

Avaliação do uso de Dispositivo de Limpeza de Ponta na melhora de Desempenho de Estacas Escavadas

André Querelli

Eng. M.Sc., Diretor, **Solotechnique**, Jundiaí, São Paulo, andre.querelli@solotechnique.com.br

Tiago de Jesus Souza

Eng. D.Sc., Diretor, **Solotechnique**, Jundiaí, São Paulo, tiago.souza@solotechnique.com.br

Luana Azevedo Teixeira

Eng^a. Civil, Diretora, **Persolo**, São José dos Campos, luana@persolo.com.br

João Pedro Azevedo Teixeira

Eng. Civil, Diretor, **Persolo**, São José dos Campos, joaopedro@persolo.com.br

RESUMO: A eficiência da limpeza de ponta em estacas escavadas sem fluido estabilizante (convencionais) não é usualmente realizado. No entanto, se realizado por meio de alguma ferramenta, isso pode impactar significativamente seu desempenho mecânico. Este artigo apresenta uma análise comparativa de duas provas de carga estáticas do tipo lento, realizadas em estacas escavadas submetidas a carregamento até três vezes sua capacidade admissível, de modo a levá-las a grandes deslocamentos. Uma das estacas foi executada segundo o procedimento convencional, enquanto a outra recebeu três rodadas adicionais de limpeza de ponta com um dispositivo inovador acoplado ao trado de perfuração. Os resultados indicam que a estaca submetida à limpeza aprimorada apresentou menor deformabilidade e maior eficiência na mobilização da resistência de ponta, evidenciando o impacto positivo da técnica no desempenho estrutural da fundação. A pesquisa destaca a importância de procedimentos executivos na resposta mecânica das estacas e propõe recomendações para otimização da capacidade de carga em projetos geotécnicos.

PALAVRAS-CHAVE: Desempenho geotécnico, prova de carga, estacas, limpeza de ponta.

ABSTRACT: The efficiency of base cleaning in bored piles without stabilizing fluid (conventional piles) is not commonly evaluated. However, when performed using an appropriate tool, this process can significantly impact their mechanical performance. This paper presents a comparative analysis of two slow maintained static load tests conducted on bored piles loaded up to three times their allowable bearing capacity in order to induce large displacements. One pile was constructed using conventional procedures, while the other underwent three additional rounds of base cleaning using an innovative device attached to the drilling auger. The results indicate that the pile subjected to enhanced cleaning exhibited reduced deformability and higher efficiency in mobilizing end-bearing resistance, highlighting the positive impact of the technique on the structural performance of the foundation. This research underscores the importance of construction procedures in the mechanical response of bored piles and offers recommendations to optimize bearing capacity in geotechnical design.

KEYWORDS: Geotechnical performance, load test, piles, base cleaning.



1 INTRODUÇÃO

A escolha do tipo de fundação está intrinsecamente ligada a diversos fatores, com destaque para as características geotécnicas do solo e sua capacidade de suporte. Neste contexto, as estacas escavadas se apresentam como uma solução recorrente em obras de fundação profunda. No entanto, sua execução pode acarretar perturbações significativas no solo, especialmente na região abaixo da ponta da estaca, em decorrência do processo de perfuração. Tais perturbações influenciam diretamente a mobilização da resistência de ponta, cuja eficiência é comprometida pelo amolecimento do solo e pela eventual presença de detritos remanescentes no fundo da escavação.

A presença de resíduos — sejam partículas de solo desagregadas ou fluido de perfuração — prejudica o contato entre a base da estaca e o solo circundante, afetando negativamente a transmissão de carga. Além disso, a liberação das tensões no solo durante a escavação promove a redução da resistência por atrito lateral, diminuindo a capacidade de carga total da fundação. Como ressaltado por Shi et al. (2024), o relaxamento e o distúrbio do solo adjacente, aliados à falta de limpeza adequada da base, reduzem substancialmente a mobilização da resistência de ponta.

Pesquisas anteriores, como as de Dzagov; Kitaikin; Chernov (2016) apontam que os resíduos presentes no fundo da escavação — sejam eles materiais do solo ou fluidos de perfuração — podem diminuir consideravelmente a capacidade de carga das estacas escavadas. Dessa forma, a limpeza adequada do fundo da escavação antes da concretagem é fundamental para garantir a integridade da fundação. O relaxamento do solo abaixo da ponta da estaca devido ao processo de perfuração afeta significativamente a resistência de ponta, que é ainda mais comprometida pelos detritos remanescentes após a limpeza. Além disso, a liberação das tensões do solo e os distúrbios causados pela perfuração reduzem o atrito lateral, o que impacta negativamente na capacidade de carga total da estaca (Wan et al., 2018).

Outro aspecto fundamental a ser considerado no desempenho das estacas escavadas refere-se à mobilização das resistências por atrito lateral e de ponta. A resistência por atrito lateral é plenamente mobilizada em deslocamentos relativamente pequenos, da ordem de 0,5% a 1,0% do diâmetro da estaca. Por outro lado, a resistência de ponta exige deslocamentos significativamente maiores, variando entre 10% e 15% do diâmetro da estaca, para atingir sua plena mobilização (Hirayama, 1990; Mullins et al., 2000). Essa discrepância implica que, em diversas situações de carregamento, especialmente dentro dos limites de serviço, a resistência de ponta não é completamente mobilizada, mesmo sob condições de execução ideais (Wan et al., 2018).

A correta estimativa da capacidade de carga de estacas depende, portanto, da avaliação criteriosa das resistências de atrito lateral e de ponta. Albuquerque (1996), por meio da análise de provas de carga estática, identificou que, embora a maior parte da carga seja absorvida pelo fuste, a ponta ainda contribui com cerca de 16% da resistência total — valor que não deve ser negligenciado, mesmo em solos residuais. De forma semelhante, Paludeto (2022), ao analisar estacas tipo hélice contínua por meio de provas de carga instrumentadas e simulações numéricas no PLAXIS®, observou superestimativas na resistência de ponta obtidas por métodos semiempíricos, associadas à não mobilização total dessa parcela.

Mais recentemente, Castro Neto (2022) avaliou o comportamento de duas estacas injetadas tipo Incopile, instrumentadas em profundidade e executadas em solo tropical. A comparação com métodos semiempíricos indicou uma tendência de superestimação da resistência de ponta. Essa condição acaba evidenciando que, em projetos geotécnicos recorrentes, a limpeza e o preparo adequado da base da estaca continuam sendo determinantes para a mobilização efetiva dessa resistência.

A ausência de uma limpeza eficaz do fundo da escavação compromete diretamente a resistência de ponta e, conseqüentemente, a capacidade de carga total da estaca. A negligência nesse aspecto pode resultar em patologias estruturais, como recalques excessivos e falhas de desempenho, sendo muitas vezes detectadas apenas após o surgimento de manifestações patológicas.

Diante desse cenário, este artigo propõe a avaliação de um sistema inovador de limpeza do fundo de furo em estacas escavadas, visando mitigar os efeitos negativos associados à má execução. Para isso, foram



realizadas provas de carga estática lenta em duas estacas escavadas de 50 cm de diâmetro e 9 m de comprimento, executadas no município de Salto/SP. Os ensaios foram conduzidos sob condições contrastantes: uma estaca com limpeza deficiente do furo e outra com aplicação do sistema proposto, permitindo análise comparativa direta dos efeitos da limpeza na capacidade de carga das estacas.

2. CASO DE OBRA

2.1 Execução das Estacas Escavadas e Dispositivo de Limpeza

As estacas analisadas neste estudo são do tipo escavadas, executadas em um solo predominantemente coesivo, com classificação granulométrica variando entre argila e silte, conforme resultados das investigações geotécnicas. A execução foi realizada por meio de trado mecânico, conforme ilustrado na Figura 1. As letras a e b mostram o equipamento utilizado em conjunto com o trado mecânico para a execução das estacas, enquanto a letra c ilustra o processo de concretagem. As estacas-piloto apresentam diâmetro de 500 mm e comprimento de 9,0 m. As sondagens indicaram a presença de um perfil geotécnico com elevada resistência, o que, inicialmente, levou à consideração da utilização de estacas tipo hélice contínua, em razão da robustez do equipamento e de sua capacidade de perfurar solos mais resistentes. No entanto, após a realização de furos de teste e a avaliação da disponibilidade dos equipamentos no canteiro, constatou-se a viabilidade técnica e econômica da adoção de estacas escavadas, desde que associadas a um procedimento adequado de limpeza do fundo do furo.

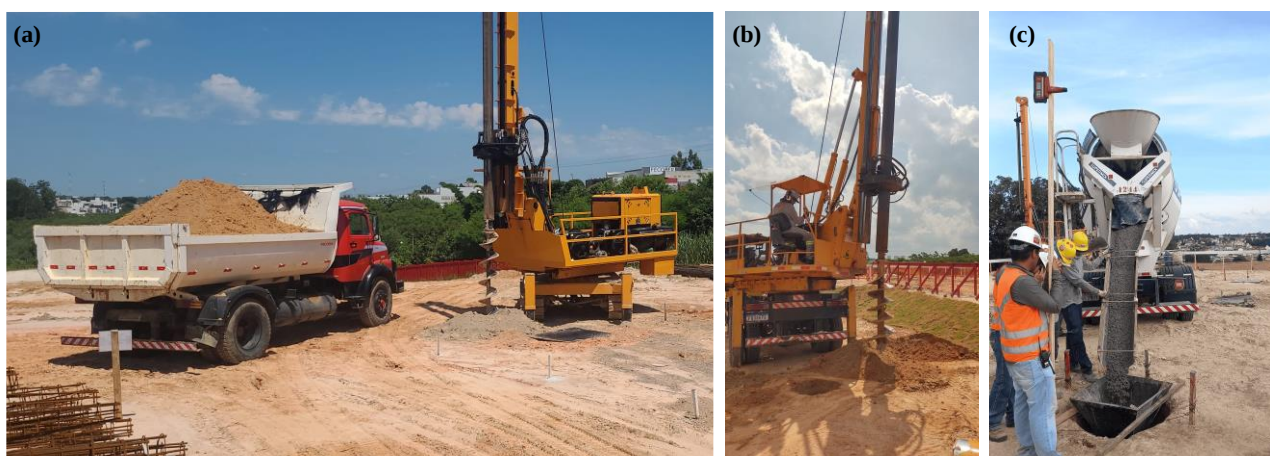


Figura 1. Execução das Estacas Escavadas. (a) Equipamento de escavação em conjunto com o trado mecânico; (b) Detalhamento do processo de escavação; (c) Concretagem da estaca.

O dispositivo de limpeza, ilustrado na Figura 2, é uma solução inovadora em comparação aos sistemas convencionais. Ele foi projetado para permitir o armazenamento eficiente do material removido durante a limpeza, sendo composto por hélices metálicas que realizam raspagens sucessivas do fundo da escavação. O processo de raspagem é realizado em três etapas consecutivas, garantindo a remoção completa dos detritos e melhorando a qualidade da interface entre a base da estaca e o solo. Essa abordagem visa minimizar a presença de resíduos indesejados, o que pode comprometer a resistência de ponta da estaca. O design do dispositivo também facilita a operação em diferentes tipos de solo, aumentando sua versatilidade e eficácia no preparo do furo. Além disso, a estrutura permite o controle da profundidade da raspagem, assegurando que a limpeza seja realizada de forma precisa e eficiente.

Na Figura 2, são apresentados detalhes do dispositivo de limpeza desenvolvido neste estudo. As imagens (a) e (b) mostram o equipamento pelas vistas lateral e inferior, respectivamente, possibilitando a



visualização geral da estrutura. A imagem (c) evidencia o sistema interno de armazenamento dos resíduos coletados durante o processo de limpeza do fundo da escavação. Já a imagem (d) mostra o momento do descarte do material acumulado, realizado por meio da base aberta do dispositivo, que permite a liberação controlada dos detritos após as etapas de raspagem.



Figura 2. Vistas do dispositivo de limpeza desenvolvido: (a) vista lateral do equipamento; (b) vista inferior com abertura na base para descarte do material; (c) compartimento interno destinado ao armazenamento dos resíduos removidos do fundo da escavação; (d) descarte do material armazenado após a limpeza.

A Figura 3 apresenta as etapas do sistema de acoplamento do dispositivo de limpeza à haste de perfuração. Na imagem (a), observa-se o dispositivo posicionado junto à haste que permitirá sua operação em campo. Em (b), é mostrado o sistema de engate hidráulico, responsável por garantir uma conexão entre os elementos. A imagem (c) evidencia a etapa de fixação final, assegurando que o conjunto esteja adequadamente travado para operação. Por fim, na imagem (d), o sistema encontra-se completamente acoplado e pronto para ser utilizado no processo de limpeza do fundo da escavação.

A Figura 4 ilustra o funcionamento do sistema de limpeza do furo. Nas imagens (a) e (b), observa-se o dispositivo sendo conduzido até a base da escavação, onde realiza três raspagens consecutivas com o auxílio de hélices metálicas, promovendo a remoção dos resíduos depositados no fundo. Após essa etapa, o dispositivo é retirado cuidadosamente da perfuração, conforme mostrado em (c), permitindo a visualização do furo limpo e pronto para a concretagem.





Figura 3. Sistema de acoplamento do dispositivo de limpeza: (a) visão geral do dispositivo e da haste à qual será conectado; (b) detalhe do sistema de engate hidráulico utilizado para o acoplamento; (c) fixação final do dispositivo à haste; e (d) dispositivo pronto e liberado para operação.

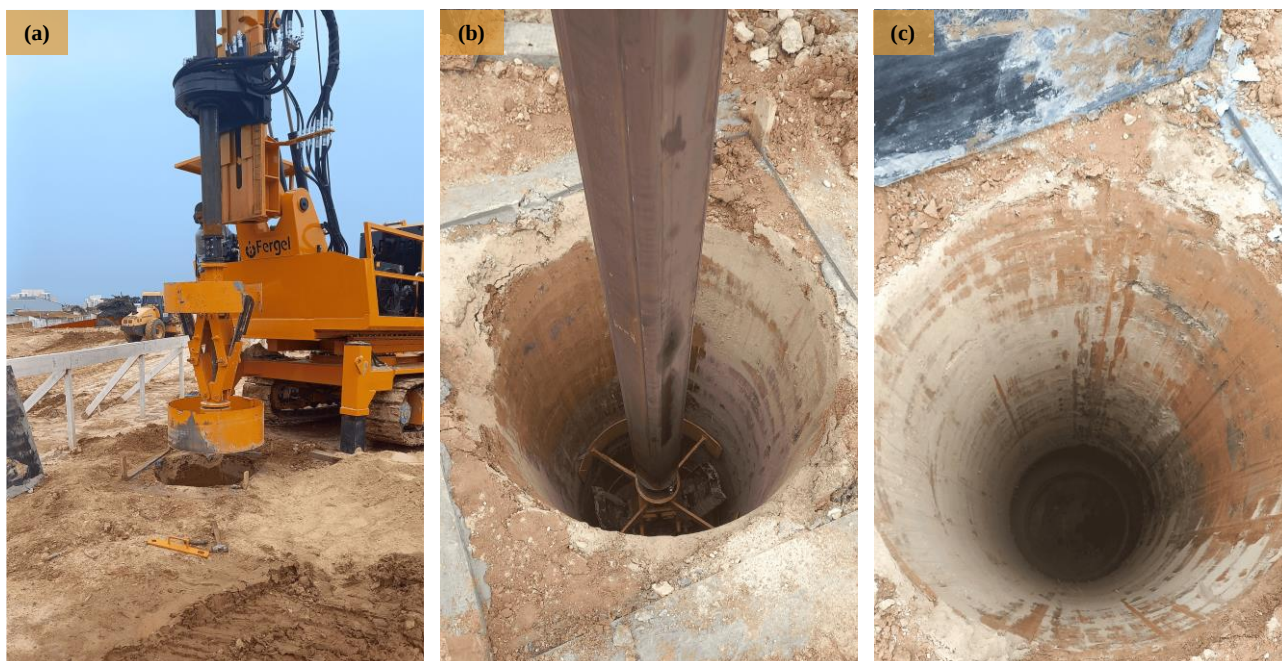


Figura 4. Funcionamento do sistema de limpeza do furo: (a) e (b) – dispositivo em operação realizando raspagens no fundo da escavação; (c) – retirada do dispositivo e visualização do furo limpo após a limpeza.



2.1 Provas de Carga realizadas

Conforme mencionado anteriormente, o presente estudo teve como objetivo analisar a capacidade de carga de duas estacas escavadas em projeto piloto, ambas com 50 cm de diâmetro. A avaliação da capacidade de carga foi realizada por meio de ensaios de prova de carga estática, conduzidos segundo os procedimentos estabelecidos pela NBR 16903 (ABNT, 2020).

A instrumentação utilizada nos ensaios incluiu quatro vigas de reação metálicas com 1,2 m de comprimento e capacidade de 1.000 kN, duas vigas metálicas de 6 m com capacidade de 4.000 kN cada e uma viga metálica adicional de 6 m com capacidade de 8.000 kN. O sistema de carregamento foi composto por um cilindro hidráulico com capacidade de 5.000 kN, quatro relógios comparadores com curso de 50 mm, uma central de aquisição de dados e uma viga de referência.

O método de carregamento adotado foi do tipo lento, conforme especificado na NBR 16903:2020. Este procedimento consiste na aplicação de carga em incrementos sucessivos, com magnitude máxima de 20% da carga de trabalho estimada para a estaca em ensaio. Em cada estágio, a carga é mantida até a estabilização dos recalques, por um período mínimo de 30 minutos e máximo de 120 minutos. Ao final do último estágio de carregamento, é realizada uma leitura adicional após 12 horas. Em seguida, procede-se ao descarregamento da estaca em quatro estágios, com intervalos mínimos de 15 minutos entre cada etapa. Caso seja observada a ruptura da estaca antes da última etapa, a leitura de 12 horas é dispensada, e o descarregamento é iniciado imediatamente.

A Figura 5 ilustra a execução dos ensaios de carga, detalhando a configuração dos equipamentos e o arranjo experimental adotado. As estacas foram dimensionadas para uma carga admissível de 80 toneladas (aproximadamente 784 kN), sendo o objetivo do ensaio aplicar cargas de até três vezes esse valor, totalizando aproximadamente 2.352 kN, a fim de avaliar o comportamento da fundação em níveis de solicitação superiores às condições de serviço.



Figura 5. Provas de Carga Estática.

3 RESULTADOS

Inicialmente, a Figura 6 apresenta a comparação das curvas carga-recalque obtidas para as estacas escavadas com e sem o condicionamento adequado da base do fuste. Observa-se que a estaca ensaiada sem a limpeza apropriada apresentou um recalque final de 83,68 mm, enquanto a estaca com a base devidamente limpa apresentou um deslocamento de apenas 17,85 mm. Essa diferença representa uma redução de aproximadamente 78,67% no deslocamento máximo observado, evidenciando o impacto significativo da



limpeza da base na resposta da fundação.

Verifica-se ainda que, até o patamar de 500 kN, os recalques se mantêm próximos entre as duas estacas. A partir desse ponto, contudo, a curva referente à estaca sem limpeza passa a apresentar deformações mais acentuadas, sugerindo uma perda progressiva de rigidez com o aumento da carga aplicada. Em contraste, a curva da estaca com limpeza da base revela um comportamento mais rígido e estável, mesmo sob níveis de carregamento mais elevados, o que confirma a eficácia do procedimento de limpeza na melhoria do desempenho da fundação.

Tal comportamento pode ser explicado pela mobilização da resistência de ponta, que, segundo Hirayama (1990) e Mullins et al. (2000), ocorre tipicamente quando os deslocamentos atingem entre 10% e 15% do diâmetro da estaca — o que, no caso das estacas analisadas (diâmetro de 500 mm), corresponde a recalques entre 50 e 75 mm. Assim, a estaca com base limpa apresenta melhores resultados por favorecer a ativação plena da resistência de ponta, enquanto a presença de detritos na base da estaca sem limpeza dificulta essa mobilização, comprometendo sua resposta à carga e levando a recalques mais elevados.

Destaca-se, ainda, que no estágio de descarregamento, a estaca sem limpeza não apresentou recuperação elástica perceptível, o que pode ser interpretado como um indicativo de que sua capacidade resistente aproximou-se do esgotamento. Por outro lado, a estaca com limpeza apresentou clara recuperação elástica, corroborando seu melhor desempenho estrutural.

Os resultados apresentados corroboram a literatura técnica, que aponta que o relaxamento do solo abaixo da ponta da estaca, induzido pelo processo de perfuração, pode comprometer significativamente a resistência de ponta, sobretudo na presença de resíduos não removidos da base. Estudos reforçam que detritos remanescentes após a escavação contribuem para a redução da capacidade de carga, especialmente em estacas com parcela de resistência de ponta (DAPP; MULLINS, 2002; DZAGOV; KITAIIKIN; CHERNOV, 2016; MULLINS; DAPP; LAI, 2000; SAFAQAH; BITTNER; ZHANG, 2007; SHI et al., 2024).

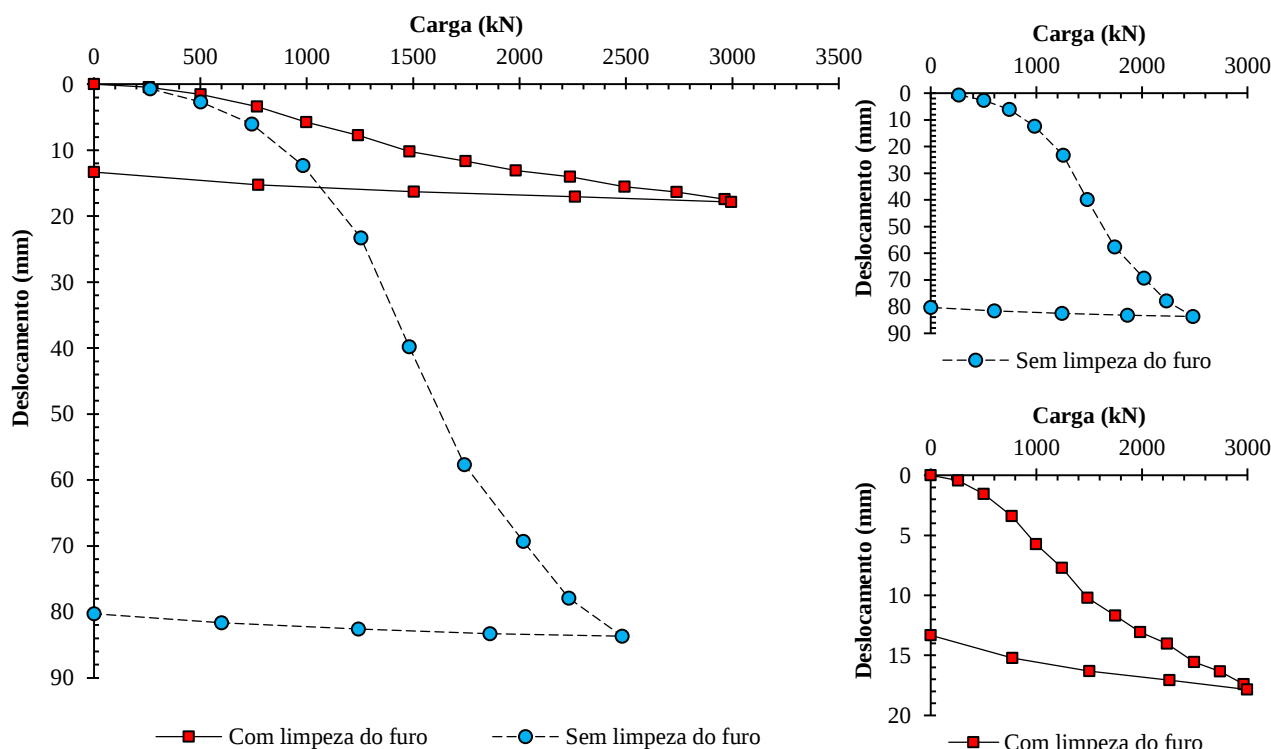


Figura 6. Comparação da resposta carga-recalque para estacas escavadas com e sem condicionamento da base de fuste.



5 CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados neste estudo, foi possível avaliar a influência do condicionamento da base de fuste em estacas escavadas executadas em solo coesivo, utilizando um dispositivo de limpeza desenvolvido especificamente para essa finalidade. Os resultados obtidos permitiram identificar diferenças significativas no desempenho das fundações testadas com e sem a aplicação do procedimento de limpeza.

A comparação entre as curvas carga-recalque evidenciou que a limpeza adequada da base da estaca resultou em uma significativa redução do recalque final, da ordem de aproximadamente 78,7%, mesmo quando submetida a níveis de carregamento superiores. Essa melhora no desempenho está associada à remoção de material solto na base da escavação, o qual, quando não retirado, compromete a mobilização da resistência de ponta da estaca.

Adicionalmente, observou-se uma recuperação elástica mais acentuada durante o ciclo de descarregamento na estaca com a base devidamente limpa, comportamento não identificado na estaca sem limpeza. Esse contraste indica que a ausência de preparo da base pode comprometer significativamente a resposta da fundação, levando o elemento a operar próximo ao esgotamento de sua capacidade resistente, mesmo sob o mesmo nível de carregamento aplicado a uma estaca com base condicionada.

Diante disso, conclui-se que o dispositivo de limpeza testado apresenta eficácia comprovada e se mostra uma alternativa prática e eficiente para o condicionamento da base de fuste de estacas escavadas. Sua adoção pode proporcionar ganhos expressivos em termos de desempenho técnico e segurança das fundações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16903. *Solo - Prova de carga estática em fundações profundas*. Rio de Janeiro.
- Albuquerque, Paulo José Rocha de. *Análise do comportamento de estaca pré-moldada de pequeno diâmetro, instrumentada, em solo residual de diabásio da região de Campinas*. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- Castro Neto, Joaquim Ribeiro de. *Estaca injetada instrumentada tipo Incopile: avaliação do comportamento à compressão em solo tropical da região de Campinas/SP*. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.
- Dzagov, A. M., Kitaikin, V. A., & Chernov, R. I. (2016). On the Impact of Cleaning Widened Sections of Boreholes on the Bearing Capacity of Bored Situ-Cast Piles. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 53(4), 274–281. <https://doi.org/10.1007/s11204-016-9398-0>
- Hirayama, H. (1990). Load-Settlement Analysis for Bored Piles Using Hyperbolic Transfer Functions. *Soils and Foundations*, 30(1), 55–64. <https://doi.org/10.3208/sandf1972.30.55>
- Mullins, G., Dapp, S. D., & Lai, P. (2000). Pressure-Grouting Drilled Shaft Tips in Sand. *New Technological and Design Developments in Deep Foundations*, 1–17. [https://doi.org/10.1061/40511\(288\)1](https://doi.org/10.1061/40511(288)1)
- PALUDETTO, Thaís Maria Leite. *Desempenho de estacas tipo hélice contínua por meio de provas de carga estática instrumentada e simulação numérica*. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.
- Shi, X., Chen, W., Sun, H., Cao, S., Sun, P., & Wu, X. (2024). *Study on Hole Cleaning Construction Technology of Bored Cast-in-Place Pile* (pp. 421–429). https://doi.org/10.1007/978-981-99-9947-7_45
- Wan, Z., Dai, G., & Gong, W. (2018). Full-scale load testing of two large-diameter drilled shafts in coral-reef limestone formations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 77(3), 1127–1143. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1206-1>

