

## Prova de Carga Instrumentada a Compressão em Estaca Metálica Helicoidal Monohélice para Mastro de Torres Estaiadas

Thaise da Silva Oliveira Morais

Pós-doutoranda, EESC/USP, São Carlos, Brasil, tsomorais@sc.usp.br

João Manoel Sampaio Mathias dos Santos Filho

Pós-doutorando, EESC/USP, São Carlos, Brasil, jmsmfilho@sc.usp.br

Amanda Regina Foggiato Christoni

Doutoranda, EESC/USP, São Carlos, Brasil, arfchristoni@usp.br

Cristina de Hollanda Cavalvanti Tsuha

Professora, EESC/USP, São Carlos, Brasil, chctsuha@sc.usp.br

Rafael de Barros Aranha Piccolo

Engenheiro, Neoenergia, Campinas, Brasil, rafael.piccolo@neoenergia.com

**RESUMO:** No Brasil, estacas metálicas helicoidais são majoritariamente utilizadas em obras de linhas de transmissão, resistindo a esforços de tração e/ou compressão, compondo a fundação de torres autoportantes e estaiadas. No caso de torres estaiadas, os esforços de compressão no mastro central são significativos e a prática de projeto nacional têm sido a adoção de fundações convencionais para o mastro e, quando utilizadas, as estacas helicoidais constituem apenas a fundação dos estais. O comportamento de estacas metálicas helicoidais instaladas em solos brasileiros e submetidas à esforços de tração vêm sendo amplamente investigado; todavia, ainda existe uma lacuna no conhecimento acerca do desempenho deste tipo de fundação especial quando submetida a esforços de compressão. Neste contexto, o presente trabalho avalia experimentalmente o desempenho de uma estaca helicoidal monohélice, instalada em perfil de solo tropical brasileiro e submetida à compressão, a partir de ensaio de prova de carga estática instrumentada. Os resultados demonstraram a mobilização gradual das resistências devido ao fuste e à hélice da estaca, permitindo conhecer as influências destas parcelas em relação à resistência total. Os resultados obtidos podem ser referência para estudos avaliativos da aplicabilidade de estacas metálicas helicoidais em casos de obra onde os esforços atuantes são majoritariamente de compressão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Torres estaiadas, Estaca helicoidal, Compressão, Instrumentação.

**ABSTRACT:** In Brazil, helical piles are mostly used in transmission line works, resisting tensile and/or compression efforts, forming the foundation of self-supporting and guyed towers. In the case of guyed towers, the compression efforts on the central mast are significant and the national design practice has been to adopt conventional foundations for the mast and, when used, helical piles constitute only the foundation of the stays. The behavior of helical piles installed in Brazilian soils and subjected to tensile efforts has been widely investigated; however, there is still a gap in knowledge regarding the performance of this type of special foundation when subjected to compression efforts. In this context, the present work experimentally evaluates the performance of a single-helical pile, installed in a Brazilian tropical soil profile and subjected to compression, based on an instrumented static load test. The results demonstrated the gradual mobilization of resistance due to the shaft and helix of the pile, allowing us to understand the influences of these portions in relation to the total resistance. The results obtained can be a reference for evaluation studies of the applicability of helical metal piles in cases of work where the acting efforts are mainly compression.

**KEYWORDS:** Guyed towers, Helical pile, Compression, Instrumentation.

## 1 INTRODUÇÃO

As estacas metálicas helicoidais são de aço, consistindo em uma ou mais hélices soldadas a uma tubo central. As dimensões e o número de hélices variam de acordo com a capacidade de carga definida em projeto para a fundação e com as condições do terreno de implantação. Basicamente, este tipo especial de estaca é “aparafusada” no solo por meio da aplicação de torque via motor hidráulico. Assim, a estaca é penetrada no solo de maneira suave e contínua, com taxa de avanço igual a um passo de hélice por rotação.

Este tipo de fundação especial têm sido usada em todo o mundo, por mais de 170 anos. Entretanto, nos últimos anos o interesse por estacas helicoidais aumentou demasiadamente visto que, devido à sua configuração, tem sido empregada principalmente no suporte de estruturas em que a fundação é submetida a esforços de tração e/ou de compressão (tais como: torres de linhas de transmissão de energia estaiadas e autoportantes, ancoragem de dutos, obras de contenção, postes, cais, reforço de fundações, fundação de painéis de energia solar, etc.). Especificamente no Brasil, o uso dominante de estacas helicoidais é para o suporte de torres de linha de transmissão de energia, tendo aumentado consideravelmente nos últimos 10 anos pelo fato deste tipo de fundação resistir a esforços de tração e de compressão simultaneamente, assim como devido à rapidez no tempo de instalação quando comparada às tradicionais soluções de fundações.

Não menos importante, por as estacas helicoidais serem instaladas via aplicação de torque, resulta em uma fundação que proporciona a possibilidade de que a sua capacidade de carga seja aferida durante a instalação, similarmente ao controle de cravação executado em estacas do tipo cravadas. Assim, por meio do torque de instalação, as estacas helicoidais são menos dependentes da qualidade e quantidade de sondagens para a execução de fundações seguras. No entanto, mesmo com o controle pelo torque, para que se garanta a qualidade da execução e o desempenho destas estacas, até o momento, a prática brasileira é ensaiar 100% das fundações de estais e uma estaca por pé de torre autoportante.

Segundo Paladino (1985) *apud* Milititsky (2019), as torres que compõem as linhas de transmissão de energia elétrica podem ser, basicamente, divididas em autoportantes (de suspensão ou de ancoragem) e estaiadas. As torres estaiadas são compostas de estrutura enrijecida por tirantes ou estais (âncoras), os quais absorvem parte dos esforços horizontais para manter o mastro central da treliça em compressão (e combinada com esforços horizontais), enquanto os estais permanecem tensionados. Ainda, Paladino (1985) *apud* Milititsky (2019) ainda destaca que há diferenças na grandeza das cargas que atuam nas fundações de cada grupo de torre, podendo ser:

- Torres autoportantes: compressão de 150 a 1800 kN; carga horizontal de 10 a 30 kN; tração de 100 a 1600 kN.
- Torres estaiadas: compressão de 300 a 700 kN para mastro central; carga horizontal de 20 a 50 kN para mastro de torres estaiadas; tração de 150 a 300 kN por estai.

Assim, no caso das torres estaiadas, os esforços de compressão no mastro central são significativos e, nos projetos realizados no Brasil, tradicionalmente são adotadas soluções convencionais de fundação para o mastro e, as estacas metálicas helicoidais, quando utilizadas, constituem as fundações dos estais. Como resultado, tem-se que a maior parte das aplicações de estacas metálicas helicoidais no âmbito nacional têm sido para suportar esforços de tração (tirante helicoidal).

Neste contexto, o presente trabalho avalia o desempenho de uma estaca helicoidal com uma hélice (monohélice), instalada em perfil de solo tropical brasileiro e submetida à esforço unicamente de compressão, a partir de ensaio de prova de carga instrumentada. Neste estudo experimental, a estaca helicoidal estudada atende a carga máxima real do mastro central de uma torre do tipo estaiada (Linha de Transmissão de 525 kV).

## 2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para o presente estudo, foi realizado um ensaio de prova de carga estática instrumentada à compressão em estaca metálica helicoidal do tipo monohélice, que foi instalada na área experimental do P&D Tirantes na cidade de Contagem – MG. A seguir são apresentados os materiais e métodos considerados nesta pesquisa.

### 2.1 Área de Estudo

Os testes foram realizados no campo experimental do P&D Tirantes na cidade de Contagem, estado de Minas Gerais, região sudeste do Brasil. Nesta região, o subsolo é composto por solos predominantemente residuais, compostos por rochas do tipo ácidas, tais como granitos, gnaisses e migmatitos (SANTOS FILHO et al., 2014).

Em relação à geologia regional onde a área de estudo está inserida, Romano et al., (2009) destaca que a região está localizada dentro do domínio do embasamento meridional do Cráton de São Francisco, sendo marcada pela presença de terrenos gnáissicos migmatíticos, corpos granitóides e a sequência *greenstone belt* do Supergrupo Rio das Velhas. Especificamente em relação a cidade de Contagem – MG e arredores próximos, ocorrem depósitos aluvionares, terraços fluviais e sedimentos recentes variados acumulados na superfície do terreno (ROMANO et al., 2009).

O campo experimental possui área de 126,82 m<sup>2</sup> e está localizado na Av. General David Sarnoff, 4300, bairro cidade industrial, dentro da área de pátio da empresa Vercon Industrial (filial) (Figura 1). Previamente à instalação das estacas metálicas helicoidais nesta área, foi executada campanha de investigação geotécnica que compreendeu a realização de 03 sondagens de simples reconhecimento do subsolo com medida de SPT (*Standard Penetration Test*) e 02 ensaios de piezocone ou ensaios CPT (*Cone Penetration Test*), sendo estes últimos realizados com ponteira cônica elétrica que foi cravada no terreno com sistema hidráulico. A distribuição espacial dos ensaios SPT e CPTu dentro da área experimental de estudo é apresentada na Figura 1. Os ensaios SPT e CPT foram executados por empresas contratadas no âmbito do projeto P&D em desenvolvimento, sendo realizados segundo as normas brasileiras NBR 6484/2020 (ABNT, 2020) e NBR 12069/1991 (ABNT, 1991), respectivamente, assim como baseados em bibliografias técnicas da área.



Figura 1. Campo experimental do P&D tirantes em Contagem – MG: localização da Vercon Industrial – Filial, com identificação dos ensaios geotécnicos realizados.

Os resultados das investigações geotécnicas executadas indicaram que, até a profundidade média de 25 m, o perfil estratigráfico local é composto por 04 camadas de solo distintas, sendo: argila siltosa marrom (aterro de resistência variável) até aproximadamente 1,80 m; em seguida, ocorre outra camada de argila siltosa vermelha, até 8,60 m em média; após esta profundidade, há uma camada de silte arenoso de cor variegada (vermelho claro e amarelo) com espessura média de 4,55 m e, por fim, a partir de 12,81 m, ocorre outra camada de silte arenoso de cor variegada. O lençol freático (NA) neste perfil estratigráfico ocorre em aproximadamente 9,5 m de profundidade.

Em relação ao índice à penetração dinâmica do amostrador SPT ( $N_{SPT}$ ), no geral o perfil de solo do campo experimental de Contagem – MG apresenta tendência de crescimento com a profundidade, sendo verificada a mesma constatação nos resultados dos ensaios CPTu. Todavia, considerando a distribuição dos ensaios em planta, as investigações realizadas na direção norte (SP-01 e CPTu-01) apresentaram valores de  $N_{SPT}$  superiores aos encontrados no lado oposto (SP-02 e CPTu-02). Ainda, comparado aos resultados das sondagens SP02 e 03, a SP01 apresentou maior profundidade de investigação.

Entretanto, fazendo uma análise geral das investigações do tipo SPT, os valores de  $N_{SPT}$  obtidos variaram de 1 a 16, até a profundidade média de 18 m. Após, houve um aumento importante no número de golpes, que

também foi percebido nos ensaios CPTu. A Figura 2 apresenta o perfil estatigráfico do campo experimental do P&D Tirantes em Contagem-MG, elaborado com base nos ensaios de campo que foram realizados.

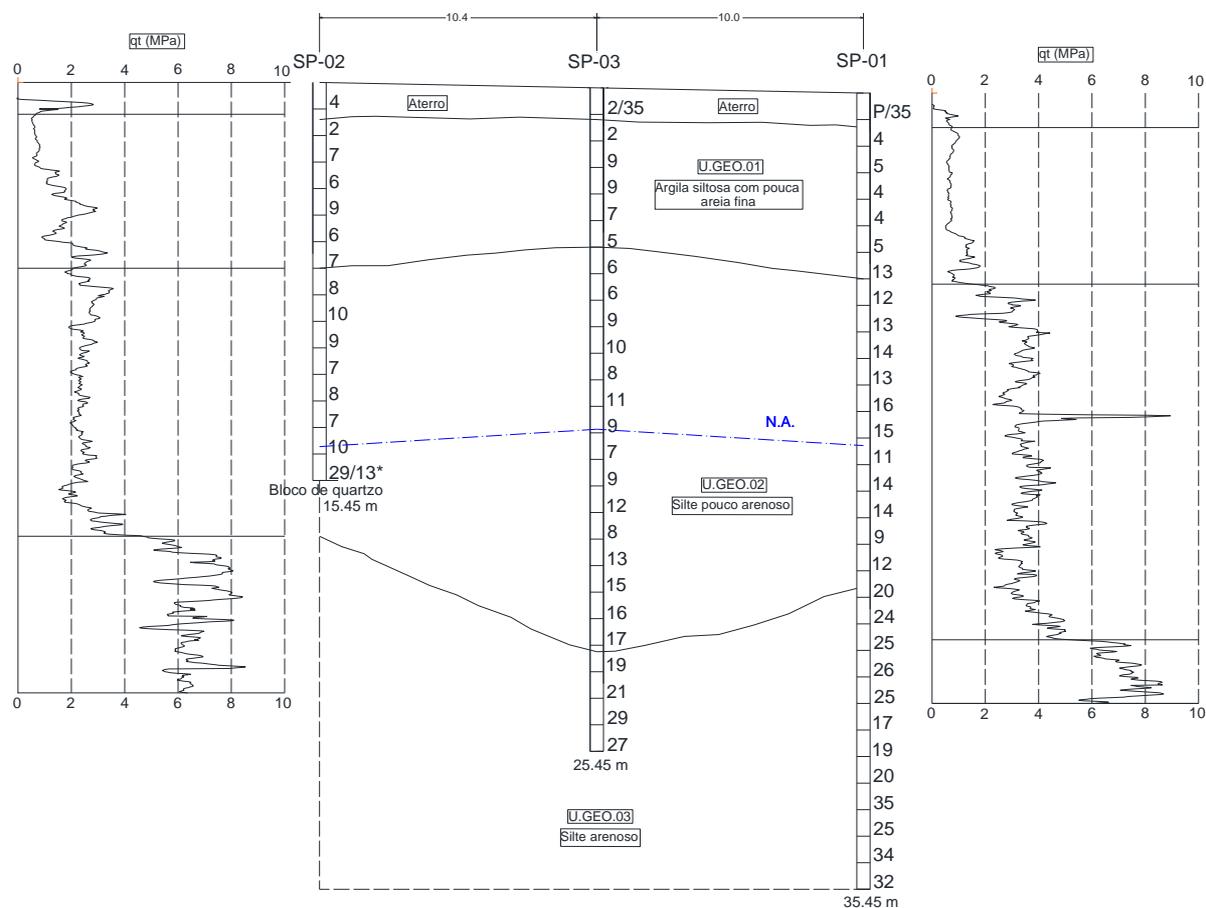


Figura 2. Perfil estatigráfico e resultados dos ensaios SPT e CPTu – campo experimental Contagem – MG.

## 2.2 Estaca Metálica Helicoidal Monohélice Instrumentada

A estaca helicoidal monohélice utilizada no estudo foi fabricada pela empresa Vercon Industrial LTDA, sendo denominada de EH01. A seção guia da EH01 é composta de tubo de aço do tipo VMB 350 COR (seção 101,6 mm de diâmetro externo e 8,10 mm de espessura de parede – Ø 101,6 x 8,10 mm) e, a única chapa helicoidal presente nessa estaca é de aço CSN COR 500 (seção circular, com 457,2 mm de diâmetro e chapa com 19 mm de espessura). Os tubos que compõe as extensões lisas da estaca também são de aço tipo VMB 350 COR, mas diferem da seção guia em espessura de parede (seção 101,6 mm de diâmetro externo e 7,10 mm de espessura de parede – Ø 101,6 x 7,10 mm). As conexões entre seção guia e extensões lisas da estaca foram feitas por meio de ligações do tipo ponta e bolsa aparafusadas com três parafusos M22 x 150 (aço ISO 4016 classe 8.8).

O projeto estrutural da estaca metálica EH01 foi elaborado de forma a garantir a integridade do elemento estrutural de fundação considerando a carga axial máxima prevista para os testes de prova de carga à compressão (330 kN) e as condições de subsolo do campo experimental do P&D Tirantes em Contagem (segurança à torção e flambagem). Ainda, o projeto estrutural da EH01 buscou garantir rigidez suficiente à estaca para avanço em profundidade no perfil de solo da área experimental (maior parede do tubo da seção guia, maior diâmetro e espessura da chapa da única hélice).

Visando verificar as contribuições das parcelas de resistência por atrito no fuste e da hélice no ensaio de prova de carga estática, a estaca EH01 foi instrumentada com sensores elétricos de deformação do tipo *strain gages*. Assim, por ser uma estaca com única hélice, foi previsto no projeto estrutural da fundação uma seção de instrumentação situada a 135 mm do centro da hélice da estaca. A Figura 3 apresenta os detalhes do projeto da seção guia da EH01, com destaque ao posicionamento da seção instrumentada e do arranjo elétrico do tipo ponte completa dos *strain gages*.

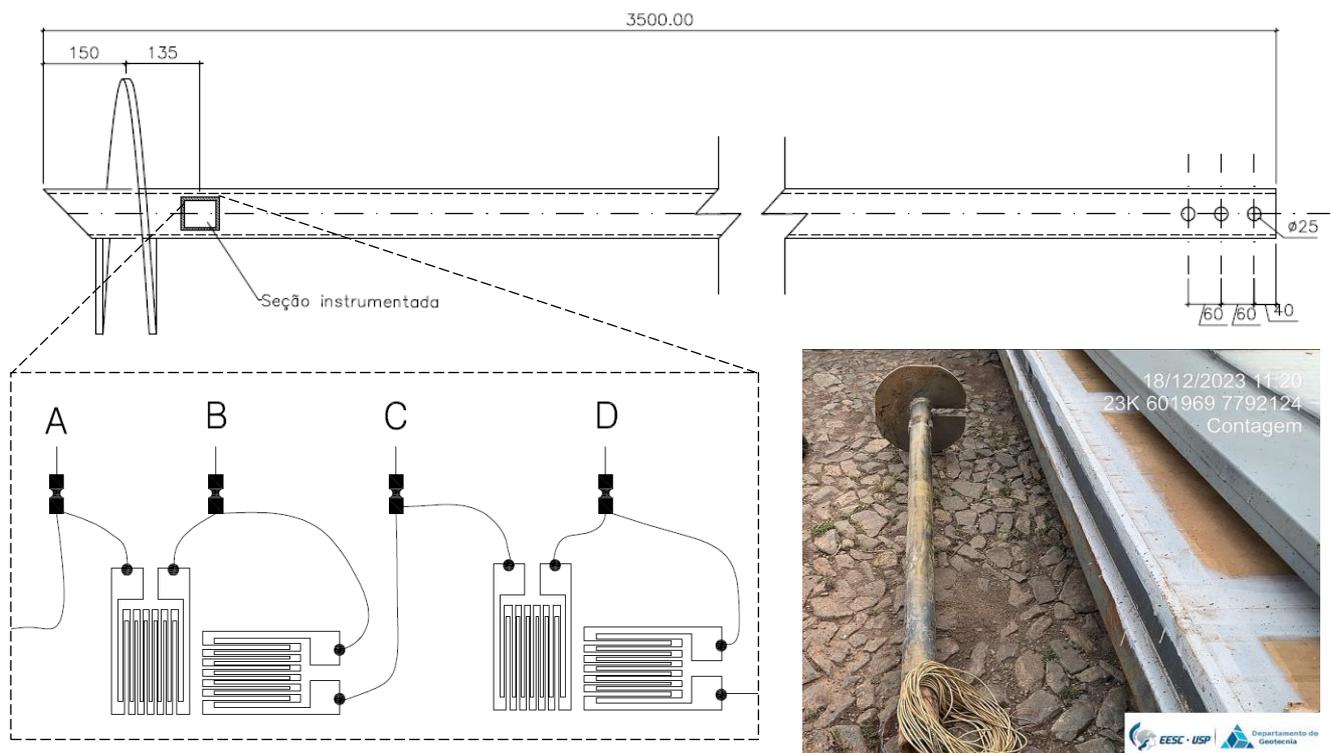


Figura 3. Seção guia da estaca helicoidal monohélice instrumentada (EH01). Medidas em milímetros.

Como apresentado na Figura 3, a instrumentação para medida de deformação específica da seção da estaca baseia-se em extensômetros elétricos de resistência interligados em ponte de Weaststone. Assim, para a medida da deformação ocorrida na seção da estaca e obtenção da força axial correspondente, foram utilizados 02 extensômetros bi-axiais (duas grades de medida a 90°) fabricados pela Excel Sensores Indústria e Comércio Exportação Ltda, modelo PA-06-125TG-350-LEN, com auto-compensação de temperatura para aço e resistência de 350  $\Omega$ . Desta forma, foi possível medir as deformações sem a interferência da variação de temperatura e de flexão que possam ocorrer na estaca, devido ao arranjo simétrico dos quatro extensômetros que constituem a ponte (TAKEYA, 2001). Para a aquisição dos dados da seção instrumentada, foi utilizado cabo manga 4 vias (4 x 26 AWG), o qual ascendia à superfície do terreno pelo interior do tubo da estaca, conforme mostra a Figura 4.

Após a preparação da seção instrumentada da EH01, procedeu-se com a execução da calibração a partir da imposição de carga de compressão em estágios de 10 kN até a carga máxima de 200 kN, sendo feita a medida das correspondentes respostas da instrumentação por meio de sistema de aquisição de dados portátil e multicanais modelo PMX da Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH – HBM, que também foi utilizado no ensaio de prova de carga estática deste trabalho.

### 2.3 Instalação da estaca monohélice e ensaios de prova de carga

A instalação da estaca helicoidal monohélice EH01 no terreno foi realizada pela empresa Vértice Engenharia, ocorrendo sem ângulo (0° grau com a vertical, monitorado via inclinômetro base magnética) e por meio de aplicação de torque na parte superior da seção guia da estaca, utilizando-se conjunto moto-reductor hidráulico acoplado a retroescavadeira (Figura 4a). Durante a instalação, o torque aplicado foi monitorado a partir de torquímetro eletrônico digital, fabricado pela Vértice Engenharia, com capacidade de 27 kN.m e instalação em série com a composição. Ainda nesta etapa, foram feitas marcações com giz a cada 0,50 m ao longo da hastes central (tubo) da estaca, para indicação das profundidades e realização das leituras do torque de instalação (a cada 0,50 m de penetração da estaca no terreno). Detalhes da instalação e o perfil de torque obtido na instalação da estaca instrumentada EH01 são apresentados na Figura 4.

O critério para a parada da instalação da estaca no terreno consistiu no monitoramento do torque de instalação. De acordo com Hoy e Clemence (1989), a definição do fator torque ( $K_t$ ) para consideração na equação empírica de estimativa da capacidade de carga à tração de estacas helicoidais, o torque final de instalação corresponde ao valor médio de torque ( $T_M$ ) para a penetração total de um comprimento de estaca

igual a três vezes o diâmetro de sua maior hélice. Portanto, considerando o diâmetro da única hélice da estaca EH01 ( $D_h = 18'' = 457,2 \text{ mm}$ ), a penetração total recomendada por Hoy e Clemence (1989) para definição de  $T_M$ , neste caso, seria de 1,37 m. Porém, neste trabalho, o comprimento de penetração total considerado para definição de  $T_M/K$ , foi de 1,0 m (menor do que 1,37 m). Assim, a estaca EH01 foi penetrada continuamente no solo até ser observado um torque médio de 15,10 kN.m (Figura 4c), para o atendimento da carga máxima de compressão do projeto da torre estaiada de referência (igual a 330 kN).

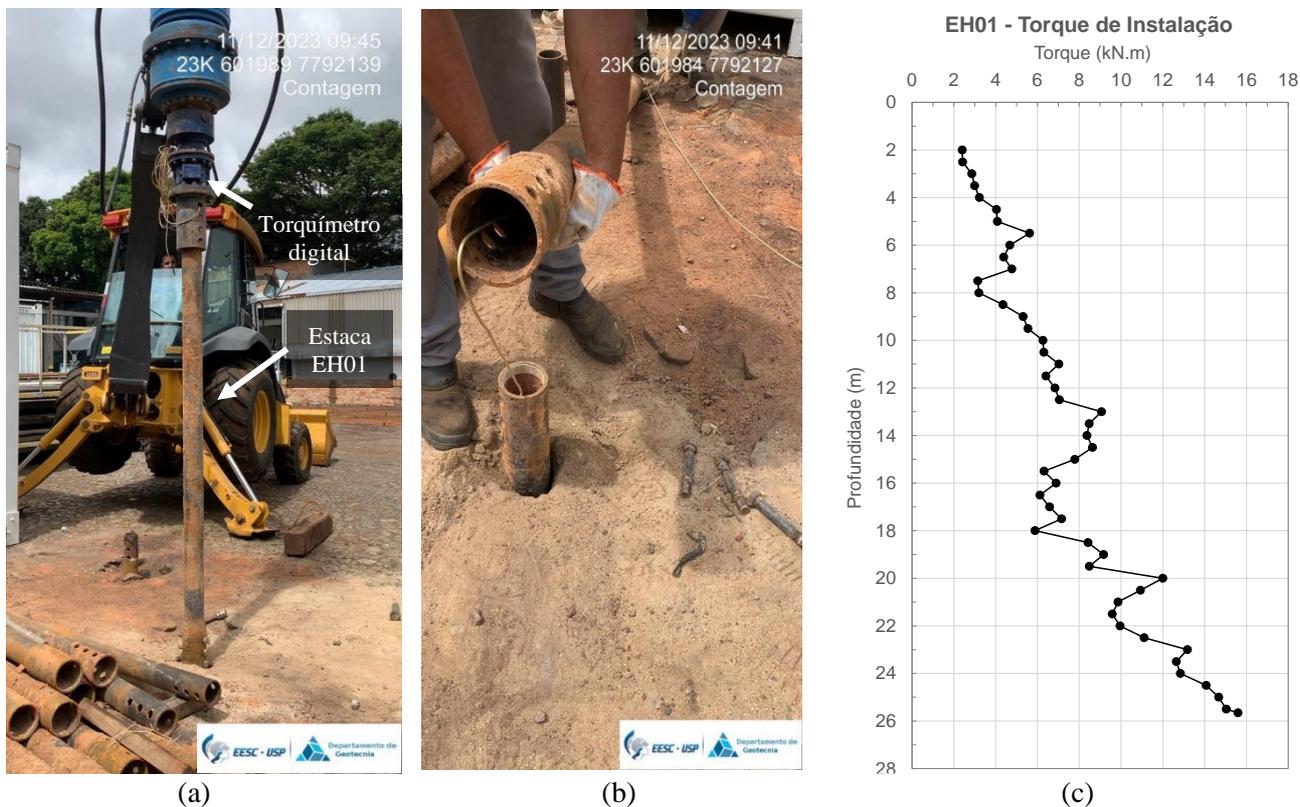


Figura 4. Instalação da estaca EH01 no campo experimental Contagem – MG.

O ensaio de prova de carga realizado foi do tipo rápido, seguindo os procedimentos e recomendações da norma NBR 16903/2020 (ABNT/2020), com estágios de carregamento sucessivos de duração de 5 minutos (permitido para fundações de torres de linhas de transmissão) e sendo realizadas as respectivas leituras dos deslocamentos ocorridos na cabeça da estaca, independentemente da ocorrência de estabilização dos deslocamentos no estágio. No ensaio realizado foi aplicada carga de ajuste, correspondendo a 10% da carga máxima prevista para o ensaio (33 kN), não sendo medidos os deslocamentos das estacas até atingir este carregamento inicial. Assim, após atingida a carga de ajuste no ensaio, procedeu-se então com o posicionamento dos relógios comparadores e as leituras de deslocamento nos estágios de carga seguintes.

O sistema de reação consistiu em viga metálica, sendo utilizadas 3 estacas metálicas helicoidais como reação e o carregamento foi imposto a partir de cilindro hidráulico ENERPAC (macaco) conectado a motor hidráulico (bomba). Os deslocamentos ocorridos na estaca foram medidos a partir de relógios comparadores Mitutoyo de 50 x 0,01 mm posicionados diametralmente opostos e para aferição do carregamento aplicado foi utilizada célula de carga HBM com capacidade de 2 MN. A aquisição dos dados da instrumentação da estaca e de carga ao longo do ensaio foi feita com o uso do sistema de aquisição PMX da HBM, como já mencionado.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5a apresenta a curva carga *versus* deslocamento obtida na prova de carga a compressão realizada na EH01. O ensaio foi realizado em dois ciclos de imposição de carregamento, ambos com 10 estágios de incremento de carga e 5 estágios de descarregamento, até a carga máxima de 330 kN (carga considerada neste trabalho como a máxima de compressão para a torre estaiada avaliada). Ainda, convencionizou-se que cargas e deslocamentos de compressão, seriam representados como positivos.

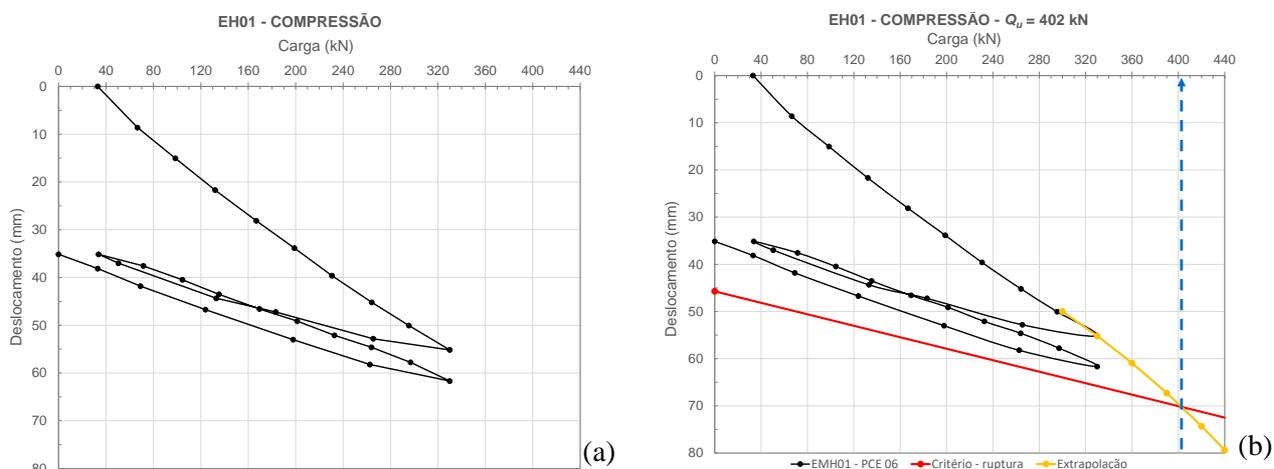


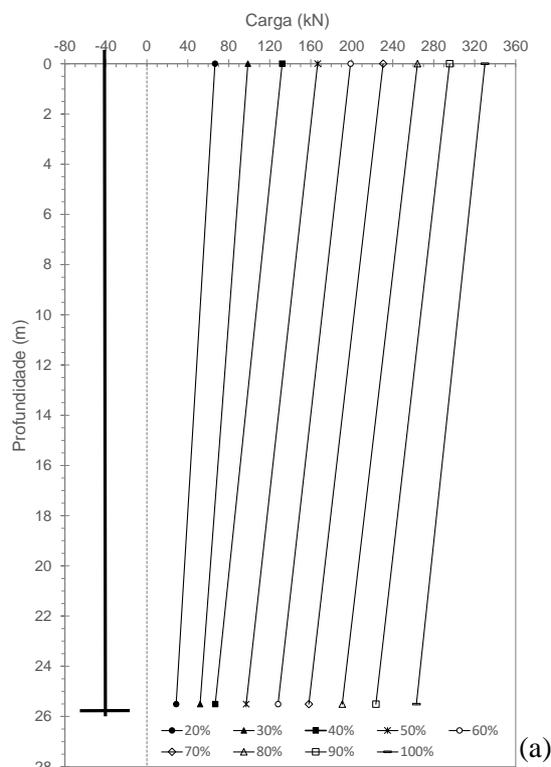
Figura 5. Curva carga versus deslocamento da prova de carga a compressão da estaca EH01.

Considerando o que Santos Filho (2019) menciona sobre os critérios para definição de  $Q_u$  por meio de ensaios de prova de carga em estacas helicoidais, o critério estabelecido no AC 358 (ICCES, 2012) (Equação 01) foi o adotado neste trabalho. Assim, considerando que o comprimento instalado da EH01 foi de 25,65 m ( $T_M = 15,10 \text{ kN.m}$ ) e a carga máxima de 330 kN, o valor de deslocamento ( $\Delta$ ) para atender ao critério de capacidade de carga do AC 358 (ICCES, 2012) seria de 65,80 mm.

$$\Delta = 10\%D_{m,h} + \frac{Q \times L}{E \times A} \quad (1)$$

Onde:  $\Delta$  – deslocamento calculado (mm),  $D_{m,h}$  – diâmetro médio das hélices (mm),  $Q$  – carga (N);  $L$  – comprimento da estaca instalado no terreno (mm);  $E$  – módulo de elasticidade do material da estaca (MPa) e  $A$  – área da seção transversal da haste central da estaca (área de aço, em  $\text{mm}^2$ ).

Assim, observa-se pelo resultado da Figura 5a que, para primeiro ciclo de carregamento do ensaio, o deslocamento foi de 55,16 mm, inferior ao que define  $Q_u$ . Assim, procedeu-se com a análise apresentada na Figura 5b, para definição da capacidade de carga, sendo encontrado então como  $Q_u = 402 \text{ kN}$ . Portanto, com o resultado de  $Q_u$  e de  $T_M$ , obtém-se um fator  $K_t = 26,62 \text{ m}^{-1}$ .



Carga Axial (kN)	Carga axial (kN)		Contribuição (%)	
	Hélice	Fuste	Hélice	Fuste
20%	66,52	28,62	43%	57%
30%	98,56	52,01	53%	47%
40%	132,06	66,79	51%	49%
50%	166,7	96,93	58%	42%
60%	198,87	128,09	64%	36%
70%	230,59	158,06	69%	31%
80%	264,18	190,76	72%	28%
90%	295,47	223,54	76%	24%
100%	329,96	263,08	80%	20%

(b)

Figura 6. Prova de carga estática instrumentada a compressão na EH01: a) gráfico de transferência de carga e b) quadro com as resistências mobilizadas na estaca monohélice.

A Figura 6 apresenta os resultados de transferência de carga durante o ensaio de prova de carga à compressão na EH01. Observa-se que devido à configuração estrutural da estaca monohélice, a contribuição da hélice na resistência da estaca é significativa, chegando a corresponder a 80% da carga total máxima. Todavia, em relação à contribuição da parcela de atrito desenvolvida ao longo da composição lisa da estaca (tubo), nota-se que ocorreu o decréscimo com o aumento da carga solicitante. Assim, foi verificado que a hélice é majoritariamente responsável pelo suporte da carga total e que, no caso de estacas monohélice, ocorre a menor perturbação do solo durante a instalação (tanto o solo atravessado pela estaca ao longo de seu comprimento, como o solo de parada da hélice), contribuindo para a não degradação da resistência. Ainda, as tensões normais atuantes na hélice variaram de 0,2 a 1,6 Mpa. Neste contexto, as magnitudes das tensões transferidas ao solo devem ser consideradas no dimensionamento estrutural de estacas helicoidais monohélice, de modo a definir a geometria da monohélice compatibilizando resistência (flexão e cisalhamento) e custos.

#### 4 CONCLUSÕES

O comportamento à compressão de uma estaca metálica helicoidal monohélice instalada em perfil de solo residual, predominantemente silto-arenoso e com ocorrência de lençol freático, foi avaliado por meio de ensaio de prova estática instrumentada. Os resultados demonstram a importante contribuição da hélice na capacidade portante final da estaca, apesar de existir certa contribuição do atrito lateral desenvolvido ao longo do fuste. A carga última obtida experimentalmente foi aproximadamente 22% superior à carga última de projeto, tendo ocorrido um recalque de aproximadamente 55 mm (aceitável, considerando a carga última de projeto). Ademais, os resultados enfatizam a importância da continuidade desta investigação, visando contribuir com a validação da aplicabilidade de estacas metálicas helicoidais não apenas como fundação dos estais de torres estaiadas, mas também como fundação de mastro central.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao grupo Neoenergia e ao Programa de P&D da ANEEL (Projeto PD-07284-0002/2020), pelo financiamento do projeto de pesquisa em andamento e concessão das bolsas de Pós-doutorado e Doutorado. Ainda, agradecem à empresa Vercon Industrial LTDA (Eng. Roberto Dolabella), pela disponibilização da área em Contagem – MG para implantação de um dos campos de testes do P&D Tirantes.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991). NBR 12069. *Solo – Ensaio de Penetração de Cone in Situ (CPT)*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16903. *Solo – Prova de carga estática em fundação profunda*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484. *Solo – Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Hoyt, R. M. e Clemance, S. P. (1989). Uplift capacity of helical anchors in soil. In: 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Rio de Janeiro, Brazil, V. 2, pp. 1019 – 1022.
- ICCES (2012). AC 358: *Acceptance Criteria for Helical Foundation Systems and Devices*. International Code Council Evaluation Service, Inc., 23 p.
- Milititsky, J. (2019). Fundações de torres: Aerogeradores, linhas de transmissão e telecomunicações. São Paulo: Oficina de Textos, 201, 239 p.
- Romano, A. W., Araujo, J. C. S.; Knauer, L. G.; Paiva, C. T. (2009) Geologia e recursos minerais da folha contagem SE.23-Z-C-V, Estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Superintendência Regional de Belo Horizonte e Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte – MG, 87 p.
- Santos Filho, J. M. S. M. (2019). *Análise do Comportamento de Fundações por Estacas Helicoidais com Injeção de Calda de Cimento*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Departamento de Geotecnia, São Carlos – SP, Brasil, 171 p.
- Santos Filho, J. M. S. M., Morais, T. S. O, Tsuha, C. H. C. (2014). A New Experimental Procedure to Investigate the Torque Correlation Factor of Helical Anchors. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. Vol. 1, 351 – 364, 2014.
- Takeya, T. (2001). Análise experimental de estruturas (Notas de aula). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, 50 p.