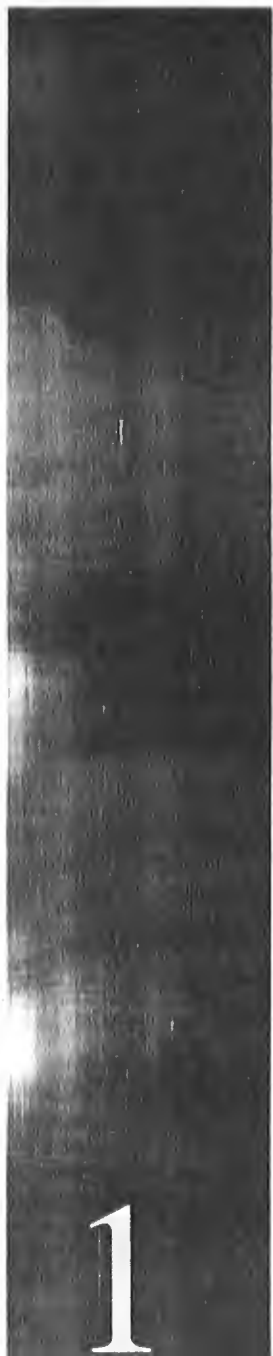


SEFE II

2º SEMINÁRIO DE ENGENHARIA
DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS
19-21 NOV. 1991 SÃO PAULO



1

ANAIS

SYSNO	820808
PROD	001753
MEROV EESC	

st. 820808

CAMPO EXPERIMENTAL DE FUNDAÇÕES EM SÃO CARLOS

José Carlos A. Cintra - EESC/USP
David de Carvalho - FEAGRI/UNICAMP
Heraldo Luiz Giacheti - FEG/UNESP
Antonio Airtton Bortolucci - EESC/USP
José Henrique Albiero - EESC/USP

RESUMO

Faz-se a apresentação do campo experimental de fundações, implantado no Campus da USP em São Carlos, detalhando-se as pesquisas já realizadas e as que estão em andamento. Mostra-se a caracterização geológico-geotécnica do local, cujo perfil típico é representativo de vasta região. Apresentam-se os resultados dos ensaios realizados "in situ" (SPT, CPT e "cross-hole") e um dos ensaios realizados em laboratório (coluna ressonante). Comenta-se a realização de provas de carga estáticas, à compressão e à tração, em estacas dos tipos escavada e raiz.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as várias linhas de pesquisas desenvolvidas pelo Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, destaca-se a de Fundações por Estacas, que foi iniciada com o trabalho pioneiro de ALBIERO (1972) sobre o comportamento de estacas isoladas, escavadas, do tipo broca.

Enfocando apenas os trabalhos experimentais realizados dentro do próprio Campus de São Carlos, o marco seguinte foi a introdução da extensometria elétrica por CINTRA (1977) no estudo, em laboratório, de modelos de grupos de estacas cravadas em areia.

Em seguida, com o fortalecimento da pós-graduação na área de Geotecnia, em São Carlos, partiu-se para um projeto mais ambicioso, a implantação de um campo experimental de fundações, viabilizado pela aprovação de um auxílio de vulto, em 1988, pela FAPESP, que aliás, já financiara as duas pesquisas anteriores. Devido à importância do projeto, o Conselho do Campus destinou uma área de 400 m² para o campo experimental de fundações. A partir daí os trabalhos deixaram de ser individuais, e passaram a envolver vários pesquisadores em cada projeto.

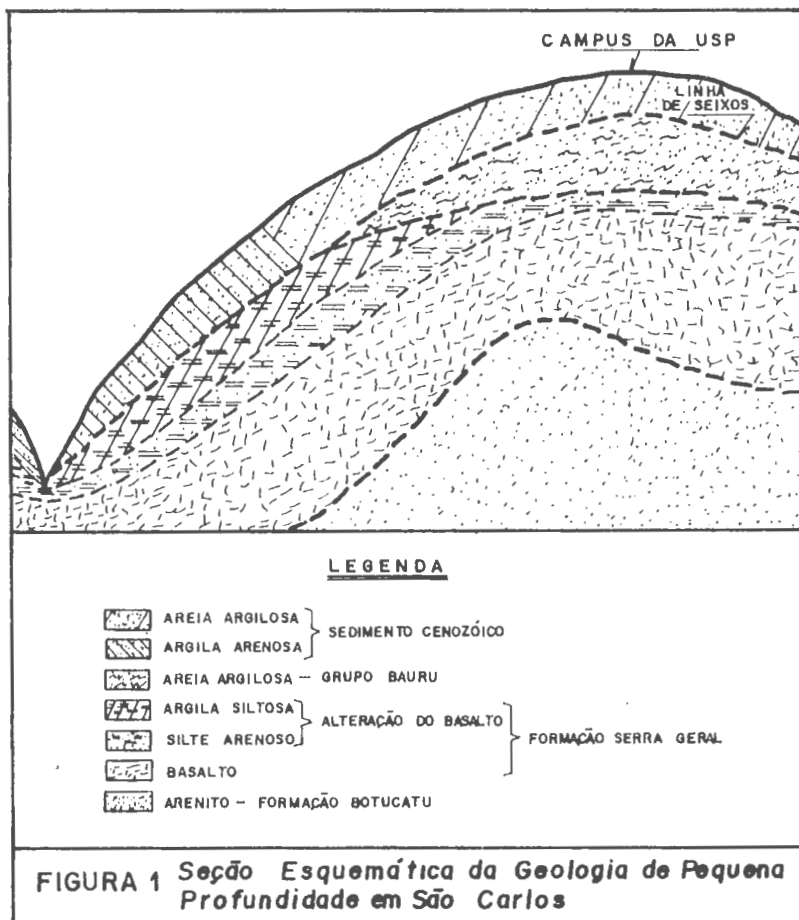
Nesse campo, foram desenvolvidas pesquisas experimentais sobre o comportamento de estacas isoladas instrumentadas, tracionadas e comprimidas. Foram ensaiadas estacas de 10 m de comprimento com diâmetros de 0,35 a 0,50 m, e escavadas do tipo raiz de 16 m de comprimento e 0,25 m de diâmetro.

Em 1991, graças a um novo auxílio obtido junto à FAPESP, foram anexados outros 200 m² à área do campo experimental, para o desenvolvimento de pesquisas sobre o comportamento geotécnico-estrutural de grupos de estacas escavadas de pequeno diâmetro.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

A cidade de São Carlos está assentada sobre rochas do Grupo São Bento, constituídas de arenitos da Formação Botucatu e magmatitos básicos da Formação Serra Geral. Sobre essas rochas ocorrem conglomerados e arenitos do Grupo Bauru e, em seguida, cobrindo toda a região, aparecem os Sedimentos Cenozóicos.

A Figura 1, proposta por BORTOLUCCI (1983), mostra um perfil típico da geologia de pequena superfície na área urbana, com a descrição tátil-visual das litologias predominantes. Ainda nessa figura, mostra-se a localização da área de estudo, na parte mais elevada do perfil.



2.1. Sedimentos Cenozóicos

Os Sedimentos Cenozóicos, que cobrem toda a região, foram originados a partir do retrabalhamento dos materiais do Grupo Bauru e das Formações Serra Geral e Botucatu, através de um pequeno transporte em meio aquoso de razoável competência.

Esses sedimentos foram submetidos à ação de intemperismo sob condições climáticas típicas de região tropical, onde tem-se elevada temperatura, intensa pluviosidade e situações de boa drenagem. Isso provocou nesse material o processo de laterização, que consiste na concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Por isso são pouco compactos, muito porosos e colapsíveis.

Sua litologia é constituída de sedimentos mal selecionados, contendo cerca de 35% de argila e pelo menos 50% de areia de granulação média a fina. Seu contato inferior é feito com o Grupo Bauru através de uma fina camada de seixos de quartzo e limonita. Em toda a região urbana esse sedimento arenoso não ultrapassa 12 m de espessura, predominando valores entre 5 e 7 m.

2.2. Grupo Bauru

O Grupo Bauru está representado na região por arenitos de granulação média a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e instáveis.

Na área urbana de São Carlos, quase que sem exceção, os contatos basal e superior do Bauru são feitos com a Formação Serra Geral e com os Sedimentos Cenozóicos, respectivamente.

Apesar de texturalmente bastante heterogêneo, o Grupo Bauru, pelo menos nas regiões mais altas, pode ser descrito como um arenito médio bem graduado, grãos angulosos, com cerca de 45% de areia e 35% de argila e de cor vermelha a rosada, com pontos brancos constituídos de feldspatos parcialmente alterados.

Esse solo, quando classificado por sistemas usuais da Mecânica dos Solos, por exemplo a Classificação Unificada, encontra-se no mesmo grupo dos Sedimentos Cenozóicos. No entanto, apresenta comportamento muito diferente em relação aos Sedimentos Cenozóicos.

3. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

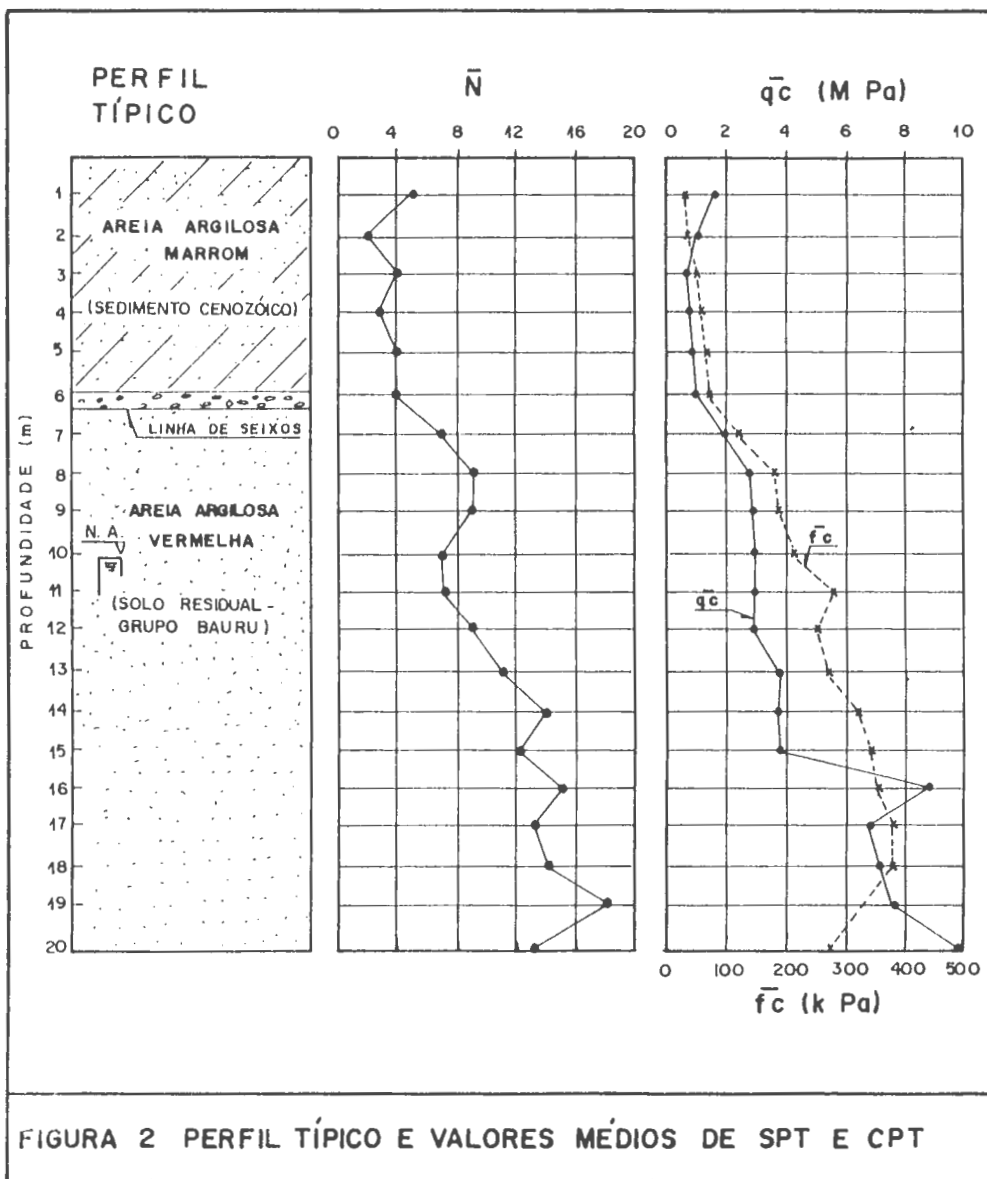
3.1. Ensaaios "in situ"

a) Ensaaios Penetrométricos

Foram realizados dez ensaios penetrométricos: cinco sondagens de simples reconhecimento (SPT) e cinco ensaios de penetração estática (CPT), até a profundidade de 20 m.

O perfil típico obtido a partir das sondagens indica uma camada de Sedimento Cenozóico sobreposta ao arenito do Grupo Bauru. A camada de Sedimento Cenozóico tem cerca de 6 m de espessura e é descrita como areia argilosa marrom. A partir dessa profundidade, separada por uma linha de seixos, tem-se a camada de arenito que é descrita como areia argilosa vermelha. O nível

d'água foi encontrado a cerca de 10 m de profundidade. Apresentam-se na Figura 2 os valores médios obtidos nos ensaios penetrométricos.



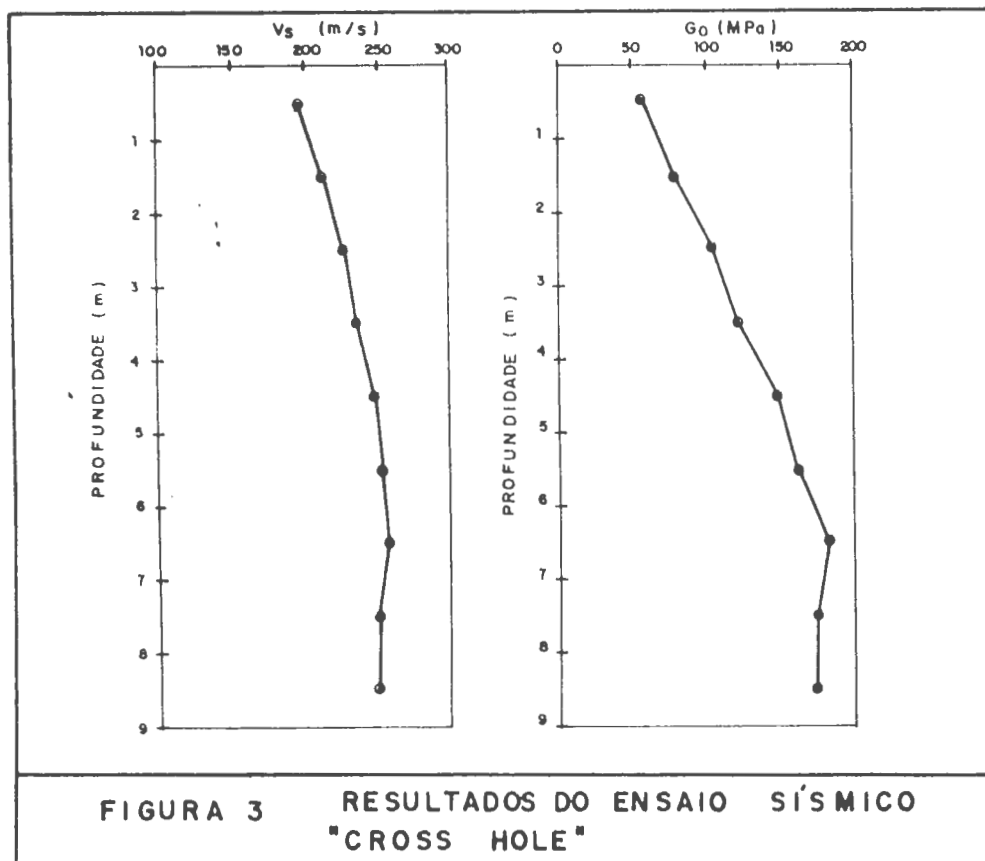
b) Ensaio Sísmico "cross-hole"

O ensaio consiste em se colocar uma fonte mecânica geradora de ondas elásticas em um furo e pelo menos dois geofones triaxiais em outros dois furos, alinhados com o primeiro, todos ao mesmo nível. A fonte produz ondas S e P, que são captadas em cada um dos geofones.

Os resultados deste ensaio são apresentados na Figura 3, onde constam a velocidade de propagação (V_s) da onda S e o Módulo cisalhante máximo (G_0), determinados de metro em metro, até a profundidade de 8,50 m.

3.2. Ensaio Laboratoriais

Realizaram-se ensaios em amostras deformadas e indeformadas retiradas de metro em metro, de dois poços exploratórios com 10 m de profundidade, abertos para este fim. Foram ensaios de caracterização (granulometria, limites de consistência e índices físicos do solo) e ensaios mecânicos estáticos (compressão simples, triaxiais dos tipos adensado-rápido e lento, e adensamento).



Todos os parâmetros determinados nesses ensaios, bem como correlações entre eles, SPT e CPT, estão apresentados por CARVALHO (1991).

Além desses, realizou-se o ensaio de coluna ressonante, que consiste basicamente em se aplicar uma vibração de baixa amplitude numa amostra de solo confinada em câmara triaxial e em fazer variar a frequência, até que se atinja a condição de ressonância.

Foram realizados ensaios em corpos de prova talhados de amostras indeformadas retiradas em três diferentes profundidades (1.40 m, 4.60 m e 8.35 m). Os resultados destes ensaios são apresentados na Figura 4, onde se têm o valor do módulo cisalhante máximo (G_0), o parâmetro NG, as curvas de degradação do módulo ($G/G_0 \times \gamma$) e a variação da razão de amortecimento interno (D) com a amplitude de deformação (γ).

Detalhes sobre os ensaios de coluna ressonante e também do "cross-hole" encontram-se em GIACHETTI & ZUQUETTE (1990).

4. PESQUISAS CONCLUÍDAS

A fase inicial do campo experimental já está praticamente concluída, com o desenvolvimento de pesquisas sobre o comportamento de estacas isoladas instrumentadas.

Trata-se de um conjunto de seis estacas escavadas com três diferentes diâmetros: 0.35 m, 0.40 m e 0.50 m. Todas estas estacas têm 10 m de comprimento e foram instrumentadas com extensômetros elétricos ("strain-gages") dispostos em cinco níveis, e também com cinco hastes do tipo "tell-tale".

O sistema de reação, para realização de provas de carga, é constituído de uma viga metálica, em forma de I em planta, com 20 kN de peso próprio e 2000 kN de capacidade de carga. Para ensaiar cada estaca, a viga se ancorava sobre quatro tirantes, sendo o papel de tirante desempenhado por quinze estacas do tipo raiz, com 16 m de comprimento e 0,25 m de diâmetro. Duas outras estacas raiz foram executadas e instrumentadas para serem ensaiadas à tração e à compressão.

A Figura 5 mostra o plano de implantação do campo experimental.

4.1. Comportamento a Tração

Para verificar o comportamento das estacas-tirantes, realizou-se inicialmente o ensaio de arrancamento de uma estaca raiz instrumentada. Detalhes da instrumentação dessa estaca e da execução da prova de carga, bem como da interpretação, estão apresentados em outro trabalho desse Seminário (CARVALHO et alii, 1991).

Em seguida foram realizadas provas de carga a tração em três estacas escavadas com diâmetros de 0.35 m, 0.40 m e 0.50m, aplicando-se a carga em estágios até a ruptura. A análise e a interpretação dessas provas de carga encontram-se em CARVALHO (1991).

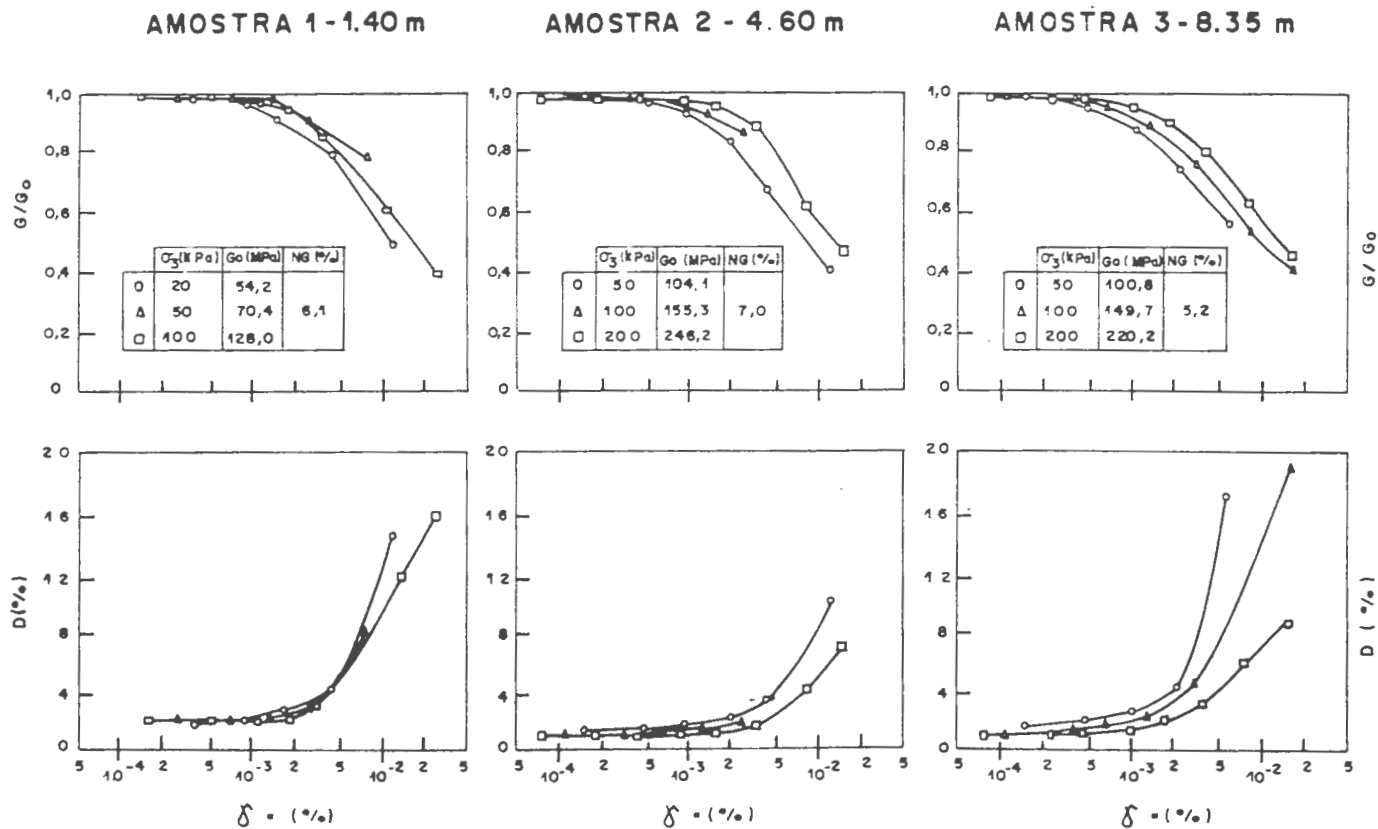


FIGURA 4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COLUNA RESSONANTE

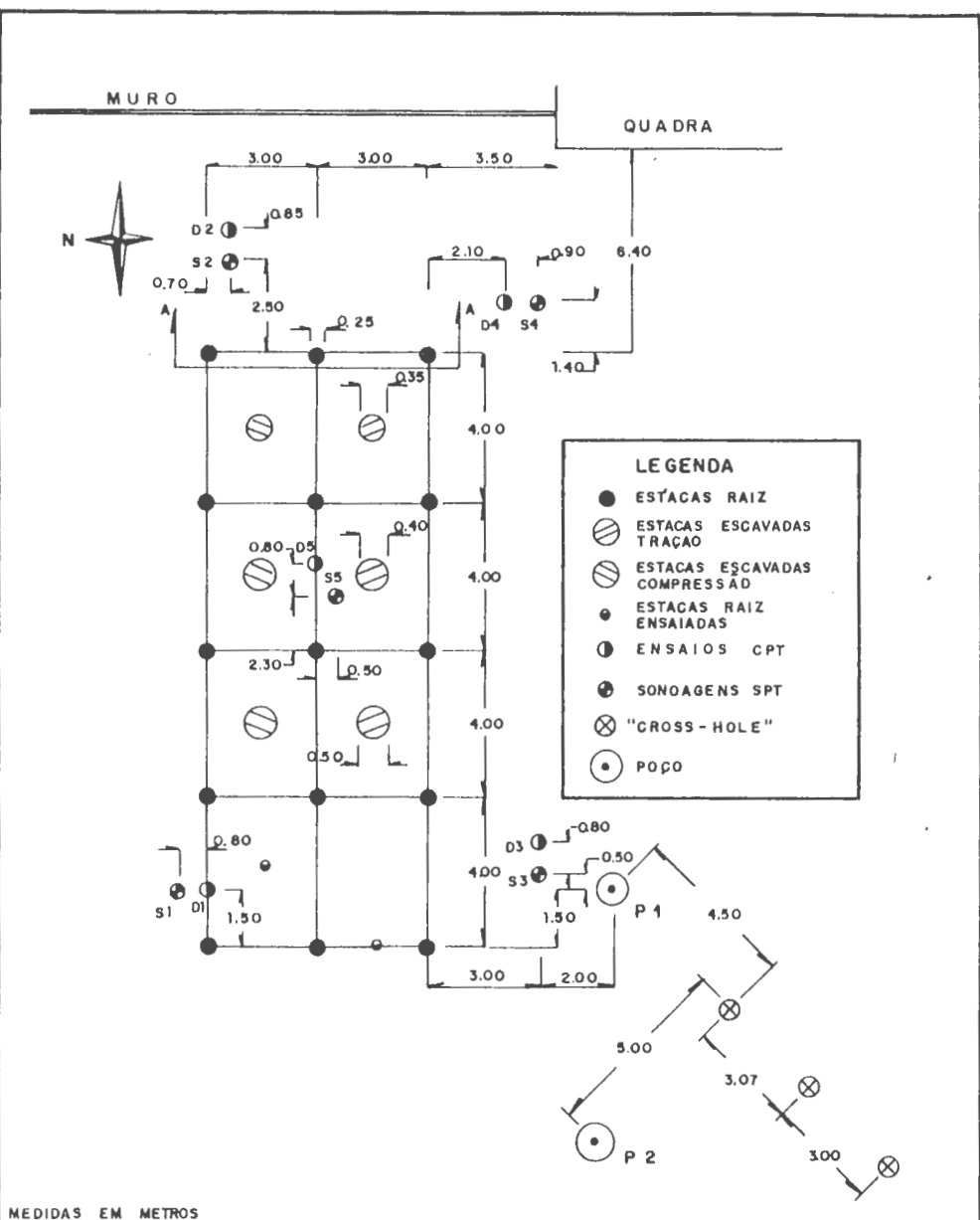


FIGURA 5 PLANO DE IMPLANTAÇÃO DO CAMPO EXPERIMENTAL

4.2. Comportamento a Compressão

Foram realizadas provas de carga a compressão sobre um mesmo número de estacas, isto é, uma estaca raiz e três estacas escavadas. As análises desses ensaios, assim como as conclusões constam da tese de doutoramento a ser apresentada pela Enga. Judy Norka R. de Mantilla.

5. PESQUISAS EM ANDAMENTO

Os resultados experimentais citados no item anterior estão sendo objeto de simulação numérica pelo método dos elementos finitos, com utilização de modelos elasto-plásticos para representar o comportamento do solo. Trata-se da tese de doutoramento da Enga. Marilza das Neves. Além disso, as estacas ensaiadas à compressão estão sendo reensaiadas com carregamento rápido, para comparação com os resultados do carregamento lento, dentro do programa de mestrado do Engo. Antônio Carlos Sacilotto. Sobre o comportamento dinâmico desses solos, avaliado a partir dos resultados de ensaios "cross-hole" e de coluna ressonante, está sendo desenvolvida a tese de doutoramento do Engo. Heraldo Luiz Giacheti.

Outras pesquisas em andamento referem-se à nova etapa do campo experimental, com o estudo do comportamento de grupos de estacas.

6. CONCLUSÕES

A implantação do campo experimental de fundações no Campus da USP em São Carlos fortaleceu uma das linhas de pesquisa do Departamento de Geotecnia da EESC-USP. O desenvolvimento de técnicas de instrumentação e de execução de provas de cargas em estacas, bem como a análise dos resultados através de diferentes métodos, inclusive o MEF, está desempenhando um papel muito importante na formação de novos pesquisadores.

Outro aspecto importante é que, como o subsolo doo campo experimental é representativo de grandes áreas do estado de São Paulo, principalmente, os resultados das pesquisas ali realizadas poderão ser estendidas a essas áreas.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelos auxílios financeiros concedidos, e ao IPT pela colaboração prestada na realização dos ensaios dinâmicos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBIERO, J.H. (1972): Comportamento de Estacas Moldadas "in loco". Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, 108 p.

- BORTOLUCCI, A.A. (1983): Caracterização Geológico-geotécnica da Região Urbana de São Carlos-SP, a partir de Sondagens de Simples Reconhecimento. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, 67 p.
- CARVALHO, D. (1991): Análise de Cargas Últimas à Tração de Estacas Escavadas, Instrumentadas, em Campo Experimental de São Carlos-SP. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, 204 p.
- CARVALHO, D.; MANTILLA, J.N.R.; ALBIERO, J.H. & CINTRA, J.C.A. (1991): Provas de Carga à Tração e à Compressão em Estacas Instrumentadas do Tipo Raiz. SEFE II, São Paulo.
- CINTRA, J.C.A. (1987): Comportamento de Modelos Instrumentados de Grupos de Estacas Cravadas em Areia, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, 117 p.
- GIACHETI, H.L. & ZUQUETTE, L.V. (1990): Técnicas para Determinação de Parâmetros Dinâmicos dos Solos: um Exemplo de Aplicação. XI Seminário da ADUNESP, Guaratinguetá.
- MENEZES, S.M. (1990): Correlações entre Ensaaios de Penetração (SPT e CPT) e os Resultados de Ensaaios de Laboratório para a Região de São Carlos-SP. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, 194 p.