

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PRÉ-CARREGAMENTO EM ESTACAS ESCAVADAS COM TRADO MANUAL, EM SOLO COLAPSÍVEL DA REGIÃO DE LONDRINA/PR.

Leonardo Guerra<sup>1</sup>, Miriam Gonçalves Miguel<sup>1</sup> e Antonio Belincanta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Construção Civil/Universidade Estadual de Londrina

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Civil/Universidade Estadual de Maringá

### RESUMO

O presente trabalho analisa o comportamento de fundações por estacas escavadas com trado manual (brocas) de concreto, sem o uso de revestimento, com diâmetro de 25 cm e comprimento de 3 m, quando submetidas a provas de carga estática à compressão (MB-3472), em solo argiloso, poroso, de consistência mole a média, laterítico e colapsível da região de Londrina/PR. As provas de carga foram realizadas no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica (CEEG) da UEL, primeiramente com o solo pré-inundado por 48 horas (ensaio com inundação) e reensaaiadas com o solo sem inundação (reensaio sem inundação). Os resultados são comparados com aqueles obtidos em iguais fundações, seguindo o procedimento usual de ensaio, que consiste no ensaio sem inundação e posterior reensaio com inundação. Dessa maneira, pretende-se verificar a influência do ensaio (pré-carregamento) no comportamento das fundações reensaaiadas.

### 1. INTRODUÇÃO

As estacas escavadas com trado manual, sem revestimento, são muito utilizadas em obras de pequeno porte na região de Londrina/PR pois sua execução é facilitada em solos argilosos porosos, com consistência mole a média, típico da camada superficial do subsolo da região. Esta camada de solo superficial também se classifica como laterítica e colapsível, trazendo sérios problemas com relação às fundações em estacas curtas, embutidas totalmente nesta camada, como é o caso dessas estacas (Cintra,1998).

O solo colapsível é aquele que sofre deformação brusca e considerável quando inundado e submetido a um carregamento. A influência da colapsibilidade do solo no comportamento de fundações é avaliada utilizando o procedimento usual de ensaio que consiste em submeter as fundações às provas de carga, primeiramente, com o solo sem inundação (ensaio) e, posteriormente, com o solo pré-inundado por 48 horas (reensaio).

Verifica-se assim, a redução na capacidade de carga das fundações comparando os resultados obtidos no ensaio e no reensaio. Porém, esta redução também traz consigo a influência do primeiro ensaio (pré-carregamento) no resultado do segundo.

Portanto, neste trabalho, as provas de carga à compressão foram realizadas em estacas escavadas com trado manual (brocas), de concreto (diâmetro de 25 cm, comprimento de 3 m), com o solo pré-inundado por 48 horas (ensaio), sem anterior pré-ensaio e após reensaaiadas com o solo sem inundação. Os resultados são comparados com aqueles obtidos em iguais fundações, seguindo o procedimento usual de ensaio.

### 2. METODOLOGIA

As estacas escavadas (brocas) foram executadas no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica (CEEG) da Universidade Estadual de Londrina (UEL), com 25 cm de diâmetro até a profundidade de 3 metros, sem o uso de revestimento, utilizando trado manual, conforme a NBR-6122 (1996), e preenchidas por concreto moldado “in loco”, de resistência média à compressão de 13 MPa. Optou-se por utilizar um concreto com as mesmas características daqueles comumente utilizados nas edificações convencionais de pequeno porte na região. Após a concretagem foram dispostas 3 barras de  $\varnothing$  8mm e de 1 m de comprimento.

Sobre as estacas foram executados os blocos de coroamento, com formato quadrado com os lados equivalendo a 30 cm. Para a armadura dos blocos foram utilizadas barras de 6,3 mm em forma de 8 estribos verticais (sendo estes divididos em duas direções) e 4 estribos horizontais. O espaçamento entre os estribos foi de 10 cm e o cobrimento foi de 1,5 cm. Para execução dos mesmos foi utilizada a fôrma de madeira tipo compensado.

As estacas executadas foram submetidas ao reensaio com o solo no teor de umidade natural, porém as mesmas já haviam sido ensaiadas com o solo pré-inundado (Guerra & Miguel, 2002). As provas de carga foram do tipo mistas (Alonso, 1997) e as cargas de ruptura das fundações foram estimadas pelo método de Décourt & Quaresma (1978) encontradas na Tabela 1, tendo como base o furo de sondagem SPT-T, executado próximo às estacas (Figura 1).

**Tabela 1.** Valor da capacidade de carga (Décourt & Quaresma, 1978).

| <b>Estacas Brocas</b> | <b><math>P_u</math> (kN)</b> | <b><math>P_{adm}</math> (kN)</b> |
|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|
| D = 25 cm e L = 3 m   | 46,7                         | 23,4                             |

As provas de carga consistiram, basicamente, em aplicar esforços estáticos crescentes à estaca e registrar os deslocamentos correspondentes. Os esforços aplicados foram axiais de compressão porque são os esforços mais comuns a que este tipo de fundação.

O dispositivo de aplicação da carga foi constituído por um macaco hidráulico (2000 kN) alimentado por uma bomba manual, atuando contra um sistema de reação estável. O conjunto foi projetado, montado e utilizado de forma que a carga aplicada atuasse na direção vertical, sem produzir choques ou vibrações.

Duas estacas tipo Strauss, concretadas sem apiloamento do concreto, com diâmetro de 32 cm e comprimento 8 m foram utilizadas como reação para as provas de carga. Estas estacas foram dimensionadas para atender a realização do ensaio e projetadas com capacidade de carga à tração. Durante o ensaio, o comportamento das estacas de reação foi verificado através do controle de deformação por extensômetros mecânicos.

Durante as provas de carga foram realizadas medidas das cargas aplicadas, dos deslocamentos verticais do topo da estaca e do tempo de realização de cada medida. As cargas aplicadas no topo da estaca foram medidas através de uma célula de carga com 200 kN de capacidade de carga, permitindo assim uma maior precisão dos resultados.

Os extensômetros usados para leitura dos recalques das fundações foram do tipo mecânico com cursor de 50 mm e de 30 mm e resolução 0,01 mm, apoiados a 6 bases magnéticas fixas em vigas de referência.

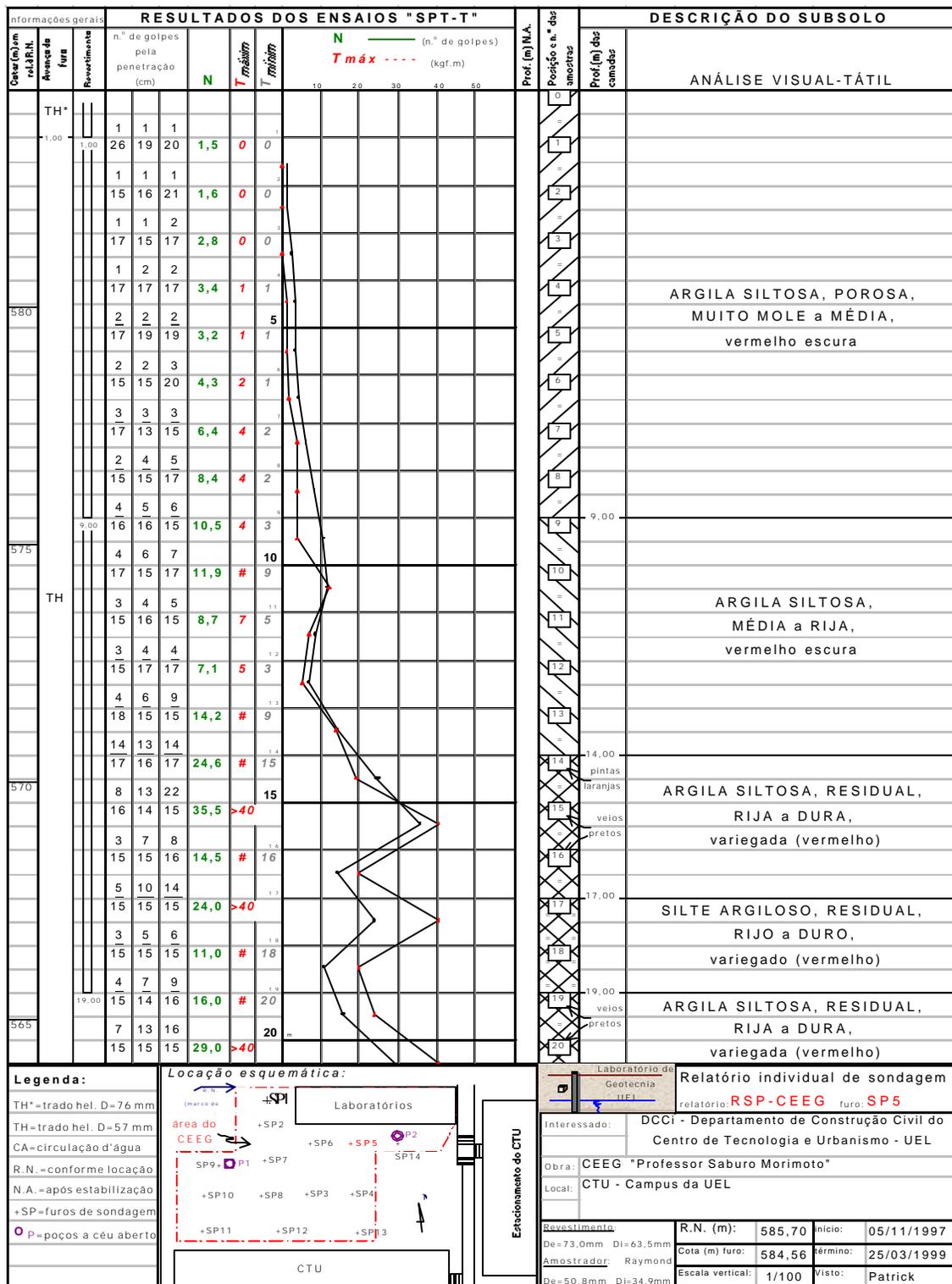


Figura 1. Furo de sondagem SPT-T próximo às estacas ensaiadas

### 3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Com os resultados das provas de carga foram plotadas curvas *carga versus recalque* (Figura 2) e obtidos os valores das capacidades de carga ( $P_u$ ), das cargas admissíveis ( $P_{adm}$ ) com solo sem inundação, das cargas de colapso ( $P_c$ ), das cargas admissíveis para o colapso ( $P_{c,adm}$ ) com inundação do solo e dos recalques admissíveis correspondentes ( $r_{adm}$  e  $r_{c,adm}$ ), apresentados na Tabela 2.

Os fatores de segurança utilizados para a determinação das cargas admissíveis foram os valores de 2,0, para o solo na condição sem inundação, e o valor de 1,5, para o solo na condição com inundação. A diminuição do fator de segurança para as fundações com o solo inundado se justifica através de suas curvas tracejadas da Figura 2, onde demonstraram que, nas cargas admissíveis, os recalques correspondentes são próximos ao encontrados para as fundações com o solo sem inundação.

Para determinação da capacidade de carga com o solo sem inundação foi utilizado o método de Van der Veen (1953) por esta fundação apresentar ruptura física (Cintra, 1999). Na condição do solo com inundação, em função da presença do colapso ter acarretado uma descontinuidade na curva *carga versus recalque*, a carga de colapso não pode ser obtida por esse método, sendo determinada pelo próprio gráfico, representada pela carga que provoca o colapso.

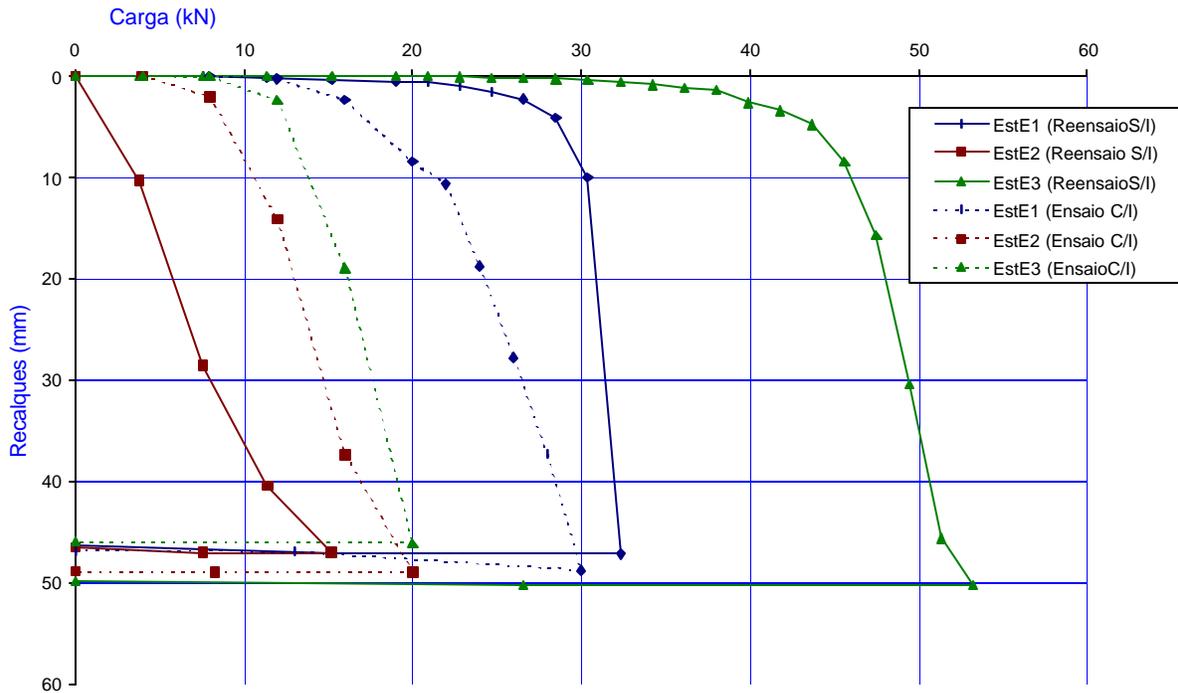
As curvas *carga versus recalque* obtidas nas provas de carga executadas em iguais fundações por estacas porém ensaiando-as primeiramente na condição do solo natural e depois reensaiando-as na condição do solo com inundação (Costa Branco et al., 2001), estão apresentadas na Figura 3. Os valores médios das capacidades de carga, das cargas admissíveis e dos recalques admissíveis estão apresentados na Tabela 3, para ambas as condições do solo. Os fatores de segurança utilizados foram 2,0 (condição não inundada do solo) e 1,5 (solo inundado).

### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tendo em vista os valores das cargas apresentados nas Tabelas 2 e 3, observa-se uma redução nos valores das capacidades de carga das fundações quando o solo é inundado, em virtude da colapsibilidade. As fundações sofrem uma redução de 55 % na capacidade de carga quando são ensaiadas sem inundação e após reensaiadas com solo com inundação como mostra a Tabela 3 (Costa Branco et al., 2001).

Observando as Tabelas 2 e 3, os ensaios com inundação do solo (sem pré-carregamento) proporcionaram maiores recalques referentes à carga admissível (0,31 mm) que os reensaios com inundação (0,21 mm). Os ensaios sem inundação também apresentaram maiores recalques admissíveis (0,65 mm) que o reensaios sem inundação (0,33 mm). Nos reensaios ocorre um aumento de resistência do solo (aumento dos contatos interpartículas) acarretando uma diminuição dos recalques (Mascarenhas et al., 2002).

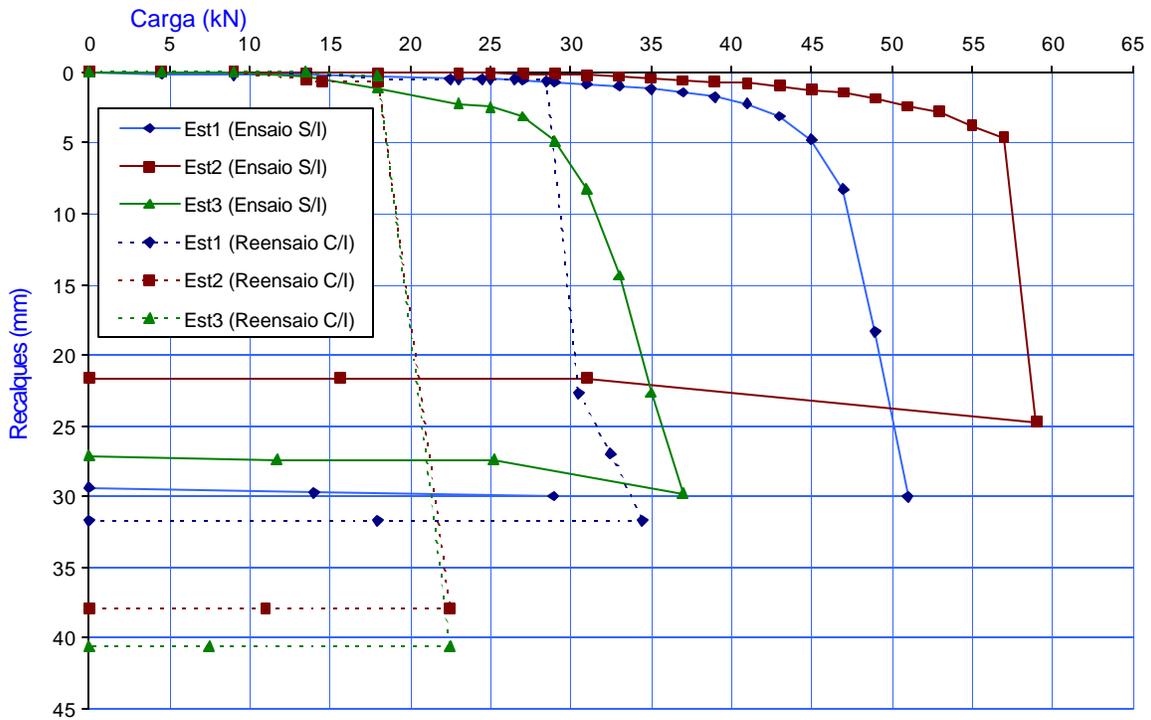
Comparando as capacidades de carga dos ensaios sem inundação com as cargas de colapso obtidas nos ensaios com inundação (sem pré-carregamento) nota-se uma redução de 76 % (Tabela 2). Acredita-se que este fato se dá em função de uma possível aquisição de resistência de ponta durante o ensaio sem inundação (pré-carregamento), refletindo numa maior resistência nos reensaios com inundação que nos ensaios com inundação.



**Figura 2.** Curvas *Carga versus Recalque*. Ensaio com inundação e reensaio sem inundação do solo. (Estacas Brocas L = 3m e D = 25cm).

**Tabela 2.** Valores de Capacidade de Carga ( $P_u$ ), Carga Admissível ( $P_{adm}$ ), Carga de Colapso ( $P_c$ ), Carga Admissível no Colapso ( $P_{c,adm}$ ), Recalque Admissível ( $r_{adm}$ ) e Recalque Admissível no Colapso ( $r_{c,adm}$ ) para as curvas da Figura 2.

| Estacas Brocas com L = 3 m e D = 25cm    |   |                  |                  |
|--|---|------------------|------------------|
| Ensaio com o solo <b>com inundação</b>   |   |                  |                  |
| Estacas                                  | $P_c$ (kN)                                      | $P_{c,adm}$ (kN) | $r_{c,adm}$ (mm) |
| 1  | 16,0  | 10,7             | 0,21             |
| 2  | 8,0   | 5,3              | 0,67             |
| 3  | 12,0  | 8,0              | 0,05             |
| Média                                    | 12,0  | 8,00             | 0,31             |
| Reensaio com o solo <b>sem inundação</b> |   |                  |                  |
| Estacas                                  | $P_u$ (kN)                                      | $P_{adm}$ (kN)   | $r_{adm}$ (mm)   |
| 1  | 32,31   | 16,15            | 0,45             |
| 2  | <i>desconsiderada por problemas estruturais</i> |                  |                  |
| 3  | 53,47   | 26,7             | 0,22             |
| Média                                    | 42,9  | 21,4             | 0,33             |



**Figura 3.** Curvas *Carga versus Recalque*. Ensaio sem inundação e reensaio com inundação do solo. (Estacas Brocas  $L = 3\text{m}$  e  $D = 25\text{cm}$ ).

**Tabela 3.** Valores Médios de Capacidade de Carga ( $P_u$ ), Carga Admissível ( $P_{adm}$ ), Carga de Colapso ( $P_c$ ), Carga Admissível no Colapso ( $P_{c,adm}$ ), Recalque Admissível ( $r_{adm}$ ) e Recalque Admissível no Colapso ( $r_{c,adm}$ ) para as curvas da Figura 3.

| Estacas Brocas com $L = 3\text{m}$ e $D = 25\text{cm}$ |                  |                  |
|--|------------------|------------------|
| Ensaio com o solo sem inundação                        |                  |                  |
| $P_u$ (kN)   | $P_{adm}$ (kN)   | $r_{adm}$ (mm)   |
| 49,0   | 24,5             | 0,65             |
| Reensaio com o solo com inundação                      |                  |                  |
| $P_c$ (kN)   | $P_{c,adm}$ (kN) | $r_{c,adm}$ (mm) |
| 21,5   | 14,3             | 0,21             |

Com relação aos ensaios sem inundação percebe-se que as fundações ensaiadas (sem pré-carregamento) obtiveram a média das capacidades de carga pouco maior que aquelas reensaiadas sem inundação do solo (com pré-carregamento na condição inundada).

Marcarenhas et al (2002), através de provas de carga cíclicas em estacas escavadas em solo colapsível de Brasília/DF, observaram que o recarregamento das estacas aumentava a resistência do solo, sendo que este aumento de resistência havia sido mais evidente nos primeiros ciclos de carregamento. E concluem que, após o colapso estrutural total não se tem mais ganho de resistências, pois todos os contatos já foram estabelecidos. O ganho de resistência devido ao colapso, para esses autores, se daria por aumento no número de contatos no plano de ruptura até um determinado limite.

## 5. CONCLUSÃO

As capacidades de carga das fundações ensaiadas com inundação do solo e depois reensaiadas sem inundação foram, respectivamente, 12 kN e 43 kN. As cargas admissíveis médias, para as primeiras fundações, utilizando fator de segurança igual a 1,5, foram de 8 kN e para as segundas, utilizando FS = 2,0, foram de 21,4 kN. Os recalques admissíveis, respectivamente, foram de 0,31 mm e 0,33 mm.

O método de Décourt & Quaresma (1978) para a estimativa da capacidade de carga sem inundação foi um pouco conservador, pois apresentou valores desta capacidade de carga menores que aquelas obtidas em campo. Nota-se que este método não apresenta boa concordância para fundações embutidas em solos lateríticos, típicos da região de Londrina/PR. Dessa maneira, a utilização desse método para estimativa de capacidade de carga em fundações na região ficará dependendo da obtenção de fatores de correções específicos para a resistência de ponta ( $\alpha$ ) e para a resistência lateral ( $\beta$ ).

A inundação do solo, independente das condições do solo nos ensaios (pré-carregamento), provoca diminuição da capacidade de carga dessas fundações, devido a colapsibilidade. As fundações sofrem uma redução de 55 % na capacidade de carga quando são ensaiadas com o solo sem inundação e reensaiadas com solo com inundação (COSTA BRANCO, et al. 2001). Comparando as capacidades de carga dos ensaios sem inundação com as cargas de colapso obtidas nos ensaios com inundação (sem pré-carregamento) nota-se uma redução de 76 %.

Acredita-se numa possível aquisição de resistência de ponta durante o ensaio sem inundação (pré-carregamento), refletindo em maiores capacidades de carga nos reensaios com inundação comparadas com as encontradas nos ensaios com inundação.

Nos reensaios, tanto com o solo inundado ou não inundado, ocorre um aumento de resistência do solo representada pelo aumento dos contatos interpartículas, acarretando assim uma diminuição dos recalques admissíveis.

As fundações ensaiadas (sem pré-carregamento) na condição do solo sem inundação obtiveram a média das capacidades de carga pouco maior que aquelas reensaiadas sem inundação do solo (com

pré-carregamento na condição inundada).

## AGRADECIMENTOS

Ao técnico Pedro Cândido de Souza de laboratório de Mecânica dos Solos da UEL, à Prefeitura do Campus Universitário da UEL, ao Laboratório de Topografia do Departamento de Geociências da UEL, à Universidade Estadual de Maringá, à Universidade de São Paulo/Campus São Carlos, à Construtora Construblok Ltda, à Monfer Ferramentas e à Basestac.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1991) “Estacas – Prova de Carga Estática”. MB – 3472, Rio de Janeiro – RJ, 4p.
- ABNT (1996) “Projeto de Fundações”. NBR-6122, Rio de Janeiro – RJ.
- ALONSO, Urbano R. (1997) “Prova de Carga Estática em Estacas (Uma Proposta para Revisão da Norma NBR 12.131)”. *Solos e Rochas*, São Paulo, n. 20.
- COSTA BRANCO, C. J. M.; MIGUEL, M. G.; TEIXEIRA, R. S.; VESSARO, P.; GUERRA, L.; e BELINCANTA, A. (2001) “Capacidade de Carga de Estacas Escavadas com Trado Manual em Solo Colapsível de Londrina/PR”. *II Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura de Maringá*. II ENTECA, 10 a 14 de Setembro, Maringá/PR, p.439 a 444.
- CINTRA, José C. A.; AOKI, Nelson (1999) “Carga Admissível de Fundações Profundas”. São Carlos: EESC/USP, 61p.
- CINTRA, J. C. A. (1998) “Fundações em Solos Colapsíveis”. São Carlos: Serviço Gráfico da EESC/USP, São Carlos/SP, 116p.
- DÉCOURT, L. & QUARESMA, A. R. (1978) “Capacidade de Carga de Estacas a partir de Valores de SPT”. *Anais do VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*. Rio de Janeiro, volume 1, p.45-54.
- GUERRA & MIGUEL (2002) “Análise da Influência do Pré-Carregamento dos Ensaios na Capacidade de Carga de Estacas Tipo Broca de Diâmetro de 25 cm em Solo Colapsível da Região de Londrina/PR”. In: *XI Encontro Anual de Iniciação Científica*, Maringá/PR.
- MASCARENHAS, M. M. dos A.; GUIMARÃES, R. C. e CARVALHO, J. C. (2002) “Influência do Recarregamento nos Resultados de Provas de Carga em Estacas Escavadas Assentes em Solos Porosos Colapsíveis”. *XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, São Paulo/SP, v.3, p.1617-1626.
- VAN DER VEEN, C. (1953) “The Bearing Capacity of a Pile”. *Proc.: Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Zurich, v. 2, p. 84-90.