métodos semiempíricos

A capacidade de carga última de cada estaca foi estimada com base nos furos de sondagem SP-10, SP-08, SP-04 e SP-24 (Figura 2), mediante a aplicação do método teórico e dos métodos semiempíricos descritos na Seção 3 deste trabalho. Os resultados obtidos encontram-se resumidos na Tabela 1.

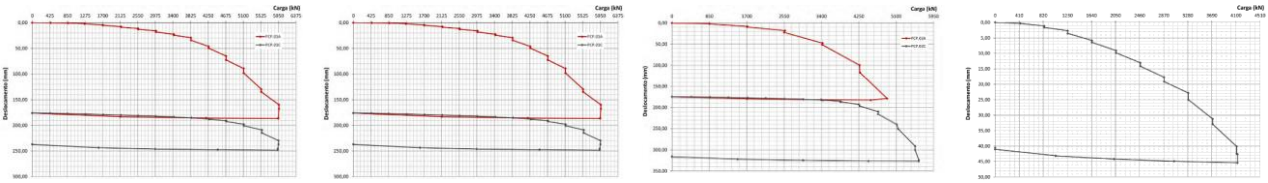
Tabela 1. Capacidade de carga última obtida analiticamente.

Método	Estaca			
	SP-10 (kN)	SP-08 (kN)	SP-04 (kN)	SP-24 (kN)
Teórico – Terzaghi (1943)	10106	6698	17903	2815
Semiempírico – Aoki–Velloso (1975)	8787	4789	13325	3036
Semiempírico – Decourt–Quaresma (1978)	6021	3770	8493	3466

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

5.2 Capacidade de carga obtida mediante os métodos de extrapolação (González Leaño, 2023)

Foram realizadas quatro provas de carga estática, correspondentes às estacas PCP-01, PCP-02, PCP-03 e PCP-04, com o objetivo de avaliar o comportamento carga–recalque e determinar a capacidade de carga a ruptura. A Figura 3 apresenta as curvas carga x recalque obtidos nas provas de carga já mencionadas.



a) PCP-01 b) PCP-02 c) PCP-03 d) PCP-04

Figura 3. – Curva carga – recalque da estaca a) PCP-01, b) PCP-02, c) PCP-03 e d) PCP-04.

Mediante a aplicação dos métodos de extrapolação descritos na Seção 4, foram determinados os valores da carga de ruptura, correspondentes à capacidade de carga a ruptura das estacas. Os resultados obtidos encontram-se resumidos na Tabela 2.

Tabela 2. Carga de ruptura obtida mediante métodos de extrapolação (González Leaño, 2023).

Método de extrapolação	Estaca			
	PCP-01 (kN)	PCP-02 (kN)	PCP-03 (kN)	PCP-04 (kN)
ABNT NBR-6122 (2022)	3900	3000	3650	3850
Van Der Veen (1953)	5600	4500	5000	4400
Chin-Kondner (1970)	5652	4747	5130	4423
Decourt (1996)	6148	5054	6082	5838

5.3 Consolidação dos valores das cargas obtidas para cada estaca

Com a finalidade de comparar os resultados obtidos por meio do método teórico, dos métodos semiempíricos e dos métodos de extrapolação, explicados resumidamente na Seção 4, adotou-se uma padronização na nomenclatura das estacas. Assim, a designação P-01 refere-se tanto à estaca ensaiada PCP-01 quanto à estimativa realizada com base na sondagem SP-10. De forma análoga, P-02 corresponde à estaca PCP-02 e à estimativa associada à sondagem SP-08. P-03 refere-se à estaca PCP-03 e à sondagem SP-04. Por fim, P-04 corresponde à estaca ensaiada PCP-04 e à estimativa baseada na sondagem SP-24. Na figura 4, está apresentado o diagrama de barras onde mostra a comparativa das capacidades de carga última obtidas.

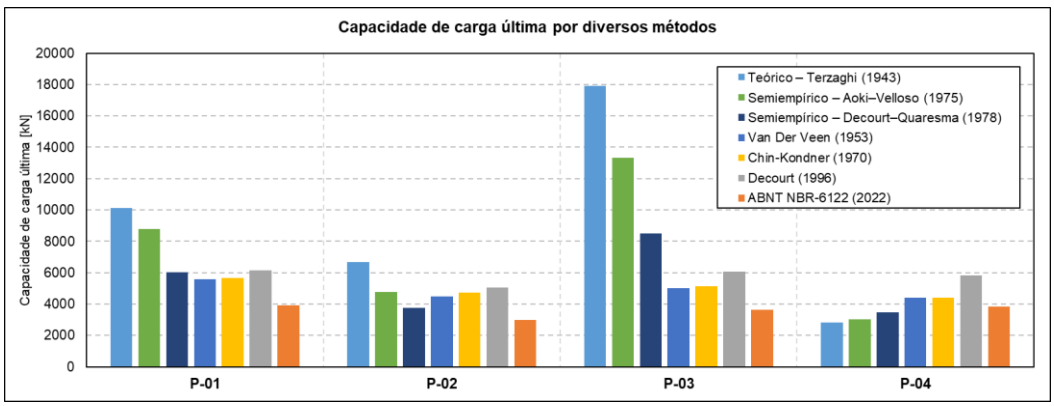


Figura 4. – Capacidade de carga última obtida por diversos métodos para cada estaca.
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

6 DISCUSSÃO

Para a estaca PCP-01 observa-se que o método teórico de Terzaghi (1943) apresenta a maior estimativa de capacidade de carga última entre os métodos avaliados, indicando uma tendência à superestimação quando comparado aos demais resultados. Entre os métodos semiempíricos, o método de Aoki-Velloso (1975) também apresenta valor relativamente elevado, porém inferiores ao método teórico, enquanto o método de Decourt-Quaresma (1978) fornece uma estimativa mais conservadora.

Já os métodos de extrapolação apresentam resultados intermediários, com os métodos de Van Der Veen (1953) e da Chin–Kondner (1970) fornecendo valores relativamente próximos entre si. O método da ABNT NBR 6122 (2022) apresenta uma estimativa ligeiramente inferior, enquanto o método de Décourt (1996) resulta em valores moderadamente superiores dentro do grupo de extrapolação. De forma geral, observa-se uma dispersão moderada entre os métodos, evidenciando a influência do critério adotado na estimativa da carga última.

Para a estaca PCP-02, verifica-se uma redução geral nos valores estimados de capacidade de carga quando comparados à estaca anterior, refletindo possivelmente diferenças nas condições geotécnicas locais. O método teórico de Terzaghi (1943) novamente apresenta uma das maiores estimativas, enquanto os métodos semiempíricos apresentam resultados mais distribuídos.

O método de Aoki-Velloso (1975) fornece o valor intermediário, enquanto o método de Decourt-Quaresma (1978) apresenta estimativa ligeiramente inferior. Entre os métodos de extrapolação, observa-se que os valores obtidos por Van der Veen (1953) e Chin–Kondner (1970) são relativamente próximos, ao passo que o método de pela ABNT NBR 6122 (2022) fornece valor mais conservador. O método de Décourt (1996) apresenta resultados um pouco superiores aos demais métodos de extrapolação. De forma geral, observa-se uma dispersão moderada entre os métodos, porém inferior à observada em outras estacas.

A estaca PCP-03 apresenta os maiores valores de capacidade de carga entre todas as estacas analisadas, o que pode estar associado a condições geotécnicas mais favoráveis no local da sondagem correspondente. O método teórico de Terzaghi (1943) apresenta novamente a maior estimativa de capacidade de carga, seguido pelo método semiempírico de Aoki-Velloso (1975), que também indica valor significativamente elevado. Por

outro lado, o método de Decourt-Quaresma (1978) fornece valores consideravelmente inferiores aos métodos anteriores.

No grupo dos métodos de extrapolação, observa-se uma maior variabilidade, com o método de Décourt (1996) apresentando valores relativamente elevados dentro desse grupo, enquanto o método de ABNT NBR 6122 (2022) apresenta estimativa mais conservadora. Os critérios da Van der Veen (1953) e de Chin–Kondner (1970) apresentam resultados intermediários. A dispersão entre os métodos é mais pronunciada nesta estaca, evidenciando maior sensibilidade às condições do perfil de solo.

Para a estaca PCP-04 observam-se os menores valores de capacidade de carga entre todas as estacas avaliadas. Diferentemente dos casos anteriores, a diferença entre os métodos é relativamente menor, indicando menor dispersão nos resultados estimados. O método teórico de Terzaghi (1943) e o método semiempírico de Aoki-Velloso (1975) apresentam valores próximos entre si, enquanto o método de Décourt e Quaresma (1978) fornece estimativas ligeiramente superiores.

Entre os métodos de extrapolação, os valores obtidos por Van der Veen (1953), Chin–Kondner (1970) e ABNT NBR 6122 (2022) apresentam pequena variação entre si. O método de Décourt (1996) apresenta o maior valor dentro do grupo de extrapolação. De modo geral, observa-se uma tendência de convergência entre os métodos para esta estaca, sugerindo menor influência das diferenças metodológicas na estimativa da capacidade de carga.

Efetuando uma avaliação exclusiva dos resultados de capacidade de carga última obtidos pelo método teórico de Terzaghi (1943) nas quatro estacas, e comparando-os com os resultados obtidos pelas demais metodologias (semiempíricas e de extrapolação) aplicadas neste trabalho, verificou-se que o método teórico tendeu a superestimar a capacidade de carga nas três primeiras estacas (PCP-01, PCP-02 e PCP-03), apresentando, contudo, maior convergência na estaca PCP-04. A partir de uma análise rigorosa desses resultados, as observações acerca das possíveis razões geotécnicas pelas quais o modelo teórico apresentou tal comportamento são apresentadas nos parágrafos seguintes.

No tocante à parcela de resistência de ponta (R_P) em camadas granulares, a determinação do ângulo de atrito interno (φ') a partir de uma dupla correlação empírica, estimando primeiramente a densidade relativa (D_R) em função do índice N_{SPT} para, em seguida, correlacioná-la ao ângulo de atrito, introduz incertezas acumuladas inerentes às abordagens da literatura internacional. Essas formulações sequenciais muitas vezes não refletem perfeitamente a gênese e a mineralogia do depósito de solo local. Uma vez estimado o valor do ângulo de atrito (φ') por meio desse encadeamento, sua aplicação nos fatores de capacidade de carga (N_c e N_q) impõe uma sensibilidade crítica ao modelo matemático: as equações desses fatores apresentam crescimento exponencial em função do ângulo de atrito. Consequentemente, pequenas superestimativas ou distorções na sensibilidade das correlações intermediárias da densidade relativa e do subsequente ângulo de atrito (φ') geram valores de N_q desproporcionalmente elevados.

No caso específico da estaca PCP-03, a qual atingiu a maior capacidade de carga , infere-se que a ponta tenha engastado em uma camada arenosa de elevada compacidade (alta densidade relativa). A aplicação direta do fator N_q para esse horizonte superestimou a resistência de ponta real ao desconsiderar os efeitos de compressibilidade e o esmagamento dos grãos do solo sob os elevados níveis de tensão atuantes na base da estaca. Por outro lado, o caso particular da estaca PCP-04 demonstrou que, quanto menor a qualidade mecânica do perfil de solo, menor tende a ser a influência do critério metodológico adotado. Em horizontes de baixa resistência, os limites matemáticos das teorias de ruptura (Terzaghi, 1943), as médias estatísticas dos ensaios de campo (Aoki-Velloso, 1975 e Décourt-Quaresma, 1978) e o comportamento hiperbólico ou exponencial das curvas carga–recalque reais (extrapolações) tendem naturalmente a convergir para um mesmo patamar físico de esgotamento da capacidade de carga do sistema solo-estaca.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método teórico proposto por Terzaghi (1943) fornece uma estimativa baseada nos parâmetros de resistência do solo e nos princípios da mecânica dos solos, enquanto os métodos semiempíricos de Aoki-Velloso (1975), bem como de Decourt-Quaresma (1978), incorporam correlações baseadas em dados de campo, como os resultados de sondagens. Por sua vez, os métodos de extrapolação propostos por Van der Veen (1953), Chin–Kondner (1970) e Décourt (1993), além do critério recomendado pela ABNT NBR 6122 (2022), permitiram estimar a carga de ruptura a partir da interpretação das curvas carga–recalque.

A análise comparativa realizada permitiu avaliar o desempenho de diferentes metodologias empregadas na estimativa da capacidade de carga última de estacas, confrontando resultados obtidos pelo método teórico, métodos semiempíricos e por métodos de extrapolação da curva carga–recalque provenientes das provas de carga estática. De modo geral, verificou-se que os valores estimados apresentaram variações entre si, refletindo as hipóteses e simplificações inerentes a cada abordagem de cálculo.

Finalmente, conclui-se que a utilização conjunta de diferentes metodologias, associada à interpretação criteriosa dos resultados de provas de carga, constitui uma abordagem mais confiável para a avaliação da capacidade resistente de estacas, contribuindo para maior segurança e racionalidade no dimensionamento de fundações profundas.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer às empresas envolvidas no projeto Vibra Energia S/A, PMMR Consultoria e Projetos, e Geoprova Engenharia pelo suporte e a informação fornecida para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16903: Solo – Prova de carga estática em fundação profunda. Rio de Janeiro, Brasil.

Cintra, J. C. A.; Aoki, N. (2010). Fundações por estacas**:** projeto geotécnico. São Paulo. Oficina de Textos, 2010.

Chin, F. K., Kondner, R. L (1970) Estimation of the ultimate load of piles not carried to failure. In: Proceedings of the 2nd Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Singapore, 1970. p. 81-90. (Nota: Embora a menção cite frequentemente 1970/1971, a conferência seminal ocorreu em 1970, com publicações citadas com ambas as datas).

Danziger, B. R.; Lopes, F. R. (2021) Fundações em Estacas. 1ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, Brasil.

Décourt, L. (1996) "A ruptura de fundações avaliada com base no conceito da rigidez". Vol. 1. São Paulo: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia – SEFE III, Anais ABEF e ABMS.

Leaño, E. G. (2023); Análise numérica e experimental do comportamento das fundações de tanques de armazenamento de combustível. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil.

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. New York: Jonh Wiley and Sons.

Van Der Veen, C. (1953) Bearing capacity of a pile. International conference soil mechanics foundation engineering, Zurich.