



Estacas hélice contínua monitoradas com ponta embutida em rocha fraturada ou alterada

Paulo Roberto Sedrez de Souza
Diretor Técnico
Solugeot Soluções em Análises Técnicas Ltda.
Itajaí, Santa Catarina, Brasil
paulo@solugeot.com.br

Danilo Pitz
Diretor Técnico
Solugeot Soluções em Análises Técnicas Ltda.
Itajaí, Santa Catarina, Brasil
danilo@solugeot.com.br

João Vitor Morales Justino
Assistente Técnico
Solugeot Soluções em Análises Técnicas Ltda.
Itajaí, Santa Catarina, Brasil
joao@solugeot.com.br

George de Paula Bernardes
Engenheiro Consultor
Indaiatuba, São Paulo, Brasil
gpbernardes506@gmail.com

RESUMO: A verticalização das edificações em Balneário Camboriú e Itapema, Santa Catarina, demandam cargas de trabalho com capacidade que podem chegar a 2.500 kN. A maioria destas fundações apresentam ponta embutida em rocha alterada ou fraturada. No entanto, pouco é conhecido sobre o comportamento da ponta nestes materiais. Este artigo apresenta três casos de fundações em estacas hélice contínua monitorada com ponta embutida nestes materiais. O mecanismo de transferência de carga ao longo da lateral e a porcentagem da carga total que atinge a ponta foram medidas por uma barra de aço instrumentada inserida no centro da estaca. Para reduzir o alto custo e o tempo de construção do sistema de reação, foram utilizadas estacas helicoidais. As estacas helicoidais são instaladas em um curto período de tempo e, após a prova de carga estática são 100% recuperadas. Os resultados dos testes de carga mostram que o mecanismo de transferência de carga, próximo à ponta, têm forte influência no processo final de escavação, especificações do concreto e do processo de preenchimento inicial da estaca.

PALAVRAS-CHAVE: estaca hélice contínua, prova de carga instrumentada, processo de execução.

ABSTRACT: The building verticalization in Balneário Camboriu and Itapema, Santa Catarina, demand foundation load with working capacity that reach up to 2.500 kN. Most of these foundations have the pile toe socked in weathered or fractured rocks. However, little is known

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



about the toe behavior in these materials. This paper presents three cases of CFA foundations piles with embedded toe in these materials. The mechanism of load transfer along the shaft and the percentage of the total load that reach the toe were measured by an instrumented steel rod placed at the center of the pile. In order to reduce the high cost and time demanding for the construction of the reaction system, helicoidal piles were used to reduce it. Helicoidal piles are installed in a very short period of time and after the pile load test, it is 100% recovered. The results of the pile load tests show that the load transfer mechanism near the toe have strong influence on the final excavation process, concrete characteristics and initial filling process.

KEYWORDS: CFA pile, static load test, pile instrumentation, pile installation process.

1 Introdução

O crescente desenvolvimento econômico da região litoral-norte de Santa Catarina trouxe junto o crescimento do setor de engenharia. Conhecidas por situar os maiores edifícios residenciais do Brasil, as cidades de Balneário Camboriú e Itapema apresentam desafios para todo o setor de engenharia. Na área de fundações não é diferente. Atualmente, são comuns os projetistas e construtoras solicitarem provas de carga de 7.000 kN ou mais em estacas do tipo hélice contínua monitorada (HCM). Existem vários estudos e publicações do comportamento de HCM instrumentada em solo, por exemplo, Alledi, 2013 e Miranda Jr. 2020. Outra grande contribuição foi o desafio de previsão do comportamento de HCM em areia realizada no campo experimental da UFRGS em Araguari/SC. Várias publicações encontram-se no site da ISSMGE. No entanto, pouca informação está disponível para HCM cujo processo de perfuração consegue avançar vários metros em rocha alterada ou fraturada. Três casos de obra serão apresentados onde o mecanismo de transferência de carga por atrito e o comportamento da ponta são totalmente diferentes. Fatores como a etapa final de escavação, as propriedades do concreto e o início da concretagem vão definir o comportamento da estaca. Outra incógnita é qual deve ser a região amolgada no entorno da ponta com as aberturas das fraturas e fragmentação da rocha.

2 Desenvolvimento dos Equipamentos de Hélice Contínua Monitorada

Os primeiros equipamentos de hélice quando atingiam uma camada resistente travava o torque e a máquina apresentava instabilidade lateral. Neste caso a maioria das estacas ficavam com a ponta apenas apoiada no extrato resistente. Atualmente os novos equipamentos apresentam peso e torque suficientes para avançar metros em camadas resistentes e até com penetração em rocha alterada e fraturada devido a qualidade também do aço da ponteira.

O equipamento de hélice contínua utilizado na execução dessas estacas, possui 110 de peso, e torque de 33tf. A ponteira em bit de aço garante durabilidade e eficiência durante a perfuração do solo, enquanto a máquina permite realizar o processo de melhoramento de ponta no momento da injeção de concreto. Esse processo aumenta consideravelmente a pressão do concreto cerca de 5 metros acima da ponta, melhorando a capacidade de carga e resistência da estaca.

Devido à sua capacidade de penetração em rocha e ao aprimoramento de ponta da

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



estaca, esse equipamento é uma opção valiosa para obras que exigem fundações profundas e confiáveis, fornecendo uma solução eficaz para projetos de construção civil que demandam alta performance e segurança estrutural.

3 Sistema de Reação

Os sistemas de reação podem ser executados com estacas de reação verticais (Figura 1-A) ou por estacas helicoidais (Figura 1-B). As estacas de reação são integralmente armadas para tração e fixadas em vigas metálicas para formar o sistema de reação. Essa fixação geralmente é feita por meio de monobarras de protensão devidamente ancoradas no centro das estacas de reação. No entanto, esse tipo de sistema de reação tem alto custo e demanda muito tempo para sua instalação. Ao final, estas estacas de reação são perdidas ou incorporadas no projeto de fundação.

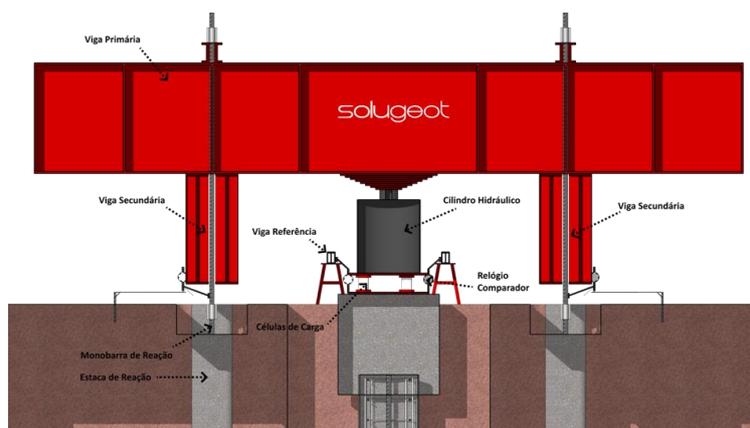


Figura 1-A. Esquema de Montagem com Estacas de reação

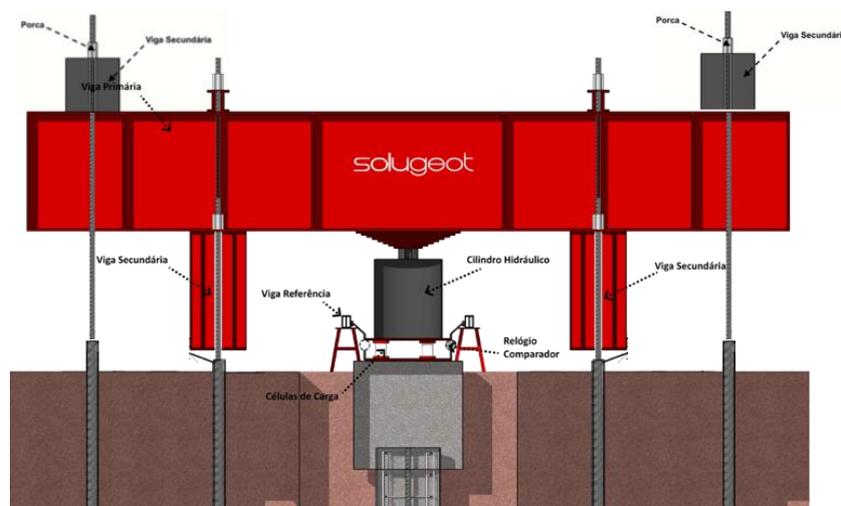


Figura 1-B. Esquema de Montagem com Estacas helicoidais

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



As estacas helicoidais apresentam vantagens mesmo com seu alto custo de aquisição das hastes uma vez que apresentam excelente retorno devido a reutilização. Sua instalação é rápida, de baixo custo e todo o sistema é recuperado após a execução da prova de carga. Além disso com o sistema de reação em estacas helicoidais, os esforços no sistema são melhor distribuídos, trazendo maior segurança para os ensaios. Após cada prova de carga, é feita a revisão das ponteiros, dos parafusos, dos furos e soldas das helicoidais.

4 Instalação das Estacas Helicoidais e Teste de Tração

As estacas helicoidais para o sistema de reação são montadas utilizando três tipos disponíveis de hastes, Figura 2, a principal que faz a perfuração, as intermediárias e as lisas. O posicionamento das intermediárias e lisas vai depender das características do perfil de solo e da carga estabelecida para o ensaio.

Antes das primeiras provas de carga, foram desenvolvidos testes com a máquina de instalação para obtenção da relação torque limite versus profundidade e pesquisas dos métodos para previsão da capacidade de carga à tração de estacas. Com os resultados positivos dos primeiros ensaios, foi estabelecida uma metodologia de projeto para as helicoidais a qual define a profundidade e número de helicoidais necessárias. Basicamente é utilizado o método do cilindro de atrito para estimativa da resistência à tração e adota-se um fator de segurança 2. Em perfis muito heterogêneo usualmente é realizado teste à tração na helicoidal mais curta e na mais longa para avaliar se não a risco ao sistema de reação devido ao possível desnivelamento (Figura 3). Atualmente já foi possível realizar prova de carga em HCM até 8.500 kN. Neste caso o sistema de reação estava projetado para suportar mais que 10.000 kN.

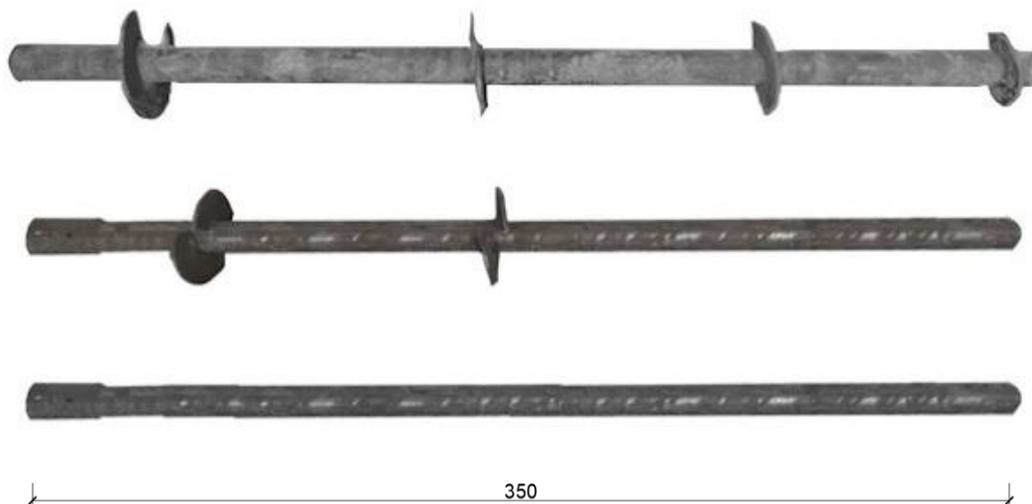


Figura 2. Modelos de hastes helicoidais (principal, intermediária e lisa)

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.





Figura 3. Execução de teste de tração em estaca helicoidal

5 Instrumentação das Estacas Hélice Contínua Monitorada

O mecanismo de transferência de carga ao longo da estaca foi medido por sensores instalados em várias profundidades, fixados a uma monobarra de aço com 50 mm de diâmetro. Nos sensores foram colados *strain gauges* resistivos de 350Ω , ligados em ponte completa. A fiação foi montada de modo a permitir a leitura da ponte completa ou de meia ponte. O sistema em seguida é impermeabilizado e isolado com resina epóxi e camisa metálica. Os sensores são aferidos em prensa hidráulica certificada pelo INMETRO. Todos os sensores são calibrados com correlação $\geq 99\%$ entre os estágios de carga, garantindo uma leitura fiel dos dados de campo.

O primeiro sensor é posicionado logo abaixo do bloco de coroamento, localizado em um trecho livre da estaca. Este sensor é utilizado como referência para o cálculo dos esforços das demais profundidades. Como não existe obstrução entre a célula de carga e o primeiro sensor, o valor medido nesse sensor representa a carga total aplicada no conjunto monobarra e seção de concreto da estaca.

A carga total aplicada no bloco de coroamento é medida por três células de carga da Líder com leitor LD1050 de 4.000 kN. Nos vértices do bloco são posicionados quatro relógios comparadores digitais de 100 mm de curso fixados em duas vigas de referência de 10m apoiadas em cavaletes fora da área de ensaio. Isso permite verificar possível torção do bloco. O monitoramento dos deslocamentos das helicoidais é realizado por uma mira laser. Todo o ensaio é monitorada por câmaras posicionadas de modo a controlar o conjunto cilindro hidráulico, células de carga e relógios comparadores, o sistema de reação (contato helicoidais viga) e a cabine de controle.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



6 Casos de Obra

As três provas de carga estáticas, em estacas HCM instrumentadas, as quais serão apresentados a seguir foram executadas na região leste de Santa Catarina. Será apresentado uma breve descrição dos perfis geotécnicos dos locais onde verifica-se depósitos quaternários acima do cristalino do Complexo Camboriú. Detalhes das condições geológicas podem ser obtidas em Horn Filho et. al., 2014 e Lopes 2008, respectivamente.

6.1 Prova de Carga Estática 01

A primeira prova de carga foi realizada em uma HCM com 600 mm de diâmetro e 36 metros de comprimento. Foram instalados quatro níveis de sensores mas infelizmente o sensor a 29 metros de profundidade foi perdido devido ao rompimento do cabo. O sistema de reação contou com 18 helicoidais com 23 metros de comprimento.

O perfil da região é composto por camadas de solo de areia siltosa, silte, argila e areia com diferentes espessuras, perfil característico dos depósitos quaternários da região (Horn et al. 2014). Abaixo de 30m, impenetrável ao SPT e CPT, ocorrem misturas de solo e fragmentos diversos de rocha de quartzo Calcedônia, rocha sã, rocha branda na forma de fragmentos com RQD muito fraco (0 a 5%).

A Figura 4 apresenta a distribuição das forças com a profundidade para cada nível de carregamento.

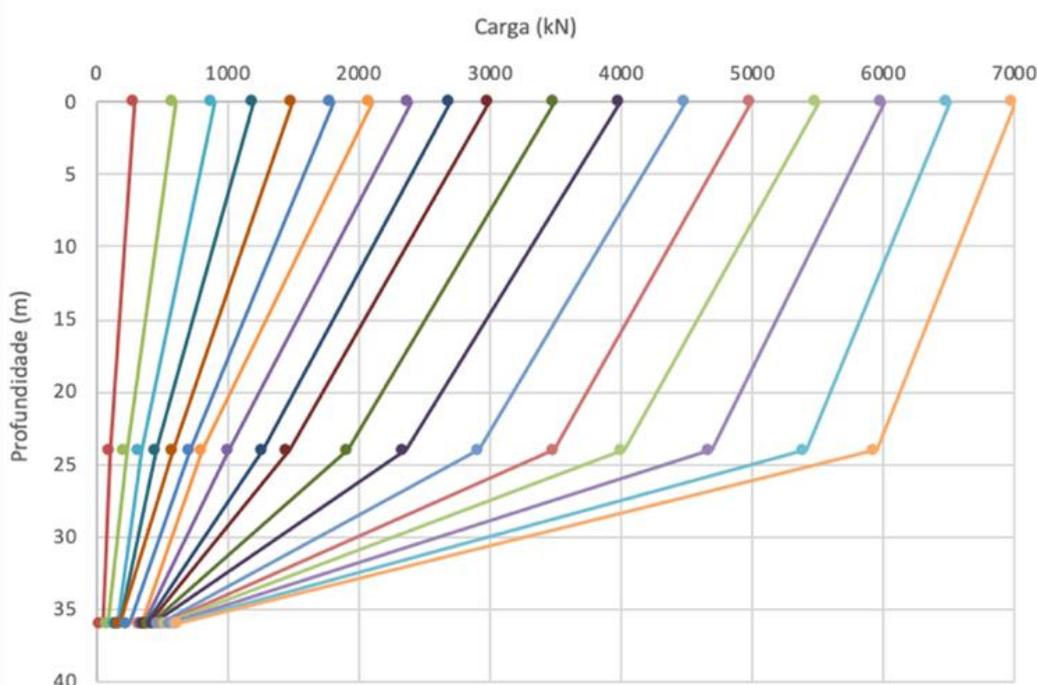


Figura 4. Carga versus profundidade (PCE 01)

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



A prova de carga chegou à carga de 7.000 kN conforme solicitado pelo cliente. No final do carregamento o deslocamento máximo foi de 60,86 mm, um pouco mais de 10% do diâmetro da estaca e após o descarregamento, o deslocamento residual ficou em 41,80 mm (7% do diâmetro).

A instrumentação indica que da carga total aplicada no topo, apenas 640 kN chega à ponta e 6.360 kN é transferido por atrito lateral. A maior parcela de transferência por atrito ocorre no trecho entre 24 e 36 metros.

6.2 Prova de Carga Estática 02

A segunda prova de carga foi realizada em uma HCM com 600 mm de diâmetro e 34 metros de comprimento. Foram instalados cinco níveis de sensores ao longo da profundidade. Devido ao perfil geotécnico ser bem heterogêneo, foram instaladas 16 estacas helicoidais com profundidades variando de 6,5 m a 15 m. Nesse caso foram realizados testes de tração principalmente para avaliação dos deslocamentos ascendentes do sistema de reação devido ao risco de desnivelamento.

O perfil da região é composto de areia siltosa, silte e argila características dos depósitos quaternários da região até 30 metros. Abaixo o perfil é composto por fragmentos de rocha com solo, quartzo cinza fragmentado, rocha sã com RQD muito baixo.

O ensaio foi interrompido quando o carregamento atingiu 4.920 kN devido ao deslocamento total que chegou a 75mm (12,5% do diâmetro da estaca). A distribuição dos esforços é apresentada na Figura 5.

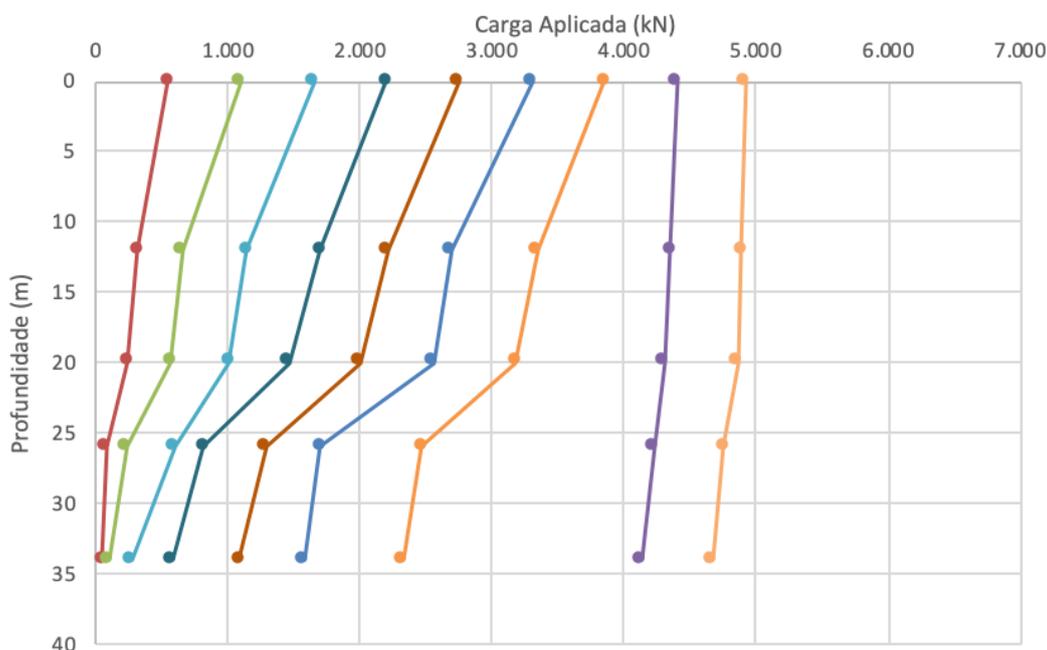


Figura 5. Carga *versus* profundidade (PCE 02)

A instrumentação ao longo da profundidade apresentou uma mudança de comportamento

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



interessante. Até o estágio de 3.850 kN pode-se observar que a estaca apresentava uma transferência de atrito de 1.522 kN e ponta de 2.328 kN. No acréscimo de carga de 3.850 kN para 4.400 kN, praticamente a carga total aplicada no topo foi transferida para a ponta. No último estágio de 4.920 kN, a ponta recebeu 95% da carga (4.672 kN).

6.3 Prova de Carga Estática 03

O terceiro caso trata de uma estaca HCM com 600 mm de diâmetro e 30,23 metros de comprimento. Foram instalados quatro níveis de sensores para avaliar o atrito lateral. Foram necessárias 18 estacas helicoidais com comprimento de 19 m para atender a carga de 8.500 kN. Para essa carga foi realizado testes de tração para verificação dos deslocamentos do sistema de reação.

O perfil da região é composto por camadas de areia fina, areia siltosa argila arenosa, argila cinza esverdeada muito rija, silte argiloso com fragmento de rocha até 27 metros. Abaixo, por sondagem mista, o perfil apresenta Gnaiss fortemente bandado cinza rajado, rocha são pouco fraturado, fraturas perpendiculares ao bandeamento., RQD alto.

Nesta prova de carga, Figura 6, observa-se que desde os primeiros estágios de carregamento a carga é praticamente transferida direto para a ponta. No final de carregamento de 8.500 kN, o deslocamento máximo foi de 50,59 mm (8,4% do diâmetro da estaca) e o deslocamento residual ficou em 32,28 mm (5,34%). Como a ponta apresenta uma resistência de 8.309 kN fica claro que a estaca, nesse caso, está trabalhando como uma coluna confinada com a ponta suportando 98% da carga aplicada no topo.

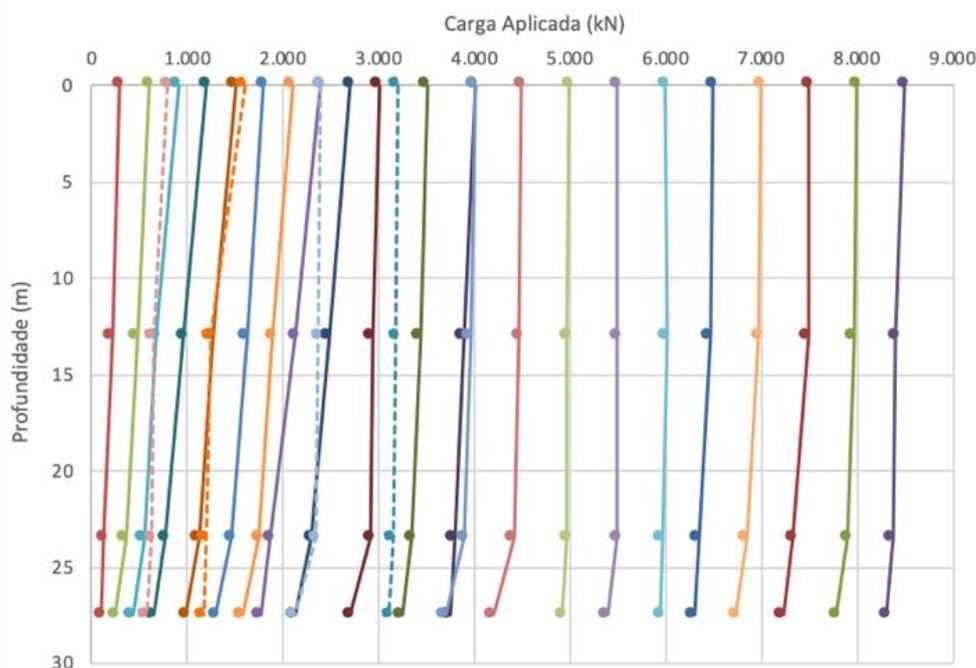


Figura 6. Carga versus profundidade (PCE 03)

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



7 Considerações Finais

Nesse artigo foram apresentados três casos de prova de carga estática instrumentada em estacas hélice contínua monitorada com ponta em rocha alterada ou fraturada. O sistema de reação utilizando estacas helicoidais provou ser vantajoso em relação as estacas de reação pela rapidez de instalação e pela recuperação de 100% das hastes reduzindo assim, os custos de montagem.

A instrumentação se mostrou fundamental para realmente entender os possíveis mecanismos de transferência de carga que podem ocorrer entre uma HCM e o perfil geotécnico. Os resultados mostram que pode ocorrer apenas transferência por atrito lateral, transferência por atrito e ponta e transferência somente por ponta. Fica claro que essas diferenças são consequência das etapas finais do processo de perfuração das HCM. Outro ponto importante é prever qual o bulbo amolgado no entorno da ponta resultante da fragmentação e/ou abertura das fissuras na rocha durante processo final de escavação principalmente abaixo da zona de escavação.

Isso abre uma grande oportunidade para as empresas executoras de HCM de fazerem parcerias com instituições de pesquisa para realizarem provas de carga instrumentadas visando reavaliarem seus procedimentos e métodos de execução de HCM. Sem contar que isso pode representar grande otimização nos projetos de fundação com ponta em rocha alterada ou fraturada.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a BornSales escritório de projetos de fundação, a empresa União Fundações executora das estacas e a equipe de campo da Solugeot as quais tornaram possível a realização dessas provas de carga estáticas instrumentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alledi, C.T.D.B. *Transferência de Carga de Estacas Hélice Contínua Instrumentada em Profundidade*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa. 2013.

Horn Filho, N.O., Schmidt, A.D., Benedet, C., Neves, J., Pimenta, L.H.F., Paquette, M., Alencar, R., Silva, W.B., Villela, E., Genovez, R. & Santos, C.G. *Estudo Geológico dos Depósitos Clásticos Quaternários Superficiais da Planície Costeira de Santa Catarina, Brasil*. Revista Gravel, ISSN-1678-5975, vol. 12, N.1, PP 41-107, Dezembro 2014.

International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
www.issmge.org/publication/online-library. Abril 2023.

Lopes, A.P. *Geologia do Complexo Camboriú (SC)*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, USP, 2008.

Miranda Jr., Gentil. *A otimização das fundações empregando provas de carga nos projetos*.
www.youtube.com/watch?v=oEX5MZQwRJg. Abril 2023.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

