*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/COBRAMSEG2026.5/32**

# Avaliação Do Fator De Correção *F1* Do Método Aoki-Velloso (1975) Para Previsão De Capacidade De Carga De Ancoragens Helicoidais

João Manoel Sampaio Mathias dos Santos Filho
Eng. de Projetos Sr., Vértice Engenharia/Vercon Industrial, Contagem, Brasil, joao.manoel@vercon.com.br

Cristina de Hollanda Cavalcanti Tsuha
Professora Titular, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, Brasil, chctsuha@sc.usp.br

Rafael de Barros Aranha Piccolo
Engenheiro Civil, Diretoria de Transmissão, Neoenergia, Campinas, Brasil, rafael.piccolo@neoenergia.com

Roberto Dolabela de Abreu Duarte
Diretor Geral, Vértice Engenharia/Vercon Industrial, Contagem, Brasil, roberto.dolabela@vercon.com.br

RESUMO: A utilização de fundações em estacas metálicas helicoidais teve início no Brasil na década de 1990. Sua utilização, a princípio, se deu em linhas de transmissão de energia e de telecomunicações para resistir à esforços de tração. Estacas helicoidais são elementos de fundação compostas por uma série de hélices de forma circular soldadas a uma haste central (fuste) tubular ou maciça, com determinado espaçamento entre elas. A instalação no terreno é feita através da aplicação de torque na extremidade final do fuste por meio mecânico. Os principais métodos utilizados para previsão da capacidade de carga a tração de ancoragens helicoidais são teóricos, baseados na teoria de Terzaghi, e correspondem à dois mecanismos de ruptura distintos: cilindro de atrito e método das capacidades individuais. Baseado no método das capacidades individuais, o presente trabalho tem por objetivo verificar o fator de correção *F1* do método semi-empírico de Aoki-Velloso (1975) para avaliação de capacidade de carga de ancoragens helicoidais a partir de retroanálise de provas de carga estáticas à tração. Foi possível estabelecer a partir das 55 provas de carga analisadas, que o valor do *F1* melhor ajustado varia proporcionalmente com o número de hélices da estaca.

PALAVRAS-CHAVE: fundações helicoidais, capacidade de carga de estacas, fundações de torres.

ABSTRACT: The use of helical foundations began in Brazil in the 1990s. Initially, they were used in power transmission lines and telecommunications towers to resist tensile forces. Helical piles are foundation elements composed of a series of circular helices welded to a central tubular or solid shaft, with a specific spacing between them. Installation in the ground is done by applying torque to the end of the shaft using mechanical means. The main methods used to predict the tensile load capacity of helical anchors are theoretical, based on Terzaghi's theory, and correspond to two distinct failure mechanisms: the friction cylinder method and the individual capacity method. Based on the individual capacity method, this work aims to verify the correction factor *F1* of the semi-empirical Aoki-Velloso method (1975) for evaluating the load capacity of helical anchors from back-analysis of static tensile load tests. Based on the 55 load tests analyzed, it was possible to establish that the best-fit *F1* value varies proportionally with the number of helical plates.

KEYWORDS: helical foundations, load capacity, tower foundations.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de fundações em estacas metálicas helicoidais teve início no Brasil a partir dos anos 1990 (SANTOS FILHO, 2019). Sua utilização se deu inicialmente em fundações de linhas de transmissão de energia e de telecomunicações para resistir principalmente a esforços de tração que hoje chegam à ordem de 1.000 kN.

Atualmente, as fundações helicoidais são também largamente utilizadas para esforços de compressão resistindo à cargas da ordem de 500 kN quando fabricadas com fuste de tubo ϕ101,6 mm. No caso de tração, a carga máxima de projeto é limitada pelo elo geoténcnico. Já no caso de compressão, a carga máxima de projeto é, em geral, limitada pelo elo estrutural no estudo de flambagem. De acordo com o AC 358 (ICCES, 2025), os solos que não sejam fluidos (ou seja, com $N_{SPT} \geq 1$) oferecem contenção lateral suficiente para que não ocorra flambagem nas estacas. A norma EN 1997-1 (EUROCODE 7, 2004) afirma que estacas em solos com resistência não drenada maiores que 10 kPa não requerem estudo de flambagem.

Estacas helicoidais quando projetadas para resistirem apenas a esforços de tração são denominadas ancoragens helicoidais. Esta situação ocorre quando na estaca é interligado um estai, por exemplo.

Segundo Mitsch e Clemence (1985) estacas helicoidais são elementos de fundação compostas por uma série de hélices de forma circular, soldadas a um tubo central (fuste), com determinado espaçamento entre elas. Tsuha (2007) explica que estas estacas são instaladas no solo pela aplicando-se um torque na extremidade final do fuste por meio mecânico. A Figura 1 apresenta um exemplo de equipamento de instalação. O número e os diâmetros das hélices são calculados de acordo com as características do solo para proporcionar a capacidade de carga desejada.



Figura 1. Equipamento de instalação de estaca helicoidal.

Para previsão da capacidade de carga à tração de ancoragens helicoidais são considerados dois mecanismos de ruptura: cilindro de atrito e capacidades individuais (MERIFIELD, 2011). O primeiro método baseia-se na resistência ao cisalhamento da superfície cilíndrica formada pelo solo entre as hélices e a resistência da hélice de topo. O segundo assume que a ruptura ocorre acima de cada hélice, e a resistência da ancoragem é a soma das resistências individuais.

Através desses mecanismos de ruptura aplicam-se às equações pertinentes os parâmetros de resistência e peso específico pertinentes e obtém-se a estimativa da capacidade de carga. De maneira geral, os parâmetros de entrada para as formulações teóricas são obtidos de forma aproximada por meio de correlações. Da mesma forma que ocorre para outras aplicações de Mecânica dos Solos, há dificuldades em quantificar parcelas de resistência devido ao atrito e a coesão do solo, de forma que é quase mandatório considerar que o solo tem

comportamento puramente friccional ou coesivo. As incertezas associadas a parametrização embutem erros que são propagados nos cálculos, o que por sua vez gera resultados pouco confiáveis.

De acordo com Cintra e Aoki (2010), como métodos teóricos em geral não apresentam resultados confiáveis na previsão de capacidade de carga de estacas, vários autores tem proposto métodos baseados em correlações empíricas com resultados de ensaios *in situ* e ajustados com provas de carga. Estes métodos são semi-empíricos e tendem a apresentar melhores resultados, principalmente se ajustados as características do solo local. Segundo Velloso e Lopes (2010) como no Brasil a sondagem SPT é a investigação geotécnica mais difundida e realizada, é nela que a maioria dos profissionais de fundações têm se baseado para estabelecer seus métodos.

Baseando-se no mecanismo de ruptura correspondente ao método das capacidades individuais utilizado na previsão de capacidade de carga de ancoragens helicoidais, o presente trabalho tem por objetivo adaptar o método de Aoki-Velloso (1975), propondo os fatores de correção *F1* a serem utilizados na previsão de capacidade de carga à tração de ancoragens helicoidais. Os fatores *F1* apresentados no presente trabalho foram ajustados a partir de resultados de 55 provas de carga à tração realizadas em estacas de uma a seis hélices instaladas em vários estados do Brasil.

## 2 MECANISMO DE RUPTURA E CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES HELICOIDAIS

### 2.1 Modo de ruptura *versus* profundidade relativa

Mitsch e Clemence (1985) estudaram a superfície de ruptura do solo em torno de ancoragens helicoidais e observaram que para uma pequena relação entre a profundidade da hélice mais próxima à superfície e o diâmetro desta hélice a superfície de ruptura estendesse até a superfície do terreno. Quando a relação é maior a superfície de ruptura se desenvolve inteiramente no interior do terreno e, neste caso diz-se que a ruptura é profunda (DAS, 1990).

Conforme Mitsch e Clemence (1985), para areias com densidade relativa entre 44% e 90% embutimento de cinco diâmetros é suficiente para possibilitar a condição de ruptura profunda. De acordo com Stephenson (2003), três diâmetros já seriam suficientes para que a ruptura seja considerada profunda, independentemente do tipo de solo. A A. B. Chance Co. (2002), explica que tem sido relatado por diversos pesquisadores que o embutimento mínimo para considerar ruptura profunda varia entre 3 e 8, no entanto recomenda o valor cinco a ser utilizado nos projetos. Todas das estacas consideradas neste trabalho foram instaladas de forma que a ruptura fosse considerada profunda.

### 2.2 Espassamento entre hélices

Para validade da aplicação do método das capacidades individuais, Tsuha (2007) afirma que o espaçamento deve ser tal que uma hélice não exerça influência no comportamento da outra. Para Perko e Rupiper (2000) e A. B. Chance Co. (2002), um espaçamento entre as hélices de aproximadamente três diâmetros, independentemente do tipo de solo, é suficiente para que uma hélice não tenha influência sobre a seguinte. Já Lutenneger (2011) afirma que para validade do comportamento individual o espaçamento entre as hélices deve ser de três diâmetros para areias e 2,5 diâmetros para argilas. Logo, de acordo com os trabalhos citados, o espessamento entre hélices de três diâmetros é suficiente para garantir comportamento individual para qualquer tipo de solo. Todas as estacas consideradas na análise apresentada neste trabalho atendem a este critério de espessamento entre hélices.

### 2.3 Método das capacidade individuais

De acordo com Clemence et al. (1994) o método assume que a ruptura ocorrendo no solo acima de cada hélice individualmente e a capacidade de carga da estaca é dada pelo somatório das capacidades individuais. Assim, a capacidade de carga à tração ($R_{ut}$) de uma ancoragem helicoidal de $n$ hélices será dada pela Equação 1, onde se desconsidera a contribuição das hastes por ser pouco significativa.

$$R_{ut} = \sum_{i=1}^{n} q_{u,i}.A_i \quad (1)$$

onde:
$q_{u,i}$: tensão de ruptura do solo acima da hélice $H_i$;
$A_i$: área efetiva da hélice $H_i$.

## 3 MÉTODO AOKI-VELLOSO (1975)

Segundo Velloso e Lopes (2010) o método de Aoki-Velloso (1975) foi desenvolvido a partir de comparações entre resultados de SPT e provas de carga em estacas, sendo que o método pode ser utilizado com resultados de SPT e CPT. A primeira expressão da capacidade de carga foi escrita relacionando a resistência de ponta e atrito lateral da estaca com resultados de cone mecânico.

Cintra e Aoki (2010) comentam que *F1* e *F2* são fatores de correção que levam em conta a influência do método executivo de cada tipo de estaca e o efeito escala, ou seja, a diferença de comportamento entre a estaca (protótipo) e o cone (modelo). Desta maneira a capacidade de carga de uma estaca será calculada pela Equação 2. A primeira parcela da equação refere-se à resistência de ponta, ou de apoio, e a segunda a resistência por atrito lateral.

$$R_u = \frac{A_p.q_c}{F1} + \frac{U}{F2}\sum f_s.\Delta l \quad (2)$$

onde:
$A_p$: área de ponta ou base da estaca;
$U$: perímetro da estaca;
$\Delta l$: trecho do comprimento da estaca onde $f_s$ é avaliado;
$q_c$: resistência de ponta do cone;
$f_s$: atrito lateral da luva do cone;

Contudo, Cintra e Aoki (2010) comentam que como no Brasil não é pratica corrente a utilização de ensaios CPT o valor da resistência de ponta foi correlacionado com $N_{SPT}$ (Equação 3), sendo $K$ dependente do tipo de solo. Já o $f_s$ é obtido pela Equação 4 na qual $\alpha$ é a razão de atrito que dependente do tipo de solo. Como não se disponha de muitos resultados de prova de carga instrumentada, a indeterminação de *F2* foi resolvida fazendo-se $F2=2.F1$. As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores de $K$, $\alpha$, *F1* e *F2* propostos por Aoki-Velloso (1975).

$$q_c = K.N_{SPT} \quad (3)$$

$$f_s = \alpha.q_c = \alpha.K.N_{SPT} \quad (4)$$

Reescrevendo (2) incorporando (3) e (4) tem-se a Equação 5.

$$R_u = \frac{A_p.K.N_P}{F1} + \frac{U}{F2}\sum K.\alpha.N_L.\Delta l \quad (5)$$

Onde: $N_P$ é o $N_{SPT}$ na ponta e $N_L$ é o $N_{SPT}$ médio no fuste referente ao seguimento $\Delta l$.

Tabela 1. Coeficiente *K* e razão de atrito *α*. (Aoki-Velloso; 1975)

| Tipo de solo | *K* (kPa) | α (%) |
|---|---|---|
| Areia | 1000 | 1,4 |
| Areia siltosa | 800 | 2,0 |
| Areia silto-argilosa | 700 | 2,4 |
| Areia argilo-siltosa | 500 | 2,8 |
| Areia argilosa | 600 | 3,0 |
| Silte arenoso | 550 | 2,2 |
| Silte areno-argiloso | 450 | 2,8 |
| Silte | 400 | 3,0 |
| Silte argilo-arenoso | 250 | 3,0 |
| Silte argiloso | 230 | 3,4 |
| Argila arenosa | 350 | 2,4 |
| Argila areno-siltosa | 300 | 2,8 |
| Argila silto-arenosa | 330 | 3,0 |
| Argila siltosa | 220 | 4,0 |
| Argila | 200 | 6,0 |

Tabela 2. Fatores de correção *F1* e *F2* atualizados. (Cintra e Aoki, 2010)

| Tipo da estaca | F1 | F2 |
|---|---|---|
| Franki | 2,5 | 2F1 |
| Metálica | 1,75 | 2F1 |
| Pré-moldada de concreto | 1+D/0,8 | 2F1 |
| Escavada | 3 | 2F1 |
| Hélice e ômega | 2 | 2F1 |

## 4 *F1* PARA FUNDAÇÕES HELICOIDAIS

Conforme mencionado anteriormente, para espaçamento entre hélices maior ou igual a três diâmetros não ocorrerá formação do cilindro de atrito pelo solo entre as hélices e a capacidade de carga à tração da estaca corresponderá a soma das capacidades individuais de cada hélice. Assim, fazendo-se uma associação à forma de mobilização de carga por estacas prismáticas convencionais com a forma de mobilização de carga por uma estaca helicoidal, considera-se que cada hélice corresponde a uma ponta da estaca e a capacidade pode ser obtida através do método Aoki-Velloso (1975) considerando o fator de correção *F1* adequado.

Devido a pouca disponibilidade de provas de carga instrumentadas no banco de dados utilizado e a pouca contribuição do atrito lateral nas hastes de extensão na capacidade de carga a segunda parcela da Equação 5 não foi considerada. Assim, a capacidade de carga à tração de uma estaca helicoidal de *n* hélices pelo método Aoki-Velloso (1975) será dada pela Equação 6, onde $N_{hi}$ é o índice resistência à penetração $N_{SPT}$ do solo acima da hélice *i*.

$$R_{ut} = \sum_{i=1}^{n} \frac{K.N_{hi}.A_i}{F1} \qquad (6)$$

Para definição da carga de ruptura será adotado o critério estabelecido na norma AC 358 (ICCES, 2025) onde se define a capacidade de carga como sendo a carga correspondente a um deslocamento do topo da estaca igual a 10% do diâmetro médio das hélices mais o deslocamento devido à deformação elástica da haste central. Contudo, ressalta-se que este deslocamento, em geral, não corresponde à ruptura propriamente dita, ou seja, ainda pode ser aplicado carregamento à estaca crescendo também o deslocamento associado para a curva virgem. Como para fundações de linhas de transmissão os critérios de deslocamento são pouco rigorosos e existe a possibilidade de aplicação de carregamento em 100% das fundações tracionadas, o deslocamento máximo atingido no ensaio de projeto ou de desempenho é pouco relevante uma vez que em serviço o deslocamento da fundação será de baixissima magnitude, pois esta estará trabalhando em regime de recarregamento (CHRISTONI et al., 2025; SANTOS FILHO, 2019; SANTOS FILHO et al., 2024). Entretanto, o torque definido para a carga de projeto deve-se garantir margem de segurança adequada.

Para obtenção dos valores de *F1* para ancoragens helicoidais através de retroanálises foram reunidas 55 provas de carga à tração realizadas em vários estados da federação em estacas instaladas em obras de linhas

de transmissão e no âmbito dos trabalhos de Tsuha (2007), Santos (2013), Santos Filho (2014; 2019). As provas de carga realizadas foram do tipo rápida conforme NBR 16903 (2020). O banco de dados reuniu estacas com as características resumidamente apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características das estacas do banco de dados.

| | |
|---|---|
| Quantidade de hélices | 1, 2, 3, 4, 5 e 6 |
| Diâmetro das hélices (mm) | 127, 150, 200, 254, 305, 356, 405, 508 e 635 |
| Diâmetro externo dos tubos (mm) | 73,0, 88,9, 101,6, 108,0 e 168,3 |
| Profundidade (m) | 3,0 a 20,0 |
| Estados da federação | Bahia, Piauí, Pará, Paraná, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Santa Catarina, São Paulo |

A Figura 2 apresenta o gráfico dos valores de *F1* obtidos na retroanálise em função no número de hélices (*n*). É razoável a associação do fator de capacidade de carga ao número de hélices uma vez que há um efeito de perturbação cumulativo conforme cada hélice corta o terreno até atingir a profundidade final de instalação (SANTOS FILHO, 2014; LUTENEGGER e TSUHA, 2015). A Figura 3 apresenta a comparação entre os valores medidos e calculados através do método Aoki-Velloso (1975) com o valor de *F1* em função do número de hélices proposto.

Como melhor ajuste aos dados foi obtido o valor de $F1 = 3{,}11.n$. O coeficiente de variação encontrado foi de 27,6%. Considerando um grau de confiança de 95% o valor proposto para utilização é $F1_{95} = 4{,}43.n$. Conforme mencionado anteriormente, os valores de *F1* propostos são para cálculo da capacidade de carga à tração. A estimativa da capacidade de carga à compressão pode ser feita a partir do estabelecimento de uma relação tração/compressão conveniente e, se possível, ajusta para a obra e geometria da estaca utilizada. Preliminarmente, sugere-se considerar a capacidade de carga geotécnica à compressão como sendo 30% superior à de tração.

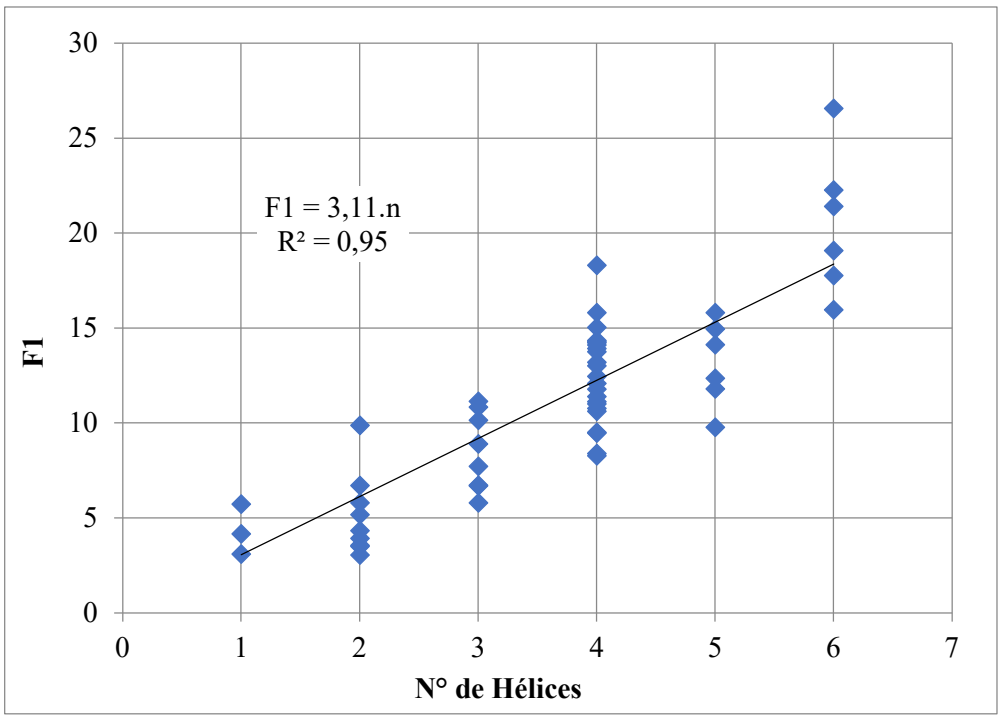



Figura 2. Valores de *F1* retroanalisados em função do número de hélices das estacas.

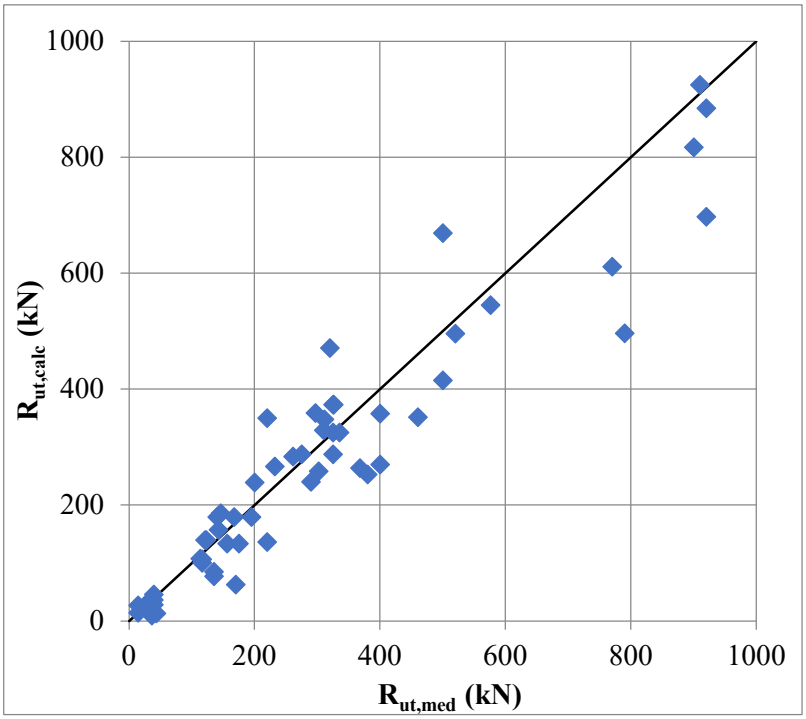



Figura 3. Comparação entre valores medidos e calculados com os valores de *F1* propostos.

## 5 CONCLUSÃO

Foram avaliadas 55 provas de carga à tração em estacas metálicas helicoidais de diversas configurações e instaladas em vários estados da federação. Foi possível estabelecer um valor de *F1* em função do número de hélices para aplicação do método Aoki-Velloso (1975) a este tipo de estaca. A variação do *F1* em função no número de hélices decorre do grau cumulativo de perturbação provocados pela passagem das hélices no solo durante a instalação. Ressalta-se que não se dispensa o controle da instalação por meio da medição do torque durante a instalação, sendo este o método mais confiável de verificação de capacidade de carga.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Neoenergia, Projeto PD-07284-0002/2020 do programa de P&D ANEEL, e à Vértice Engenharia por disponibilizar os dados das provas de carga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. B. Chance Co. (2002). *Helical pier foundations systems*. Technical Manual, Centralia, Bulletin 01-9601.

Aoki, N., e Velloso, D.A. (1975). An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In *Proceedings of the 5th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (pp. 367-376), Buenos Aires.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 16903. *Solo - Prova de carga estática em fundação profunda*. Rio de Janeiro, 15 p.

Christoni, A.R.F, Santos Filho, J.M.S.M., Morais, T.S.O., Tsuha, C.H.C. (2025). Field investigation of the tensile cyclic performance of multi-helix piles. *Proceedings of 5th International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics,* Nantes, 7 p.

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

Clemence, S.P., Crouch, L.K. e Stephenson, R.W. (1994). Prediction of capacity for helical anchors in sand. *Proceedings of 2nd Geotechnical Engineering Conference*. Cairo, Egypt, v. I, pp. 332-343.

Das, B.M. (1990). *Earth Anchors*. Elsevier Science Publisher, New York, 241p.

EN 1997-1 (2004). *Eurocode 7 - Geotechnical Design, Part 1: General rules*. Brussels, 171 p.

ICCES (2025). AC 358: *Acceptance Criteria for Helical Foundation Systems and Devices*. International Code Council Evaluation Service, Inc., 24 p.

Lutenneger, A.J. (2011). Behavior of Multi-Helix Screw Anchors in Sand. *Proceedings of 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Toronto, Canada.

Lutenneger, A.J. e Tsuha, C.H.C. (2015). Evaluating Installation Disturbance from Helical Piles and Anchors Using Compression and Tension Tests. *Proceedings of the XV Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering,* Buenos Aires, pp. 373-381.

Merifield, R.S. (2011). Ultimate Uplift Capacity of Multiplate Helical Type Anchors in Clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 137(7), pp. 704-716.

Mitsch, M.P. e Clemence, S.P. (1985). The uplift of helix anchors in sand. Uplift behavior of anchor foundations in soil. *Proceedings of a session sponsored by the Geotechnical Engineering Division of the American Society of Civil Engineers ASCE*, Michigan, pp. 26-47.

Perko, H.A. e Rupiper, P.E. (2000). *Helix pier engineering handbook 2000*. Ingal Precision Foundations, INC. Worldwide Helix Pier Distributors.

Santos Filho, J.M.S.M., Piccolo, R.B.A. e Tsuha, C.H.C. (2024). Deslocamento admissível para fundações de torres de linhas de transmissão de energia. *Anais do XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*. Balneário Caboriú, 7 p.

Santos Filho, J.M.S.M. (2014) *Efeito da instalação de estacas helicoidais em solo tropical*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 117 p.

Santos Filho, J.M.S.M. (2019). *Análise do comportamento de fundações por estacas helicoidais com injeção de calda de cimento*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 170 p.

Santos, T.C. (2013). *Estudo da capacidade de carga à tração de estacas metálicas helicoidais em solos tropicais*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 140 p.

Stephenson, R.W. (2003). *Design and Installation of Torque Anchors for Tiebacks and Foundations*. Missouri University of Science and Technology, Rolla, 45 p.

Tsuha, C.H.C. (2007). *Modelo Teórico para Controle da Capacidade de Carga à Tração de Estacas Metálicas Helicoidais em Solo Arenoso*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 245 p.

Velloso, D.A. e Lopes, F. R. (2010). *Fundações, volume 1: critérios de projeto, investigações do subsolo, fundações superficiais*. Nova Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 226 p.