

COMPORTAMENTO À TRAÇÃO DE ESTACAS DO TIPO HÉLICE CONTÍNUA EM SOLO ARENO-ARGILOSO

João V. C. Araújo^{1,*}, Fernando F. Monteiro¹, Alfran S. Moura² e Caio C. Scipião²

¹*Centro Universitário Christus, Fortaleza, CE, Brasil*

²*Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil*

Palavras-chave: Estaca Hélice Contínua, Capacidade de Carga, Tração, Prova de Carga, Métodos Semi-empíricos.

Resumo. A estimativa da capacidade de carga de estacas hélice contínua monitoradas sujeitas à tração pode ser realizada por diversas metodologias baseadas em ensaios de campo, fornecendo valores específicos para o sistema estaca-solo. No entanto, é comum entre os projetistas de fundações adotar métodos semi-empíricos ou considerar que a carga última à tração seja equivalente a uma parcela da resistência lateral à compressão. Diante dessa prática e da escassez de dados disponíveis em Fortaleza, Ceará, este artigo visa analisar metodologias semi-empíricas para estimar a capacidade de carga à tração de estacas hélice contínua em perfis estratigráficos característicos do município. O estudo foi conduzido por meio de provas de carga estáticas em duas estacas hélice contínua, com diâmetro de 0,4 m e comprimento de 13,6 m, assentes em solos arenosos na cidade de Fortaleza/CE, Brasil. A partir dos resultados experimentais e das estimativas de capacidade de carga, verifica-se que as metodologias desenvolvidas para estacas submetidas à compressão, com base no ensaio SPT, mostram-se ferramentas adequadas para a estimativa da capacidade de carga de estacas hélice contínua.

*E-mail address: jvcaraujo97@gmail.com.

UPLIFT BEHAVIOR OF CONTINUOUS FLIGHT AUGER PILES IN SANDY-CLAY SOIL

Keywords: Continuous Flight Auger Pile, Load Capacity, Tension, Load Test, Semi-empirical Methods.

Abstract. The bearing capacity estimation continuous flight auger (CFA) piles subjected to tension can be carried out through various field-testing methodologies, providing specific values for the pile-soil system. However, it is common among foundation engineers to adopt semi-empirical methods or consider that the ultimate tension load is equivalent to a portion of the shaft resistance to compression. Given this practice and the scarcity of available data in Fortaleza, Ceará, this article aims to analyze semi-empirical methodologies to estimate the tensile load capacity of continuous flight auger piles in characteristic stratigraphic profiles of the municipality. The study was conducted through static load tests on two continuous flight auger piles, with a diameter of 0.4 m and a length of 13.6 m, embedded in sandy soils in the city of Fortaleza/CE, Brazil. Based on the experimental results and load capacity estimates, it is observed that methodologies developed for piles subjected to compression, based on the Standard Penetration Test (SPT), prove to be suitable tools for estimating the load capacity of continuous flight auger piles.

1 INTRODUÇÃO

Em construções de edificações convencionais, é comum que as fundações sejam predominantemente submetidas a cargas de compressão. No entanto, existem várias situações em que as fundações podem estar sujeitas a diferentes tipos de esforços. Em projetos de linha de transmissão, aerogeradores e estruturas sujeitas a cargas de vento elevadas, por exemplo, as fundações podem experimentar não apenas cargas de compressão, mas também esforços de flexão e tração [22]. A crescente demanda por estacas hélice contínua sujeitas a esforços de tração em projetos geotécnicos, aliada à escassez de estudos abrangentes sobre o tema, destaca a relevância e a necessidade intrínseca desta pesquisa, especialmente no contexto geotécnico do estado do Ceará. Tendo em vista que diversas pesquisas acerca da capacidade de carga à tração de estacas do tipo hélice contínua foram conduzidas na região sul, sudeste e centro-oeste do país, considerando a natureza laterítica dos solos encontrados nessas regiões [7, 20, 21, 22, 26]. Neste contexto, destaca-se que o aumento progressivo e acelerado na utilização de estacas do tipo hélice contínua tem impulsionado a exploração de abordagens mais precisas para a estimativa da capacidade de carga. Além disso, observa-se a adaptação de métodos já consagrados pela literatura, como os propostos por Aoki e Velloso [2], Décourt e Quaresma [10], e Antunes e Cabral [1]. O aprimoramento desses métodos requer uma compreensão mais profunda da interação entre a estaca e o solo, com o objetivo de alcançar uma previsão mais precisa da capacidade de carga do sistema estaca-solo [12, 17, 18, 19].

É comum entre os projetistas de fundações a prática de adotar métodos empíricos e semi-empíricos para estimar a capacidade de carga de estacas sob tração, ou considerar que a carga última à tração seja equivalente a uma parcela da resistência lateral à compressão [23].

Segundo [5], em um projeto de fundação, existem diversas fontes de incerteza, relacionadas a vários aspectos, como a transmissão de cargas, a variação das condições do terreno da fundação, a determinação dos parâmetros geotécnicos do projeto e até mesmo o modelo analítico utilizado para representar o comportamento real da fundação. Além disso, podem ocorrer erros significativos, falhas humanas ou omissões na prática, que são difíceis de quantificar. Devido a essas incertezas, não é apropriado considerar a capacidade de carga dos elementos de fundação de uma obra como algo preciso e determinístico, assim como as cargas aplicadas a esses elementos. O desempenho da fundação está sujeito à aleatoriedade de fatores independentes, muitos dos quais estão além do controle do profissional da área.

Dada a situação previamente apresentada e a escassez de dados disponíveis no município de Fortaleza no Estado do Ceará, este artigo tem o objetivo de realizar uma análise de diversas metodologias semi-empíricas empregadas para estimar a capacidade de carga à tração de estacas do tipo hélice contínua. Os valores de capacidade de carga estimados por essas metodologias serão comparados com os dados provenientes de provas de carga (valores de referência) conduzidas em uma obra no município de Fortaleza.

2 CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES SUJEITAS À TRAÇÃO

A avaliação da capacidade de carga à tração de estacas pode ser realizada por meio de métodos específicos para esse fim ou adotando a abordagem de considerar a carga última à tração como uma parcela da resistência lateral à compressão. Quando se opta por esta última abordagem, é comum considerar aproximadamente 70% da parcela lateral da capacidade de carga à compressão da estaca, mesmo que esteja associada a mecanismos distintos [23]. A literatura apresenta diversos métodos específicos para a determinação da capacidade de carga à tração de estacas [16, 14, 9].

O método do cilindro de atrito [9] considera não apenas o peso próprio da fundação e o peso do solo atuando sobre ela, mas também uma parcela de atrito que se desenvolve no contato entre a fundação e o solo (conforme ilustrado na Figura 1). Esse atrito é válido para fundações sem base alargada e abrange toda a superfície de ruptura. A superfície de ruptura considerada nesse método é cilíndrica e possui a mesma base e altura da fundação, seja para casos com base alargada ou não [21].

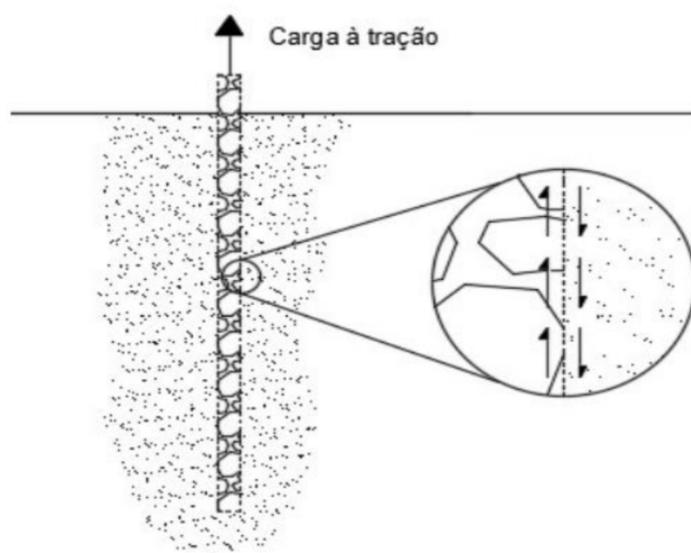


Figura 1: Resistência lateral entre o solo e a estaca [21]

[14] argumenta que em fundações retas tracionadas, a ruptura ocorre ao longo da interface entre a estaca e o solo (Figura 2), formando uma superfície de cisalhamento cilíndrica. Quando a carga de tração é aplicada a essas fundações, uma zona de cisalhamento se desenvolve ao longo de planos em que as condições de Mohr-Coulomb são atendidas. No entanto, deslocamentos substanciais ao longo dessa zona ainda não são permitidos, o que faz com que o solo gere esforços cisalhantes e leve ao deslocamento ascendente da fundação. Esse processo resulta em um deslocamento cisalhante contínuo e ocorre próximos à interface estaca-solo, definindo efetivamente uma superfície de ruptura cilíndrica. Assim, apresentando um método para o cálculo da resistência última ao arrancamento de estacas e tubulões sem bases alargadas, por meio de equilíbrio de forças verticais.

[16] descrevem um método para avaliar a capacidade de carga última à tração de estacas em areia. Os resultados desse método variam de acordo com o método de instalação da estaca. Os ensaios foram conduzidos em modelos em escala reduzida, simulando estacas instaladas por impacto, cravação por vibração e escavação.

[25] destacam que o método de Aoki e Velloso [2] foi criado com base em uma análise comparativa entre os resultados de provas de carga em estacas e os dados obtidos por meio do ensaio CPT, sendo aplicável tanto aos dados do SPT quanto aos do CPT. Para a determinação da capacidade de carga última, foi relacionado a resistência de ponta e o atrito lateral da estaca, com os resultados do CPT. Destacaram também, que Laprovitera [15] e Benegas [6], fizeram avaliações, sobre o método, e em suas análises, alguns valores foram modificados, por Danziger [8].

[10] deram continuidade aos estudos sobre a aplicação dos resultados de prova de carga e, posteriormente, desenvolveram uma fórmula para estacas pré-moldadas. Essa fórmula calcula

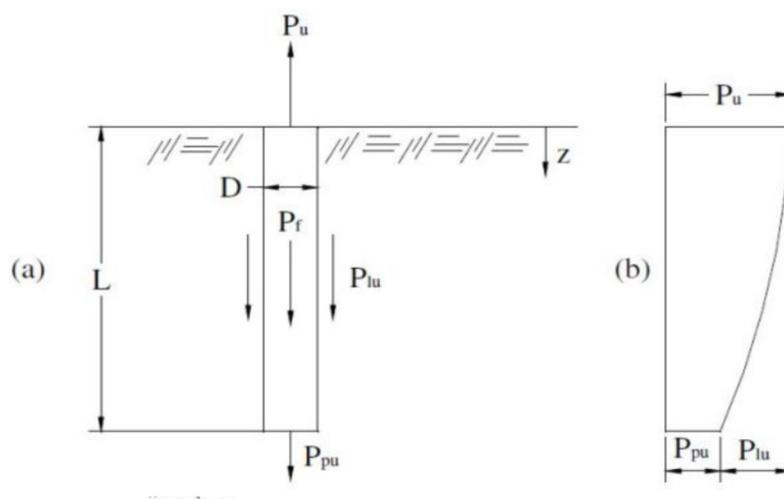


Figura 2: Estaca ou tubulão sem base alargada submetida à tração: a) representação dos esforços; b) diagrama de transferência de carga no fuste [21]

a carga de ruptura total somando as parcelas de resistência lateral e de ponta, com base na resistência à penetração obtida pelo número de golpes NSPT.

Com base nos resultados obtidos em provas de carga estática conduzidas em estacas do tipo hélice contínua, [1] propuseram um método para estimar capacidade de carga das estacas hélice contínua baseado no tipo de solo.

Segundo [25], as provas de carga estática são conduzidas em estacas e tubulões com o propósito de confirmar o comportamento previsto no projeto, incluindo a capacidade de carga e os recalques, ou estabelecer a carga de serviço em situações em que não é possível realizar uma previsão precisa do comportamento.

3 METODOLOGIA

Inicialmente foram definidos os métodos semi-empíricos a serem utilizados para estimar a carga última à tração de estacas do tipo hélice contínua. Os métodos utilizados exclusivamente para estacas sujeitas à tração que serão abordados nesse trabalho são: o método do cilindro de atrito [9, 14, 16]. Além disso, foram realizadas análises utilizando métodos semi-empíricos usualmente empregados na prática para estimativa de capacidade de carga à compressão de estacas do tipo hélice contínua, tais como os métodos de Aoki e Velloso [2], Décourt e Quaresma [10] e Antunes e Cabral [1], contudo, nestes casos, apenas a resistência por atrito lateral será considerada. Para o método de Antunes e Cabral [1], serão realizadas estimativas de capacidade de carga considerando os valores máximos e mínimos propostos pela faixa de valores da metodologia.

As equações utilizadas para obter a resistência última à tração pelos métodos abordados, são indicadas nas Tabelas 1 e 2. Nas tabelas, Q_{ult} é a capacidade de carga última, $Q_{ult,t}$ é a capacidade de carga última à tração, K_s é menor que o coeficiente de empuxo no repouso, σ'_v é a tensão vertical efetiva, ϕ é o ângulo de atrito do solo, δ' é o ângulo de atrito efetivo para interface solo-fuste ($0,66 \cdot \phi$), γ é o peso específico do solo, U é o perímetro da estaca, L é o comprimento da estaca, A_L é a área lateral ($U \cdot L$), P_F é o peso da fundação, K é o coeficiente dependente do tipo de solo, K_0 é o coeficiente de empuxo no repouso, f é o coeficiente de atrito ($\tan(\phi)$), K_{m0} é o coeficiente de método de instalação da estaca, α é a função do tipo de solo, ΔL é a espessura da camada, β é o fator de atrito, β_2 é o fator que depende do tipo do solo, N

é o N_{SPT} médio na camada do solo, e F_2 é o fator de escala.

Para avaliar a eficácia dos métodos de estimativa da capacidade de carga do sistema solo-estaca, optou-se por calcular a relação entre a carga prevista (Q_p) por meio de metodologias semi-empíricas e a carga de ruptura interpretada durante a realização da prova de carga (Q_m). Essa relação foi analisada com base em uma faixa de aceitação de valores, variando de -20% a +20% em relação à carga observada na prova de carga, com o objetivo de avaliar a precisão das estimativas geradas pelo método. Uma consideração relevante, conforme destacado por [11], foi a análise da imprecisão dos equipamentos utilizados nas provas de carga, incluindo o macaco hidráulico e a célula de carga. Ele observou que tais desvios poderiam ser responsáveis por uma margem de erro de aproximadamente 20% em relação ao valor da capacidade de carga interpretada nas provas de carga.

Tabela 1: Métodos semi-empíricos para determinar a capacidade de carga à tração em estacas

Método	Equação
Método do Cilindro de Atrito [9]	$Q_{ult,t} = K_s \cdot \sigma'_v \cdot \tan(\delta') \cdot A_L + P_F$
Método de Kulhawy [14]	$Q_{ult,t} = A_L \cdot \sigma'_v \cdot K \cdot \tan(\delta') + P_F$
Método de Levacher e Sieffert [16]	$Q_{ult,t} = \frac{1}{2} \cdot K_0 \cdot \gamma \cdot U \cdot f \cdot L^2 \cdot K_{m0} + P_F$

Tabela 2: Métodos Semi-empíricos para determinar a capacidade de carga à compressão em estacas

Método	Equação
Método de Aoki e Velloso [2]	$Q_{ult} = \frac{U}{F_2} \cdot \sum(\alpha \cdot K \cdot N \cdot \Delta L)$
Método de Décourt e Quaresm [10]	$Q_{ult} = \beta \cdot U \cdot L \cdot 10 \cdot \left(\frac{N_{SPT}}{3} + 1\right)$
Método de Antunes e Cabral [1]	$Q_{ult} = U \cdot \sum(\beta_2 \cdot N) \cdot \Delta L$

Para prever a carga de ruptura à tração das estacas desta pesquisa, foi necessário estimar parâmetros e propriedades do solo, por meio de métodos empíricos. Os métodos utilizados para esta determinação são indicados na Tabela 3. Já para a determinação do peso específico do solo, foi utilizada a Tabela 4, sugerida por [13].

Tabela 3: Métodos empíricos para determinação dos parâmetros do solo

Parâmetro	Método	Equação
Ângulo de atrito	Teixeira	$\phi = \sqrt{20N} + 15^\circ$
Coefficiente de empuxo no repouso	Jaky	$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi)$
Coefficiente de empuxo ativo	Rankine	$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2})$

Para a avaliação desses métodos serão utilizados dados de duas provas de carga rápidas à tração. A área de estudo foi selecionada de acordo com a demanda por estacas do tipo hélice contínua monitorada sujeitas à tração para projetos de fundações no município de Fortaleza no estado do Ceará. Devido a falta de dados encontradas na literatura referente a estacas hélice

Tabela 4: Peso específico de solo arenoso

N_{SPT}	Peso específico (kN/m ³)		
	Seca	Úmida	Saturada
menos de 9	16	18	19
de 9 a 18	17	19	20
Maior de 18	18	20	21

contínua sujeitas à tração no estado do Ceará, a avaliação foi realizada em duas estacas desse tipo, de 13,6 m de comprimento e 0,4 m de diâmetro, em uma obra localizada no município de Fortaleza (Figura 3), com o objetivo de contribuir para a análise e classificação de métodos de previsão de carga

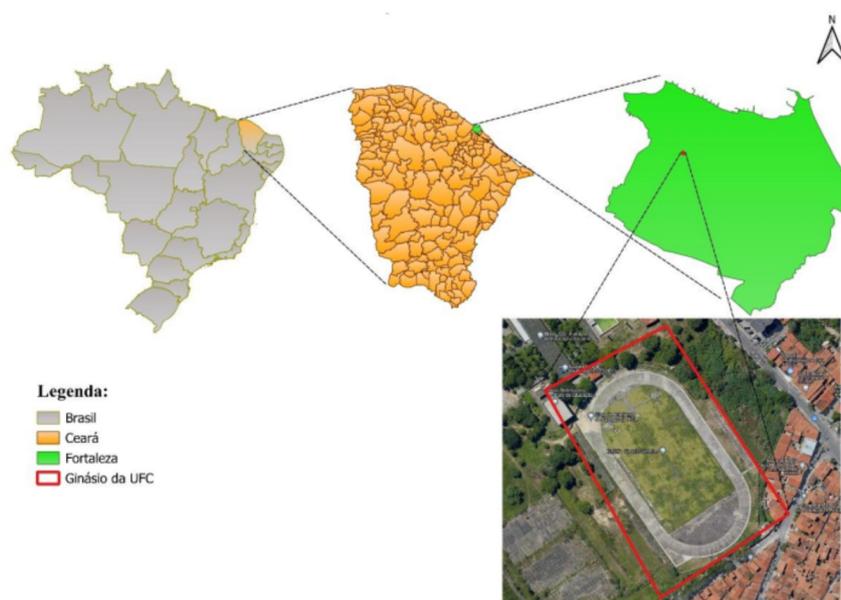


Figura 3: Localização do estudo

As Figuras 4 e 5 apresentam o sistema de reação utilizado para execução das provas de carga à tração de acordo com a ABNT NBR 12131:2006 [3]. A aplicação de carga de tração no elemento ensaiado foi realizada por meio de um conjunto de bomba e macaco hidráulico fornecido pela Pontemac, com capacidade para 1000 kN, sendo o macaco vazado. Este dispositivo atuou exercendo um esforço axial de tração vertical por meio de um sistema de reação estável, composto por uma viga metálica dupla atravessada pelo aço tirante, St 85/105 DYWIDAG de 36 mm de diâmetro, fixado no centro da perfuração da estaca ao longo de todo o seu comprimento. Além disso, o aço tirante estendia-se 1,5 m acima do topo da estaca, ultrapassando o corpo da viga metálica de reação e passando pelo interior vazado do êmbolo do macaco. O êmbolo do macaco ficou apoiado na superfície do topo da viga metálica e serviu como eixo de fixação no topo do macaco hidráulico, por meio de uma porca e uma contraporca de aperto. A viga de reação apoiou-se em duas outras vigas metálicas com altura de 0,4 m, as quais, por sua vez, ficaram apoiadas no terreno natural, com distâncias simétricas de 1,5 m para cada lado em relação ao aço do tirante. As estacas de reação possuem 14 m de comprimento e 0,4 m de diâmetro. Os ensaios de prova de carga à tração foram executados com carregamento rápido,

com 8 estágios de carregamento e 4 de descarregamento. A Tabela 5 apresenta os dados obtidos através dos ensaios realizados nas duas estacas.

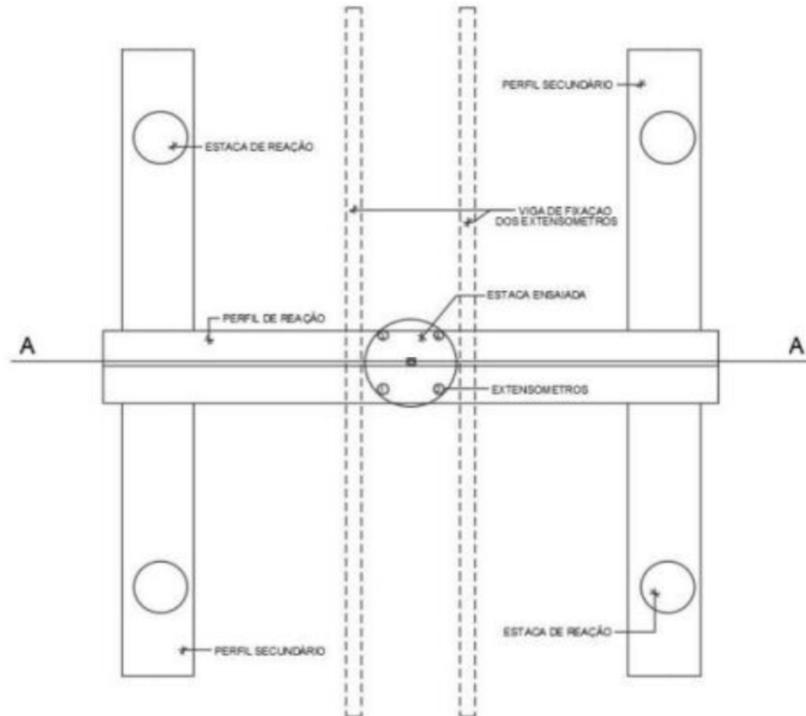


Figura 4: Vista em planta da prova de carga à tração

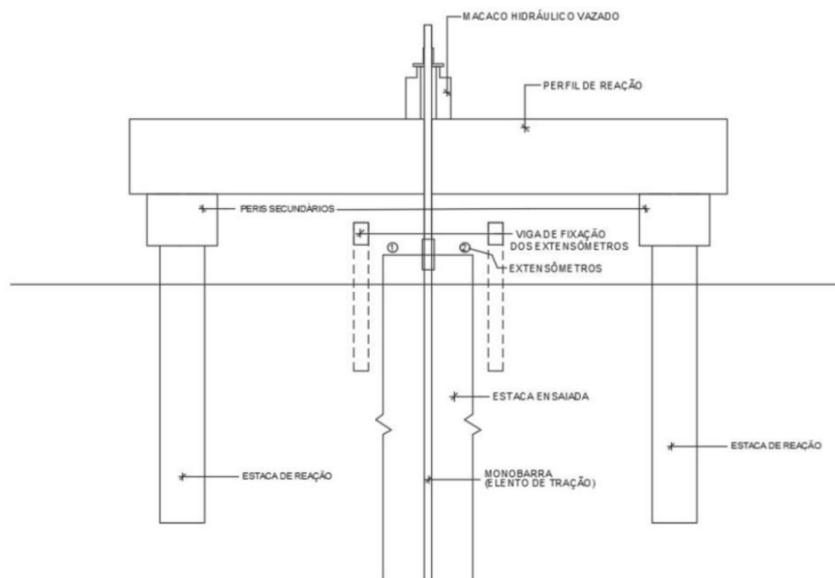


Figura 5: Vista transversal da seção AA da prova de carga à tração

A Figura 6 apresenta a variação do índice de resistência a penetração do ensaio SPT (NSPT) ao longo da profundidade. Conforme ilustrado na Figura 6, o subsolo é predominantemente

Tabela 5: Dados dos ensaios de prova de carga

Estaca n ^o	Tipo de esforço	Comprimento [m]	Diâmetro [mm]	Tipo de ensaio	Carga [kN]	Deslocamento [mm]	
						máximo	residual
1	Tração [V]	13,6	400	Rápido	630	14,05	3,74
2	Tração [V]	13,6	400	Rápido	630	14,77	3,25

granular, composto basicamente de areia argilosa. O ensaio atingiu a profundidade de 19,09 m, o nível d'água (NA) foi encontrado a 13,20 m

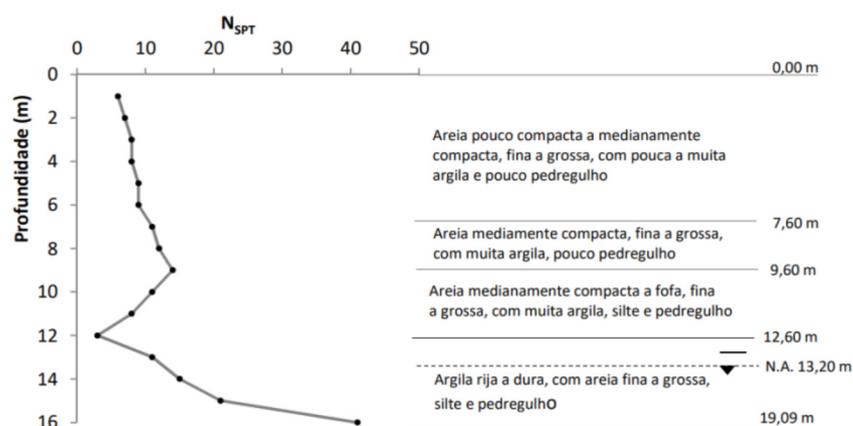


Figura 6: Perfil de NSPT do subsolo da obra analisada

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas informações coletadas, foi elaborado um procedimento para calcular a capacidade de carga máxima à tração de estacas do tipo hélice contínua em solos granulares. Para estimar as cargas de ruptura das estacas usadas neste estudo, aplicam-se dois métodos: o método descrito na norma ABNT NBR 6122:2010 [4] e o método proposto por [24] para a extrapolação da curva carga versus recalque. Importante ressaltar que, de acordo com a norma, os valores de carga de ruptura estão associados a uma deformação de referência, resultando em uma carga de ruptura convencional. Por outro lado, o método de Van der Veen [24] fornece estimativas de carga de ruptura física.

As Figuras 7 e 8 mostram a utilização dos métodos utilizados para a determinação da carga de ruptura das duas estacas analisadas. Vale ressaltar que as duas estacas são do tipo hélice contínua e possuem as mesmas dimensões de 0,4 m de diâmetro e 13,6 m de comprimento.

Observa-se nas Figuras 7 e 8 que pelos métodos utilizados as cargas de ruptura interpretadas foram de 700 kN e 680 kN para as estacas 1 e 2, respectivamente. A Tabela 5 exibe as características e os dados obtidos através das provas de carga realizados nas duas estacas.

Pelas correlações adotadas nas Tabelas 3 e 4, foram obtidos os valores das propriedades e parâmetros do solo, os quais serão apresentados na Tabela 6. A partir do NSPT médio, foram determinados os valores para o ângulo de atrito (ϕ), peso específico do solo (γ), coeficiente de empuxo no repouso (K_0) e o coeficiente de empuxo ativo (K_a)

Com as estimativas das cargas últimas à tração obtidas por meio dos métodos empregados neste estudo, torna-se viável realizar comparações entre os resultados medidos e estimados. Dessa forma, é possível identificar o método cujas estimativas se aproximam mais dos valores

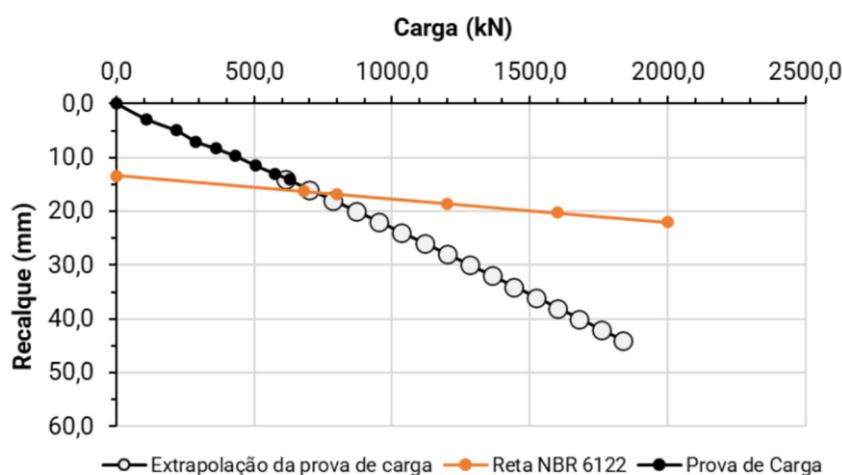


Figura 7: Determinação da carga de ruptura da estaca 1

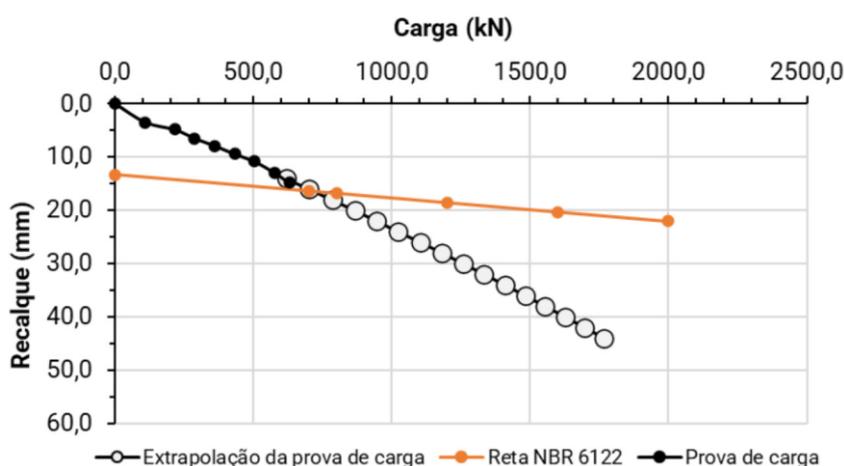


Figura 8: Determinação da carga de ruptura da estaca 2

Tabela 6: Resumo das estimativas de parâmetros do solo

Estaca n°	Parâmetros				
	N_{SPT} médio	f [°]	γ [kN/m ³]	K_0	K_a
1	9	28,4	17	0,52	0,36
2	9	28,4	17	0,52	0,36

de referência obtidos nas provas de carga. As Figuras 9 e 10 apresentam as razões entre os valores de capacidade de carga estimados (Q_p) e os valores medidos a partir das provas de carga (Q_m) para as estacas 1 e 2. Observa-se que dentre os métodos específicos para estacas sujeitas à tração, os métodos de Downs e Chieurrzi [9] e Levacher e Sieffert [16] superestimam a capacidade de carga das estacas, ao passo que o método de Kulhawy [14] subestima a capacidade de carga das estacas, sendo este mais conservador e a favor da segurança, indicando valores de razão Q_p/Q_m da ordem de 0,5. Ao avaliar os métodos desenvolvidos para estacas submetidas à compressão, verificam-se estimativas conservadoras e favor da segurança para os métodos de Aoki e Velloso [2], Décourt e Quaresma [10] e Antunes e Cabral [1] considerando coeficientes

mínimos, enquanto o método de Antunes e Cabral [1] adotando coeficientes máximos indica uma tendência contrária. Desse modo, verifica-se que os métodos de Décourt e Quaresma [10] e Antunes e Cabral [1] considerando coeficientes mínimos indicam razões (Q_p/Q_m) dentro da faixa de aceitabilidade proposta por [11].

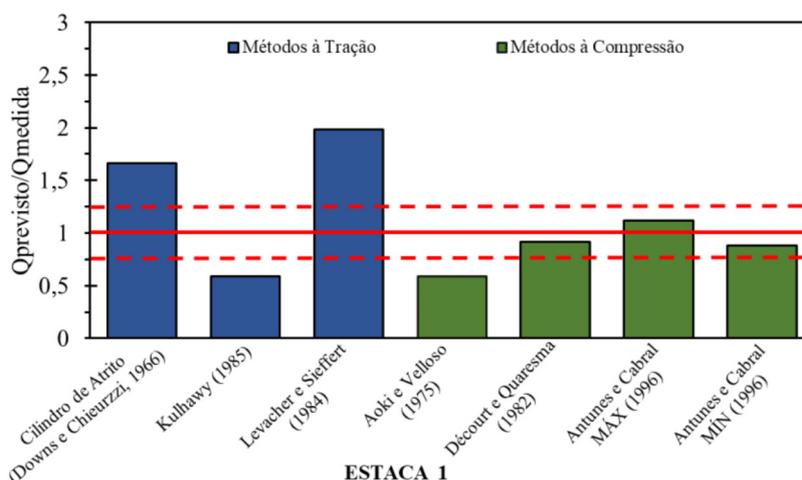


Figura 9: Comparação entre os métodos para a estaca 1

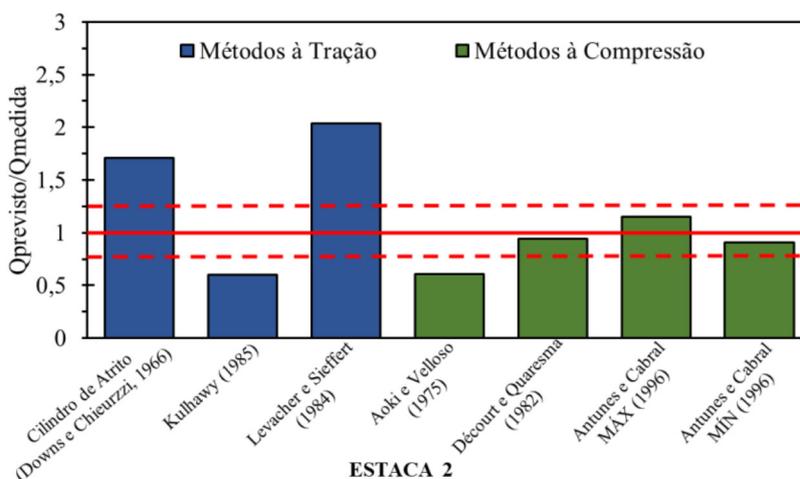


Figura 10: Comparação entre os métodos para a estaca 2

5 CONCLUSÕES

Este trabalho enfatizou os resultados obtidos a partir de provas de carga em estacas do tipo hélice contínua monitorada, realizadas no município de Fortaleza, no Estado do Ceará. As fundações analisadas foram carregadas axialmente à tração, produzindo curvas carga versus deslocamento interpretadas para averiguar a precisão metodologias de previsão de capacidade de carga em estacas do tipo hélice contínua sujeitas à tração assentes em solo arenoso, a partir de resultados de ensaios SPT.

Dados experimentais de provas de carga e estimativas de capacidade de carga a partir das metodologias de Downs e Chieurzzi [9], Levacher e Sieffert [16], Kulhawy [14], Aoki e Veloso [2], Décourt e Quaresma [10] e Antunes e Cabral [1] foram comparados para estacas do

tipo hélice contínua monitorada, sendo apresentadas e discutidas. Embora os resultados sejam restritos às condições das análises, com base em um conjunto limitado de dados, eles permitem generalizações preliminares do comportamento geral. Nesse contexto, esta pesquisa proporcionou uma melhor compreensão de algumas das características envolvidas pelos mecanismos de carregamento à tração de estacas do tipo hélice contínua monitorada em solos arenosos. Deve-se notar, no entanto, que algumas análises foram formuladas como hipóteses para explicar os resultados, requerendo mais pesquisas para uma apreciação mais fundamentada no futuro.

A partir das tendências observadas com os dados e análises, algumas conclusões gerais podem ser tiradas:

- dentre os métodos avaliados para a determinar a carga última à tração, aqueles que apresentaram maior proximidade em relação aos valores de referência foram os métodos de Décourt e Quaresma [10] e Antunes e Cabral [1], utilizando os valores de coeficientes mínimos;
- os métodos desenvolvidos para estacas sujeitas à compressão, tenderam a apresentar estimativas de capacidade mais conservadoras e a favor da segurança em comparação com os métodos específicos para estacas sujeitas à tração para o conjunto de estacas analisadas;
- o método de Décourt e Quaresma [10] obteve sua relação de 0,92 e 0,94 em comparação com os resultados obtidos através das provas de carga. Já o método de Antunes e Cabral [1] que foram utilizados os valores máximos e mínimos dado por eles foram obtidas as razões Q_p/Q_m de 1,12 e 1,15 para os valores máximos e 0,88 e 0,91 para valores mínimos, respectivamente.

A partir dos resultados experimentais e dos cálculos de capacidade de carga realizados, verifica-se que as estimativas de capacidade de carga de estacas sujeitas à tração baseadas em metodologias desenvolvidas para estacas submetidas à compressão que utilizam o ensaio SPT apresentam-se como ferramentas adequadas para a estimativa da capacidade de carga de estacas do tipo hélice contínua em solos arenosos. Portanto, é crucial enfatizar que as conclusões descritas têm alcance e aplicabilidade limitadas. No entanto, esses resultados, juntamente com a experiência adquirida durante a pesquisa, podem ser de grande interesse para pesquisadores e projetistas de fundações desta região e no exterior

REFERÊNCIAS

- [1] W. R. Antunes e D. A. Cabral. Capacidade de carga de estacas hélice contínua. In *Anais do Seminário de engenharia de fundações especiais*, p. 105–109. ABMS, 1996.
- [2] N. Aoki e D. A. Velloso. Um método aproximado para a estimativa da capacidade de carga de estacas. In *Anais do Congresso panamericano de dinâmica dos solos e engenharia de fundações*, v. 5, p. 367–376. Sociedad Argentina de Mecánica de Suelos e Ingenieria de Fundaciones, Buenos Aires, Argentina, 1975.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 12131:2006 – Estacas – Prova de carga estática – Métodos de ensaio*. ABNT/CB-002 - Construção Civil, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2006.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 6122:2010 – Projeto e execução de fundações*. ABNT/CB-002 - Construção Civil, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2010.
- [5] N. B. F. Barros. *Previsão de recalque e análise de confiabilidade de fundações em estacas hélice contínua*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, Brasil, 2012.
- [6] H. Q. Benegas. *Previsão de recalque e análise de confiabilidade de fundações em esta-*

- cas hélice contínua*. Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 1993.
- [7] D. Carvalho. *Análise de cargas últimas à tração em estacas escavadas instrumentadas em campo experimental de São Carlos*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, Brasil, 1991.
- [8] F. A. B. Danziger. *Capacidade de carga de fundações submetidas à esforços verticais de tração*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 1983.
- [9] D. I. Downs e R. Chieurzzi. Transmission tower foundations. *Journal of Power Division, ASCE*, 92(2):91–114, 1966.
- [10] L. Décourt e A. R. Quaresma. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de spt. In *Anais do CBMSEF*, v. 1, p. 45–53. 1978.
- [11] B. H. Fellenius. The analysis of results from routine pile load tests. *Ground Engineering, London*, 13(6):19–31, 1980.
- [12] J. M. Filho, A. S. Moura e F. F. Monteiro. Contribution for a root pile installation control approach using a digital odometer. *Soils and Rocks*, 45(3), 2022. <https://doi.org/10.28927/SR.2022.077121>.
- [13] N. S. Godoy. *Fundações, 1972*. Notas de aula do curso de graduação em engenharia civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP, Brasil.
- [14] F. H. Kulhawy. Drained uplift capacity of drilled shafts. In *Proceedings of International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, v. 3, p. 1549–1552. San Francisco – CA, EUA, 1985.
- [15] H. Laprovitera. *Reavaliação de método semi-empírico de previsão da capacidade de carga de estacas a partir de banco de dados*. Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 1988.
- [16] D. R. Levacher e J. G. Sieffert. Tests on model tension piles. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 110(12):1735–1747, 1984.
- [17] D. Lima e A. Moura. Controle executivo de estacas raiz a partir de medidas de campo. *Ciência & Engenharia*, 25:95–104, 2016. <https://doi.org/10.14393/19834071.2016.27957>.
- [18] F. F. Monteiro, A. S. Moura e M. F. P. Aguiar. An alternative approach to the executive control of root piles. *Soils and Rocks*, 42(3):289–299, 2019. <http://dx.doi.org/10.28927/SR.423289>.
- [19] A. Moura, R. Lima e F. Monteiro. A preliminary proposal: executive control of root piles. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 20(26):12906–12920, 2015.
- [20] C. Orlando. *Contribuição ao estudo da resistência de estacas tracionadas em solos arenosos – Análise comparativa da resistência lateral na tração e compressão*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, Brasil, 1999.
- [21] J. A. Paschoalin Filho. *Estudo do comportamento à tração axial de diferentes tipos de estacas em solo de diabásio da região de Campinas/SP*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, Brasil, 2008.
- [22] J. A. Paschoalin Filho, D. de Carvalho, P. J. R. Albuquerque e R. C. R. Nogueira. Comportamento à tração de estacas tipo hélice contínua executadas em solo de diabásio. *Exacta*, 6(1):75–82, 2008.
- [23] C. C. Scipião e A. S. Moura. Proposta de previsão da capacidade de carga à tração de estacas tipo hélice contínua em solos granulares. *Revista Principia*, (48):146–155, 2020.
- [24] V. D. Veen. The bearing of a pile. In *Proceedings of International Conference on Soil Mechanics and Foundation*, v. 2, p. 84–90. Zurich, Suíça, 1953.

- [25] D. A. Velloso e F. R. Lopes. *Fundações*. COPPE-UFRJ, 2010.
- [26] M. H. Yaegashi, D. Carvalho e F. Pascholain. Capacidade de carga de estacas submetidas a esforços verticais de tração e sua relação com a capacidade de carga lateral de estacas comprimidas. In *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, v. 1, p. 100–110. 2018.