



## Recalque em edificação estaqueada: pesquisa, diagnóstico e solução.

Luiz Felipe Goulart Fiscina

Engenheiro Civil, ZF & Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil, [luiz@zfsolos.com](mailto:luiz@zfsolos.com)

Frederico Falconi

Engenheiro Civil, ZF & Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil, [fred@zfsolos.com](mailto:fred@zfsolos.com)

**RESUMO:** Avalia-se nesse trabalho os recalques causados pelo rebaixamento do nível de água em uma obra situada em Ipatinga – MG. O subsolo local é constituído por um depósito aluvionar com espessura de cerca de 30m, com  $N_{SPT}$  entre 2 e 15 golpes. O projeto de fundações do empreendimento (galpão em estrutura metálica) previu estacas do tipo hélice contínua de 40cm de diâmetro e comprimento igual a 20 metros para uma carga de trabalho de 10 tf. Essas estacas mostraram-se eficientes para a carga projetada em termos de cálculo de capacidade de carga, monitoramento do desempenho (prova de carga estática) e integridade (ensaios PIT e boletim de execução de campo). No entanto, durante a montagem dos pilares do galpão notou-se problemas durante a instalação das conexões como chapas e parafusos. Foram observados recalques de até 14 cm em diversos pilares da obra. Como forma de investigar o fenômeno foi solicitado uma nova campanha de investigação geotécnica composta de ensaios SPT e CPTu, além de ensaios de teste e bombeamento em 7 poços tubulares instalados em condomínios no entorno da região em estudo. A partir dos resultados foi possível elucidar o problema e dimensionar a solução definitiva de fundações para o empreendimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recalque de Fundação; Investigação Geotécnica; Fundações em Estacas; Provas de Carga.

**ABSTRACT:** This paper evaluates the settlements caused by the lowering of the water level in a site located in Ipatinga - MG. The local subsoil consists of an alluvial deposit with a thickness of about 30m, with  $N_{SPT}$  between 2 and 15 blows. The foundation project (for a steel structure shed) was designed in continuous flight auger (CFA) with a diameter of 40 cm and a length of 20 meters for a workload of 10 tf. These piles proved to be efficient for the designed load in terms of load capacity calculation, performance monitoring (static load test) and integrity evaluation (PIT tests and field performance report). However, during the installation of the steel columns, connection problems were noticed during the installation of the plates and screws. Settlements of up to 14 cm were observed in several columns of the site. As a way of investigating the phenomenon, a new geotechnical investigation campaign was requested, consisting of SPT and CPTu tests, and pumping tests in 7 tubular wells installed in the neighborhood around the region under study. From the results of the complementary investigation, it was possible to elucidate the problem and design the definitive foundation solution for the enterprise.

**KEYWORDS:** Foundation Settlement; Geotechnical Investigation; Pile Foundation; Load Test.

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



Realização:



Avenida Rebouças, 353, Sala 74 A  
Cerqueira César, São Paulo/SP, 05401-900  
Telefone: (11) 3052-1284  
E-mail: [abef@abef.org.br](mailto:abef@abef.org.br)

Organização:



Avenida T-9, 2310 - Ed. Inove Intelligent Place  
Sala B701, Jardim América, Goiânia/GO, 74255-220  
E-mail: [secretaria@qeventos.com.br](mailto:secretaria@qeventos.com.br)  
Site: [www.qeventos.com.br](http://www.qeventos.com.br)



## 1 Introdução

O engenheiro projetista de fundações deve ter uma compreensão completa do tipo de solo que servirá de base para a fundação do empreendimento a ser executado. Isso pode ser feito por meio de uma investigação geotécnica, que pode determinar o tipo de solo, incluindo sua classificação geológica, sua resistência e a posição do nível de água, entre outras informações.

A ABNT-NBR 6122:2019 obriga a execução de pelo menos ensaios a percussão do tipo SPT, visando a identificação preliminar da estratigrafia, classificação dos solos, posição do nível de água e medida do índice à penetração do solo ( $N_{SPT}$ ), isto é, sua resistência mecânica. No entanto, a mesma norma ressalta que, sempre quando se constatar diferenças entre as condições locais e as indicações fornecidas pelas sondagens preliminares, investigações geotécnicas complementares podem ser necessárias para esclarecer as divergências e fenômenos antes não conhecidos. Exemplos típicos de ensaios de campo complementares são: sondagens rotativas, CPT, CPTU, DMT, instalação de piezômetros, etc. Adicionalmente aos ensaios mencionados, no caso da Engenharia de Fundações, especificamente em fundações profundas, provas de carga estática, ensaios de carregamento dinâmico e testes do tipo PIT, podem ser executados para verificar o comportamento das fundações perante a investigação geotécnica conduzida durante a etapa de projeto.

Portanto, esse trabalho tem como objetivo reforçar a importância da execução de sondagens e ensaios complementares de forma a elucidar a causa de um problema de fundações observado durante a fase construtiva de um empreendimento localizado em Ipatinga-MG.

## 1 Caracterização do Local

Trata-se de um empreendimento que conta com a construção de um galpão em estrutura metálica. Para o desenvolvimento do projeto de fundações foi executada uma campanha inicial de sondagens composta por 10 ensaios do tipo SPT. Foi verificado que o perfil do subsolo local é composto basicamente por solos aluvionares (variações entre areia argilosa, argila arenosa e silte argilo arenoso) relativamente moles ou pouco compactos, com valores de SPT raramente ultrapassando valores de 10 golpes ( $NSPT_{médio}$  entre 3 e 7 golpes). As fundações previstas tanto para o galpão como para o piso armado do empreendimento foram em estacas do tipo hélice contínua, com diâmetro de 40cm, comprimento total de 20,0m e carga de trabalho igual a 10tf.

A Figura 1 a seguir ilustra os valores de  $N_{SPT}$  ao longo da profundidade assim como os valores da cota do nível de água encontrados em cada ensaio. É possível observar nesta figura que a cota do nível de água variou entre 7 e 16 metros (faixa em cor azul).

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





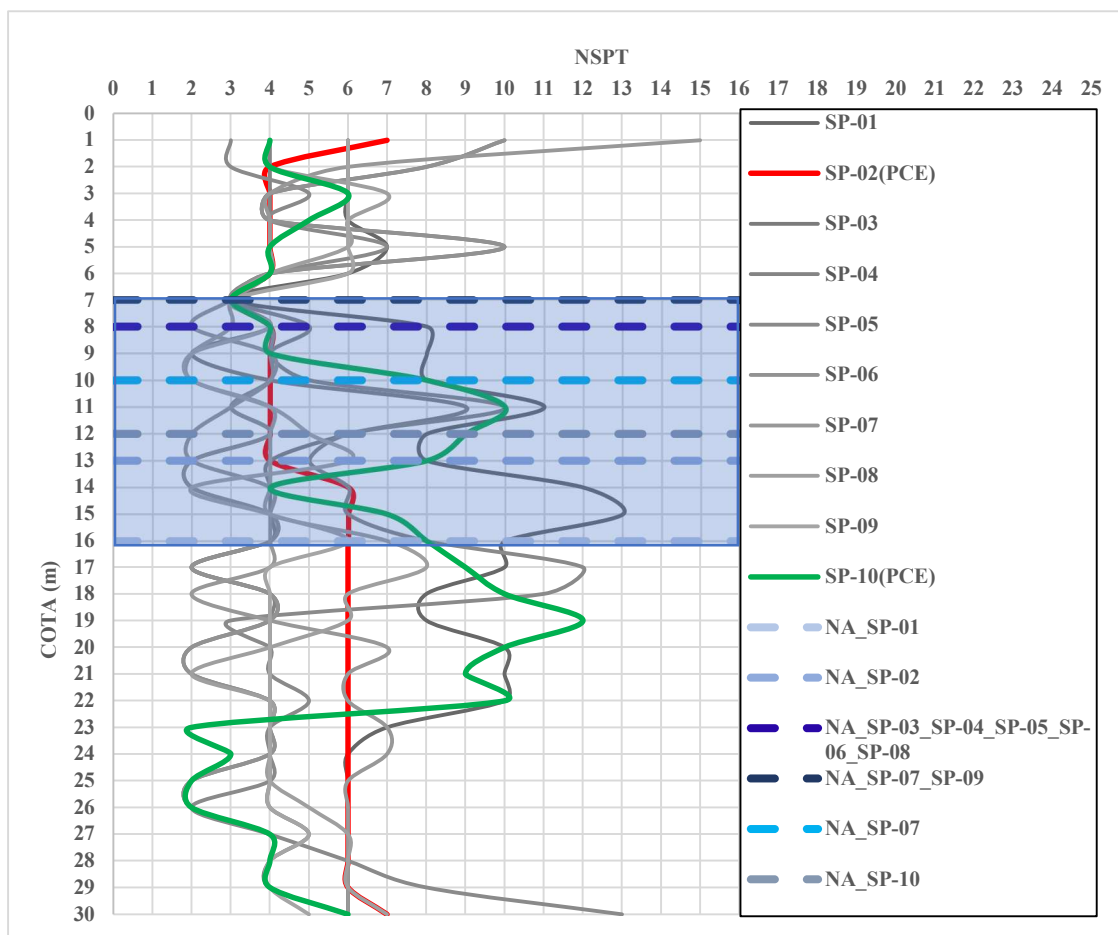


Figura 1. Desenvolvimento do  $N_{SPT}$  ao longo da profundidade e valores de nível de água encontrados para cada ensaio.

## 2 Monitoramento do Desempenho e da Execução do Estaqueamento

Como forma de verificar o desempenho do estaqueamento, foram executadas 04 provas de carga estática (PCE's), conforme preconizado pela ABNT-NBR 6122-2019 e a ABNT-NBR 16903-2020. Os ensaios foram executados próximos as sondagens SP-02 e SP-10. De acordo com a Tabela 1, é possível observar que os comprimentos dimensionados eram suficientes para a mobilização da carga prevista de acordo com o método de ALONSO (1996a, 1996b). De fato, como pode ser visto nos resultados das PCE's (Figura 2), em termos de curva vs recalque, o nível de deformação tanto na carga de trabalho como a duas vezes o seu valor foi inferior ao encurtamento elástico da estaca (em torno de 1 mm para a carga última de 20tf), indicando um comportamento satisfatório desses elementos.

Tabela 1. Capacidade de carga conforme ALONSO (1996a, 1996b).

SPT	Estaca	L (m)	$\phi$ (m)	Rlateral (tf)	Rponta (tf)	Rtotal (tf)	Radm (tf)
SP-02	Hélice Contínua	20,0	0,40	47,5	11,3	58,8	29
SP-10	Hélice Contínua	20,0	0,40	68,8	18,5	87,4	44

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



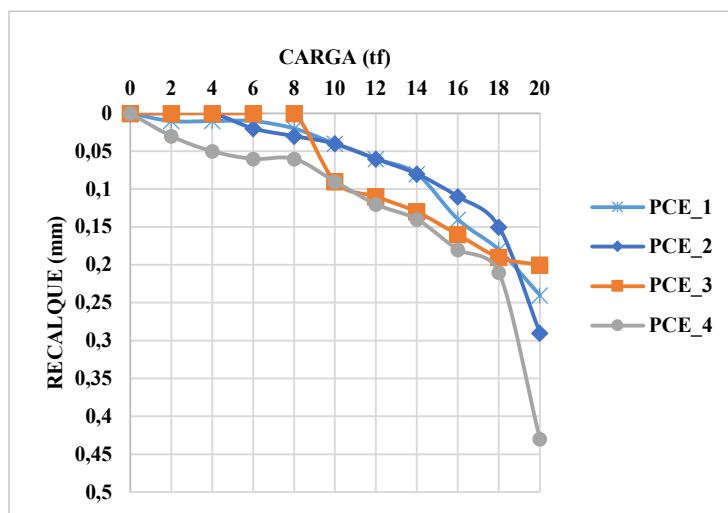


Figura 2. Curvas carga x recalque

Paralelamente às PCE's, foram executados 10 testes do tipo PIT para verificação do comprimento e da integridade do estaqueamento. De uma forma geral os testes do tipo PIT indicaram que o comprimento executado foi igual ao projetado (L=20,0m) como também nenhuma anomalia representativa foi observada. Finalmente, com base nos boletins de execução das estacas hélice contínua, foi possível verificar que as estacas foram executadas conforme a boa prática. A Figura 3 a seguir ilustra um boletim típico das estacas executadas desse empreendimento.

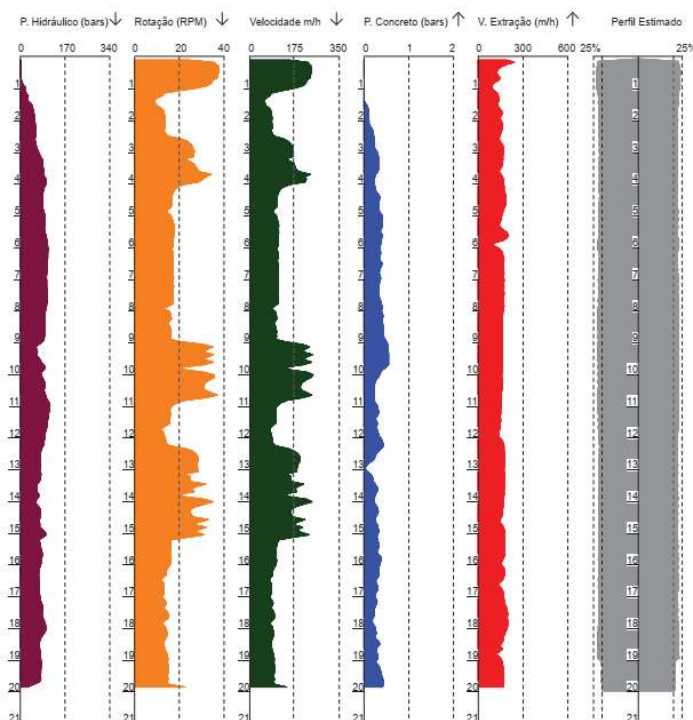


Figura 3. Boletim típico de execução do estaqueamento em hélice contínua.

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





Finalmente, pode-se constatar que tanto a execução como o desempenho da amostra de estacas analisadas foram satisfatórias e de acordo com a boa prática de engenharia de fundações. No entanto, durante a fase construtiva, foram observados recalques de alta magnitude (até 14cm) em alguns pilares metálicos da obra, inviabilizando a montagem deles. Dessa forma, uma nova campanha de sondagens foi solicitada com o objetivo de investigar com mais detalhes a causa dessas movimentações.

## 2 Ensaios Complementares

Uma campanha de investigação geotécnica complementar foi executada composta por 02 sondagens mistas e 02 CPTu's. Foi solicitado também à executora uma busca por poços de bombeamento na região visto que, na primeira campanha de sondagens, foi observado uma flutuação expressiva do nível de água local. Após a inspeção na região, foram localizados 7 poços tubulares. Dessa forma, foi requisitado também testes de bombeamento nesses poços para verificar a flutuação do nível de água estático e dinâmico dos mesmos.

### 2.1 Sondagens Mistas

A Figura 4 a seguir apresenta os valores de  $N_{SPT}$  ao longo da profundidade, os valores da cota do nível de água encontrados em cada ensaio. Adicionalmente, A Tabela 2 apresenta a estratigrafia analisada por inspeção tátil-visual de cada ensaio.

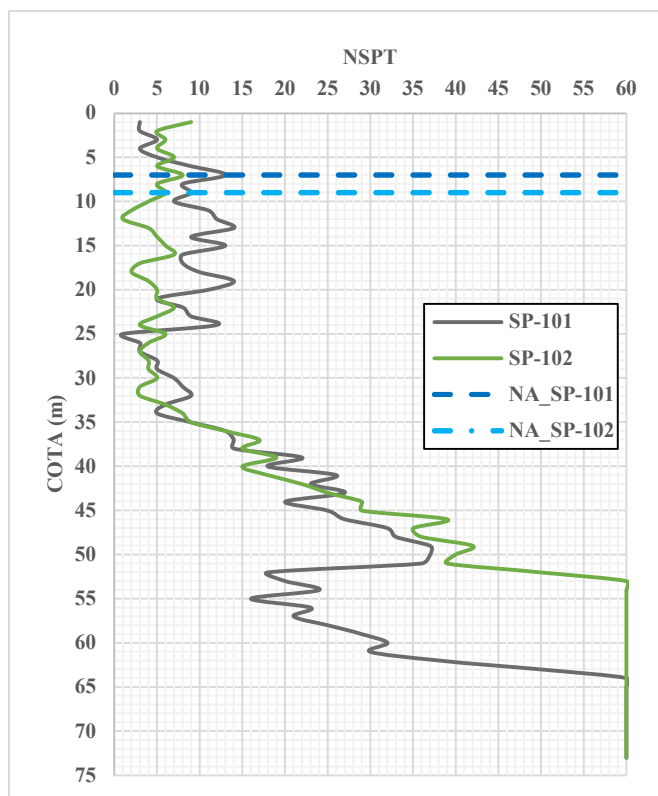


Tabela 2. Estratigrafia tátil visual

SP-101	
Cota	Solo
0-4,73	Argila siltosa
4,73-11,58	Argila silto-arenosa
11,58-23,63	Areia argilosa
23,63-35,61	Argila
35,61-45,76	Areia argilosa
45,76-60,61	Silte argilo-arenoso
60,61-73,06	Solo de alteração de rocha silte arenoso
SP-102	
Cota	Solo
0-3,82	Argila silto-arenosa
3,82-6,72	Silte arenoso
6,72-17,88	Argila
17,88-24,71	Areia argilosa
24,71-31,92	Argila arenosa
31,92-35,76	Areia argilosa
35,76-43,76	Silte argilo-arenoso
43,76-63,07	Solo de alteração de rocha silto arenosa

Figura 4. Resultados das sondagens mistas

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



Vale destacar que na região de flutuação do nível de água (Figura 1 e 4) existe uma camada de argila (Tabela 2) que pode ter sofrido recalques induzidos por essa flutuação. Adicionalmente, o solo de alteração de rocha foi encontrado a uma profundidade de 60,61m e 43,76m para as sondagens SP-101 e SP-102, respectivamente.

## 2.2 CPTu

Com base nos resultados dos ensaios CPTu, tais como resistência de ponta de cone corrigida ( $q_t$ ), atrito lateral ( $f_s$ ), poropressão ( $u_2$ ) e a utilização de equações clássicas encontradas na literatura, foi possível classificar os horizontes do subsolo da região. A classificação dos solos em profundidade foi feita com base no índice  $I_c$ . Tal índice foi definido de forma a simplificar o ábaco SBT e definir zonas de comportamento dos solos. A Tabela 1 a seguir apresenta as faixas desse índice para cada tipo de solo conforme ROBERSTON (2010). Adicionalmente, a partir de ensaios de dissipação foi possível observar que o nível de água estático ( $u_0$ ) estava em torno de 9 metros de profundidade a partir da cota do terreno natural. Finalmente, as Figuras 5 e 6 ilustram os principais resultados mencionados anteriormente.

Tabela 3. Classificação dos solos em função do índice de classificação do material  $I_c$ .

Classificação do solo	Nº da Zona	$I_c$
Argilas Orgânicas	2	> 3,60
Argilas	3	2,95 – 3,60
Misturas de Silte	4	2,60 – 2,95
Misturas de Areia	5	2,05 – 2,60
Areias	6	1,35 – 2,05
Areias com Pedregulhos	7	< 1,31
Solos Sensitivos	1	N/A

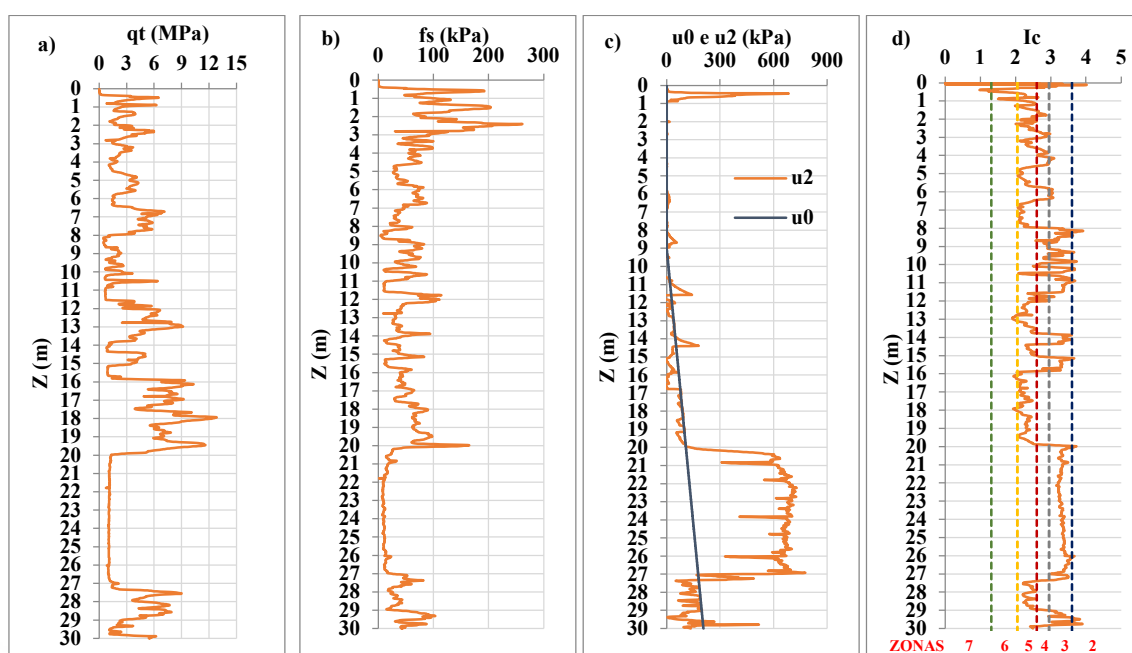


Figura 6. Resultados CPTu\_01.

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





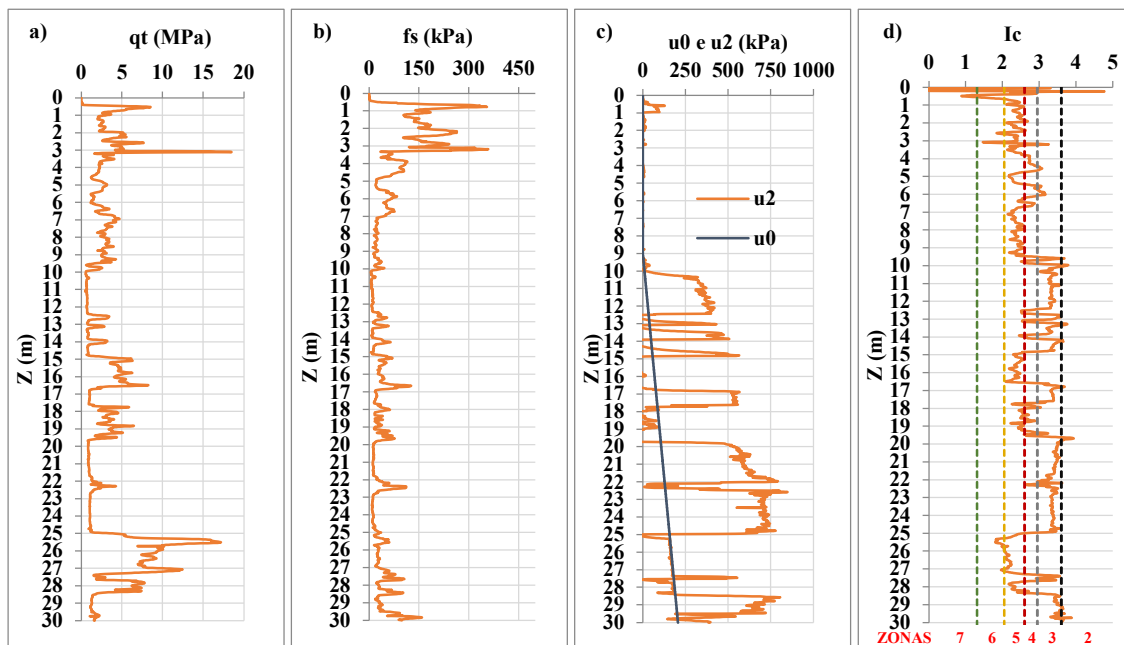


Figura 4. Resultados do CPTu\_2.

De forma similar às sondagens mistas, em ambos os ensaios CPTu foi encontrada uma camada de argila (ZONA 3) na região de flutuação do nível de água (a uma profundidade de cerca de 8 a 16m, aproximadamente). Como forma de verificar o histórico de tensões nesse material, na forma de OCR (*Over Consolidation Ratio*), foi utilizado o equacionamento proposto por MAYNE (2007) para o cálculo da tensão máxima a que esse depósito já foi submetido (Eq. 1).

$$\sigma'_p = k \times (q_t - \sigma'_v) \quad (1)$$

onde:  $\sigma'_p$  = tensão máxima efetiva no passado;  $k$  = fator de cone de pré-adensamento (um valor médio de 0,33 é proposto pelo autor, podendo este variar de 0,2 a 0,5);  $\sigma'_v$  = tensão efetiva atual.

Vale ressaltar que, o valor de  $k$  para depósitos de solos moles na costa brasileira, pode variar entre 0,14 e 0,33, com valor médio de 0,2 (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012). Finalmente, o OCR pode ser calculado de acordo com a Eq. 2 a seguir:

$$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_v} \quad (2)$$

A Figura 5(a) e 5(b) a seguir ilustram o valor de OCR ao longo da profundidade, para os dois ensaios CPTu, considerando o valor médio do fator de cone de pré-adensamento proposto por MAYNE (2007) e o valor médio proposto por SCHNAID & ODEBRECHT (2012), sendo eles  $k_M$  e  $k_{SO}$ , respectivamente.

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



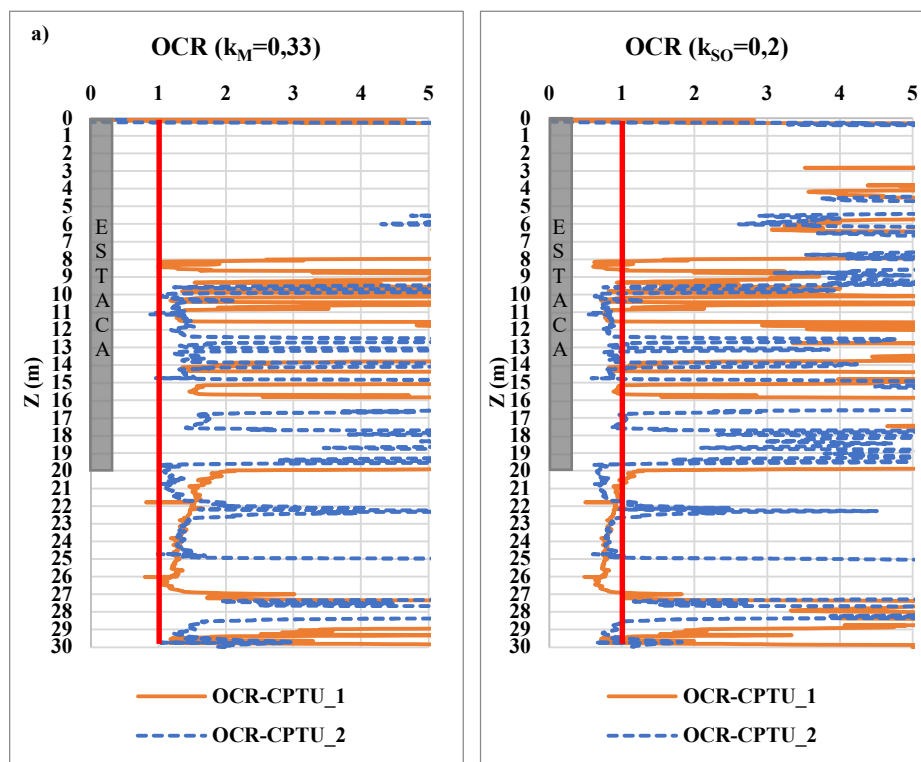


Figura 5. OCR ao longo da profundidade para os ensaios CPTu.

É possível observar que, na região de estudo (profundidade entre 8 a 16m), o solo se encontra levemente sobreadensado ( $OCR > 1,0$ ) ao se considerar  $k_M = 0,33$ . No entanto, ao se considerar o valor de  $k_{SO} = 0,2$ , verifica-se que o solo dessa região possui um OCR menor que a unidade, isto é, a região está em processo de adensamento devido a algum carregamento recente. Como não houve a execução de aterros durante a execução da obra, levantou-se a hipótese de que o carregamento aplicado fosse intrínseco ao aumento da tensão efetiva nessa região devido à variação do nível de água. Além disso, pode-se observar também que na região entre 19 a 27m, o OCR ficou abaixo da unidade indicando também um processo de adensamento nesse trecho. Adicionalmente, ressalta-se na Figura 5 que o estaqueamento (de comprimento igual a 20,0m) não atinge uma camada resistente na região da ponta (estaca flutuante), estando o seu comprimento maioritariamente embutido na região que está sofrendo o processo de adensamento. Para um melhor entendimento da variação do nível freático, foi solicitado uma busca por poços na região do empreendimento além da execução de testes de bombeamento.

### 2.3 Teste de Bombeamento e Recuperação

Foram encontrados 7 poços ao redor do empreendimento os quais foram submetidos a testes de bombeamento. Em resumo, um teste de bombeamento é uma operação em que um poço é bombeado por um determinado intervalo de tempo, com o registro tanto do rebaixamento do nível de água existente como também seu tempo de recuperação. O nível de água estático (NE) corresponde à cota do nível de água antes da operação de bombeamento enquanto o nível de água dinâmico (ND) corresponde à cota do nível de água após o bombeamento. A Figura 6 a

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





seguir ilustra os principais dados do ensaio de bombeamento realizado nos 7 poços. É possível verificar que houve uma variação do NE e ND de 1,14m, 0,44m, 0,59m, 2,07, 3,54m, 10,94m, 14,86m para os poços 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 08, respectivamente. Tal variação reforça a hipótese de que os recalques induzidos no terreno e no estaqueamento são originados a partir de um acréscimo de tensões efetivas na camada de argila.

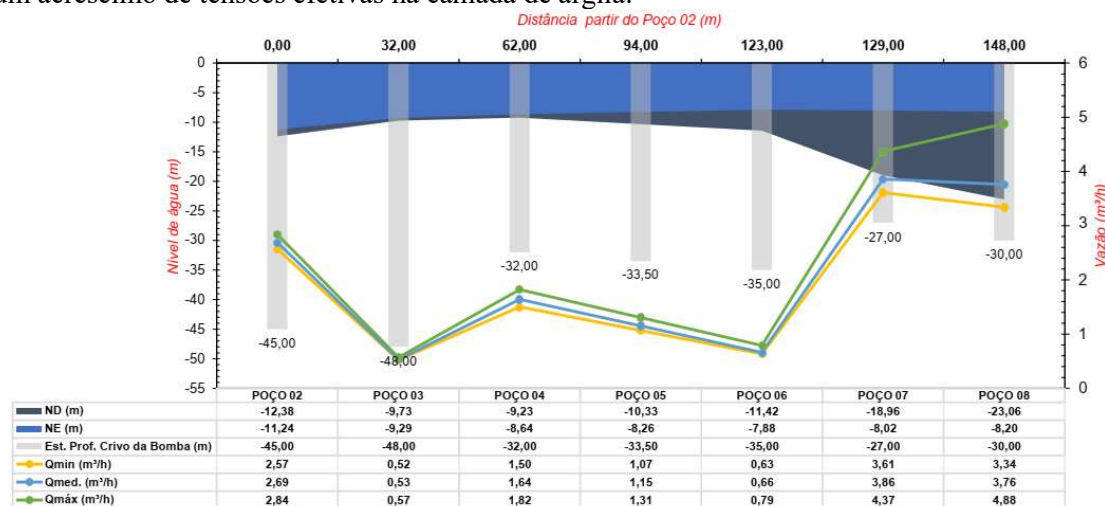


Figura 6. Resultados aferidos nos testes de bombeamento.

### 2.3 Solução de Reforço e Ensaio de Carregamento Dinâmico (ECD)

Como forma de eliminar os recalques induzidos comentados no item anterior, foi solicitado a execução de estacas pré-moldadas hexagonais, executadas até camada resistente (comprimento médio de 45,0m. Complementarmente, foram executados 2 ensaios ECD para verificação do comportamento do estaqueamento. A partir da análise CAPWAP®, foi possível observar que a carga de ruptura foi de 160tf, aproximadamente, sendo o a capacidade de carga por atrito lateral igual a 135tf e a capacidade de carga mobilizada na ponta igual a 25tf, indicando um resultado plenamente satisfatório tendo em vista a magnitude do carregamento solicitante. Finalmente, vale destacar que após a execução do reforço, não foram observadas novas patologias na região.

## 4 Conclusões

Estudou-se nesse trabalho o motivo do surgimento de recalques inesperados nos pilares metálicos de um galpão localizado em Ipatinga-MG. Com base nos diversos ensaios executados para a elucidação do problema foi possível concluir que:

- A execução de apenas uma investigação geotécnica com sondagens do tipo SPT pode não ser suficiente, em determinados casos, para o correto dimensionamento de um projeto de fundações;
- A execução de estacas do tipo hélice contínua conforme as boas práticas da engenharia pode não ser suficiente, em determinados casos, para o comportamento satisfatório de uma fundação;

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





- Mesmo diante de um resultado positivo de Prova de Carga Estática, um elemento de fundação pode ter manifestação patológica devido a fenômenos geológicos complexos não previstos a partir de uma campanha baseada em ensaios SPT;
- Ensaios complementares (como por exemplo o CPTu) podem ajudar a compreender fenômenos não previstos pelo ensaio SPT, como por exemplo a evolução de um processo de adensamento em depósito de argila saturada;
- A combinação de ensaios do tipo SPT e ensaios complementares formam a combinação ideal para um projeto eficiente, principalmente em regiões com a presença de depósitos aluvionares com a presença de argila saturada;
- O estudo e o entendimento do comportamento do nível freático no entorno da obra são de extrema importância para o correto dimensionamento de um projeto de fundações.

#### AGRADECIMENTOS

À equipe técnica da ZF & Engenheiros Associados pelo apoio e colaboração.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, U. R. (1996a). *Interpretação de Provas de Carga Axial em Estacas “Hélice Contínua” Monitoradas na Execução*. Solos e Rochas. São Paulo, 19(3).
- Alonso, U. R. (1996b). *Estacas hélice contínua com monitoração eletrônica: previsão da capacidade de carga através do ensaio SPT-T*. Anais do 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 2, 141-151.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16903. *Solo – Prova de carga estática em fundação profunda*. Rio de Janeiro.
- Mayne, P. W. (2007). *Cone penetration testing (Vol. 368)*. Transportation Research Board.
- Robertson, P. K. (2010). *Soil behaviour type from the CPT: an update*. In 2nd International symposium on cone penetration testing (Vol. 2, No. 56, p. 8). Huntington Beach: Cone Penetration Testing Organizing Committee.
- Schnaid, F., & Odebrecht, E. (2012). *Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações: 2ª edição*. Oficina de Textos.

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

