XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XII Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia (CLBG)
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/62

Estudo de caso – Correlação entre o torque de instalação e a capacidade de carga da estaca helicoidal

Filipe Henrique Costa Lima
Engenheiro Civil, Incotep, Guarulhos, Brasil, filipehc_lima@outlook.com

RESUMO: O presente trabalho apresenta um estudo de caso sobre a correlação entre o torque de instalação e a capacidade de carga de estacas metálicas helicoidais aplicadas à fundação de uma torre do tipo Cross Rope, pertencente a um projeto de Linha de Transmissão de Energia de 500 kV. O projeto original previa um bloco de concreto de 1,60 × 1,60 × 1,00 m apoiado sobre quatro estacas helicoidais. Durante a execução, os torques mínimos especificados não foram alcançados em função da ocorrência de uma transição abrupta entre uma camada de solo de baixa resistência e uma camada impenetrável. Como tentativa de ajuste em campo, foram instaladas estacas adicionais com espaçamento reduzido, o que resultou em interferência entre os elementos e perda de eficiência do sistema. Diante dessa condição, foi desenvolvido um novo projeto, contemplando um bloco de 2,50 × 2,50 × 1,40 m com dezesseis estacas helicoidais, reduzindo as cargas por elemento e possibilitando o alcance dos torques de instalação estimados. Foram realizados ensaios de carregamento em cinco estacas, cujos deslocamentos permaneceram abaixo dos limites de projeto, confirmando a adequação da solução adotada. Os resultados reforçam a relevância do torque de instalação como parâmetro de controle e retroanálise em campo, especialmente em solos heterogêneos, contribuindo para a interpretação do comportamento das estacas e a otimização do dimensionamento das fundações.

PALAVRAS-CHAVE: Estacas helicoidais, torque de instalação, capacidade de carga, ensaio de carregamento, linha de transmissão, solos heterogêneos.

ABSTRACT: This paper presents a case study on the correlation between installation torque and the load-bearing capacity of steel helical piles applied to the foundation of a Cross Rope–type tower, part of a 500 kV power transmission line project. The original design consisted of a 1.60 × 1.60 × 1.00 m concrete pile cap supported by four helical piles. During construction, the specified minimum installation torques were not achieved due to the occurrence of an abrupt transition between a low-strength soil layer and an impenetrable layer. As an attempt to adjust the foundation system in the field, additional piles were installed with reduced spacing, resulting in pile interference and loss of overall system efficiency. Under these conditions, a revised design was developed, comprising a 2.50 × 2.50 × 1.40 m pile cap supported by sixteen helical piles, thereby reducing the load per pile and enabling the achievement of the estimated installation torques. Load tests were performed on five piles, and the measured displacements remained below the design limits, confirming the adequacy of the adopted solution. The results highlight the relevance of installation torque as a control and back-analysis parameter in the field, particularly in heterogeneous soils, contributing to a more reliable interpretation of pile behavior and to the optimization of foundation design.

KEYWORDS: Helical piles, installation torque, load-bearing capacity, load test, power transmission line, heterogeneous soils.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de estacas metálicas helicoidais no Brasil constitui uma solução de fundação já consolidada em obras de infraestrutura, especialmente em projetos de Linhas de Transmissão de Energia, devido à rapidez de execução, redução do consumo de concreto e menor impacto ambiental quando comparada a fundações convencionais. Nesse contexto, a confiabilidade do desempenho geotécnico das estacas assume papel fundamental, sobretudo em estruturas submetidas a esforços significativos de tração e compressão, como torres de transmissão. A correta avaliação da capacidade de carga torna-se, portanto, um aspecto crítico para a segurança e a eficiência do sistema de fundação.

O torque de instalação é amplamente empregado como um parâmetro indireto para estimar a capacidade de carga das estacas helicoidais, por refletir a interação entre o elemento estrutural e o solo ao longo da instalação. Diversos estudos e práticas de campo indicam a existência de correlação entre o torque aplicado e a resistência mobilizada pela estaca, permitindo seu uso como critério de controle executivo e verificação em obra. Entretanto, em solos heterogêneos, a variabilidade das camadas geotécnicas pode influenciar significativamente essa correlação, exigindo análises criteriosas e, em muitos casos, validação por meio de ensaios de carregamento.

Sob essa perspectiva, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso que avalia a correlação entre o torque de instalação e a capacidade de carga de estacas metálicas helicoidais aplicadas à fundação de uma torre do tipo Cross Rope, pertencente a um projeto de Linha de Transmissão de Energia de 500 kV, localizado no interior do estao de São Paulo. A partir de dificuldades observadas durante a execução do projeto original, foram analisadas alternativas de ajuste em campo, a reavaliação do dimensionamento e os resultados de ensaios de carregamento, de modo a contribuir para a compreensão do comportamento das estacas e para o aprimoramento de critérios de projeto e controle em obras com condições geotécnicas complexas.

2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1 Dados do projeto

O presente estudo de caso refere-se à fundação de um dos mastros centrais de uma torre do tipo *Cross Rope*, integrante de um projeto de Linha de Transmissão de Energia de 500 kV, composto por dois circuitos (C1 e C2), cujos nomes da construtora e da transmissora de energia serão preservados.

O projeto compreendeu 628 torres ao longo de aproximadamente 590 km de extensão, incluindo também torres estaiadas simples - monomastro e torres autoportantes (suspensão e ancoragem).

Anteriormente à elaboração do projeto executivo, as fundações das torres foram tipificadas em função das condições geotécnicas locais, sendo classificadas conforme o perfil de solo nos tipos I, II, III, IV e V. Para essa etapa, foram realizadas sondagens do tipo SPT em todas as torres, constituindo uma base consistente para a investigação geotécnica e para a definição dos critérios de projeto das fundações.

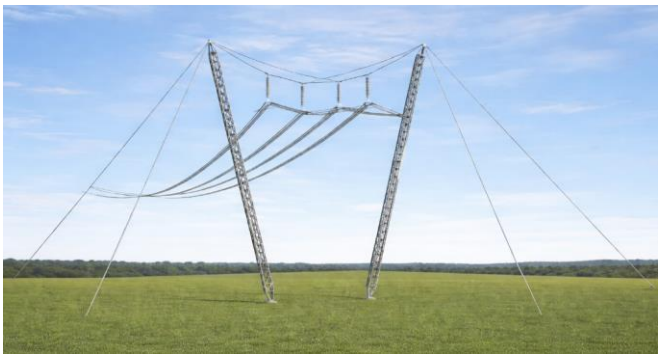


Figura 1 (a). Representação 3D da torre Cross Rope.

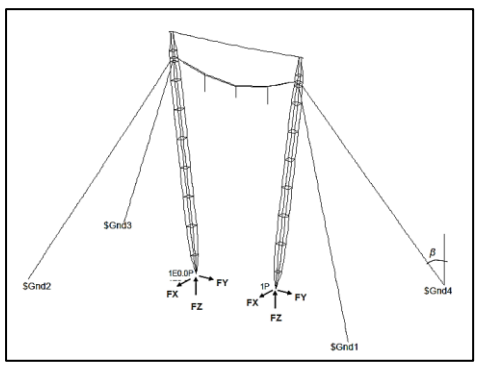


Figura 1 (b). Representação 2D da torre.

As estacas helicoidais foram adotadas nas fundações dos estais, dos mastros centrais e das estruturas autoportantes cujas condições geotécnicas do solo permitiam alcançar a capacidade de carga e desempenho previstas em projeto. Além disso, a escolha contemplou torres com limitações de acesso e, consequentemente, restrições para a mobilização de equipamentos, especialmente os de maior porte, bem como estruturas que, após a regularização de embargos, liberações ambientais ou ajustes de traçado, encontravam-se em condição crítica em relação ao cronograma da obra. Nessas circunstâncias, as estacas apresentaram vantagens técnicas, logísticas e de produtividade em comparação com outras soluções de fundação.

2.2 Caracterização da torre

A torre objeto deste estudo de caso está localizada a aproximadamente 300 metros da margem de um rio que constitui um aspecto relevante do ponto de vista geotécnico, uma vez que pode influenciar as características do solo e o comportamento tensão–deformação da fundação.

Para essa torre específica, não tendo uma justificativa apresentada pela construtora, não foram realizadas sondagens. A caracterização geotécnica do local foi realizada com base nas investigações executadas nas torres vizinhas - ré e vante, adotadas como representativas do perfil estratigráfico da região – prática comumente adotada pelos projetistas em situações semelhantes a essa.

As informações provenientes das sondagens das torres próximas forneceram subsídios iniciais para a definição dos parâmetros geotécnicos utilizados no dimensionamento das fundações, permitindo a avaliação da capacidade de carga e do desempenho das estacas helicoidais adotadas no projeto.

SONDAGENS - TIPO SPT													
Torre	Profundidade (m)												
	Nível D'Água	1,55	2,55	3,55	4,55	5,55	6,55	7,55	8,55	9,55	10,55	11,55	12,55
Ré	0,16	7	30	IMP									
Vante	-	4	4	4	5	7	7	8	26	29	51		

Figura 2. Resumo sondagem torre ré e vante

2.3 Concepção inicial do projeto de fundação

O dimensionamento da fundação foi realizado a partir das cargas da estrutura, predominantemente de compressão, em função da configuração estrutural dos dois mastros da torre.

HIP.	COMB.	FZ (kgf)	FY (kgf)	FX (kgf)	V (kgf)	V + PP (kgf)	L (kgf)	T (kgf)	Mx (kgf.m)	My (kgf.m)	Mz (kgf.m)
H_37,5	1	-81.752	9.778	0	98.102	105.315	0	-11.734	0	-23.467	0
H_25.5	7.1	-40.290	4.177	-500	48.348	55.561	-600	-5.012	0	-10.025	-1.200
H_37,5	13R	-14.290	1.041	-2.370	17.148	24.361	-2.844	-1.249	0	-2.498	-5.688

Figura 3. Cargas da estrutura

O cálculo estrutural foi realizado utilizando o software Mudados, que permite o cálculo estrutural das estacas dispostas em um bloco a partir das reações nos carregamentos verticais e horizontais.

A fundação originalmente concebida consistia em um bloco de concreto com dimensões de 1,60 × 1,60 × 1,00 m, apoiado sobre quatro estacas metálicas helicoidais, dimensionadas para atender às solicitações de projeto conforme os critérios geotécnicos e estruturais estabelecidos. As cargas atuantes nas estacas, se deram da seguinte maneira:

HIP.	COMB.	ESFORÇOS NO TOPO DAS ESTACAS - COMPRESSÃO								
H_37,5	1	ESTACA	N (tf)	V_y (tf)	V_z (tf)	T (tf.m)	M_y (tf.m)	M_z (tf.m)	H_{res} (tf)	M_{res} (tf.m)
		E_1	35,63	0,00	-2,93	0,00	1,45	0,00	2,93	1,45
		E_2	17,02	0,00	-2,93	0,00	1,45	0,00	2,93	1,45
		E_3	35,63	0,00	-2,93	0,00	1,45	0,00	2,93	1,45
		E_4	17,02	0,00	-2,93	0,00	1,45	0,00	2,93	1,45

Figura 4. Cargas atuantes nas estacas

As estacas metálicas helicoidais foram projetadas com inclinação em relação à vertical, visando uma distribuição mais equilibrada dos esforços no bloco de fundação. Tal configuração favorece o trabalho conjunto das estacas frente à atuação combinada de cargas verticais, horizontais e momentos, resultando em maior eficiência e melhor desempenho global do sistema de fundação.

LOCAÇÃO E INCLINAÇÃO DAS ESTACAS					
ESTACA	z (m)	y (m)	x (m)	Alfa (°)	Beta (°)
E1	-0,6000	0,6000	0,0000	21,00	307,00
E2	0,6000	0,6000	0,0000	21,00	53,00
E3	-0,6000	-0,6000	0,0000	26,00	141,00
E4	0,6000	-0,6000	0,0000	26,00	219,00

Figura 5. Inclinação Alfa (°) nas estacas

Com as cargas atuantes e a inclinação de cada estaca previamente estabelecidas, o boletim de sondagem da torre vante foi adotado como referência para a caracterização geotécnica do solo.

A tipificação dos solos, definida previamente às etapas de projeto executivo, foi adotada como condição de referência para o dimensionamento da fundação.

SOLOS TÍPICOS (I A VIS)							
Descrição	Tipo	Nspt [1] (golpes)	coesão (kgf/m2)	ϕ [2] (graus)	γ [3] (kgf/m3)	σadm [4] (kgf/cm2)	τadm [5] (kgf/cm2)
Argilo-Siltoso Coeso a Muito Coeso / Areia-Siltosa Compacta a Muito	I	≥ 20	4000	30,0	1800	4,00	0,35
Argilo-Siltoso Coeso a Muito Coeso / Areia-Siltosa Compacta a Muito	IS		3000	27,5	1600	3,00	0,30
Argilo-Siltoso Coeso / Areia-Siltosa Compacta	II	14 < N < 20	3000	25,0	1700	3,00	0,30
Argilo-Siltoso Coeso / Areia-Siltosa Compacta (Submerso)	IIS		2250	22,5	1500	2,50	0,25
Argilo-Siltoso Med. Coeso / Areia-Siltosa Med. Compacta	III	9 < N ≤ 14	2500	20,0	1500	2,00	0,20
Argilo-Siltoso Med. Coeso / Areia-Siltosa Med. Compacta (Submerso)	IIIS		2000	17,5	1300	1,50	0,15
Argilo-Siltoso Pouco Coeso / Areia-Siltosa Pouco Compacta	IV	4 < N ≤ 9	1750	15,0	1250	1,00	0,15
Argilo-Siltoso Pouco Coeso / Areia-Siltosa Pouco Compacta (Submerso)	IVS		1500	12,5	1100	0,80	0,10
Argilo-Siltoso Muito Mole / Areia-Siltosa Muito Pouco Compacta	VI	N ≤ 4	1200	12,5	1200	0,80	0,10
Argilo-Siltoso Muito Mole / Areia-Siltosa Muito Pouco Compacta	VIS		1000	10	1000	0,60	0,08

Figura 6 . Tipifação do solo

A partir dessa base, foi realizado o dimensionamento geotécnico da fundação para o mastro central MC1 e MC2, no qual foram definidos a geometria da estaca helicoidal - diâmetro externo e espessura do tubo, torque de instalação, comprimentos mínimo e médio de instalação, bem como o diâmetro e a quantidade de hélices necessárias para alcançar a resistência geotécnica necessária.

Tabela 1. Especificação de projeto

Item	Definição de projeto
Estaca Helicoidal	INCO 60EH (101,6 x 7,1mm)
Hélices	10”-12”-14”-16”
Torque de instalação	14.200 lbf.ft
Comprimento minimo	6 metros
Comprimento médio estimado	9 metros

Após a instalação, as estacas seriam submetidas a ensaio de tração, conforme critério estabelecido em projeto executivo e prática amplamente adotada em fundações de Linhas de Transmissão de Energia.

Embora o mastro central esteja predominantemente sujeito a esforços de compressão, a escolha pelo ensaio de tração decorre de limitações operacionais do sistema de ensaio em campo, que exige a utilização de estacas de reação – condição que precisaria de um bloco maior para acomodar as estacas adicionais.

Adicionalmente, durante o ensaio de convalidação, foi realizado ensaio de compressão nas estacas, permitindo a avaliação do comportamento de diferentes tipos de solo para o projeto exeuctivo. Para a análise dos deslocamentos à compressão, foram adotados parâmetros obtidos por meio de um fator de correlação, denominado k, que relaciona os deslocamentos medidos nos ciclos de tração e compressão, conforme a expressão a seguir.

$$k = \frac{Deslocamento\ 100\%\ carregamento\ do\ 2°\ ciclo\ à\ tração + Deslocamento\ residual\ 1°\ ciclo\ à\ tração}{Deslocamento\ 100\%\ do\ carregamento\ 2°\ ciclo\ à\ compressão + Deslocamento\ residual\ 1°\ ciclo\ à\ compressão}$$

(1)

Com o fator de correlação "k" admitido o deslocamento à compressão da seguinte maneira:

$$D_c = D_t \text{ x k} \qquad (2)$$

Dc = deslocamento à compressão (mm)
Dt = deslocamento à tração (mm)
K = fator de correlação

Seguindo os outros parâmetros definidos no procedimento de ensaio de rotina das estacas para este projeto, apenas uma estaca por bloco deveria ser ensaiada, e os resultados submetidos ao projetista para aprovação. A aprovação do ensaio com os seguintes critérios:

- 1° ciclo - deslocamento máximo admissível não deve ser superior a 40mm em 100% da carga.
- 2° ciclo – deslocamento em 100% da carga, incluindo o residual do 1º ciclo, não deve exceder 50 mm.

3 DADOS DA INSTALAÇÃO E ENSAIO

3.1 Resultados MC1

A instalação das estacas teve início no mastro central 1 (MC1), com resultados superiores aos valores mínimos previstos em projeto, confirmando o desempenho esperado da fundação.

Tabela 2. Resultados da instalação no MC1

Estaca	Comprimetno de instalação (m)	Comprimento de projeto (m)	Torque de instalação (lbf.ft)	Torque de projeto (lbf.ft)
E1	10,40	6	20.836	14.200
E2	12,40		17.865	
E3	10,40		17.422	
E4	14,15		19.822	

De forma consistente com os resultados observados durante a instalação, os ensaios realizados indicaram comportamento satisfatório das estacas, com deslocamentos e respostas carga–deslocamento compatíveis com os critérios de aceitação estabelecidos em projeto.

Tabela 3. Resultados do ensaio - MC1

Estaca	Ensaio	1° ciclo (mm)	Residual 1° ciclo (mm)	2° ciclo (mm)	Residual 2° ciclo (mm)
E4	Tração	12,10	2,21	14,53mm	2,65mm

3.2 Resultados MC2

A instalação na respectiva torre deu sequência agora no mastro central MC2 e, diferentemente do comportamento obtido no MC1, verificou-se que somente a estaca E4 atingiu o torque mínimo de projeto,

enquanto as demais registraram torques inferiores ao especificado, com destaque para a estaca E1, que não atingiu a profundidade mínima prevista.

Tabela 4. Resultados da instalação no MC2

Estaca	Comprimetno de instalação (m)	Comprimento de projeto (m)	Torque de instalação (lbf.ft)	Torque de projeto (lbf.ft)
E1	5,20	6	2.310	14.200
E2	7,10		2.555	
E3	6,50		3.800	
E4	10,70		16.459	

Durante a instalação, o avanço das estacas E1, E2 e E3 foi interrompido em função de uma transição abrupta de solo, evidenciada por ruído característico durante a aplicação, indicando a presença de camada impenetrável, como laje rochosa, rocha fraturada, saibro ou solo extremamente compacto.

Em razão da condição observada durante a instalação, a fundação não apresentou capacidade geotécnica suficiente, o que demandava uma análise complementar por parte do projetista, sem necessidade de prosseguir com a etapa de ensaio.

4. SOLUÇÃO IMEDIATA EM CAMPO

A torre em questão correspondia à última estrutura com fundação tipificada em estacas helicoidais, em um momento em que o projeto já operava sob prazos significativamente restritos, influenciados por fatores como período de chuva, dificuldades de acesso, atrasos no fornecimento de insumos e materiais. Havia, portanto, a necessidade de conclusão da etapa civil para viabilizar a sequência das atividades subsequentes, como a montagem da torre e o lançamento dos cabos.

Diante desse cenário, e na busca por uma solução imediata em campo — ainda que inadequada — os profissionais em campo definiram, por conta própria e sem nenhuma comunicação com o projetista, pela instalação de sete novas estacas no bloco, mantendo-se as quatro estacas previamente executadas, totalizando onze estacas na fundação.



Figura 8 (a). Bloco com 11 estacas helicoidais.



Figura 8 (b). Detalhe das 4 estacas já instaladas.

Assim como as estacas E1, E2 e E3 (Tabela 2), as 7 novas estacas também não atingiram o torque minimo de projeto.

Tabela 5. Resultados da instalação de 7 novas estacas no MC2

Estaca	Comprimetno de instalação (m)	Comprimento de projeto (m)	Torque de instalação (lbf.ft)	Torque de projeto (lbf.ft)
E5	10,90		2.500	
E6	8,10		2.880	
E7	8,90		1.600	
E8	9,40	6	2.790	14.200
E9	8,90		1.500	
E10	8,10		2.550	
E11	8,90		2.350	

Um fato observado após as instalações é que, ainda que justificado pela condição do solo, as estacas E3 e E4 foram instaladas foram do ponto de locação o que altera a distribuição dos esforços no bloco e por consequente suas cargas atuantes.

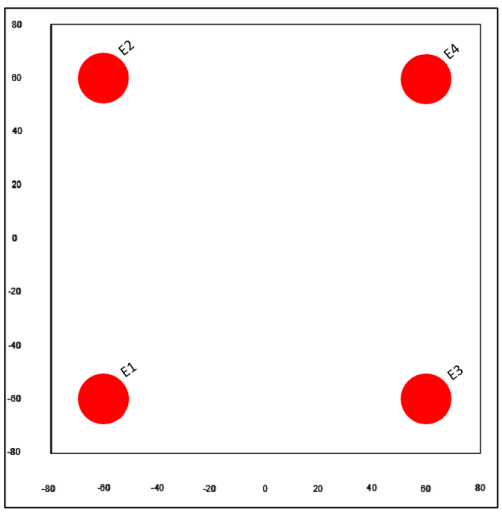


Figura 9 (a). Locação das estacas projeto inicial.

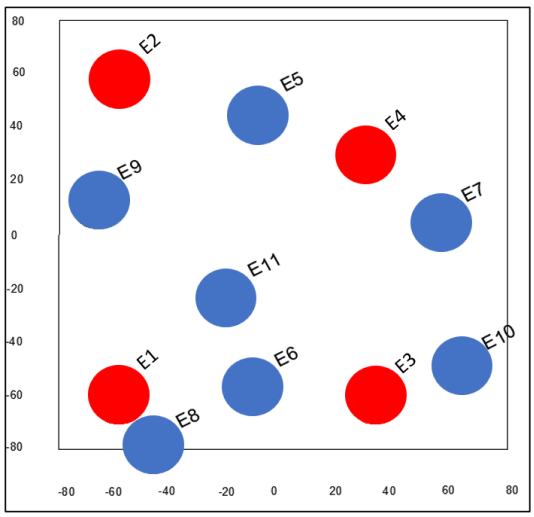


Figura 9 (b). Locação das estacas após a instalação

Frente ao cenário observado após a instalação e à necessidade de uma definição em curto prazo, as informações de campo foram reunidas e submetidas à análise do projetista.

5. NOVO PROJETO

Em função dos resultados obtidos durante a instalação das onze estacas que não atingiram a resistência geotécnica requerida, tornou-se necessária a reavaliação da solução de fundação originalmente adotada, bem como o desenvolvimento de um novo projeto.

Como primeira etapa do estudo, foi analisado o efeito de grupo das estacas, com ênfase na interferência entre as áreas de atuação das hélices, considerando o arranjo efetivamente executado em campo. Verificou-se que, nas condições de espaçamento atingidos, ocorria interferência significativa entre as estacas, caracterizando efeito de grupo e impactando a distribuição das cargas. Dessa forma, o atendimento à capacidade resistente exigida somente seria possível com o aumento expressivo do número de estacas, o que implicaria, necessariamente, em um aumento substancial das dimensões do bloco de fundação.

Diante isso, foi realizado um novo dimensionamento do bloco que considerou o torque de instalação efetivamente obtidos individualmente em cada estaca, utilizando uma correlação empirica entre torque de instalação e a capacidade de carga das estacas para determinar o novo arranjo no bloco – quantidade e locação.

Nesta condição as onze estacas foram removidas do solo – etapa conduzida com atenção especial ao percurso de retorno das hélices para fora do solo, buscando minimizar a formação de vazios, cuidado

intensificado pela presença de nível d'água elevado, condição que torna o solo mais suscetível à perda de estrutura e à redução de sua capacidade resistente.



Figura 10- Remoção das 11 estacas helicoidais no bloco

Outro ponto que mereceu destaque neste novo projeto foi o cálculo de flambagem das estacas – condição que combina esforços à compressão e solo com baixa resistência lateral.

5.1 Correlação

A correlação entre o torque de instalação e a capacidade de carga das estacas metálicas helicoidais é amplamente consolidada na literatura internacional como um método indireto e confiável para a estimativa da capacidade axial, especialmente em cenários com investigação geotécnica limitada. O princípio dessa correlação baseia-se na relação direta entre o torque mobilizado durante a instalação e a resistência ao cisalhamento desenvolvida pelo solo ao redor das hélices, de modo que maiores valores de torque final indicam, em geral, maiores capacidades de carga, desde que atendidos os critérios geométricos e de instalação da estaca (HOYT; CLEMENCE, 1989; PERKO, 2009).

A abordagem foi originalmente desenvolvida pela empresa americana Chance na década de 1950 e publicada por Hoyt e Clemence (1989), a partir da análise de aproximadamente 100 ensaios realizados em 24 locais distintos, envolvendo estacas com diâmetros entre 38 mm e 89 mm. Os autores compararam os resultados experimentais com previsões obtidas por dois métodos teóricos e pelo método empírico de correlação de torque, constatando que este último apresentou maior consistência estatística.

$$Q_{ult} = K_t \text{ x T} \tag{3}$$

Qult = capacidade máxima
Kt = fator de torque empírico (m-1)
K = Torque médio de instalação (lb-ft)

O fator de correlação K_t pode ser definido, dentre possibilidades, pelas características geométricas da estaca helicoidal, como o diâmetro do tubo e/ou das hélices, e constitui um parâmetro essencial para a estimativa da capacidade de carga axial a partir do torque de instalação. Na prática, é comum ser fornecido pelo fabricante da estaca. No presente estudo, foi utilizado 20,8 - valor de indicado pela fabricante Incotep – Sistemas de Ancoragem.

5.2 Metodologia

A correlação empírica entre torque de instalação e capacidade de carga foi aplicada por meio da Equação (3), utilizando-se os valores de torque final registrados durante a instalação das onze estacas executadas em campo.

A partir dessa abordagem, foi possível estimar a capacidade de carga axial teórica de cada estaca com base no torque de instalação efetivamente mobilizado, permitindo uma avaliação comparativa entre o desempenho previsto e a capacidade requerida pelo projeto, além de subsidiar as decisões adotadas no redimensionamento da fundação.

Tabela 6. Correlação torque x capacidade de carga

Estaca	Torque de instalação (lbf.ft)	Correlação Torque x Capacidade de carga (tf)
E1	2.310	6,44
E2	2.555	7,19
E3	3.800	10,71
E4	16.459	46,42
E5	2.500	7,05
E6	2.880	8,12
E7	1.643	4,63
E8	2.790	7,87
E9	1.500	4,23
E10	2.550	7,19
E11	2.350	6,63

A partir da correlação torque × capacidade de carga, observa-se que, à exceção da estaca E4, as demais apresentaram comportamento inferior a capacidade de carga necessária.

5.3 Novos parâmetros de projeto

Com a capacidade de carga teórica estimada a partir da correlação torque x capacidade de carga e o entendimento que os torques de instalação necessários dificilmente seriam alcançados em valores superiores aos já obtidos, o novo bloco de fundação foi dimensionado com um maior número de estacas, redistribuídas em posições estrategicamente definidas, priorizando regiões onde o solo ainda permancia natural.

O novo projeto de fundação para o mastro central 2 previa um bloco de 2,5 x 2,5 x 1,4m com 16 estacas helicoidais INCO 60EH – produzidas a partir de tubo com 101,6mm e diâmetro e 7,1mm de espessura, instaladas verticalmente (0°).

Utilizando o software Mudados, foram estabelecidas as novas cargas atuantes em cada uma dessas estacas.

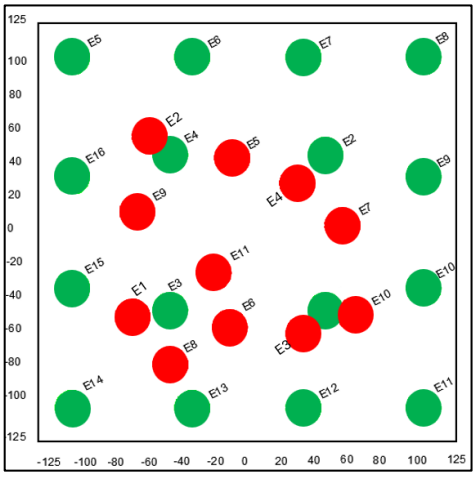


Figura 11 (a). Sobreposição das novas estacas frente as as estacas instaladas anteriormente

ESFORÇOS NO TOPO DAS ESTACAS - COMPRESSÃO						
ESTACA	N (tf)	Vy (tf)	Vz (tf)	T (tf.m)	My (tf.m)	Mz (tf.m)
E1	7,04	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E2	7,04	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E3	7,04	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E4	7,04	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E5	9,95	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E6	8,04	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E7	8,04	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E8	9,95	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E9	9,95	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E10	9,95	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E11	9,95	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E12	8,04	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E13	8,04	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E14	9,95	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E15	9,95	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00
E16	9,95	0,00	-0,67	0,00	0,08	0,00

Figura 11 (b). Cargas atuantes nas estacas

5.4 Instalação

A instalação das 16 estacas foi executada, conforme previsto em projeto executivo, com o uso do torquímetro digital Incotep, equipamento que proporciona maior segurança e confiabilidade aos resultados obtidos em campo — condição especialmente relevante para a fundação em estudo. Os dados de torque são registrados automaticamente por meio de transmissão digital, permitindo posterior compartilhamento em formato eletrônico, íntegro e inviolável.

Tabela 7. Resultados da instalação

Estaca	Carga atuante (tf)	Torque de projeto (lbf.ft)	Torque alcançado (lbf.ft)	Profundidade alcançada (m)	Carga alcançada (lbf.ft)
E1	7,04	2.521	4.798	7,60	13,53
E2	7,04	2.521	3.036	7,10	8,56
E3	7,04	2.521	6.345	8,90	17,89
E4	7,04	2.521	2.910	8,10	8,21
E5	9,95	3.562	4.626	8,60	13,05
E6	8,04	2.879	2.987	7,10	8,42
E7	8,04	2.879	4.117	7,10	11,61
E8	9,95	3.562	3.936	7,10	11,10
E9	9,95	3.562	5.619	8,90	15,85
E10	9,95	3.562	4.438	8,90	12,52
E11	9,95	3.562	5.070	8,90	14,30
E12	8,04	2.879	4.942	8,90	13,94
E13	8,04	2.879	5.502	7,40	9,88
E14	9,95	3.562	5.104	9,20	14,39
E15	9,95	3.562	5.653	8,90	15,94
E11	9,95	3.562	6.865	8,90	19,39

5.5 Ensaio

Assim como o do torque de instalação foi conduzido de forma individualizada para cada estaca helicoidal do bloco, o ensaio de rotina desta fundação também demandou adequações específicas.

As adaptações tiveram como objetivo priorizar a segurança da fundação e ampliar a confiabilidade dos resultados para subsidiar as análises técnicas. Para este bloco, optou-se por uma amostragem ampliada, com a realização de ensaios nas estacas E1, E2, E5, E6 e E8, selecionadas em função da maior criticidade observada durante a instalação e/ou posicionamento no novo arranjo do bloco. Adicionalmente, os limites de deslocamento máximo admissível passaram a ser avaliados de forma individual, considerando o comportamento específico de cada estaca.

Tabela 8. Novos parâmetros admitidos

Estaca	Deslocamento 1° ciclo (mm)	Deslocamento 2° ciclo (mm)
E1	10	15
E2	10	15
E5	15	20
E6	10	15
E8	15	20

Os deslocamentos obtidos durante o ensaio ficaram abaixo dos novos valores ajustados para esta fundação.

Tabela 9. Resultados nos ensaios

Estaca	Deslocamento 1° ciclo (mm)	Deslocamento 2° ciclo (mm)
E1	4,68	8,29
E2	3,00	5,92
E5	11,10	18,13
E6	8,20	14,34
E8	5,42	7,93

Ao fim do ensaio, os resultados foram compartilhados com o projetista que aprovou a fundação para as demais etapas do projeto como armação, fôrma e concretagem.



Figura 12. Concretagem do bloco sobre estacas helicoidais

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado descreve uma obra real na qual uma condição típica de campo foi contornada com base na correlação empírica entre torque e capacidade de carga das estacas helicoidais. A abordagem permitiu uma tomada de decisão rápida e eficiente, evidenciando a flexibilidade da solução para adaptações em situações imprevistas, sem comprometer a segurança ou o desempenho estrutural das fundações.

A correlação torque x capacidade de carga mostrou-se uma ferramenta eficaz para análise e otimização do projeto, permitindo prever a capacidade das estacas de forma prática e confiável. Os ensaios de campo realizados complementaram essa avaliação, reforçando o desempenho estrutural das estacas e confirmando sua capacidade de suportar as cargas atuantes com segurança.

Os resultados demonstram ainda, o amplo potencial das estacas helicoidais no contexto da engenharia e da geotecnia, indo além das fundações de torres - reforçada pela próxima revisão da NBR 6122, que incluirá um anexo sobre estacas helicoidais, consolidando sua aplicação e padronização. De maneira geral, a experiência relatada contribui para o avanço do conhecimento técnico e fortalece a confiança na adoção desta solução em novas aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 6122:2019. Projeto e execução de fundações. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2019.

Hoyt, R. M.; Clemence, S. P. *Uplift capacity of helical anchors in soil*. Proceedings of the 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, 1989.

Perko, H. A. *Helical piles: a practical guide to design and installation*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009.