

Análise de Previsão de Capacidade de Carga de Estaca Mista Pré-Moldada e Metálica em Solo Sedimentar da Cidade do Recife/PE

Paulo José Rocha de Albuquerque
Unicamp, Campinas, Brasil, pjra@fec.unicamp.br

Eduardo Oliveira de Melo
Unicamp, Campinas, Brasil, edu.omelo@gmail.com

André Campelo de Melo
SEFE, Recife, Brasil, sefeltda@yahoo.com.br

RESUMO: Neste trabalho, foi realizada uma análise da capacidade de carga de uma estaca mista com 33 m de comprimento cravado em solo sedimentar da cidade do Recife/PE, formada pela união de dois elementos de materiais distintos: um perfil metálico HP 310 x 79 com 15 m comprimento na sua parte inferior e complementada com 18 m de estaca pré moldada circular vazada, com diâmetro de 0,50 m. Na análise das capacidades de carga foram utilizados diversos métodos semi empíricos baseados em dados do ensaio SPT (Aoki e Velloso, Décourt e Quaresma, Laprovitera e Benegas, Meyerhof, Teixeira e Pedro Paulo Veloso). A estaca ensaiada foi utilizada no projeto de fundações do empreendimento Evolution Shopping Park, situado na capital do Pernambuco, onde o elemento de fundação foi ensaiado através de uma prova de carga lenta de desempenho. Devido a não ocorrência nítida da ruptura da estaca durante a prova de carga, foram utilizados os métodos de Van der Veen, Décourt (Rigidez), Chin e NBR6122 (2010) para estimar o valor da carga de ruptura da estaca, obtendo-se uma carga média de ruptura da ordem de 4570 kN e com coeficiente de variação de 5%, ou seja, indicando baixa variabilidade entre os valores extrapolados obtidos. A comparação deste valor de carga média com os valores de carga de ruptura dos métodos semiempíricos indicou uma elevada dispersão entre os valores e coeficiente de variação da ordem de 40%, mostrando que cada método deve ser cuidadosamente estudado quanto ao seu uso no computo da carga de ruptura da estaca. Ainda com relação aos métodos semiempíricos, levando-se em consideração as várias formas de análise de perímetro e ponta do perfil metálico (perímetro e área - colado ou circunscrito), verificou-se que todos os métodos forneceram valores de carga de ruptura inferiores ao valor médio extrapolado da prova de carga. O método que forneceu valores mais próximos foi de Aoki e Velloso, sendo o método da UFRGS os valores mais distantes.

PALAVRAS-CHAVE: Estaca Mista, Capacidade de Carga, Prova de Carga.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se verificado o crescimento da construção de edifícios cada vez mais altos nas regiões litorâneas do Brasil. Na cidade do Recife/PE, este aspecto tem sido evidenciado pela expansão imobiliária e comercial nas regiões de alto valor agregado, como por exemplo, próximo à orla marítima,

onde geralmente é necessário atravessar extensas camadas de solo mole para se obter uma capacidade de carga condizente com a carga solicitante, acarretando em algumas situações, a inviabilidade econômica do empreendimento devido ao alto custo das fundações.

Considerada por muitos engenheiros geotécnicos como uma das capitais mais

difíceis de trabalhar o subsolo, Recife possui uma área de formação sedimentar composta por espessos depósitos de argila mole e grande parte de seus espaços sobre aterro. Devido a esta formação geológica complexa, é necessário estudar mais a fundo o comportamento de fundações assentadas sobre estes solos, por meio de ensaios de campo (SPT, CPT etc..) e ensaios de laboratório (GUSMÃO, 2008).

Para contornar esta situação, tem-se usado com maior frequência fundações em estacas mistas de concreto pré-moldado e perfil metálico por razões técnicas, uma vez em que o elemento metálico possui maior resistência quanto às variações de resistências do terreno, evitando-se desta forma rupturas do elemento estrutural durante a sua cravação, e razões econômicas, tendo em vista que o custo é reduzido consideravelmente pelo fato de não ser preciso utilizar apenas um tipo de elemento para compor as fundações. Porém, o comportamento de fundações mistas não é bem claro à comunidade geotécnica, principalmente quando se emprega elementos de geometria e materiais diferentes, como no caso deste trabalho, concreto pré-moldado e perfil metálico.

O uso de estacas mistas não se limita somente na região Nordeste do Brasil, pois Dias e Pedreira (2006) descrevem o comportamento, com sucesso, de estacas mistas de concreto armado (com diâmetro de 71,12 cm) com camisa metálica (chapa de 9,53 mm) utilizadas no Porto Novo do Rio Grande, situado no estado do Rio Grande do Sul. Este trabalho apresenta o resultado de uma prova de carga lenta, executada em estaca mista (pré-moldada e metálica) executada na cidade do Recife/PE.

2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO - GEOTÉCNICAS

A prova de carga ocorreu na obra do Edifício Empresarial Grand Tower Shopping, localizado na Rua Padre Carapezeiro, nº 1246, Boa Viagem, Recife/PE.

Do ponto de vista morfológico, a cidade do Recife/PE apresenta duas paisagens muito distintas: os morros e as planícies. Edificações de grande porte ocupam a cidade no espaço confinado entre os morros e a orla marítima,

que se constitui em uma grande planície de origem flúvio-marinha com dois níveis de terraços marinhos arenosos. Há depósitos de mangues, sedimentos flúvio-lagunares e aluviões recentes. Desta forma, é possível encontrar um subsolo com estratificações de camadas de areia fina e média, intercaladas de argila orgânica mole ou de areia muito compacta. Os depósitos de argila orgânica podem ser encontrados da ordem de 50% da área da planície e com espessuras superiores a 15 m. (Alheiros *et al*, 1990 e Gusmão, 2005) A figura 1 mostra a localização da estaca ensaiada E25 com relação à sondagem mais próxima (SP-04), enquanto que a Figura 2 mostra o resultado da sondagem SPT (SP-04).

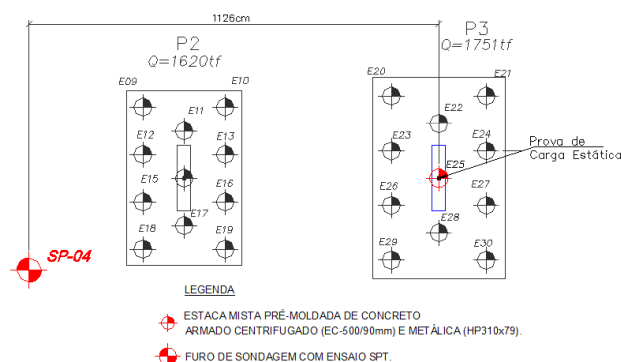


Figura 1. Localização da estaca mista E25 (ENSOLO, 2012).

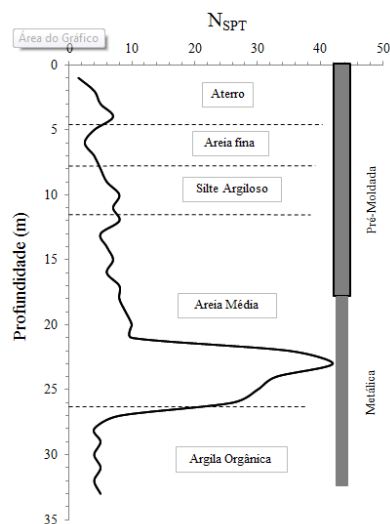


Figura 2. Resultado do ensaio SPT 04.

3 CARACTERÍSTICAS DA ESTACA

A estaca do tipo mista, composta por um segmento de concreto protendido vazado de 18

m de comprimento e diâmetro 500 mm, seguido por um perfil metálico HP 310 x 79 de 15 m de comprimento.

A união entre o elemento pré-moldado e a estaca metálica foi feita através de uma chapa metálica circular com diâmetro de 500 mm e espessura de 20 mm, soldada posteriormente à cravação do segmento metálico no solo na parte superior do perfil metálico. A união desta chapa metálica ao elemento de concreto centrifugado foi executada por meio de anéis de solda. Após o término da cravação da estaca metálica, soldou-se o elemento pré-moldado à chapa metálica por meio de um anel de solda, constituindo-se desta forma a estaca mista. A união entre segmentos de perfis metálicos (quando necessários) foi realizada por meio de talas metálicas, estas obtidas através dos cortes das mesas e almas do próprio perfil metálico, soldadas aos perfis metálicos.

4 CRAVAÇÃO DA ESTACA

A cravação das estacas mistas do ensaio foi realizada por meio de um martelo hidráulico JUNTAN PM25 – MARTELO 5/7A (Figura 3), com peso do martelo 9000 kgf e altura de queda de 50 cm. No processo de cravação da estaca mista E25, registrou-se ao término da cravação nega sem suplemento de 27 mm e repique de 17 mm. A Figura 4 mostra a evolução dos golpes registrados por metro linear cravado para a estaca mista E25, obtido através do acompanhamento de cravação.

As estacas foram cravadas com espaçamento mínimo entre eixos de 1,5 m, valor este recomendado pela NBR 12131 (2006).



Figura 3. Martelo hidráulico utilizado para a cravação das estacas usadas no ensaio.

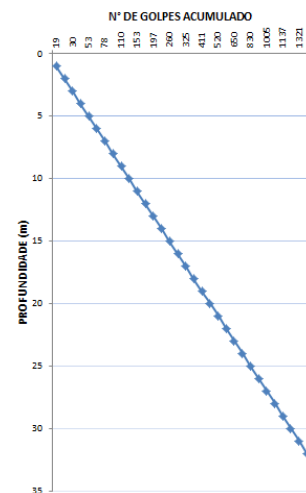


Figura 4. Golpes por metro linear cravado da estaca teste da P.C.E.

5 PROVA DE CARGA

A prova de carga estática realizada foi de desempenho, ou seja, a carga máxima na qual a estaca foi submetida foi de duas vezes a sua carga de trabalho. O sistema de reação foi composto por dez estacas mistas, formado na sua parte superior por elementos pré-moldados de concreto armado centrifugado de seção circular (diâmetro nominal de 500/90 mm), com 18 m de comprimento e na sua parte inferior por perfis metálicos HP310 x 79 com 15 m de comprimento, totalizando da ordem de 33 m de estaca mista cravada no solo. Todas as estacas de reação executadas foram utilizadas posteriormente para a fundação do mesmo pilar P03 (Figuras 5 e 6). O sistema de atirantamento foi composto por barras Inco 50D, com 50 mm de diâmetro, porcas, placas e luvas de aço (INCOTEP).

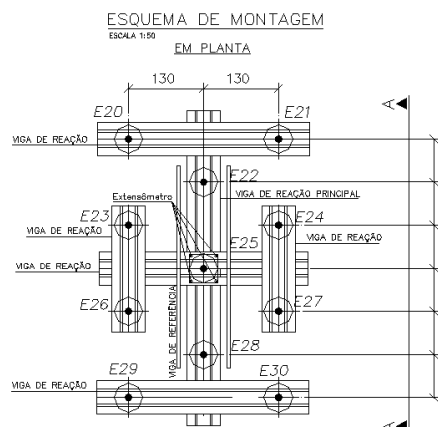


Figura 5. Esquema do sistema de reação.

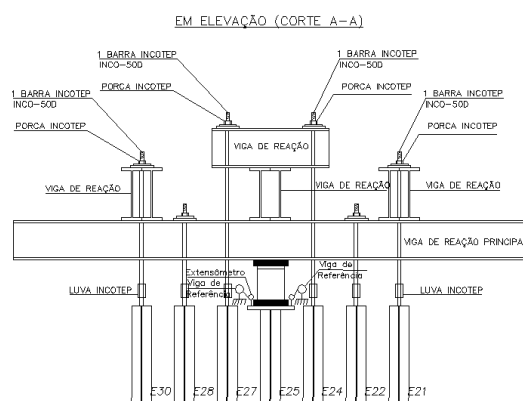


Figura 6. Vista lateral do sistema de reação.

A partir da prova de carga executada, foi possível obter a curva carga vs deslocamento (Figura 7) da estaca mista E25. Neste ensaio lento foram utilizados incrementos de carga de 340 kN, iniciando-se no dia 23/05/2013 às 10:44 horas e, finalizando-se no dia 24/05/2013 às 9:53 horas. O carregamento máximo aplicado foi de 3400 kN, observando-se um recalque total de 20,34 mm; sendo 8,78 mm de recalque permanente e 11,56 mm de recalque elástico.

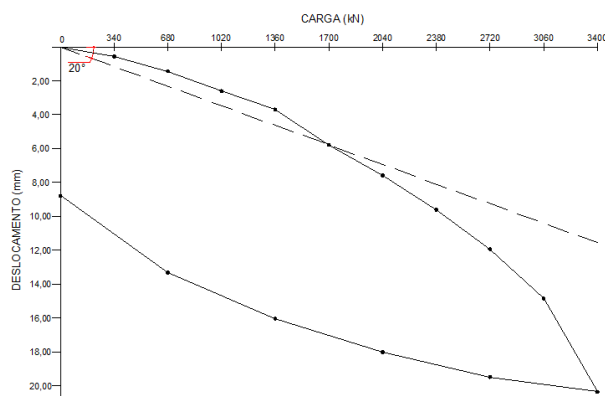


Figura 7. Curva carga vs deslocamento.

A prova de carga estática foi de desempenho, logo não foi possível alcançar a ruptura como

pode ser observado na Figura 7. Portanto, foram utilizados métodos para obtenção da carga ruptura (Rigidez (1996), Van der Veen (1953), Chin (1970, 1971) e NBR 6122 (2010)), conforme é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de carga de ruptura (kN).

1	2	3	4	Média	CV
4592	4760	4625	4250	4570	5 %

1. Rigidez (1996) 2. Van der Veen (1953) 3. Chin (1970, 1971) 4. NBR 6122 (2010).

Os valores obtidos pelos diferentes métodos de extrapolação apresentaram valores muito próximas de carga de ruptura. Logo, será adotado como a carga de ruptura da estaca mista E25 a média dos valores encontrados pelos métodos de extrapolação utilizados, ou seja, 4570 kN. Considerando-se este valor de carga de ruptura e o fator de segurança 1,6 (recomendado pela NBR 6122 (2010) para provas de carga de projeto), o valor de carga de trabalho de 2856 kN poderia ser adotado, desde que os recalques observados para esta carga de trabalho fossem compatíveis com os recalques admissíveis da estrutura. Este valor é aproximadamente 68% superior ao valor de carga de trabalho (1700 kN) adotado em projeto, mostrando a importância da execução da prova de carga estática de projeto antes do início do estaqueamento, cujos objetivos são aferição da carga de trabalho adotada e possível redução de custos globais das fundações. Entretanto, a prova de carga foi realizada com o estaqueamento em andamento, inviabilizando a adoção deste fator de segurança reduzido.

6 PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA

Os resultados de previsão de capacidade de carga calculados com base em métodos semiempíricos serão comparados com o valor da carga de ruptura média, obtido através dos métodos de extrapolação adotados neste trabalho. Além disso, foi adotado para a análise dos resultados o limite de $\pm 20\%$ (faixa) da carga ruptura média extrapolada.

A previsão de capacidade de carga através dos métodos semiempíricos foi realizada com base nas seguintes condicionantes:

- Cálculo da capacidade de carga lateral última da estaca metálica considerando duas análises: adotando-se o perímetro colado da seção do perfil metálico e perímetro do retângulo envolvente à seção do perfil metálico;
- Cálculo da capacidade de carga da ponta da estaca metálica considerando três análises: área cheia do retângulo envolvente à seção do perfil metálico, metade da área cheia do retângulo envolvente à seção do perfil metálico e área da seção do perfil metálico. Logo, para um mesmo método, haverá seis capacidades de carga, conforme mostram as Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Descrição das parcelas de resistências da capacidade de carga da estaca mista.

RESISTÊNCIA (kN)	DESCRIÇÃO
QT,u	Resistência total última da estaca mista
Qlp,u	Resistência lateral última da estaca pré-moldada
Qlm1,u	Resistência lateral última da estaca metálica, considerando o perímetro do perfil metálico
Qlm2,u	Resistência lateral última da estaca metálica, considerando o perímetro do retângulo envolvente à seção do perfil metálico
Qpm1,u	Resistência de ponta última da estaca metálica, considerando a área do retângulo envolvente à seção do perfil metálico
Qpm2,u	Resistência de ponta última da estaca metálica, considerando metade da área do retângulo envolvente à seção do perfil metálico
Qpm3,u	Resistência de ponta última da estaca metálica, considerando a área da seção do perfil metálico

Tabela 3. Descrição seis análises da capacidade de carga da estaca mista.

RESISTÊNCIA TOTAL ÚLTIMA DA ESTACA MISTA (kN)	COMPOSIÇÃO DA SOMA DAS RESISTÊNCIAS (kN)
QT1,u	Qlp,u + Qlm1,u + Qpm1,u
QT2,u	Qlp,u + Qlm1,u + Qpm2,u
QT3,u	Qlp,u + Qlm1,u + Qpm3,u
QT4,u	Qlp,u + Qlm2,u + Qpm1,u
QT5,u	Qlp,u + Qlm2,u + Qpm2,u
QT6,u	Qlp,u + Qlm2,u + Qpm3,u

De acordo com os resultados, os métodos analisados apresentaram valores de carga de ruptura inferiores à carga de ruptura média extrapolada. Os valores de carga de ruptura, obtidos através dos métodos semiempíricos, apresentaram entre 32 e 35 % de desvio em relação à média da carga de ruptura dos

métodos de previsão de capacidade de carga, mostrando elevada variabilidade obtida. A Figura 8 mostra um gráfico de variação das cargas obtidas para cada método empregado.

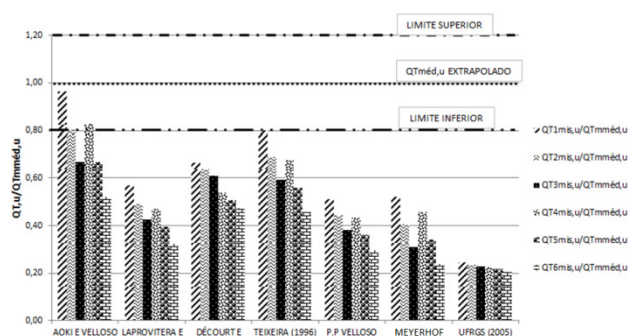


Figura 8. Variação das cargas de ruptura estimadas.

O método Aoki e Velloso (1975) apresentou valores de carga de ruptura dentro dos limites de $\pm 20\%$ em relação à carga de ruptura média extrapolada em três análises, sendo que em cada uma delas não se considerando a área de ponta como sendo a da seção do perfil metálico, porém todas considerando o perímetro colado à seção do elemento metálico. Os valores de carga de ruptura dos demais métodos ficaram abaixo do limite de -20% , exceto para o método Teixeira (1996) com a consideração de perímetro colado à seção do perfil metálico e área de ponta como sendo o retângulo envolvente à seção da estaca metálica. O Método da UFRGS (2005) apresentou valores muito baixos de carga de ruptura em relação à carga média extrapolada, logo é recomendado que o mesmo seja modificado caso seja utilizado para este tipo de estaca e solo sedimentar de Recife/PE. Os métodos de previsão de carga de ruptura P.P Velloso (1981) e Meyerhof (1976) chegaram a valores muito próximos (cerca de 45 kN de diferença), quando se considera valores de área de ponta com o retângulo envolvente. À medida que diminui o valor da área de ponta, a diferença entre os valores de carga de ruptura passa para cerca de 330 kN, mostrando a importância do valor de área da ponta da estaca a ser adotada em projeto. A análise que forneceu maior valor de carga de ruptura foi considerando área de ponta como a do retângulo envolvente e perímetro colado à seção do perfil metálico. Adotando-se as considerações opostas mencionadas anteriormente, ou seja, perímetro do perfil

metálico com sendo o do retângulo envolvente e área de ponta da seção da estaca metálica, obteve-se a menor carga de ruptura. O maior ($Q_{T1mis,u}$) e menor ($Q_{T6mis,u}$) valor de carga de ruptura obtidos foram 4405 kN e 959 kN, através dos métodos Aoki e Velloso (1975) e da UFRGS (2005), respectivamente.

Na Figura 9 é possível observar a redução da resistência lateral ($Q_{lm2,u}$) quando se considera o perímetro do retângulo envolvente à seção do perfil metálico, sendo a maior redução encontrada no método Aoki e Velloso (1975), aproximadamente 30 %. Logo, é muito importante saber com qual perímetro do perfil metálico se deve trabalhar, pois como pôde ser observado é possível aumentar ou reduzir a resistência lateral deste trecho metálico, contribuindo ora a favor, ora contra a segurança do projeto de fundações.

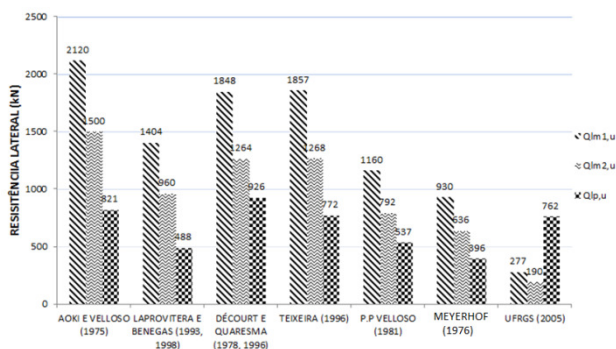


Figura 9. Valores das parcelas de resistências laterais.

A Figura 10 mostra a variação dos valores de resistência de ponta da estaca quando se considera a área da ponta em três situações distintas: área da ponta da estaca como sendo a área do retângulo envolvente ($Q_{pm1,u}$), metade do retângulo envolvente ($Q_{pm2,u}$) e da seção do perfil metálico ($Q_{pm3,u}$). É possível observar que os métodos Aoki e Velloso (1975), Meyerhof (1976) e Décourt e Quresma (1978, 1996) forneceram os maiores valores de resistência de ponta.

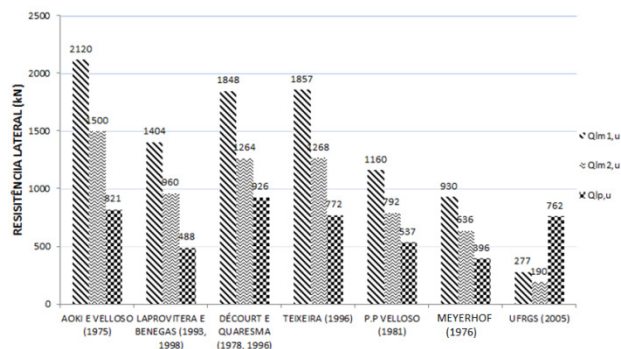


Figura 10. Variação dos valores das parcelas de resistência ponta.

A análise da resistência de ponta, considerando-se o valor de área da seção do perfil metálico ($Q_{pm3,u}$), conduziu a uma redução de aproximadamente 92% da resistência de ponta quando comparado com a análise realizada com a área do retângulo envolvente ($Q_{pm1,u}$) à seção do perfil, visto que a área da seção é cerca de 9 vezes menor do que a do retângulo envolvente. Logo, deve-se tomar cuidado com as considerações de embuchamento da ponta da estaca metálica, visto que a ocorrência ou não deste fenômeno pode levar a valores totalmente discrepantes com a realidade.

Verificou-se que a consideração de área de ponta cheia do retângulo envolvente à seção do perfil metálico contribui de sobremaneira para a resistência total da estaca (entre 30 e 45 % da resistência total), ou seja, a estaca trabalha tanto por atrito, quanto resistência de ponta, com exceção dos métodos Décourt & Quaresma (1978, 1996) e UFRGS (2005), que apresentaram baixo valor de resistência de ponta. Com a consideração de área de ponta da seção do perfil metálico, observa-se que a estaca mista trabalha predominantemente por atrito lateral, pois a contribuição da parcela de resistência de ponta é mínima, cerca de 8% apenas, quando comparada com a resistência total. O método que apresentou carga de ruptura mais próximo da carga média de ruptura extrapolada utilizou valores de área cheia do retângulo envolvente para ponta e perímetro colado à seção do perfil metálico. Este fato pode sugerir que para este tipo de estaca e solo, são as considerações de área de ponta e perímetro a serem adotadas em cálculos. Entretanto, isto é apenas uma sugestão com base na análise da carga média extrapolada,

pois a análise correta desta questão deve ser confirmada com resultados de provas de carga em que foi verificada a ruptura da estaca na prova de carga. A definição das parcelas de resistência lateral e de ponta últimas é mais bem definida através da ruptura da estaca durante o ensaio.

7 CONCLUSÕES

Dos resultados e análises apresentados anteriormente pode-se concluir:

- Não foi evidenciada a carga de ruptura geotécnica da estaca, tendo em vista que o ensaio foi de desempenho. Destaca-se o pequeno deslocamento observado para a carga de trabalho, sendo 5,3 mm.
- Os valores de capacidade de carga à ruptura pelos métodos semiempíricos apresentaram elevada dispersão em relação à carga média extrapolada. Considerando-se a área de ponta do segmento metálico como sendo a área da seção do elemento e perímetro colado, o método Aoki e Velloso (1975) forneceu o valor mais próximo da carga de ruptura média extrapolada da estaca mista (valor cerca de 5% acima do valor extrapolado). Logo, a consideração de área de ponta e perímetro do perfil metálico imerso em solo arenoso, recomendada por Salgado (2006), vai ao encontro dos resultados obtidos pelos ensaios.

Portanto, pressupõe que a análise da carga de ruptura da estaca mista com o segmento metálico em solo arenoso, considerando o perímetro colado e área da seção do perfil metálico, seja a mais adequada para este estudo de caso, haja vista que a adoção destas considerações forneceu o valor de carga de ruptura mais próximo da carga de ruptura média extrapolada. Vale ressaltar que a afirmação acima é uma suposição com base na extrapolação da curva carga vs deslocamento, sendo somente esta questão mais bem definida com a análise das parcelas de resistência lateral e ponta na ruptura, o que não foi possível identificar neste trabalho.

- Os menores valores de carga de ruptura foram obtidos com valores de perímetro do retângulo envolvente e área de ponta da seção do perfil metálico. É possível concluir que a

consideração de área de ponta com o retângulo envolvente leva a valores arrojados de resistência de ponta da estaca metálica, pois a consideração de área de ponta como apenas da seção do perfil acarreta uma redução de 92% da resistência inicial da ponta.

- A adoção do perímetro do retângulo envolvente conduziu a uma redução de 30% da resistência lateral última entre os diversos métodos semiempíricos, quando comparado com os valores obtidos com o perímetro da seção do perfil metálico. Logo, ressalta-se a importância de como proceder aos cálculos de capacidade de carga com os métodos semiempíricos, no que diz respeito ao perímetro e área de seção da estaca metálica. Tais valores devem ser cuidadosamente estudados antes de serem adotados, pois os mesmos podem levar a valores de carga de ruptura abaixo, ou acima da carga real de ruptura.

- Neste trabalho não foi possível identificar quais considerações, de perímetro e área de ponta do segmento metálico da estaca mista, foram determinantes nas resistências lateral e de ponta, respectivamente, visto que não houve ruptura da estaca durante a realização da prova de carga estática.

AGRADECIMENTOS

A todos os colaboradores da empresa SEFE Serviços Especiais de Fundações e Estruturas, que forneceram todo suporte técnico e logístico para a execução das provas de carga estática. Ao CNPq pelo financiamento e apoio a pesquisa. E aos profissionais da empresa Ensolo que forneceram os dados necessários para os estudos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 12131: *Prova de carga estática método de ensaio*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.
- ABNT. NBR 6122: *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.
- Alheiros, M. M.; Menezes, M. F.; Ferreira, M. G. (1990) *Carta geotécnica da cidade do Recife, sub área geologia / geologia de engenharia*. Relatório Final de Atividades. FINEP / UFPE. 81p.

- Aoki, N.; Velloso, D. A. (1975) *An aproximate method to estimate the bearing capacity of piles*. In: 5 PANAM, Buenos Aires, p. 367-376.
- Chin, F.K. (1970). *Estimation of the ultimate load of piles not carried to failure*. In: Southeast Asia Conference On Soil Engineering, Southeast Asia. v.2.p.81-90.
- Chin, F.K. (1971). *Discussion of pile test. Arkansas River Project*. Journal for Soil Mechanics and Foundation Engineering, (S.I.): ASCE, vol.97, SM 6, p.930-932.
- Décourt, L.; Quaresma, A. R. (1978) *Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT*. In: VI COBRAMSEG, Rio de Janeiro. v. 1, p. 45-54.
- Décourt, L. A. (1996) *Ruptura de Fundações Avaliada com Base no Conceito de Rigidez*. In: SEFE 3, São Paulo. v. 1, p.215-224.
- Décourt, L. A (2008) *Provas de carga em estacas podem dizer muito mais do que tem dito*. In: SEFE 6, São Paulo. CD-ROM.
- Dias, C. R. C.; Pedreira, S. L. (2006) *Remodelação de obras portuárias – Verificação de desempenho de estacas mistas no Porto do Rio Grande*. In: XI COBRAMSEG, Curitiba. v. 1, p. 290-295
- Gusmão, A. D. (2005) *Prática de fundações no Recife*. Em Gusmão, A. D.; Gusmão Filho, J. A.; Oliveira, J. T. R e Maia, G. B (org). Geotecnia no nordeste, v. 1, p. 225-246.
- Gusmão, A. D. (2008) *Prática de fundações profundas no Nordeste* In: SEFE 6, São Paulo. v. 1, 207 p.
- Laprovitera, H. (1998) *Reavaliação de método semi-empírico de previsão da capacidade de carga de estacas a partir de banco de dados*. Dissertação Mestrado - UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.
- Lobo, B. O. (2005) *Método de previsão de capacidade de carga de estacas: aplicação dos conceitos de energia do ensaio SPT*. Dissertação Mestrado. UFRGS, 121p.
- Meyerhof, G. G. (1976) Bearing capacity and settlement of pile foundations. The 11th Terzaghi Lecture, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, v. 102, n. GT3, p.195-228.
- Salgado, R. (2006) *The Engineerng of Foundation*. McGraw-Hill Book Company, 2nd, New York, 270p.