

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ESTACAS ÔMEGA CARREGADAS TRANSVERSALMENTE COM QUATRO CONDIÇÕES DO SOLO

Analysis of the behavior of omega piles transversally loaded, under four soil conditions

Gentil Miranda Junior*

David de Carvalho**

Paulo José Rocha de Albuquerque***

RESUMO – Este trabalho apresenta resultados de provas de carga horizontais em três estacas do tipo ômega num solo de diabásio, com características colapsíveis. Foram realizadas provas de carga com o solo na sua umidade natural e com pré-inundação do mesmo. Para melhorar as condições do solo, executou-se uma troca por solo-cimento compactado, realizando outras provas de carga nestas condições e também com a pré-inundação deste solo-cimento. Foram obtidos os coeficientes de reação horizontal para as quatro situações. Os resultados obtidos foram comparados com resultados de outros trabalhos disponíveis na literatura.

SYNOPSIS – This paper presents results of horizontal loading tests on three omega type piles in a diabasic soil with collapsible characteristics. Load tests were performed with the soil at its natural humidity and pre-flooded. To improve the soil conditions, it was exchanged for compacted soil-cement, performing other load tests under these conditions and also with pre-flooding this soil-cement. Coefficients of horizontal reaction were obtained, for the four situations. Results were compared with those of other papers.

PALAVRAS CHAVE – Carregamento horizontal, Estacas ômeegas, Solo-colapsível.

1 – INTRODUÇÃO

Dentre os esforços a que podem ser submetidas as estacas, o horizontal tem a particularidade de ter um número reduzido de referências de parâmetros geotécnicos, particularmente para os solos tropicais. É freqüente a utilização de valores encontrados por autores da literatura internacional e nacional, porém encontram-se valores discrepantes e que nem sempre se podem generalizar. É necessário, portanto, a obtenção de parâmetros para cada tipo específico de solo. Outro fator importante para estacas com carregamento horizontal é a presença de solos superficiais colapsíveis que ocorrem em várias regiões do Brasil, podendo atingir vários metros de profundidade. É o caso do solo estudado, comum na região de Campinas, no Estado de São Paulo, e em várias regiões do centro-sul do Brasil. Ocorrendo inundação deste solo superficial a estrutura pode sofrer deslocamentos indesejáveis.

* Doutor em Engenharia Agrícola, GEBASE Eng. de solos e fundações, Campinas
E-mail: gentil@gebase.com.br

** Prof. Associado, Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp - Universidade Estadual de Campinas.
E-mail: david@agr.unicamp.br

*** Prof. Dr., Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp - Universidade Estadual de Campinas.
E-mail: pjra@fec.unicamp.br

Neste trabalho foram realizadas provas de carga com carregamento horizontal em três estacas tipo ômega com 12m de comprimento e 0,37m de diâmetro. Os ensaios foram realizados com o solo na condição natural, pré-inundado e com a substituição parcial do solo superficial natural por solo-cimento. As provas de carga foram executadas no Campo Experimental de Fundações e Mecânica dos Solos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

2 – SOLO DO CAMPO EXPERIMENTAL

2.1 – Considerações gerais

As provas de carga foram realizadas no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp. Maiores detalhes sobre este Campo podem ser vistos em Carvalho et al. (1996, 2000). No Campo Experimental foram realizados diversos ensaios de campo e ensaios laboratoriais em amostras deformadas e indeformadas.

A Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, encontra-se situada na porção centro-leste do Estado de São Paulo, no município de Campinas. Sua posição geográfica é determinada pelas coordenadas 22°53'22" de Latitude sul e 47°04'39" de Longitude oeste. O clima da região é caracterizado por intensas chuvas nos meses de verão e por períodos de seca no inverno.

2.2 – Características geológicas e geotécnicas do solo

AO seu subsolo é composto por uma camada de solo superficial de espessura, aproximadamente, de 6m, de origem de diabásio e coluvionar, característico de 14% da região de Campinas. Essa camada é constituída de uma argila silto-arenosa, com porosidade elevada, laterítica e colapsível. Subjacente, há uma camada de solo saprolítico de silte argilo-arenoso, até uma profundidade de 19 m. O nível d'água se encontra a 17m, aproximadamente.

O Quadro 1 apresenta valores das propriedades índices e o Quadro 2 apresenta valores médios em profundidade parâmetros obtidos em ensaios do tipo SPT-T e CPT. Monacci (1995) analisou amostras indeformadas e verificou a colapsibilidade do solo até 8m de profundidade, obtendo índice de colapso máximo de 23,3 % para amostra entre 0,5 e 0,75m, de 15,5 % para 4,75 a 5,0m e de 5,3% para 7,75 a 8,0m. (conforme definido por Vargas (1978), que classifica como colapsível o solo com índice maior do que 2%).

Quadro 1 – Valores de índices físicos médios.

| Camada | w (%) | e | n (%) | Sr (%) | γ_s (kN/m ³) | γ_{nat} (kN/m ³) |
|-----------|-------|------|-------|--------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 0 a 6,5 m | 23,8 | 1,72 | 63,1 | 41,4 | 29,9 | 13,6 |
| 6,5 a 14m | 30,3 | 1,52 | 60,0 | 60,0 | 30,0 | 15,5 |

Obs.: w = teor de umidade, e = índice de vazios do solo, n = índice de porosidade, Sr = grau de saturação, γ_s = peso específico dos sólidos, γ_{nat} = peso específico natural.

Na Figura 1 são apresentados resultados do ensaio de dilatômetro de Marchetti realizado no subsolo local.

Quadro 2 – Ensaio de campo: valores médios de resultados de SPT-T e CPT.

| Solo | Prof. (m) | N_{SPT} | $T_{m\acute{a}x}$ (kgf.m) | T_{res} (kgf.m) | q_c (kPa) | f_c (kPa) |
|---|-----------|-----------|---------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| Argila silto-arenosa, marrom avermelhada | 1 | 4 | 1,7 | 0,0 | 392 | 28 |
| | 2 | 2 | 2,5 | 0,8 | 589 | 19 |
| | 3 | 3 | 1,7 | 0,4 | 883 | 36 |
| | 4 | 4 | 4,0 | 1,0 | 1324 | 63 |
| | 5 | 5 | 3,6 | 0,9 | 1864 | 85 |
| Concreção | 6 | 6 | 4,0 | 1,5 | 2502 | 130 |
| Silte argilo-arenoso, variegado (solo residual de Diabásio) | 7 | 5 | 3,6 | 2,0 | 2453 | 168 |
| | 8 | 5 | 5,7 | 4,0 | 2256 | 193 |
| | 9 | 5 | 5,7 | 4,8 | 2158 | 204 |
| | 10 | 6 | 8,0 | 6,0 | 2009 | 221 |
| | 11 | 7 | 8,8 | 5,9 | 2551 | 254 |
| | 12 | 10 | 12,0 | 8,0 | 2404 | 238 |
| | 13 | 10 | 9,8 | 7,3 | 2600 | 265 |
| | 14 | 7 | 10,0 | 6,5 | 2551 | 224 |
| | 15 | 6 | 13,0 | 9,0 | 2354 | 198 |

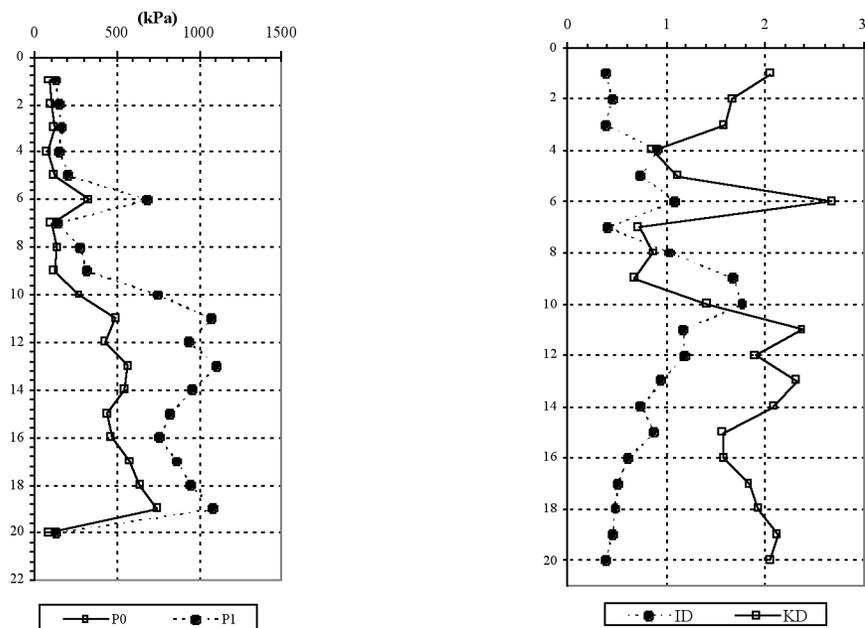


Fig. 1 – Resultados de ensaios DMT (Dilatômetro de Marchetti).

Na Figura 2 apresentam-se resultados de PL, EPM e da curva pressão x volume para profundidade de 2m de ensaios pressiométricos, tipo Menard.

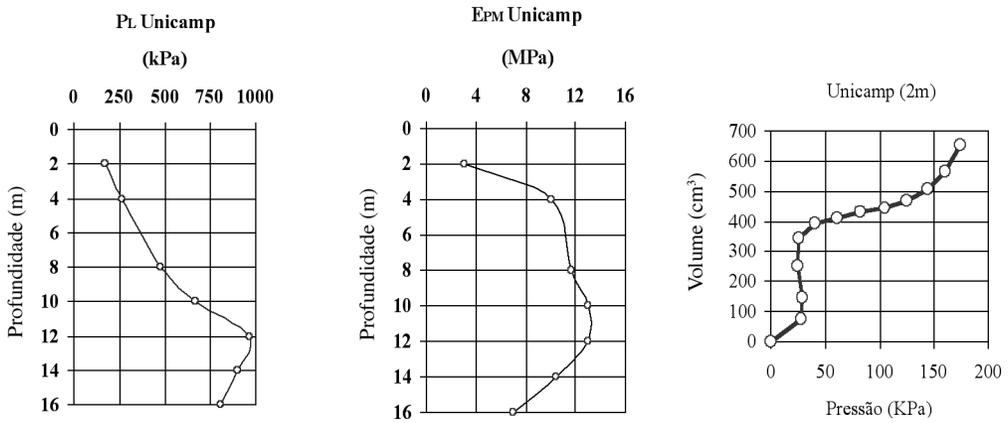


Fig. 2 – Resultados de ensaios pressiométricos tipo Menard.

3 – ESTACAS ENSAIADAS

A estaca ômega é uma estaca moldada "in loco". Para sua execução pode-se utilizar o mesmo equipamento estaca hélice contínua, trocando-se somente o trado. Seu processo de perfuração se dá pela descida do trado, que provoca o deslocamento lateral do solo, sem o transporte do mesmo à superfície.

As estacas ômega ensaiadas possuíam diâmetro nominal de 37cm com 12m de comprimento. O concreto foi bombeável, com consumo de cimento de 400kg/m³ e agregados (areia e pedrisco); slump-test 240mm. A armação longitudinal foi de quatro barras de 16,0mm, com 6m de comprimento; estribos de 6,3mm, a cada 20cm (aço CA-50), mais um tirante Dywidag de 12m de comprimento e 32,0mm de diâmetro posicionado na porção central da estaca. A finalidade do tirante foi proporcionar a posterior execução de ensaios de tração nas estacas (Figura 3).

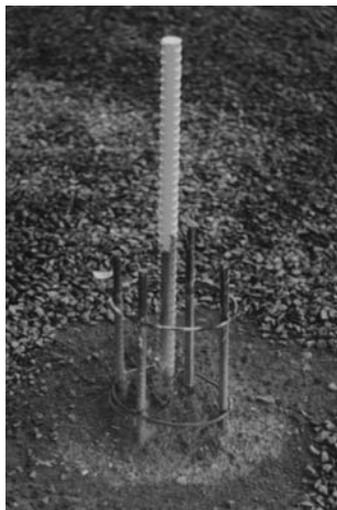


Fig. 3 – Barras de aço e tirante inseridos na estaca.

Uma das estacas ômega executadas no Campo Experimental foi extraída (Albuquerque, 2001) possibilitando obter diversas características geométricas. O módulo de elasticidade do concreto de estacas ômegas executadas foi, em média, 30GPa.

4 – PROVAS DE CARGA

4.1 – Esquema de montagem

O sistema utilizado nas provas de carga, conforme pode ser visto na Figura 4, foi constituído de uma célula de carga vazada (de 200kN na prova com solo natural e de 500kN nas com solo-cimento), macaco hidráulico manual vazado com capacidade de 500kN, indicador de leitura, relógios comparadores com precisão de 0,01mm, tirante, chapas de aço, rótula e vigas de referências. Um tirante central serviu de guia de todas as peças. Chapas de aço vazadas serviram para complementar o espaço de tal forma que o sistema ficasse bem encaixado evitando aplicar carga excêntrica, como frisam Reese e Van Impe (2001).

Os fustes das estacas foram previamente preparados concretando-se uma superfície com reentrâncias para encaixar o sistema de forma estável. Como reação, foram utilizadas outras estacas executadas no Campo Experimental. As provas de carga foram do tipo rápido, seguindo os procedimentos da NBR 12.131/92 (ABNT, 1992). A medida dos deslocamentos horizontais foi feita no nível de aplicação da carga.



Fig. 4 – Esquema de montagem das provas de carga.

4.2 – Condições de execução das provas de carga

As provas de carga foram realizadas com quatro situações do solo (estes números em parêntesis serão utilizados nos gráficos):

- (1) solo na umidade natural,
- (2) pré-inundando o solo natural,
- (3) melhorando o solo ao redor da estaca com solo-cimento compactado,
- (4) pré-inundando o solo-cimento.

A pré-inundação, nos dois casos, foi feita com 48hs de inundação nas escavações feitas ao redor das estacas ensaiadas, com dimensões, em planta, de 1m por 1m. Para garantir a inundação da cava, instalou-se um equipamento composto por uma bóia que mantinha uma lâmina d'água

constante de aproximadamente 10cm (Figura 5). No caso do solo reforçado com solo-cimento, garantiu-se que tanto o solo-cimento quanto o solo seguinte ao mesmo fossem inundados.



Fig. 5 – Preparo da pré-inundação.

O teor de solo-cimento adotado foi obtido a partir da moldagem de corpos de prova de proctor normal com alguns teores de cimento. Os corpos de prova foram rompidos após 7 dias de cura. Com base nos resultados obtidos em ensaios de compressão simples, verificou-se que o teor de cimento ideal seria de 14% em volume. Para a substituição do solo natural pelo solo cimento, foi escavada uma vala de 0,5m para cada lado do centro do fuste da estaca e 1,0m abaixo do ponto de aplicação da carga. A compactação do solo-cimento foi feita manualmente em camadas de 20cm (Figura 6). Utilizou-se a compactação manual, pois devido ao espaço reduzido houve dificuldade de utilização do equipamento mecânico.



Fig. 6 – Preparação do solo-cimento compactado no campo.

5 – RESULTADOS OBTIDOS

5.1 – Resultados das provas de carga

Nas Figuras 7 e 8 estão apresentadas as curvas carga versus deslocamento horizontal das estacas ômega 1 e 2 que foram ensaiadas com o solo na umidade natural, com solo-cimento e com solo-cimento pré-inundado.

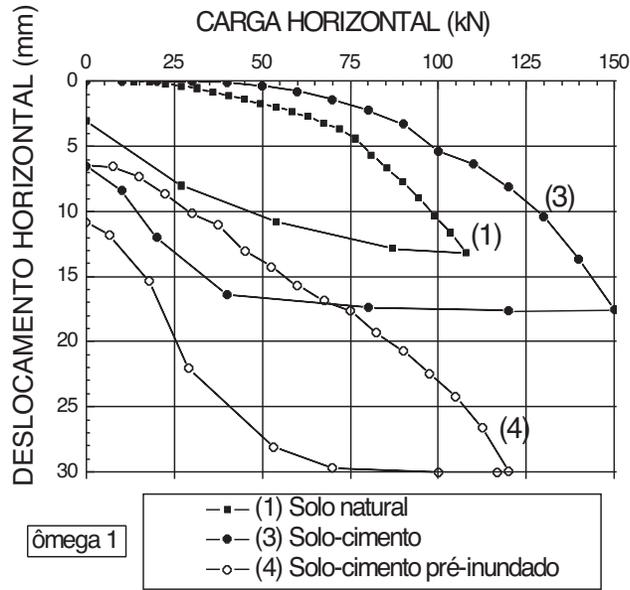


Fig. 7 – Curvas carga versus deslocamento da ômega 1.

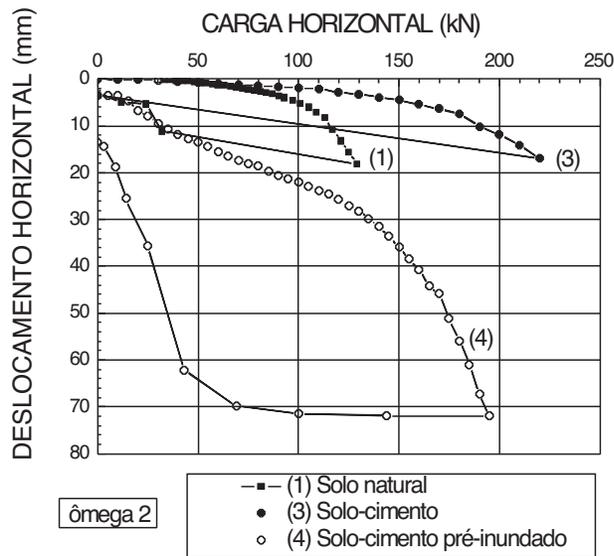


Fig. 8 – Curvas carga versus deslocamento da ômega 2.

A Figura 9 apresenta a curva da estaca ômega 3 que foi ensaiada com o solo com umidade natural, com solo pré-inundado e com solo-cimento.

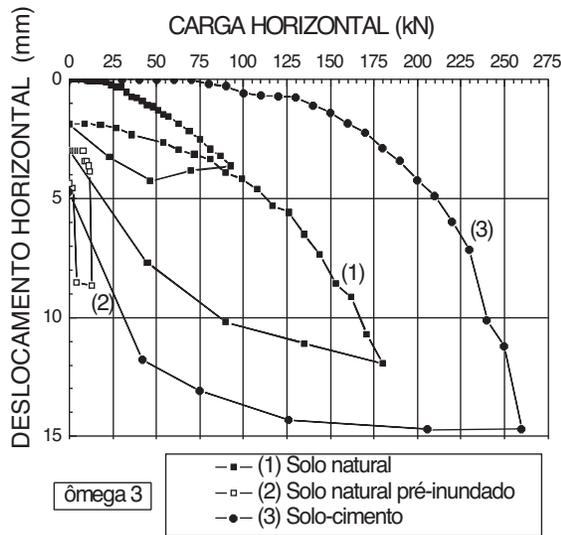


Fig. 9 – Curvas carga versus deslocamento da ômega 3.

5.2 – Carregamento

Na estaca ômega 3, na condição de solo na umidade natural, foram feitos 2 ciclos de carregamento. Verificou-se que no 2º ciclo os valores iniciais partindo do deslocamento residual do 1º ciclo, são superiores aos do 1º ciclo, porém ao chegar no nível da carga máxima do 1º ciclo, voltam a seguir a tendência da curva do 1.º ciclo.

Esta mesma tendência foi observada por Albuquerque (1996) e por Menezes et al. (2004).

5.3 – Efeito da pré-inundação do solo natural

O efeito da pré-inundação em solos com características colapsíveis é um acentuado aumento nos deslocamentos e, conseqüentemente, redução no coeficiente de reação horizontal. Este efeito foi comprovado na estaca ômega 3 para o caso de inundação do solo, e também nas ômega 1 e 2 para o caso da inundação do solo-cimento.

Na situação de pré-inundação do solo, no mesmo Campo Experimental, Albuquerque (1996) ensaiaram uma estaca pré-moldada de concreto. Os autores encontraram, para um mesmo deslocamento, redução da carga aplicada em torno de 50% com relação a condição de solo na umidade natural. Miguel (1996) em solo areno argiloso colapsível do Campo Experimental de São Carlos - SP, obteve para estacas raiz e apiloadas, resultados semelhantes. Menezes et al. (2004) obteve uma redução de 33% na carga aplicada para o deslocamento máximo do carregamento no solo natural, para um estaca pré-moldada no solo poroso arenoso colapsível coluvionar em Ilha Solteira- SP.

Neste trabalho o efeito com o solo natural pré-inundado foi estudado na estaca ômega 3. Para deslocamentos até 6mm (limite da execução desta prova de carga, devido ao muito maior deslocamento da estaca de reação) a redução da carga aplicada comparada ao do solo na umidade natural foi de 90%.

5.4 – Efeito da melhoria do solo

O reforço do solo através de compactação com solo-cimento apresenta uma acentuada melhora na curva carga versus deslocamento.

Neste trabalho a carga aplicada na estaca com o solo-cimento comparando com o solo natural para valores de deslocamento de 6mm teve um acréscimo da ordem de 30% para o caso da estaca ômega 1, de 52% para a ômega 2 e de 69% para a ômega 3.

Menezes et al. (2004) obteve um ganho de cerca de 60% na carga aplicada para o valor de deslocamento máximo ao carregamento com o solo natural.

5.5 – Efeito da pré-inundação do solo-cimento

Para a situação de solo-cimento pré-inundado a redução da carga para deslocamentos entre 6 mm foi da ordem de 52% para a ômega 1 e de 82% para a ômega 2.

5.6 – Comparação entre todas as situações

Apresenta-se no Quadro 3 as cargas aplicadas nas diversas situações do solo para atingir o deslocamentos médio 6 mm. Apresenta-se no Quadro 4 uma comparação em porcentagem entre cargas aplicadas nas quatro condições do solo para atingir deslocamentos de 6 mm.

Quadro 3 – Valores de carga obtidos nas provas de carga para deslocamentos de 6 mm.

| Carga (kN) | estaca | (1) Solo natural | (2) Solo natural pré-inundado | (3) Solo cimento | (4) Solo-cimento pré- inundado |
|------------|---------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 6mm | ômega 1 | 82,4 | – | 106,5 | 43,1 |
| | ômega 2 | 104,7 | – | 159,5 | 18,4 |
| | ômega 3 | 130,0 | 13,1 | 220,2 | – |

Quadro 4 – Comparação em porcentagem entre cargas para mesmos deslocamentos para situações de provas de carga.

| Carga (kN) | estaca | (2) / (1) Solo pré-inundado /solo natural | (3) / (1) Solo cimento/ solo natural | (4) / (3) Solo-cimento pré- inundado/solo-cimento |
|------------|---------|---|--|---|
| 6mm | ômega 1 | – | 129 % | 40 % |
| | ômega 2 | – | 152 % | 12 % |
| | ômega 3 | 10 % | 169 % | – |

6 – COEFICIENTE DE REAÇÃO HORIZONTAL DO SOLO

O solo da primeira camada do Campo Experimental da Unicamp apresenta um comportamento de solo arenoso, apesar de ser caracterizado com uma argila arenosa, conforme observado neste e em trabalhos anteriores.

Para solos com características de deformação proporcionais à profundidade, como os solos de comportamento arenoso e as argilas normalmente adensadas, uma solução freqüentemente utilizada na solução de estacas carregadas transversalmente é a de Matlock e Reese (1961).

Para o caso de uma estaca longa submetida a um esforço transversal no topo, o coeficiente de reação horizontal é obtido pela seguinte equação (1):

$$n_h = \frac{4,42 \cdot H^{\frac{5}{3}}}{y^{\frac{5}{3}} \cdot (E \cdot I)^{\frac{2}{3}}} \quad (1)$$

Em que H = carga aplicada no topo da estaca; y = deslocamento horizontal no nível do carregamento; E= módulo de elasticidade da estaca; I= momento de inércia da estaca.

Para a determinação do valor do coeficiente de reação horizontal, utilizam-se curvas deslocamento na superfície *versus* o coeficiente de reação horizontal. Para definir um valor de n_h é preciso adotar um intervalo de valores do deslocamento horizontal. Tendo em conta valores de deslocamento admissíveis numa estrutura, adotou-se como critério valores entre 4,0 e 8,0mm. Cintra (1981) adotou este intervalo entre 4,0 a 8,0mm. O intervalo entre 6,0 e 12mm, foi adotado por Miguel (1996), por Albuquerque (1996) e por Menezes et al. (2004). Um intervalo próximo (entre 6,35 a 12,70mm) foi adotado por Alizadeh e Davisson (1970).

6.1 – Curvas dos coeficientes de reação horizontal versus deslocamento horizontal na superfície

As Figuras 10 a 12 apresentam as curvas $n_h \times y_0$, ou seja, curvas coeficiente de reação horizontal *versus* deslocamento horizontal no ponto de aplicação da carga para as três estacas.

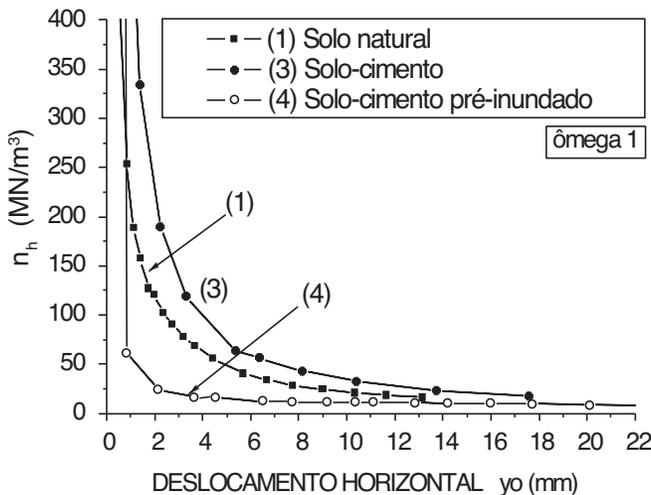


Fig. 10 – Curvas coeficiente de reação horizontal *versus* deslocamento para a estaca ômega 1.

6.2 – Valores do coeficiente de reação horizontal

O Quadro 5 apresenta os valores de n_h para as diversas situações de provas de carga.

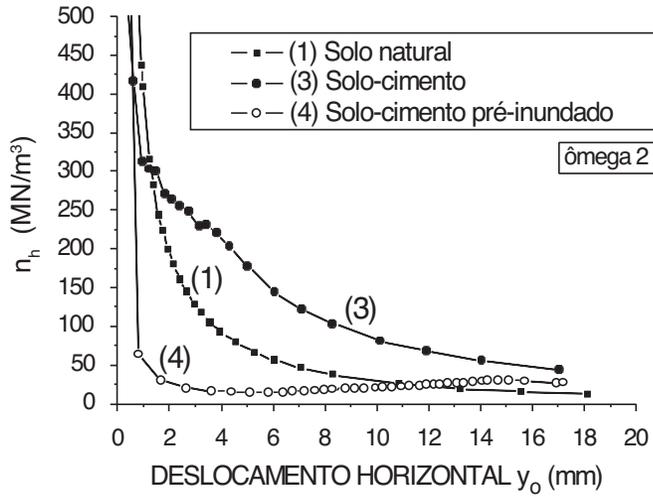


Fig. 11 – Curvas coeficiente de reação horizontal *versus* deslocamento para a estaca ômega 2.

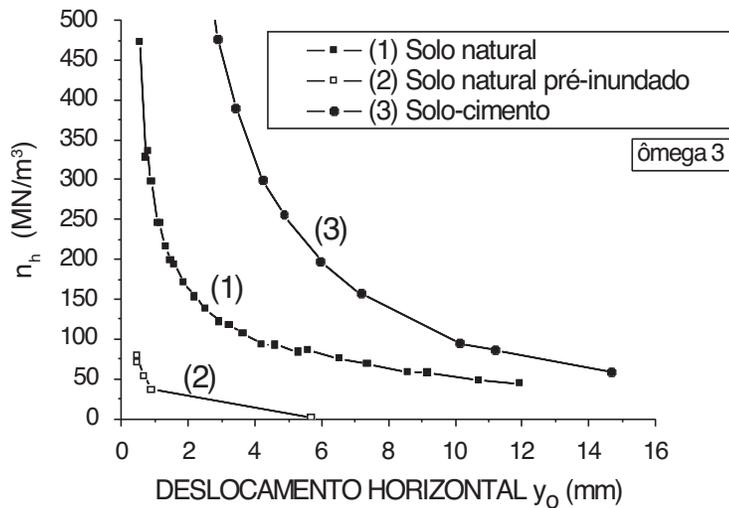


Fig. 12 – Curvas coeficiente de reação horizontal *versus* deslocamento para a estaca ômega 3.

Quadro 5 – Valores de n_h (MN/m³) obtidos

| estacas | (1) Solo natural | (2) Solo natural pré-inundado | (3) Solo-cimento | (4) Solo-cimento pré-inundado |
|---------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| ômega 1 | 41,66 | – | 62,50 | 13,62 |
| ômega 2 | 63,19 | – | 161,35 | 16,24 |
| ômega 3 | 83,14 | 1,92 | 228,78 | – |
| MÉDIA | 62,66 | – | 150,88 | 14,93 |

Analisando os valores do Quadro 5, verifica-se que a melhoria do solo natural através do emprego da mistura com solo-cimento compactado geram crescimentos que variam de cerca de 50% a 170% no coeficiente de reação horizontal. Na situação de solo-cimento pré-inundado os valores se reduzem a cerca de 10% dos valores obtidos para a condição de solo-cimento em solo natural. Da condição de solo-cimento pré-inundado comparados com o solo natural a redução é em torno de 70%, porém muito superior a da condição de solo natural pré-inundado.

Menezes (2004) observou uma redução do n_h devido à inundação do solo na umidade natural em 35%. Miguel (1996) chegou nesta mesma situação para alguns tipos de estacas a uma redução entre 40 a 69%, em função do tipo de estaca.

Comparando-se com valores apresentados por Alonso (1989), que indica coeficientes de reação horizontal para solos arenosos fofos de $2,6\text{MN/m}^3$ para solo seco e de $1,5\text{MN/m}^3$ para submerso, verifica-se que os valores obtidos neste trabalho nas provas de carga com as estacas ômega foram bem superiores a estes para solo na umidade natural e próximos para a situação de solo natural pré-inundado.

Na determinação de n_h , visto que as deformações do “bloco de solo-cimento” são muito inferiores às do solo natural, considerou-se que este conjunto (estaca e o bloco de solo-cimento) trabalhou solidariamente no deslocamento do solo.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta resultados de provas de cargas horizontais realizadas em três estacas ômega, com o solo superficial em quatro situações distintas (solo natural; solo inundado; solo melhorado com cimento e compactado; solo melhorado com cimento e compactado, na situação inundada).

Em situações em que a estrutura sofre esforços horizontais e em que o solo superficial é colapsível, a inundação do terreno (acidente provocado por vazamento de uma tubulação, chuvas intensas etc.) pode provocar deslocamentos horizontais danosos para a estrutura. Nesse caso de solos superficiais colapsíveis e/ou de baixa capacidade de suporte, apresenta-se uma alternativa de melhoria das condições, através da troca do solo superficial por solo-cimento compactado ao redor do fuste. Neste trabalho esta troca foi de 1m de largura por 1m de profundidade.

Com a melhoria do solo com o solo-cimento, mesmo ocorrendo uma inundação do mesmo, os deslocamentos horizontais podem ficar em níveis aceitáveis para a estrutura.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, P.J.R. (1996) *Análise do comportamento de estaca pré-moldada de pequeno diâmetro, instrumentada, em solo residual de diabásio da região de Campinas*. Dissertação de Mestrado, Feagri-Unicamp, 1996. 170f
- Albuquerque, P.J.R. (2001) *Estacas Escavadas, Hélice Contínua e Ômega: Estudo do Comportamento à Compressão em Solo Residual de Diabásio, através de Provas de Carga Instrumentadas em Profundidade*, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, 260p.
- Alizadeh, M. e Davisson, M.T. (1970) *Lateral Load Tests on Piles*. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE, vol. 96, no. 5, p. 1583-1604.

- Alonso, U.R. (1989) *Dimensionamento de Fundações Profundas*. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 169 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT (1992) *Provas de Carga*. NBR 12.131/1992.
- Carvalho, D; Albuquerque, P.J.R.; Claro, A.T.; Ferreira, C.V. (1996) *Análise de Estaca Carregada Transversalmente no Topo, em Solo Residual de Diabásio*. SEFE III. São Paulo. Vol 1, p. 145-154.
- Carvalho, D, Albuquerque, J.R.A. e Giachetti, H.L. (2000) *Campo Experimental para Estudos de Mecânica dos Solos e Fundações*, IV SEFE, São Paulo, Vol. 3, p. 90-100.
- Cintra, J.C. A. (1981) *Uma Análise de Provas de Carga Lateral em Estacas e Comparação com os Métodos da Teoria Horizontal do Solo*, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – U.S.P., 150 p.
- Matlock, H. e Reese, L.C. (1961) *Foundation Analysis of Offshore Pile Supported Structures*. Proc. Fifth Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, v.2, p. 91-97.
- Menezes, S.M., Carvalho, D, Sampaio, F.M.T e Ribeiro, K.D. (2004) *Determinação do Coeficiente de Reação Horizontal do Solo em estacas Pré-moldadas de Concreto cravadas em Solo de Alta Porosidade*. V SEFE, São Paulo, Vol. 2, p. 507 –516.
- Miguel, M.G. (1996) *Execução e Análise de provas de carga Horizontal em Estacas em Solo Colapsível*. Dissertação de Mestrado, E.E.S.C., USP, 162 p.
- Monacci, M.G. (1995) *Estudo da Colapsibilidade de um Solo do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, 130 p.
- Reese, L.C. e Van Impe W.F. (2001) *Single Piles and Pile Groups Under Lateral Loading*, Rotterdam, Balkema, 463 p.
- Vargas, M. (1978) *Introdução à Mecânica dos Solos*, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil Ltda, 509 p.