

Metodologia Executiva de Prova de Carga Estática em Estaca Moldada no Local Utilizando Célula Expansiva Hidrodinâmica em Obra *Near Shore*

Sergio Dantas Hecksher¹
Alessandra Conde de Freitas²

Resumo

A busca por alternativas confiáveis e de menor custo e prazo para avaliação do desempenho em projetos geotécnicos tem proporcionado avanço tecnológico em diversas áreas. O presente trabalho tem como objetivo apresentar e analisar a metodologia executiva de uma prova de carga estática (PCE) em estaca, confeccionada com procedimento misto (escavada em solo e perfurada em rocha), utilizando célula expansiva hidrodinâmica. A PCE foi realizada em 2013 durante a execução do Terminal de Regaseificação da Bahia (TRBA), localizado na Baía de Todos os Santos – Bahia. A obra foi executada pelo Consórcio GNL-Bahia, para a Petrobras. Serão apresentadas, brevemente, as dificuldades logísticas impostas pela execução do terminal marítimo, para melhor entendimento da busca e adoção de uma alternativa à prova de carga estática convencional. Durante a apresentação do caso será detalhado o procedimento executivo da estaca com auxílio de perfuratriz e camisa metálica perdida. Serão, também, apresentadas as dificuldades nas etapas de limpeza e concretagem da estaca em função da presença da célula expansiva única, preparada especialmente para esse ensaio. Ao final serão sugeridas melhorias na metodologia executiva da PCE com célula expansiva hidrodinâmica para situações similares às encontradas na referida obra.

Palavras-chave: Estaca; Carga; Célula Expansiva.

Introdução

A avaliação do desempenho de fundações é uma preocupação e uma obrigatoriedade normativa (NBR 6122:2010). Segundo Velloso e Lopes (2004) as provas de carga estáticas (NBR 12131:2006) são realizadas em estacas (e tubulões), auxiliando no controle de qualidade executivo e com um dos seguintes objetivos: (i) verificar o comportamento previsto em projeto (capacidades de carga) e (ii) definir a carga de serviço em casos em que não se consegue fazer uma previsão de comportamento. Atualmente o primeiro motivo é o mais comum. A PCE pode ser executada utilizando-se célula expansiva hidrodinâmica. Consta que esta técnica foi desenvolvida por Silva (1983) no Brasil e posteriormente por Osterberg em 1989, neste caso conhecida como “O-Cell Test” ou ensaio bidirecional.

A PCE com célula expansiva hidrodinâmica, também conhecida como ensaio bidirecional, é descrita, também, por Cruz (2017) como um método que consiste na instalação de uma ou mais células estáticas

descartáveis (CED) no corpo do elemento estrutural em uma profundidade que deve ser prevista. As células, quando acionadas hidráulicamente, fazem com o que o trecho da estaca abaixo das mesmas (resistência de ponta mais atrito lateral do trecho inferior), reaja contra o trecho da estaca acima das células (atrito lateral do trecho superior), permitindo, assim, a obtenção das curvas carga versus recalque dos trechos superior e inferior da estaca.

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar e analisar a metodologia executiva de uma PCE em estaca, confeccionada com procedimento misto (escavada em solo e perfurada em rocha), utilizando célula expansiva hidrodinâmica. A PCE foi realizada em 2013 durante a execução do Terminal de Regaseificação da Bahia (TRBA), em região *near shore* (lâmina d’água de aproximadamente 20m). Foi executada uma estaca adicional designada T55A especificamente para esse ensaio, não sendo utilizada na estrutura definitiva. Será apresentada, também, a estimativa de capacidade de carga da estaca por método

¹ UFRJ / Escola Politécnica/ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Projetos de Estruturas /sdantash@gmail.com

² UFRJ / Escola Politécnica/ Professora do Departamento de Construção Civil - Geotecnia /Doutora em Engenharia Civil / alessandracfreitas@poli.ufrj.br

semi-empírico, cujos valores serão comparados com os resultados obtidos na PCE (HECKSHER *et al.*, 2018). Finalmente, serão sugeridos ajustes na metodologia executiva para obras similares.

A carga admissível ou resistente de projeto da estaca deve ser obtida, segundo a ABNT NBR 6122:2010 (item 8.2.1), a partir da carga de ruptura. Esta deve ser determinada a partir da utilização e interpretação de um ou mais procedimentos detalhados na referida norma: provas de carga, métodos estáticos (teóricos ou semi-empíricos), determinação da carga admissível baseada no estado limite de serviço, métodos dinâmicos, fórmulas dinâmicas e ensaios de carregamento dinâmico (PDA).

No presente trabalho foi utilizado o método semi-empírico de Decourt e Quaresma (1978) para previsão da capacidade de carga de estacas através de rotina computacional desenvolvida por Ferreira e Delalibera (2012). Esse método não contempla a capacidade de carga em rochas, apenas em solos. Sendo assim, foi feita a estimativa da capacidade de carga do trecho embutido em rocha a partir do método de Poulos e Davis (1980). Este método considera que os fatores de segurança propostos estão associados diretamente às condições da rocha na região da ponta da estaca, cujos valores são baixos para rocha sã e crescentes para rochas com maiores níveis de fraturamento e decomposição (HECKSHER *et al.*, 2018).

A execução de PCE com célula expansiva tem-se mostrado, normalmente, uma solução com custo e prazo reduzidos em relação às provas de carga convencionais. De acordo com o item 6.2.1.2.2 da NBR 6122:2010 a prova de carga deve ser equipada para a condição de aplicação de carga de no mínimo duas vezes a carga admissível prevista em projeto. Os ensaios são do tipo com carregamento rápido, conforme o item 3.5.3 da NBR 12131:2006, em estágios iguais e sucessivos limitados a 10% da carga de admissível ou de segurança ($Q_{seg} = Q_{rup}/FS$) da estaca. Em cada estágio a carga deve ser mantida durante 10' (minutos), independentemente da estabilização dos deslocamentos e deve-se promover estágios até se chegar a duas vezes a carga de segurança. Em cada estágio, os deslocamentos devem ser medidos no início e no final do estágio. Atingida a carga máxima do ensaio, devem ser feitas cinco leituras: a 10', 30', 60', 90' e 120', neste estágio. A seguir, procede-se ao descarregamento em cinco ou mais estágios, cada um mantido por 10', com a leitura dos respectivos deslocamentos. Após 10' do descarregamento total, devem ser feitas mais duas leituras adicionais aos 30' e aos 60'.

Este ensaio é definido por Velloso e Lopes (2002) como processo alternativo, onde a célula expansiva, introduzida no fuste da estaca, em geral próximo à

ponta, ao ser acionada, carrega a parte inferior da estaca (a ponta) em compressão e a parte superior (fuste) para cima como um elemento tracionado, conforme indicado na Figura 1.

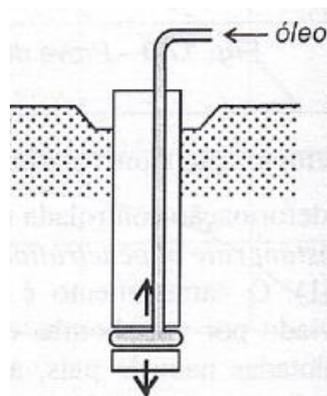


Figura 1 – PCE com célula expansiva (VELLOSO e LOPES, 2002).

Obra do TRBA (Terminal de Regaseificação da Bahia)

A obra consistiu nos serviços de elaboração de projeto de detalhamento, de construção civil e de montagem eletromecânica do píer do TRBA na Baía de Todos os Santos, no Estado da Bahia. Além de toda montagem eletromecânica, segue, na Figura 2, resumo das estruturas de construção civil utilizadas, sendo: (A) Plataforma de operações de 58 m x 48 m – 32 estacas de diâmetro interno à camisa Ø83cm e perfuração abaixo da camisa de diâmetro Ø75 cm (14 inclinadas e 18 verticais) + 1 estaca de diâmetro interno à camisa Ø83 cm vertical sem perfuração (apoio do Riser); (B) quatro Dolfins de Atracação (DATs) – 32 estacas inclinadas de diâmetro interno à camisa Ø118 cm e perfuração abaixo da camisa de diâmetro Ø110 cm; (C) seis Dolfins de Amarração (DAMs) – 76 estacas inclinadas de diâmetro interno à camisa Ø118 cm e perfuração abaixo da camisa de diâmetro Ø110 cm, sendo 2 x 16 (DAMs 1 e 6) + 4 x 11 (DAMs 2 a 5); (D) Passarelas, com 2,0 m de largura total e 1,5 m de largura útil, de interligação dos dolfins com a plataforma – treze estacas inclinadas de diâmetro interno à camisa Ø83 cm e perfuração abaixo da camisa de diâmetro Ø75 cm, sendo 5 x 2 (Apoios 1, 2, 4 a 6) + 1 x 3 (Apoio 3) e (E) Plataforma de casa de bombas com 12,55 m x 26,0 m – quatro estacas verticais de diâmetro interno à camisa Ø83 cm e perfuração abaixo da camisa de diâmetro Ø75 cm;

O Terminal de Regaseificação da Bahia permite a atracação e amarração de um navio de regaseificação FSRU (*Floating Storage and Regasification Unit*)

diretamente ao píer e um navio supridor (*Carrier*) a contra bordo do navio FSRU, seguindo a configuração *side by side* (SBS), conforme Figura 2. Previa-se um aumento da capacidade de regaseificação do Brasil em 14 milhões de m³/dia, passando de 27 para 41 milhões de m³/dia, sendo Pecém (CE) com 7 milhões de m³/dia e o da Baía de Guanabara (RJ) com 20 milhões m³/dia, reduzindo a dependência da importação de gás da Bolívia.

A obra apresentou uma grande complexidade logística em função dos deslocamentos de insumos para o local da obra. Devido a impossibilidade de instalação do canteiro de obras na Ilha do Frade devido a questões ambientais e IPHAN, com distância de 4 km para o local da obra, o canteiro de obras foi instalado em área abrigada, ao lado das instalações da Ford (24 km), conforme mostram as Figuras 3a e 3b. Na Figura 3b tem-se: (A) Escritório Administrativo e armação geral; (B) Pré-moldados (geral); (C) Pré-moldados (DAM e DAT) e armação de estacas; (D) Cais de Embarque.

No projeto em questão, foi prevista e realizada uma série de ensaios: (i) sondagens mistas; (ii) *point*

load (ensaio de carga pontual); (iii) Limites de Atterberg; (iv) Triaxiais não adensados e não drenados entre outros. Foram executadas 18 sondagens mistas ao longo do terminal. Neste trabalho foi utilizada apenas a sondagem SPM-21, para definição da posição da célula expansiva, e demais ensaios realizados próximos ao local da prova de carga. Hecksher *et al.* (2018) apresentam resultados dos ensaios de *point load* (SPM-20 a 22) e quatro ensaios dinâmicos tipo PDA (máxima carga total de 13530 kN, sendo a parcela de ponta de 6015kN).

Inicialmente foi prevista uma PCE convencional com a execução de um bloco de reação de concreto armado provisório ligando as estacas T55, T56, T58 e T59 de diâmetro interno à camisa Ø118 cm. Porém, para reduzir prazo e custos de execução, optou-se pela execução da PCE com célula expansiva, no mesmo local, conforme Figura 4.

A Petrobras forneceu inicialmente o projeto básico com uma 1ª campanha de sondagens e ensaios. Com base nessas informações o Consórcio apresentou um projeto alternativo e após comentários da Petrobras, chegou-se a um projeto executivo. Posteriormente, a Petrobras

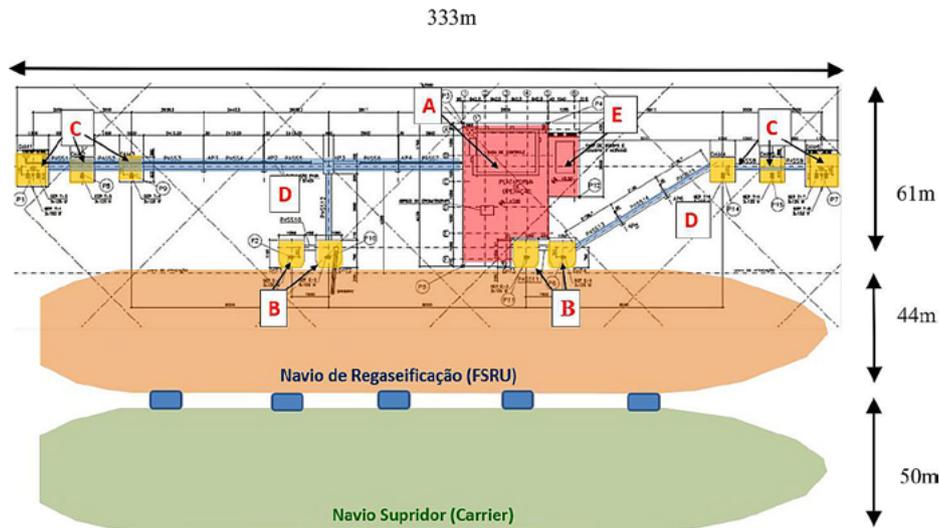


Figura 2 – Arranjo Geral da obra do TRBA (adaptado de TRBA, 2013).



Figura 3 – (a) Distância do canteiro à obra do TRBA. (b) Canteiro de obras (adaptado de TRBA, 2013).

forneceu uma 2ª campanha complementar executada por outra empresa. Após início dos serviços e recebimento da 2ª campanha, foi definido um novo perfil esquemático de execução das estacas, conforme Figura 5.

As estacas foram projetadas considerando trecho interno às camisas metálicas cravadas ($\phi 83$ ou $\phi 118$) e perfuração/escavação com diâmetro ligeiramente inferior ($\phi 75$ ou $\phi 110$) fora da camisa atingindo comprimento de embutimento em rocha (folhelho) suficiente para obter capacidade resistente aos esforços. A execução das estacas consistia basicamente em: (i) Fabricação (corte, preparação e soldas dos tubos

fabricados com 18 m de comprimento). As camisas metálicas, após emendas, atingiam comprimento de até 66 m (Figura 6a). (ii) transporte das camisas metálicas (Figura 6b); (iii) Posicionamento, cravação e contraventamento das camisas metálicas (Figura 7); (iv) posicionamento das perfuratrizes sobre as camisas, escavação em solo/perfuração em rocha, incluindo limpeza da seção escavada/perfurada por meio de *air-lift* (Figura 8a); (v) fabricação, transporte e montagem da armação das estacas (Figura 8b) e (vi) transporte, mistura de insumos do concreto e concretagem submersa (Figura 9).

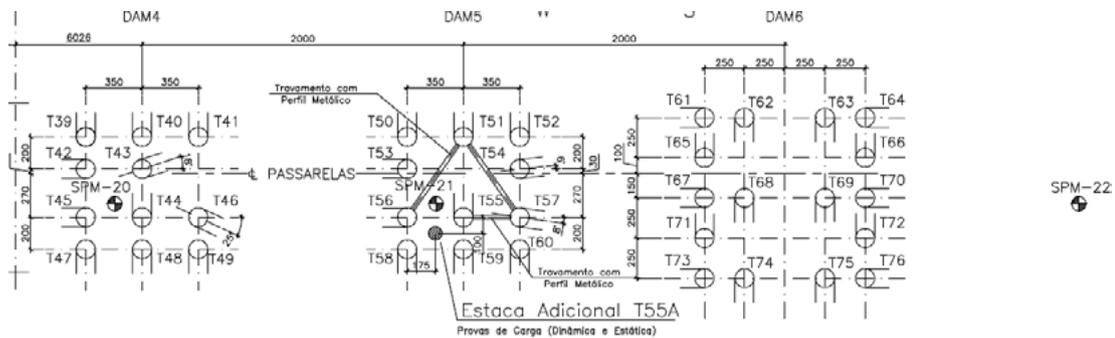


Figura 4 – Localização da estaca ensaiada na PCE – T55A (TRBA, 2013).

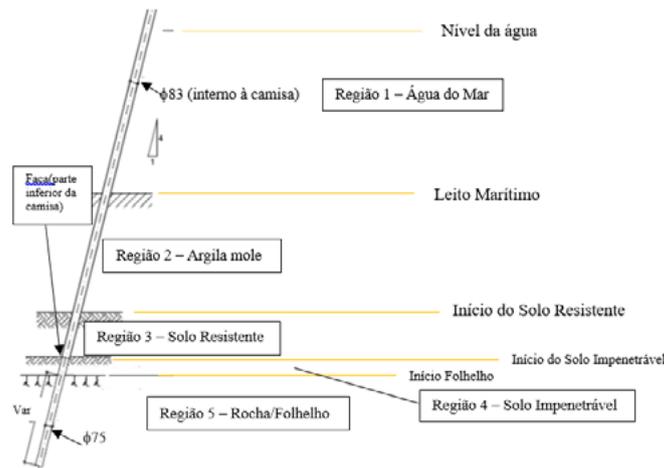


Figura 5 – Esquema geral de execução de estacas – Inclinação 1/4 (TRBA, 2013).



Figura 6 – (a) Fabricação. (b) Transporte. (TRBA, 2013)

Durante a execução das estacas foi constatada a presença de seixos (Figura 10a) entre a faca (extremidade inferior da camisa metálica) e início do folhelho, que levavam a um desmoronamento do trecho perfurado, dificultando a concretagem, aumentando o consumo e/ou obrigando o retorno da perfuratriz para nova perfuração e limpeza. Assim, foi adotado novo procedimento no ciclo de execução das várias estacas, com emenda (Figura 10b) e recravação de camisas logo após a perfuratriz atingir início da perfuração do trecho fora da camisa metálica (62 m a 66 m) inicialmente cravada. O complemento da camisa variou de 2 m a 6 m de comprimento.

Conforme comentado anteriormente, foram executadas duas campanhas de ensaios. A sondagem SPM-21 da 1ª campanha de sondagens, apresentou aproximadamente 15 m de lâmina d'água, 28 m de

argila siltosa muito mole e 12 m de solo até atingir o impenetrável ao trépano. Já a sondagem SPM-21 da 2ª campanha, apresentou, abaixo do trecho impenetrável ao trépano, um trecho de 9,60 m de rocha cinza escuro argilosa com estrutura paralela laminar e textura fina e homogênea (Folhelho), seguido de um trecho de 0,60 m de fragmentos de rocha C3 e C4 do tamanho de pedregulho médio a grosso envoltos numa matriz argilosa. Após essa camada o trecho seguinte repetia a caracterização do Folhelho.

Com o objetivo de atingir-se a ruptura geotécnica na PCE, foi estipulado, em função do valor máximo obtido no ensaio PDA (13530 kN), que a carga máxima da PCE seria de 7000 kN para cada trecho. A estaca teste ensaiada T55A, localizada no DAM5, possui $\phi 85$ cm (diâmetro externo) no fuste e $\phi 75$ cm no pino (fora da camisa), comprimento escavado



Figura 7 – Içamento, cravação, retirada da guia e contraventamento de camisas metálicas. (TRBA, 2013)



Figura 8 – (a) Escavação em solo /perfuração em rocha e (b) Armação (TRBA, 2013).



Figura 9 – Ciclo de concretagem das estacas (TRBA, 2013).

e concretado da estaca de 76,4 m, comprimento do fuste da estaca (acima da célula) de 73,9 m e comprimento da ponta da estaca (abaixo da célula) de 2,5 m. Foram consideradas (i) área lateral do fuste (área lateral compreendida entre o nível da célula e a cota de arrasamento, considerando-se o comprimento concretado) de aproximadamente 197,34 m², (ii) área lateral do trecho próximo à ponta (área lateral compreendida entre o nível das células e a cota de fundo da estaca) de aproximadamente 5,89 m² e (iii) seção transversal da ponta de 0,44 m².

Na PCE foi utilizada uma única célula expansiva (Figura 11) com arranjo e dimensões especiais para possibilitar a execução da concretagem e atingir a carga mínima estipulada em projeto. A seguir são apresentados os principais equipamentos e componentes utilizados na PCE. Todos foram utilizados após apresentação dos respectivos certificados de calibração e atendendo às especificações de PCE com célula expansiva hidrodinâmica: (i) 01 Célula Expansiva Hidrodinâmica (área interna de 1418,0 cm²); (ii) 01 manômetro Wika; (iii) 02 deflectômetros Mitutoyo (01 para base e 01 para o fuste); (iv) 01 bomba elétrica Eneparc; (v) 01 bomba manual Eneparc e (vi) Perfil de aço rígido para apoio dos extensores em metal resistente (Figura 12).

A célula expansiva seria posicionada a 3,0 m do fundo da estaca. Porém, durante a execução, devido às dificuldades executivas da obra *near shore*, que serão descritas à frente, a mesma foi posicionada a 2,5 m da ponta da estaca (Figura 13).

Após a colocação da armação, foram feitas tentativas de limpeza do trecho perfurado por meio de *air-lift* com uso de tubo de 8 polegadas, utilizado no restante do estaqueamento. No entanto, com este tubo não foi possível ultrapassar a cota de instalação da célula. Por este motivo, foi montado um tubo de 4 polegadas e a limpeza foi realizada com esta tubulação de diâmetro inferior. A limpeza da ponta da estaca por *air-lift* ocorreu entre os dias 04/04/2013 e 09/04/2013, totalizando seis dias. Ainda restando material no fundo do poço, a concretagem foi executada durante os dias 09/04/2013 (final do dia) e 10/04/2013 (início do dia).

O ensaio foi do tipo com carregamento rápido em estágios iguais e sucessivos de aproximadamente 22,7 tf (226,8 kN), sendo as cargas transmitidas utilizando-se uma Célula Expansiva Hidrodinâmica, situada no interior da estaca T55A, reagindo a ponta contra o respectivo fuste, solicitando à compressão verticalmente. Os resultados do ensaio são apresentados na Figura 14. As curvas indicam ruptura nítida da ponta



Figura 10 – (a) Presença de seixos. (b) Solução adotada (TRBA, 2013).

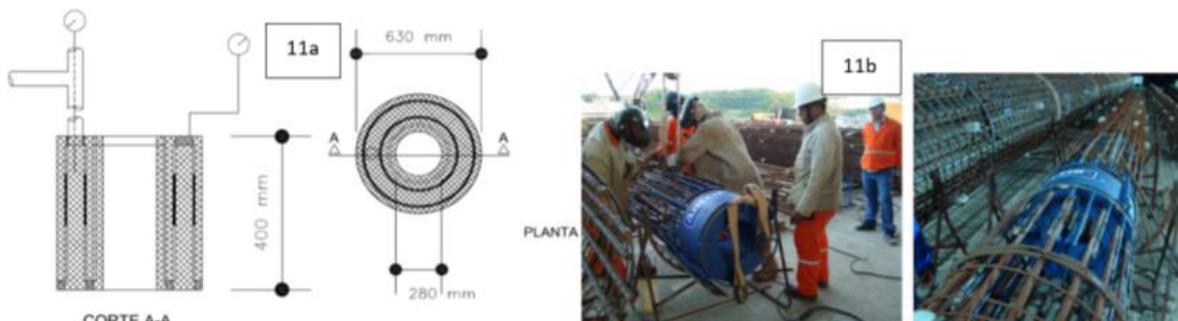


Figura 11 – Célula expansiva – (a) Dimensões. (b) Montagem (TRBA, 2013).

da estaca e uma ausência de mobilização plena do trecho acima da célula expansiva.

Devido às dificuldades encontradas durante a concretagem da estaca T55A, realizada em região *near shore*, e o comprometimento da ponta da estaca (parte inferior da estaca abaixo da célula hidrodinâmica), não foi possível atingir a carga máxima de ensaio prevista de 7000 kN (HECKSHER *et al.*, 2018). Posteriormente, a

estaca foi recuperada com injeção de calda de cimento (fator a/c = 0,5) e foi realizado um ensaio dinâmico (PDA), com martelo de queda livre BSP-30B (pilão de 15 tf) idêntico ao utilizado nos quatro ensaios PDA realizados anteriormente com nega (penetração no golpe) inferior a 1mm. Os resultados são apresentados na Tabela 1, indicando um bom desempenho da estaca após o procedimento realizado.



Figura 12 – Instalações/equipamentos da PCE (TRBA, 2013).

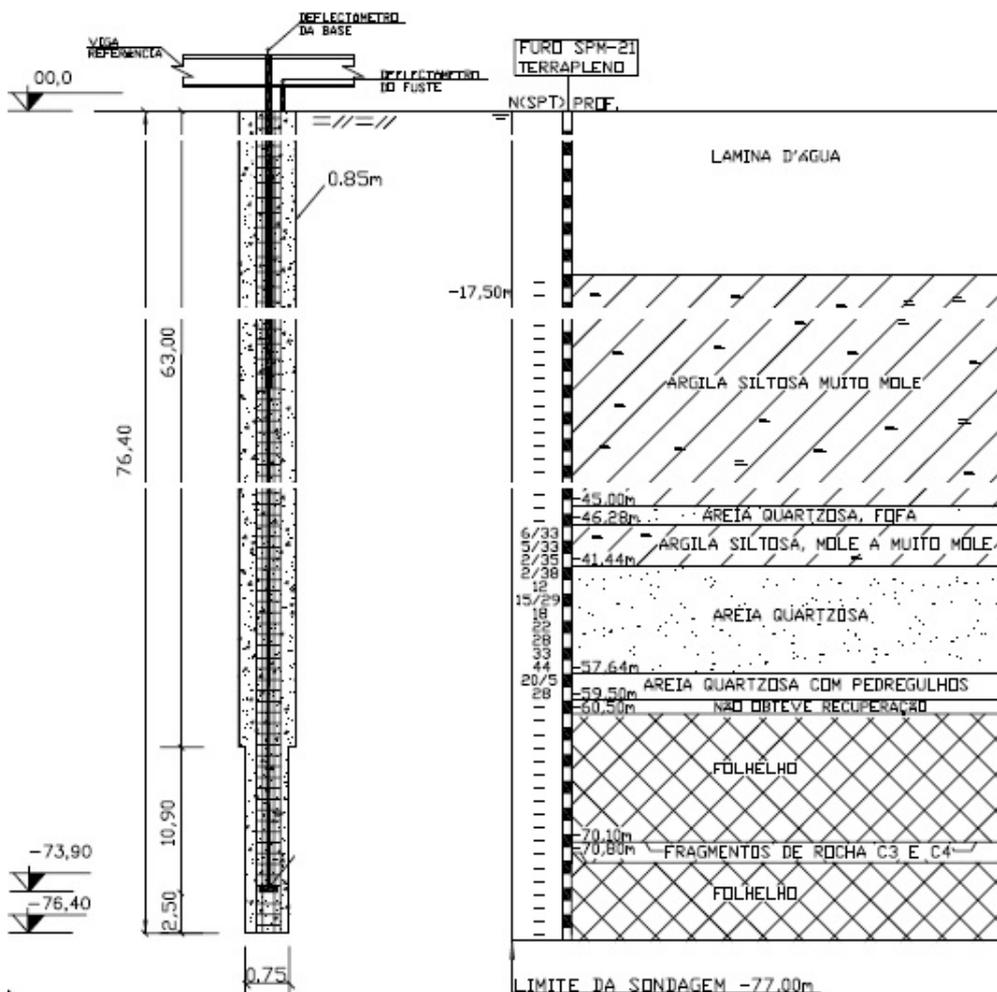


Figura 13 – Esquema da PCE na T55A e perfil estratigráfico (Fonte: RPCE).

Interpretação dos Resultados Obtidos

O trecho acima da célula hidrodinâmica obteve um deslocamento muito pequeno 0,6 mm ($\ll 1\%$ de $D = 7,5$ mm), indicando afastamento da condição de ruptura. Neste caso, a extrapolação da curva carga *versus* recalque, por Van Der Veen ou NBR 6122:2010, conduziria a resultados muito inaccurados. Já no trecho abaixo da célula ocorreu a ruptura nítida, antes do previsto em projeto. A carga atingida (2722,6 kN/trecho) na PCE-T55A (Figura 14) foi significativamente inferior à prevista em projeto e aos resultados obtidos em quatro ensaios dinâmicos realizados, em estacas similares à T55A, posicionadas em outros locais da mesma obra.

Foi necessária, então, uma reavaliação da estimativa da capacidade de carga, utilizando rotina computacional desenvolvida por Ferreira e Delalibera (2012) para estimativa da capacidade de carga no trecho em solo e abordagem de Poulos e Davis (1980) para o

trecho da estaca embutido em rocha (HECKSHER *et al.*, 2018).

Pelo fato do ensaio ter sido executado pouco tempo após a execução da estaca, pode-se considerar que a camisa metálica manteve suas características iniciais. Sendo assim, o trecho acima da rocha (folhelho) foi considerado como uma estaca metálica cravada.

Foram consideradas nas análises as dimensões externas da camisa metálica, sendo o diâmetro do trecho cravado em solo de 85 cm e comprimento de 14 m, de acordo com SPM-21. A carga geotécnica admissível, no trecho em solo acima da célula, baseada em Décourt-Quaresma foi de 570,1 kN ($Q_u = 2 \cdot 570,1 = 1140,2$ kN). Na Tabela 2 é apresentado um resumo das análises efetuadas posteriormente à realização da PCE por Hecksher *et al.* (2018). Tentou-se avaliar, de forma mais fidedigna, o comportamento da ponta. Nestas análises considerou-se o comprimento do trecho em rocha igual a 15 m, sendo apenas 2,5 m abaixo da célula.

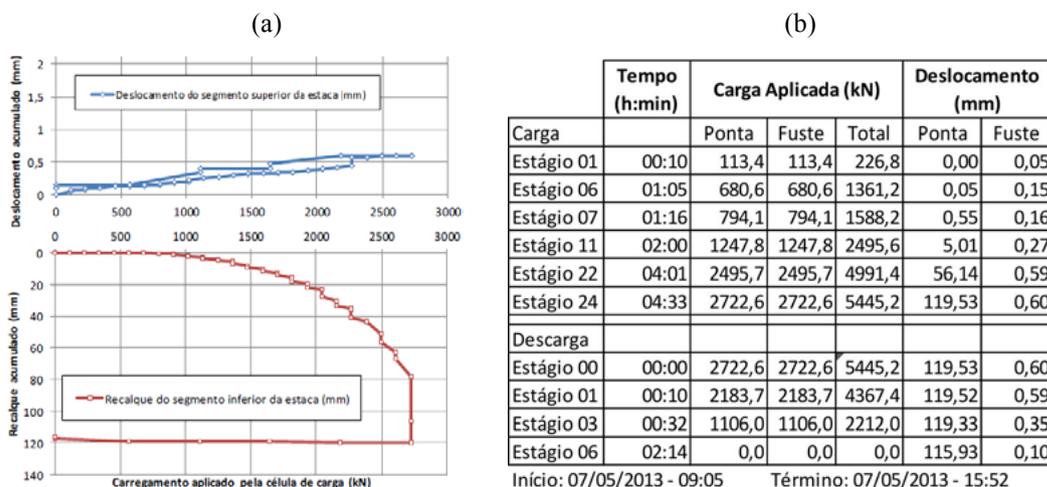


Figura 14 – (a) Curvas carga aplicada versus deslocamento. (b) Parte dos registros obtidos por estágio (Fonte: RPCE).

Tabela 1 – Ensaio de PDA. (Fonte: Relatório 13-177).

RELATORIO (PDI Engenharia)	ESTACA	RESISTÊNCIA LATERAL (kN)	RESISTÊNCIA DE PONTA (kN)	RESISTÊNCIA TOTAL (kN)	CARGA NOMINAL (kN)	FS
13-177	T55A	9534	2016	11550	4800	2,41

Tabela 2 – Resumo das análises.

Resumo dos resultados das análises das cargas de ruptura				
Método/trecho	Resultado/Estimativa (kN)	Método/PCE	Total (kN)	Método/PCE
PCE com célula expansiva hidrodinâmica	2723	1,00	5446	1,00
Trecho acima da célula (Décourt-Quaresma + Poulos e Davis)	5381	1,98		
Trecho abaixo da célula (Poulos e Davis) estimativa 1 - Q_{uB1}	1228	0,45	6609	1,21
Trecho abaixo da célula (Poulos e Davis) estimativa 2 - Q_{uB2}	1745	0,64	7126	1,31

Conclusões

O presente trabalho apresentou a metodologia executiva, os desafios encontrados e as soluções adotadas em PCE em estaca teste (escavada em solo e perfurada em rocha), utilizando célula expansiva hidrodinâmica, realizada em 2013 durante a execução do Terminal de Regaseificação da Bahia (TRBA). A obra impôs desafios logísticos, executivos (limpeza e concretagem da estaca em função do grau e alteração do folhelho na região da ponta da estaca) e de interpretação dos resultados encontrados.

A parcela de contribuição da ponta foi afetada pela dificuldade de limpeza, por isso, as análises baseadas no método de Poulos e Davis (1980) foram conservadoras e afetadas pela estimativa da resistência a compressão simples da rocha q_{uc} . Como a intenção era levar a estaca à ruptura, foi estimada a capacidade da célula expansiva hidrodinâmica com folga, levando em consideração a máxima carga mobilizada em ensaios dinâmicos realizados anteriormente (1353 tf), bem como a sugestão de posicionamento da célula conforme Silva (1983).

Os resultados (Tabela 2) em termos de carga total, quando comparados aos resultados obtidos na PCE não ficaram muito discrepantes. Porém, na análise por trecho, parcelas de atrito e ponta, os resultados foram significativamente diferentes. Sendo assim, não foi possível obter a relação das capacidades de carga por atrito lateral e ponta, objetivo do ensaio. Pode-se supor que o posicionamento da célula hidrodinâmica deveria ter sido acima do adotado no ensaio, desde que a limpeza da ponta fosse eficiente, com intuito de aumentar a contribuição do trecho inferior.

Ainda assim, a PCE com célula expansiva hidrodinâmica mostrou-se uma alternativa interessante para obras com complexidade logística e executiva elevada. Observou-se, no entanto, a possível necessidade de ajustes nos procedimentos para os casos de ensaios em estacas similares, com comprimentos elevados: (i) buscar uma geometria alternativa para a célula expansiva hidrodinâmica, de modo que não haja interferência significativa nos procedimentos de limpeza e concretagem da estaca; (ii) obter informações mais detalhadas e metodologias de previsão de comportamento que permitam uma melhor previsão da posição da célula, de maneira a obter um melhor equilíbrio entre os trechos superior e inferior da estaca durante o ensaio; (iii) avaliar a adoção de 3 células menores na periferia da estaca em substituição à célula central e (iv) avaliar a possibilidade de concretagem prévia do trecho inferior à célula conforme sugerido por Pereira *et al.* (2017).

Referências

- 1ª Campanha – RL-4100.00-6610-115-GMC-001=0 – INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS PARA O TERMINAL FLEXÍVEL DE GNL, Petrobras/ Geomecânica, 2011.
- 2ª Campanha – PBR-23-SPM-21 e PBR-23-LAB-01, Petrobras/ Fugro In Situ, 2012.
- ABNT: NBR 6122 – Projeto e execução de fundações (2010).
- ABNT NBR 12131 – Estacas – Prova de carga estática – Método de Ensaio (2006).
- CRUZ, F.V.A.S., BASSO, R., BOTTINO, C. E. 2017. Aplicação do Ensaio de Prova de Carga Estática, realizado pelo Método Bidirecional - Revista Fundações e Obras Geotécnicas – edição 77 (Fevereiro/2017).
- DECOURT, L., QUARESMA, A. – Capacidade de carga de uma estaca 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações (1978)
- FERREIRA, T. R., DELALIBERA, R. G.; DA SILVA, W. A. 2012. Rotina computacional para a previsão da capacidade de carga em estacas REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol 8 - nº 3 (2014) – UFG.
- HECKSHER, S. D., FREITAS, A.C.; SOUZA, R. N. Avaliação do desempenho de estaca a partir de PCE em estaca moldada no local utilizando célula expansiva hidrodinâmica em obra near shore, trabalho em elaboração a ser submetido à Engevista em 2018.
- PEREIRA, M. V., MOREIRA, PINTO, S. E. L., BRAGANÇA, H. F.; VELLOSO FILHO, S. M. P. 2017. Análise de Prova de Carga Bidirecional em Estaca Hélice Contínua na Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG) – Revista Fundações e Obras Geotécnicas – edição 79 (Abril/2017).
- POULOS, H. G., DAVIS, E. H. Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley and Sons, New York (1980).
- Relatório 13-177 – Ensaio de Carregamento Dinâmico (PDA) – Estaca Tubular com concreto PDI Engenharia, 2013.
- RPCE – RPC 015-2013 – GNL-BAHIA – RELATÓRIO TÉCNICO – PROVA DE CARGA ESTÁTICA (Células Expansivas Hidrodinâmicas®), Arcos Engenharia, 2013.
- SILVA, P. E. C. A. F. (1983). Célula Expansiva Hidrodinâmica – Uma Nova Maneira de Executar Provas de Carga.
- TRBA 2013 – Documentos do Consórcio GNL-Bahia referentes à execução do TRBA nos anos de 2012 e 2013.
- VELLOSO, D. A., LOPES, F. R. – Fundações – Volume 1 – Oficina de Textos, 2004.
- VELLOSO, D. A., LOPES, F. R. – Fundações – Volume 2 – COPPE-UFRJ, 2002.