



Revisitando um caso de estaca metálica na Baixada Santista

Caio Duque Estrada Amendola
UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, caiodeamendola@gmail.com

Bernadete Ragoni Danziger
UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, bernadeterd@hotmail.com

Alessandra Conde de Freitas
UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, alessandracfreitas@poli.ufrj.br

RESUMO: O trabalho revisita um caso de estaca metálica, de seção variável, apresentado anteriormente por Falconi e Perez (2007). O subsolo local é típico da cidade de Santos. São apresentadas as estimativas de capacidade de carga por diversos métodos e sua comparação com resultados da PCE instrumentada. Os registros de nega e repique foram utilizados na previsão da resistência oferecida pelo solo ao final da cravação, SRD. A resistência, SRD, foi aferida por uma simulação de análise dinâmica pelo MEF. A curva carga recalque da PCE foi interpretada por diferentes métodos, incluindo o de Massad (1992). Este modelo permite a obtenção da parcela de atrito, bem como uma estimativa da carga residual. A curva aferida pelo modelo foi muito próxima da medida. O artigo discute a questão da carga residual, a estimativa do set-up do atrito lateral, a comparação entre o atrito lateral medido e o previsto no modelo de Massad (1992), bem como a aplicação dos diferentes métodos de estimativa de capacidade de carga e sua comparação aos valores medidos. Entre as estimativas, o método teórico em tensões efetivas, Método β , e o método de Falconi e Perez (2007) forneceram os resultados mais próximos aos medidos na PCE.

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de carga, métodos teóricos, métodos semiempíricos, Set-up.

ABSTRACT: The paper revisits a case of steel pile with a variable section, presented by Perez and Falconi (2007). The local soil profile is typical of the city of Santos. The estimates of load capacity by various methods and their comparison with the instrumented PCE are presented. The set and rebound registers were used to estimate the soil resistance during driving (SRD) at the end of the installation. A FEM dynamic analysis was also applied to simulate the driving. The load settlement curve measured at the pile top was interpreted by different methods, including that of Massad (1992). This model allows the separation of the lateral load and an estimate of the residual load. The curve obtained by the model was very close to the measured one. The article discusses the following issues: the residual load, the estimation of the lateral set-up, the comparison between the measured lateral resistance and that obtained by the Massad model, as well as the application of the different methods of load capacity estimates and their comparison to the measured values. Among the methods, the theoretical method in effective stresses, Method β , and the method of Falconi and Perez (2007), provided results closer to those measured in the PCE.

KEYWORDS: Load capacity, theoretical methods, semi-empirical methods, Set-up.

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



1 Introdução

A demanda por fundações cada vez mais econômicas tem motivado a otimização dos custos e materiais empregados. Em todo o projeto estrutural, o projetista deve atender às condições de segurança, (ELU), e ao comportamento em serviço, (ELS).

No caso de fundações profundas, para a verificação do estado limite último se faz necessária a previsão da capacidade de carga. Existem diversos métodos para cálculo da capacidade de carga geotécnica, sendo eles constituídos por soluções adaptadas a correlações com ensaios de penetração (semiempíricos) e métodos teóricos, aferidos por PCE. No controle de execução de estacas cravadas são utilizadas as fórmulas dinâmicas e na avaliação de desempenho as provas de carga estáticas (PCE) e ensaios de carregamento dinâmico, permitindo verificar o comportamento da estaca em função das cargas mobilizadas no ensaio e premissas de projeto.

O presente artigo tem por objetivo revisitar um caso de obra com PCE instrumentada ao longo do comprimento de forma a discutir alguns aspectos interessantes quanto: aplicação dos métodos usuais de previsão de capacidade de carga (semiempíricos e teóricos); comparação dos métodos com resultados da PCE; adequação de métodos de interpretação das PCE; estimativa de set-up pela comparação da PCE e da SRD obtida da simulação por uma análise dinâmica.

2 Estimativa de capacidade de carga geotécnica por métodos estáticos

Nos métodos estáticos, a capacidade de carga axial é calculada considerando a mobilização plena da resistência disponível do solo. A equação (1) apresenta a formulação geral em função das resistências unitárias ($q_{p,rup}$ e $q_{l,rup}$), representando as variáveis geotécnicas e as variáveis geométricas da estaca (área da base A_b , perímetro U e comprimento L).

$$Q_{rup} = q_{p,rup} \cdot A_b + U \int_0^L q_{l,rup} dz \quad (1)$$

Diversos métodos já foram estabelecidos no passado e dividem-se basicamente em métodos teóricos (utilizam princípios da Mecânica dos Solos e parâmetros do solo) e semiempíricos (baseiam-se em ensaios *in situ* de penetração, tais como CPT e SPT e comparações com as PCE).

Neste trabalho são utilizados quatro métodos semiempíricos usuais na prática brasileira, Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978, 1982), Velloso (1981) e Falconi e Perez (2007), bem como os métodos teóricos do U.S. Army Corps of Engineers (2005) e o “Método β ” (através do software UniPile, versão 5.0). A Tabela 1 apresenta as formulações básicas dos métodos estáticos utilizados. A descrição de cada uma das variáveis da Tabela 1 e sua obtenção são mostradas nos artigos citados e listados nas referências.

O método de Aoki e Velloso (1975) foi desenvolvido a partir de correlações entre sondagens à percussão (SPT) e ensaios de penetração do cone (CPT), bem como de resultados de provas de carga em estacas. O método de Décourt e Quaresma (1978) foi concebido para a determinação da capacidade de carga de estacas a partir do ensaio SPT, inicialmente para estacas de deslocamento e, posteriormente, estendido para outros tipos de estacas. O método de Velloso (1981) foi desenvolvido a partir de correlações de ensaios realizados nas obras da Refinaria da Reduc (RJ) e da Açominas (MG). Neste método o autor separa o efeito de escala, de execução e de carregamento (tração ou compressão). O Método de Falconi e Perez (2007) foi desenvolvido com base na experiência em solos marinhos da Baixa Santista e calibrado com 6 PCE. O método teórico do U.S. Army Corps of Engineers (2005) é muito similar ao método da (API) para estacas *offshore*, porém

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



para aplicações *onshore*. São apresentados os valores propostos para a resistência unitária por atrito lateral e pela ponta, inicialmente para as camadas de solo de comportamento drenado e, posteriormente, para as camadas de solo com comportamento não drenado. Também são abordados os procedimentos para solos estratificados. O “Método β” foi elaborado para a estimativas em termos de tensões efetivas. Este método permite o cálculo direto da resistência lateral por meio da consideração de parâmetros efetivos do solo, através do coeficiente β, e geometria da estaca. O coeficiente de proporcionalidade β é do tipo Bjerrum–Burland, relacionando a resistência unitária do fuste com a tensão efetiva (FELLENIUS, 2017). Neste artigo foi usado o programa Unipile, que entre outras possibilidades, contém a estimativa pelo método β.

Tabela 1. Formulações dos métodos estáticos para estimativa de capacidade de carga.

Método	Formulações propostas
Aoki e Velloso (1975)	$Q_{rup} = \frac{K \cdot N_p}{F_1} A_p + \frac{U}{F_2} \sum_{i=1}^n (\alpha \cdot K \cdot N_L \cdot \Delta_L)$
Décourt e Quaresma (1978, 1982) modificado por Décourt (1996)	$Q_{rup} = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot 10 \cdot \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \cdot U \cdot L$
Velloso (1981)	$Q_{rup} = A_b \cdot \alpha \cdot \beta \cdot q_{p,rup} + U \cdot \alpha \cdot \lambda \cdot \sum \tau_{l,rup} \cdot \Delta l_i$
U.S. Army Corps of Engineers (2005)	<u>Solos de comportamento drenado</u> $Q_{rup} = (\sigma'_v \cdot N_q) \cdot A_b + (K \cdot \sigma'_v \cdot \tan \delta) \cdot A_s$
	<u>Solos de comportamento não-drenado</u> $Q_{rup} = 9 \cdot S_u \cdot A_b + (\alpha_1 \cdot \alpha_2) \cdot S_u \cdot A_s$
“Método β” ou Método das Tensões Efetivas (FELLENIUS, 2017)	$Q_{rup} = A_p \cdot N_t \cdot \sigma'_{z=D} + \int A_s (c' + \beta \cdot \sigma'_z) dz$
Falconi e Perez (2007)	$Q_{rup} = A_p \cdot k + U \cdot \sum (L \cdot f_s)$

3 Extrapolação da curva carga versus recalque obtida pela Prova de Carga Estática

Diversos métodos foram propostos para a estimativa da carga de ruptura por extrapolação da curva carga-recalque, destacando-se o de Van der Veen modificado por Aoki (1976), o da NBR 6122 (ABNT, 2019) e o de Massad (1986). A NBR 6122 estabelece que a carga de ruptura possa ser convencionalizada como aquela correspondente, na curva carga x recalque, ao recalque de ruptura convencional Δ_r , considerando o comprimento L da estaca, o módulo de elasticidade E do material, a área da seção transversal do material da estaca e o diâmetro D do círculo circunscrito à estaca, Figura 1. No método de Van der Veen modificado por Aoki (1976), a carga de ruptura é definida por tentativas através de uma equação matemática, expressa pela equação (2, ajustada como função do trecho que se dispõe da curva carga recalque. Dessa forma, a partir de um valor de carga P_r (carga de ajuste) adotado, calculam-se os valores correspondentes de $\ln(1 - P/P_r)$ que são plotados em um gráfico em função do recalque. Por regressão linear, são definidos valores para α (coeficiente da forma da curva) e β (intercepto para ajuste da reta passando pela origem). Ajustes devem ser realizados até que o gráfico resulte em uma linha reta com maior coeficiente r^2 , adotando este valor de P_r como o valor da carga de ruptura do elemento. P é a carga vertical aplicada em determinado estágio de carregamento e ρ é o recalque medido no topo da estaca.

$$P = P_r \cdot (1 - e^{-\alpha \cdot \rho + \beta}) \quad (2)$$

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



Já o método de Massad (1986) consiste na obtenção de uma série de cargas P_n , associadas a uma série de recalques equi-espaciaados de um Δ arbitrário. Com base na correlação estabelecida entre P_{n+1} e P_n , obtém-se a função: $P_{n+1} = a' + b'P_n$. O valor de P_r é obtido por $a' / (1 - b')$.

A partir da carga e do recalque medidos no topo no carregamento e no descarregamento de provas de carga estáticas, Massad (1992) concebeu um modelo matemático para a interpretação das parcelas de atrito e a estimativa da carga residual aprisionada na ponta.

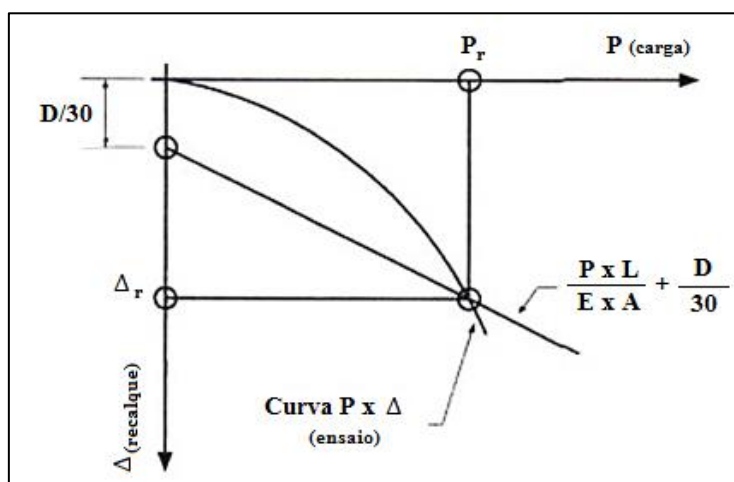


Figura 1. Carga de ruptura convencional pela NBR 6122 (ABNT, 2019).

4 Metodologia

Foi efetuada a estimativa da capacidade de carga geotécnica pelos métodos semiempíricos e teóricos resumidos no item 2. Foi adotado o perímetro colado para a previsão da carga resistida por atrito lateral e a área circunscrita para a carga resistida pela ponta. A estimativa foi realizada na cota -49m, cota de assentamento da estaca, e comparada aos resultados da PCE.

Posteriormente foi realizada a extrapolação da curva carga recalque pelo método de Van der Veen modificado por Aoki (1976), Massad (1986) e pela NBR 6122 (ABNT, 2019).

A partir da carga e recalque medidos no topo no trecho de carga e descarga, a interpretação de Massad (1992) permite a separação das parcelas de atrito e a estimativa da carga residual. Embora se tratando de uma estaca com preponderância de atrito, o ensaio apresentado por Falconi e Perez (2007), Figura 2, indicou cargas residuais ao final do descarregamento da PCE.

Em seguida, foi realizada a estimativa da resistência do solo ao final da cravação (SRD), com base num modelo de análise dinâmica pelo MEF, utilizando os registros de nega e repique.

Por fim, os resultados serão discutidos e uma faixa de valores de set-up estimados para o tempo ocorrido entre o final da cravação contínua e o da realização da PCE instrumentada.

5 Estudo de Caso

Trata-se de um edifício localizado na cidade de Santos-SP, reportado por Falconi e Perez (2007), cujas fundações foram executadas com estacas metálicas profundas, de seção variável. A variação da seção foi determinada em função da carga estrutural máxima dos perfis e da transferência das cargas por atrito lateral versus profundidade.

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



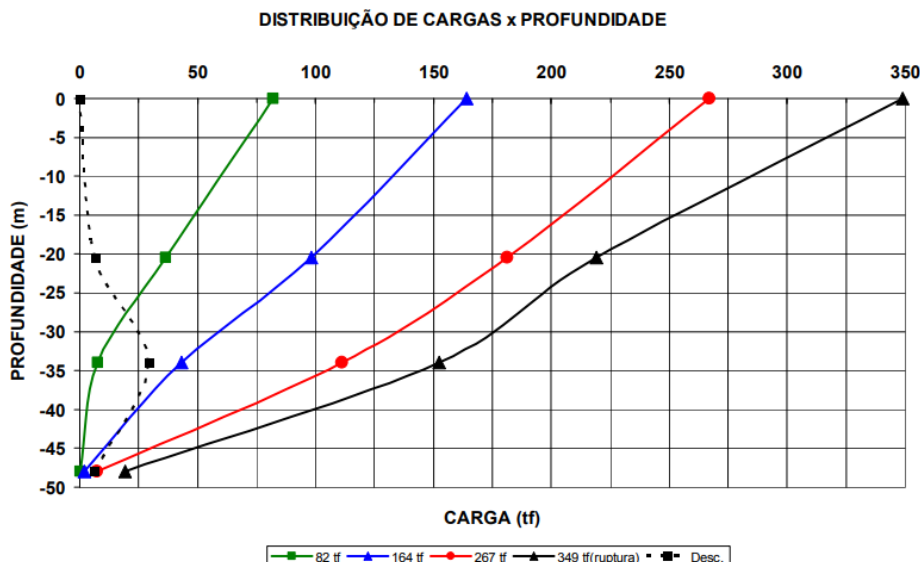


Figura 2. Transferência de carga medida, Falconi e Perez (2007).

A formação dos diversos sedimentos que ocorrem na Baixada Santista e sua distribuição em subsuperfície foram apresentados por Massad (1985). O subsolo local, Figura 3, é constituído por camadas de areia fina siltosa, pouco a medianamente compacta, intercaladas com camadas de argila marinha siltosa, muito mole a mole, de coloração cinza escura. O nível d'água é superficial. As duas primeiras camadas de argila marinha apresentam N_{SPT} da ordem de 3 golpes. Já a terceira apresenta N_{SPT} em torno de 6 golpes. O solo residual é encontrado a 53,0m, sendo no trecho inicial (limite das sondagens) constituído por areia siltosa micácea compacta a muito compacta.

Quanto à instrumentação, Falconi e Perez (2007) mostram que foram colocados três pares de extensômetros elétricos ao longo da estaca, zerados após a cravação. As cargas medidas são falsas, pois não contemplam as cargas residuais de cravação. A carga residual medida após descarregamento corresponde apenas àquela gerada no carregamento da PCE.

Utilizou-se um bate-estacas de esteiras, equipado com martelo hidráulico de 5.500kg para a cravação das estacas, o que garantiu um rígido controle da altura de queda do martelo durante toda a cravação. A estaca atingiu a profundidade prevista de 49,0m e o diagrama de cravação apresentou coerência com a sondagem mais próxima. A prova de carga foi realizada 14 dias após a cravação e o sistema de reação foi formado por estacas do mesmo bloco da fundação.

O ensaio foi realizado em estágios rápidos de carregamento, com incrementos de 10% da carga de trabalho da estaca. Em cada estágio manteve-se a carga aplicada por 10 minutos com leituras de deslocamentos e deformações logo após a aplicação da carga e decorridos 10 minutos.

Ao se aplicar a carga de 3.427kN, correspondente ao 16º estágio de carregamento, observou-se grandes deslocamentos na estaca, indicando a proximidade da ruptura geotécnica e a interrupção do ensaio. Procedeu-se então ao descarregamento, efetuado em sete etapas.

6 Resultados e Discussões quanto à Interpretação da Prova de Carga e as Estimativas

A Figura 4 mostra os resultados da PCE, cujos pontos do ensaio (carga, recalque) foram unidos por uma linha laranja. A curva azul corresponde à interpretação pelo model de Massad (1992). Os pontos de zero a nove correspondem aos trechos do modelo de Massad (1992), que os

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



separa como: 0-3, trecho pseudo elástico, de mobilização do atrito lateral; 3-4, parabólico, correspondente ao avanço da mobilização do atrito lateral em estacas longas; 4-5, pseudo-elástico correspondente à mobilização da ponta; 5-6, trecho correspondente à ruptura; 6-7, trecho pseudo elástico, correspondente à reversão do atrito lateral; 7-8, trecho parabólico, correspondente à plena mobilização do atrito lateral no sentido reverso; 8-9, trecho correspondente ao rebound pleno.

Como o ensaio foi interrompido com a proximidade da ruptura, o trecho 5-6 não foi plenamente caracterizado pelo modelo. Por este motivo, os pontos 5 e 6 estão coincidentes na curva. O ajuste dos demais trechos possibilitam a aferição do valor do μ A_{lr} , em que $\mu = 1 + P_{residual, ponta} / A_{lr}$, ($P_{residual, ponta}$ é a carga residual aprisionada na ponta e A_{lr} o atrito lateral mobilizado).

Destaca-se a proximidade notável da curva que liga os pontos do ensaio com o modelo de Massad (1992), em cada trecho.

Neste artigo não será abordado o efeito da viscosidade, embora o ensaio estático tenha sido do tipo rápido, sem estabilização dos recalques. A viscosidade poderia causar um maior efeito nos trechos da estaca em argila de maior plasticidade, mas será desconsiderado neste artigo.

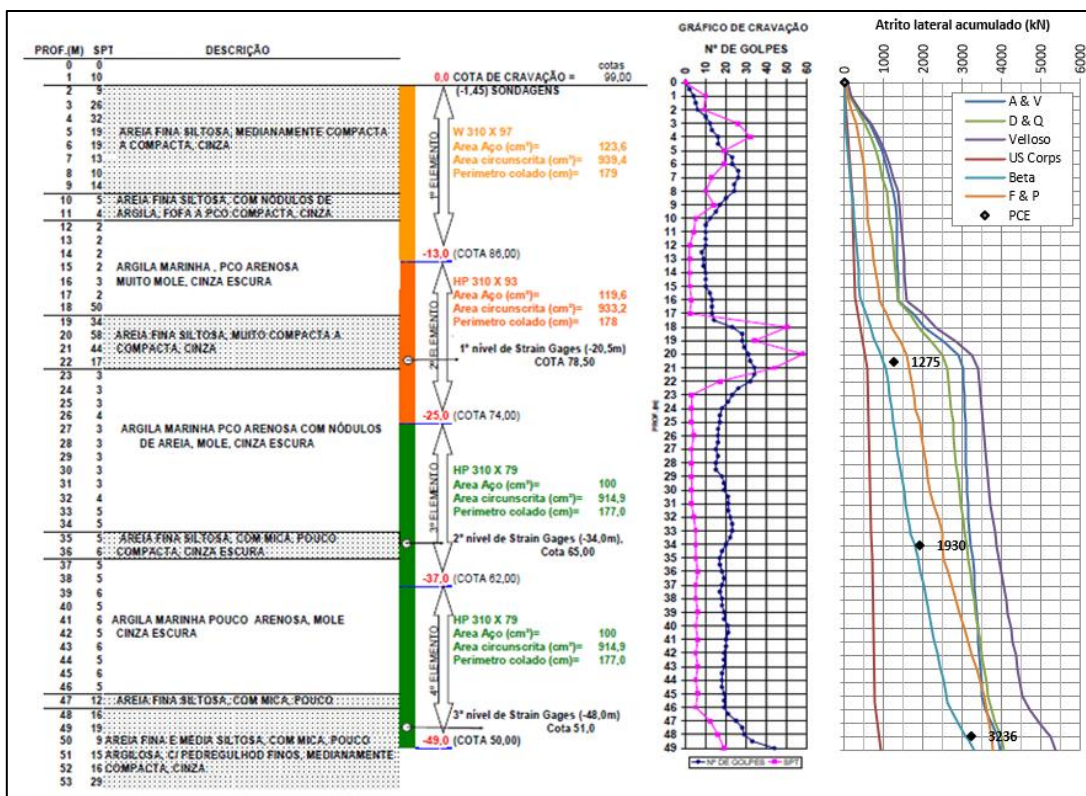


Figura 3. Perfil geotécnico simplificado, gráfico de cravação da estaca e atrito lateral acumulado estimado e medido (Modificado de Falconi e Perez, 2007).

A Tabela 2 indica os resultados retro-analisados pelo modelo de Massad (1992). Resultados detalhados com exemplos de aplicação são ilustrados por Massad (1992) e em diversos outros artigos aplicados a casos de estacas rígidas e flexíveis, em solos relativamente homogêneos e em casos de estacas embutidas em solo muito mais resistente. O valor encontrado de μ foi de 1,23.

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



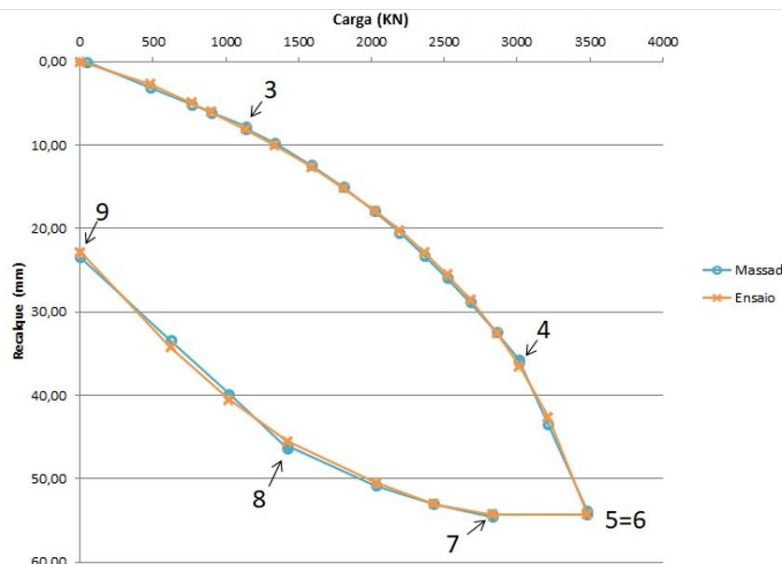


Figura 4. Resultado da PCE e sua interpretação pelo modelo de Massad (1992).

Tabela 2. Resultados do modelo de Massad (1992).

K _r (teórico)	Relação parabólica		
	Carregamento		
46,02 kN/mm	k = 9,8	μAl _r = 3059 kN	μy _l = 7,44mm
	Descarregamento		
k _{rebound} = 45,5	Al _r = 2.337,0	μy _{lr} = 2,12mm	

A Figura 2 ilustra também os resultados da transferência gradativa da carga aplicada ao topo da estaca, a cada nível de carregamento, nos trechos instrumentados.

Com os resultados da Figura 2, Falconi e Perez (2007) estimaram o atrito lateral do último trecho, abaixo da seção instrumentada 3, chegando a uma carga mobilizada na ponta de 90 kN.

A extrapolação da carga de ruptura pelos métodos de Van der Veen (1953) modificado por Aoki (1976), por Massad (1986) e pela NBR 6122 (ABNT, 2019), considerada como referência, comparadas aos demais métodos estáticos, estão listados na Tabela 3. Nas estimativas são indicados também os valores de ponta e atrito e seu percentual em relação à carga de ruptura global. As parcelas de atrito e ponta medidos para o último nível de carregamento do ensaio instrumentado são também indicadas. A última coluna indica a diferença em relação à carga de ruptura interpretada pela NBR-6122, cujo resultado foi muito próximo às demais interpretações.

A Figura 3 ilustra, da esquerda para a direita, o perfil geotécnico simplificado próximo à estaca em estudo, a variação dos perfis da estaca, o gráfico de cravação comparado ao N_{SPT}, o atrito lateral acumulado estimado pelos diferentes métodos, os valores mobilizados medidos por Falconi e Perez (2007) na PCE instrumentada até a carga máxima do ensaio, próximo da ruptura. Para maiores detalhes das estimativas, consultar Amendola (2018). É notória a aproximação entre a variação do N_{SPT} e a variação do número de golpes necessários à cravação da estaca.

As leituras das instrumentações nas três profundidades (20,5m, 34m e 48m), indicadas na Figura 3 (pontos negritados com o valor de carga de atrito acumulada na instrumentação, em cada seção) ficaram compreendidas entre as estimativas do atrito lateral acumulado pelo Método β,

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



limite inferior, e o de Falconi e Perez (2007), limite superior. Estas informações também podem ser observadas na Tabela 4, a qual compara as estimativas pelos métodos estáticos e as leituras das instrumentações nas três profundidades supracitadas.

Tabela 3. Previsões de capacidade de carga estimadas pelos métodos estáticos e interpretações dos resultados da curva carga *versus* recalque da PCE.

Método de previsão	Q _l (kN)	Q _p (kN)	Q _{rup} (kN)	% Dif. PCE
Aoki e Velloso (1975)	3.972 (92,4%)	329 (7,6%)	4.301	+12,6
Décourt e Quaresma (1978, 1982)	4.053 (88,5%)	525 (11,5%)	4.578	+11,9
Velloso (1981)	5.377 (93,8%)	356 (6,2%)	5.733	+50,1
Falconi e Perez (2007)	3.742 (94,4%)	224 (5,6%)	3.966	+3,8
U.S. Army Corps of Engineering (2005)	938 (88,7%)	120 (11,3%)	1.058	-72,3
Método β (software UniPile 5.0)	3.336 (93,0%)	252 (7,0%)	3.588	-6,1
Carga de ruptura critério NBR 6122	-	-	3.820	Ref.
Extrapolação por Van der Veen	-	-	3.950	+3,4
Interpretação de Massad (1986, 1992)	2.337 (60,0%)	1.565(40,%)	3.902	+2,1
Prova de carga estática	3236 (94,4%)	193 (5,6%)	3.429	-10,0

* Van der Veen modificado por Aoki (1976)

** Carga máxima do ensaio

Percebe-se que os métodos semiempíricos de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978, 1982) e Velloso (1981) forneceram resultados superiores à carga de ruptura extrapolada da PCE, enquanto os métodos teóricos conduziram a estimativas mais conservadoras.

7 Resultados e Discussões quanto à Análise Dinâmica

Com os dados do equipamento e os valores de nega (6,9mm) e repique (18mm) de Falconi e Perez (2007), foram estimados os valores da SRD através do repique, por Chellis e Aoki e pela fórmula Dinamarquesa, para uma eficiência de 70%. A média destes valores foram utilizados na análise dinâmica inicial pelo programa utilizado pelo MEF. A estaca foi modelada em seu comprimento, com diferentes seções, bem como o perfil de solo e a variação da resistência lateral. Foram variadas, em análises sucessivas, a resistência ao final da cravação SRD e a porcentagem de atrito, até que o registro do repique e da nega simulados convergissem aos valores medidos. Chegou-se aos valores ajustados: SRD = 1410 kN e % de atrito 90%. A carga residual simulada durante a cravação foi de 6 kN e aquela gerada no ensaio estático, obtida (em escala), de 7 kN.

Durante o período de 14 dias entre a cravação e o início do ensaio estático, possivelmente ocorreu uma parcela de recalque decorrente da dissipação da poro-pressão gerada pela cravação, com redução do índice de vazios do solo causando atrito negativo (AN) na estaca. Este acréscimo de carga (AN) transferida à ponta pode ter resultado numa carga adicional, além daquela aprisionada na ponta após a cravação e anterior àquela gerada no carregamento da PCE. Esta parcela adicional pode ser sido a responsável pela carga residual obtida do modelo de Massad (1992) ter superado o valor estimado apenas pela geração da carga residual de cravação, de 6 kN, somada àquela gerada no ensaio, 7 kN, ou seja, 13 kN. Com o valor μ de Massad de 1,23, a carga

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



total aprisionada na ponta da estaca é estimada em 537 kN. Retirando o valor originário da carga residual da cravação e do carregamento do ensaio, tem-se um valor provável de atrito negativo transferido à ponta de 524 kN. Cabe observar que somando o valor da carga residual obtida no modelo matemático de Massad (1992), 537 kN, à carga de atrito positivo obtido do mesmo modelo, 2337 kN chega-se à carga de 2874 kN, atrito positivo falso, que não difere muito da carga medida de atrito lateral na última seção instrumentada da Figura 2, 3236 kN. O valor de carga verdadeira na ponta, obtido do modelo matemático de Massad (1992), $3902 - 2337 = 1565$ kN, é próximo do valor da resistência total obtida da extrapolação da NBR 6122, 3820 kN, reduzida do valor da parcela de atrito lateral corrigida, $(3236 - 537 = 2699)$ kN, que resulta no valor da resistência de ponta igual a 1121 kN, correspondendo a uma carga verdadeira inferior a 30% da obtida do modelo de Massad (1992). Esta variação, de cerca de menos de 30%, é bastante razoável, do ponto de vista geotécnico, em termos de fundações.

Tabela 4. Comparação entre as estimativas pelos métodos estáticos e as leituras da instrumentação nas profundidades das seções instrumentadas

Método de previsão	Atrito lateral acumulado (kN)		
	20,5m	34,0m	48,0m
Aoki e Velloso (1975)	2.883	3223	3.895
Décourt e Quaresma (1978, 1982)	2.492	3103	3.983
Velloso (1981)	3.234	3879	5.241
U.S. Army Corps of Engineering (2005)	578	699	938
Método β	991	1787	3.094
Falconi e Perez (2007)	1.591	2506	3.742
Prova de carga estática	1.275	1.930	3.236

Uma estimativa do valor de *set-up* para a parcela do atrito lateral com base no valor medido correspondente à curva falsa obtida na PCE (sem contemplar a parcela residual), seria de $3.236 / 1269 = 2,5$. Quando considerado o modelo de Massad (1992) para a curva verdadeira, tem-se $2.337 / 1.269 = 1,8$. Estes valores são compatíveis àqueles obtidos por Silva *et al.* (2015), para estacas cravadas em Santos, da ordem de 1,4 (para período de repouso de 8 dias) até 4,2 (para período de repouso de 90 dias). Os resultados obtidos na revisita a este caso de obra, com período de repouso de 14 dias, entre o final da cravação e a prova de carga estática, são compatíveis aos de Silva *et al.* (2015), em especial ao estimado pelo modelo de Massad (1992).

8 Conclusões

O presente trabalho comparou, para uma estaca metálica executada em solo sedimentar da baixada de Santos, a capacidade de carga geotécnica obtida por quatro métodos estáticos semiempíricos e dois teóricos, com o resultado da interpretação da curva carga *versus* recalque de uma PCE instrumentada. O trabalho também analisou a curva carga recalque simulada pelo modelo de Massad (1992). A concordância entre ambas foi notável.

Os métodos de cálculo que mais se aproximaram dos resultados da prova de carga estática foram o método β e o de Falconi e Perez (2007).

Foi feita uma simulação dinâmica com valores ajustados à nega e repique observados ao final da cravação contínua, o que possibilitou uma aferição de um possível valor de *set-up*. Os valores encontrados são compatíveis com valores relatados para a mesma região.

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



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amendola, C. D. E. (2018) *Influência do modelo de transferência de carga de estacas isoladas na previsão do seu comportamento*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro / UERJ.
- Aoki, N. (1976) *Considerações sobre a capacidade de carga de estacas isoladas*. Coordenação Central de Pós-Graduação e Atividades Complementares, Curso de Extensão Universitária em Engenharia de Fundações, Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro.
- Aoki, N.; Velloso, D. A. (1975) An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: Pan. Conf. Soil Mech. Geot. Eng, Buenos Aires. *Proc.*, v.1, p. 367-376.
- AOKI, N. (1986). Controle "in situ" da capacidade de carga de estacas pré-fabricadas via repique elástico da cravação. ABMS.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Décourt, L., Quaresma, A. R. (1978) Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 6, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro, v. 1, p. 45-54.
- Décourt, L. (1982) Prediction of the bearing capacity of piles based exclusively on N values of SPT. In: EUROPEAN SYMPOSIUM OF PENETRATION TEST, 2, Amsterdam. *Proceedings*, Amsterdam, v. 1, p. 29-34.
- Décourt, L. (1996) *Análise e projeto de fundações profundas: estacas*. In: HACHICH et al, (eds.), *Fundações: teoria e prática*, Pini, São Paulo, Brasil, p. 265-301.
- Falconi, F. F., Perez, W. (2007) Estacas metálicas com seção variável ao longo da profundidade. In: SEMINÁRIO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA DO RIO GRANDE DO SUL, 9., Rio Grande do Sul, Brasil, *Anais...* Ijuí, RS, CD-ROM. 14 p.
- Fellenius, B. H. (2017) *Basics of Foundation Design*. Electronic Edition, 468 p.
- Massad, F. (1985) *As Argilas Quaternárias da Baixada Santista: Características e Propriedades Geotécnicas*. Tese (Livre Docência), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Massad, F. (1986). Notes on the Interpretation of Failure Load from routine pile load test. *Revista Solos e Rochas*, Vol. 9(1), pp.33- 36.
- Massad, F. (1992) Sobre a interpretação de provas de carga em estacas, considerando as cargas residuais na ponta e a reversão do atrito lateral. Parte I: Solos relativamente homogêneos. *Solos e Rochas*, 15 (2), p. 103-115.
- United States Army Corps of Engineers (2005) *Design of pile foundations*. University Press of the Pacific, Honolulu, Hawaii, USA.
- Van der Veen, C. (1953) The bearing capacity of a pile. In: Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 3, Switzerland. *Proceedings*. Switzerland, v. 2, p. 84-90.
- Velloso, P. P. C. (1981) *Estacas em solo: dados para a estimativa do comprimento*. Ciclo de Palestras sobre Estacas Escavadas. Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil.

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

