Campus de São Carlos

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA
DA REGIÃO URBANA DE SÃO CARLOS-SP, A
PARTIR DE SONDAGENS DE SIMPLES
RECONHECIMENTO

Antonio Airton Bortolucci

Orientador: Prof. Dr.: João Baptista Nogueira

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DA
REGIÃO URBANA DE SÃO CARLOS-SP, A PARTIR
DE SONDAgens DE SIMPLES RECONHECIMENTO

DEDALUS - Acervo - EESC

31100042193

ANTONIO AIRTON BORTOLUCCI

Orientador:

Prof. Dr. João Baptista Nogueira

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geotecnia.

São Carlos - 1983

A meus pais

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. João Baptista Nogueira pela orientação e dedicação.

Aos Profs. Drs. Antenor Braga Paraguassu e José Eduardo Rodrigues pelo auxílio e sugestões no desenvolvimento geológico do trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Mecânica dos Solos pelo auxílio na parte prática.

A Antonio Claret Carriel pelos trabalhos de desenho.

A Thereza Giacomo Crnkowics e Maristela Aparecida Zotto pela datilografia.

A Sondaf-Sondagens e Fundações Ltda., empresa que mais contribuiu no desenvolvimento do trabalho.

Ao CNPq pela bolsa de estudo concedida no início do programa de Mestrado.

RESUMO

Propõe-se um mapeamento geológico de sub-superfície, envolvendo as formações responsáveis pelo suporte das edificações de São Carlos. Foi baseado em Sondagens de Simples Reconhecimento associadas ao conhecimento das características litológicas das formações geológicas. A partir dessas sondagens e de resultados de ensaios de laboratório, são apresentadas algumas das características geotécnicas das formações.

ABSTRACT

The objective of this work is to propose a subsurface geological map for the foundation soils of the São Carlos buildings, based on both Standard Penetration Test and the knowledge of the lithological characteristics of the formations. Some geotechnical features of the formation, obtained from analyses of SPT and laboratory test data, are also presented.

SIMBOLOGIA

c'	-	coesão em termos de tensões efetivas
c_u	-	coesão em termos de tensões totais
e	-	Índice de vazios
LL	-	limite de liquidez do solo
LP	-	limite de plasticidade
N	-	Índice de resistência à penetração no SPT
w	-	teor de umidade do solo
w_{ot}	-	teor de umidade ótima do solo
ρ	-	massa específica do solo
$\rho_{dm\acute{a}x}$	-	massa específica seca máxima do solo
ρ_s	-	massa específica dos sólidos
ϕ	-	ângulo de atrito em termos de tensões totais
ϕ'	-	ângulo de atrito em termos de tensões efetivas

TERMINOLOGIA

discondância erosiva - é uma relação de contato entre rochas, caracterizada por uma interrupção na deposição e correspondente período de erosão.

estratigrafia - é o ramo de geologia que estuda o comportamento e a distribuição espaciais das rochas.

fácies - é uma variação dos caracteres litológicos que distinguem uma determinada porção de uma unidade estratigráfica.

geologia de superfície - é o estudo geológico dos materiais observáveis na superfície terrestre.

geologia de sub-superfície - é o estudo geológico de materiais que se encontram abaixo da superfície terrestre, revelados ou inferidos através de perfurações, trabalhos subterrâneos ou métodos geofísicos.

litologia - é a descrição da rocha baseada nas suas características físicas, como cor, composição mineralógica e tamanho dos grãos.

solo - é um conjunto natural de partículas minerais e ou orgânicas, que são facilmente separadas por agitação em água.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
1. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA	4
1.1 - Aspectos Gerais	4
1.2 - Aspectos Geológicos	6
2. SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO	9
2.1 - Histórico	9
2.2 - Execução das sondagens	15
2.2.1 - Perfuração	15
2.2.2 - Amostragem e identificação do solo ...	15
2.2.3 - Ensaio de penetração dinâmica	16
2.2.4 - Determinação do nível d'água	17
3. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO INICIAL DOS DADOS	18
3.1 - Dados disponíveis	18
3.2 - Desenvolvimento inicial do trabalho	20
4. LEVANTAMENTO GEOLÓGICO	23
4.1 - Formação Botucatu	24
4.2 - Formação Serra Geral	25
4.3 - Grupo Bauru	28
4.4 - Sedimentos Cenozóicos	30

5. INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA DAS SONDAGENS	33
5.1 - Metodologia Empregada	33
5.2 - Mapeamento geológico	35
5.2.1 - Geologia de superfície - Mapa I	36
5.2.2 - Topografia da cidade - Mapa II	36
5.2.3 - Superfície Pré-Cenozóica - Mapa III ..	37
5.2.4 - Superfície Pré-Grupo Bauru - Mapa IV .	37
6. ASPECTOS GEOTÉCNICOS	39
6.1 - Superfície freática - Mapa V	44
6.2 - Características das Formações	44
6.2.1 - Formação Serra Geral	44
6.2.2 - Grupo Bauru	46
6.2.3 - Sedimentos Cenozóicos	46
6.3 - Análise dos Resultados	47
CONCLUSÕES	50
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
ANEXO I - Relação das Sondagens	55
BIBLIOGRAFIA	63

INTRODUÇÃO

Sondagem de simples reconhecimento é um tipo de exploração do subsolo que devido ao seu baixo custo e à sua importância na engenharia de fundações de edifícios é realizada em quantidade bastante elevada em sítios urbanos.

Em São Carlos o uso dessa técnica se intensificou a partir da década de 60, quando firmas especializadas se instalaram na região. Desde então, o intercâmbio mantido por essas empresas com a EESC-USP permitiu que o Departamento de Geotecnia obtivesse um bom número de relatórios desse tipo de sondagem.

Neste trabalho, a grande quantidade de informações do subsolo, obtidas a partir dessas sondagens é aproveitada no sentido de contribuir para um melhor conhecimento geológico e geotécnico dos solos responsáveis pelo suporte de praticamente todas as obras civis da cidade.

Baseado em mais de 400 furos de sondagens, que totalizam cerca de 7.000 metros perfurados, distribuídos em 105 locais, este trabalho inicia uma pesquisa mais ampla que

visa caracterizar e mapear geotecnicamente o subsolo de São Carlos, através dessas sondagens.

Como a complexidade e a abrangência do assunto não permitem tratá-lo em um único trabalho, aqui é dada ênfase à subdivisão geológica dos materiais sub-superficiais, isso, por se acreditar e se verificar no decorrer do estudo, que tal passo é o primeiro para a caracterização geotécnica dos solos de uma região.

A confecção de mapas geológicos a partir de sondagens que não tem preocupação com a geologia pode a princípio ser contestada, e por isso neste trabalho se procura mostrar a validade de se retirar informações mais amplas e úteis, mesmo que de dados não muito apropriados, desde que associados a um conhecimento detalhado da geologia da região.

O presente trabalho é desenvolvido em seis capítulos, sendo que no primeiro são apresentados os aspectos físicos e geológicos da área estudada. No segundo capítulo, o desenvolvimento histórico e o método de execução das sondagens de simples reconhecimento são narrados. Uma análise preliminar dos dados disponíveis e o desenvolvimento inicial do trabalho, onde se verificou a necessidade da subdivisão geológica dos materiais, são mostrados no capítulo três. No quarto capítulo, é apresentado um levantamento geológico mostrando todas as variações litológicas das formações envolvidas. Um mapeamento geológico de sub-superfície, baseado em sondagens de simples reconhecimento associadas ao levantamento geológico do capítulo quatro, é proposto no quinto capítulo.

lo. Finalmente, são apresentados, no sexto capítulo, alguns aspectos geotécnicos da região, como um mapa do nível freático e resultados de ensaios de caracterização e de compressão triaxial executados sobre amostras das principais formações geológicas da área.

Apesar de neste trabalho somente se iniciar a caracterização geotécnica dos solos da cidade, as informações aqui contidas podem auxiliar o profissional de engenharia ou de geologia na fase inicial de um projeto, como por exemplo na escolha do local de uma obra, ou contribuir em projetos mais amplos, como no planejamento urbano da cidade. No entanto, não deve ser utilizado como subsídio para reduzir o número de sondagens de simples reconhecimento, nem para obter parâmetros para projetos de fundações de edifícios.

1

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA

1.1 - Aspectos Gerais

A cidade de São Carlos, área objeto deste estudo, está localizada na parte centro-oriental do Estado de São Paulo, na borda oeste das "Cuestas basálticas", próximo ao Planalto Ocidental Paulista. Tem sua posição geográfica determinada pelas coordenadas $22^{\circ} 01' 22''$ de latitude sul e $47^{\circ} 53' 38''$ de longitude oeste, compreendendo uma área de aproximadamente 37 km^2 , ocupada, segundo IBGE (1981), por cerca de 109.000 habitantes. A Figura 1 mostra sua localização no Estado.

A classificação do clima da cidade, pelo método de Koeppen é do tipo Cwa e por Thornthwaite do tipo BB'r, podendo ser descrito como clima sub-tropical mesotérmico, - úmido, com chuvas de verão e estiagem branda no inverno com pequena deficiência de água. A estação chuvosa (outubro a março) é de clima sub-tropical, super úmido e a estação de seca, (abril e setembro), de clima temperado, sub-úmido - (DNAEE-EESC, 1980).

Fig. 1 - LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE SÃO CARLOS

O relevo da cidade, como de toda a região vizinha, tem um aspecto bem movimentado, constituído de mesas e morros isolados, resultado de intensa erosão provocada pelos rios, que partindo de zonas bem elevadas, entalham profundamente o planalto.

Essa configuração de planalto cortado por vales profundamente entalhados, é característica das zonas de transição entre as "Cuestas" e o Planalto Ocidental. As menores cotas do sítio urbano, em torno de 775m, estão localizadas -

em vales a oeste da cidade, enquanto que os altos estão situados a leste, em planalto que ultrapassa os 910m de altitude.

Quanto aos rios que drenam São Carlos, todos pertencem à bacia do Rio Jacaré-Guaçu. O Córrego Monjolinho, responsável pela principal drenagem urbana, atravessa a cidade pelas regiões norte e oeste, seguindo a direção NE-SW. Os córregos do Gregório e Tijuco Preto, afluentes do Monjolinho, têm transcurso SE-NW, banhando as regiões central e norte, respectivamente. Todos eles possuem pequena vazão, perfis estabilizados, drenagem dendrítica e não têm controle estrutural exercido pelas formações geológicas locais (Tolentino et alii, 1968).

1.2 - Aspectos Geológicos

São Carlos está assentada sobre as rochas do Grupo São Bento, constituídas pelos arenitos da Formação Botucatu e pelos magmatitos básicos da Formação Serra Geral. Sobre essas rochas ocorrem os conglomerados e arenitos do Grupo Bauru e em seguida, cobrindo toda a região, aparecem os Sedimentos Cenozóicos. Essas Formações, que serão descritas no decorrer do trabalho, podem ser estratigraficamente visualizadas na Figura 2 que mostra parte de extenso perfil geológico apresentado pelo DAEE (1974).

Tectonicamente a região apresenta-se pouco perturbada apesar de extensos lineamentos, representados por falhas, existentes nos magmatitos básicos. O Grupo Bauru está muito pouco afetado, mostrando que "a maior intensidade das

rupturas e movimentações deu-se nos tempos geológicos pré-Bauru, e principalmente à época do magmatismo básico" (Soares et alii, 1973).

Os alinhamentos estruturais, bem definidos, - observados na região orientam-se em duas direções preferenciais: a primeira, aproximadamente E-W, é considerada de idade Pré-Cambriana e a segunda, N-S, atribuída ao Mesozóico. Foram originados por tensões horizontais, que reativadas em épocas mais recentes, causaram novos fraturamentos nos magmatitos, condicionando a alteração dos mesmos nessas direções preferenciais e acelerando processos erosivos (Gandolfi et alii, 1975).

Fig. 2 - PERFIL GEOLÓGICO DA REGIÃO DE SÃO CARLOS (DAEE-1974)

2

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO

"Sondagem de simples reconhecimento" é a definição dada, no Brasil, para um tipo de exploração do subsolo que visa, além das determinações do perfil estratigráfico e do nível d'água, estimar características de resistência dos solos, através de um ensaio de penetração bastante simples.

No desenvolvimento histórico dessas sondagens, apresentado a seguir, podem ser vistos os motivos pelos quais, ainda hoje, não há uma padronização internacional para os ensaios de penetração, apesar de largamente utilizados na engenharia de fundações.

2.1 - Histórico

A origem dos ensaios de resistência à penetração, segundo Fletcher (1965), ocorreu nos Estados Unidos em 1902 quando Charles R. Gow, desejando melhorar o processo de reconhecimento do subsolo aplicado à engenharia de fundações introduziu a amostragem a seco, assim designada na época porque, até então, as sondagens eram feitas integralmen-

te com o processo de circulação de água e portanto as "amostras" obtidas vinham em forma de lama. Na amostragem a seco, o furo continuava a ser aberto com circulação de água, mas em intervalos, era cravado no fundo do furo um simples tubo de 25,4mm de diâmetro (igual às hastes de sondagem) e com 30 a 45 cm de comprimento, com ponta aberta e bordas biseladas (Fig. 3). A cravação do amostrador que possibilitava uma amostragem não lavada do solo, era feita com o auxílio de um soquete com cerca de 50kg de massa. Não havia ainda preocupação em se medir a resistência à penetração do amostrador no solo.

Fig. 3 - AMOSTRADOR GOW

A determinação da resistência à penetração dinâmica, como prática regular de exploração e amostragem do subsolo, foi iniciada em 1927 por H.A. Mohr através da cravação do amostrador desenvolvido por Gow, utilizando uma massa de 65 kg caindo de uma altura de aproximadamente 76 cm. O índice de resistência à penetração era expresso pelo núme

ro de golpes necessários para cravar 30 cm do amostrador no solo, a partir do ponto em que o conjunto amostrador-hastes permanecesse estático sob seu próprio peso (Hvorslev, 1949).

Ainda em 1927, L. Hart e G.F.A. Fletcher, da Raymond Concrete Pile Co., desenvolveram um amostrador tubular bi-partido, constituído de sapata, corpo e cabeça com 50,8 mm e 34,9 mm de diâmetros externo e interno (Fig. 4). Seria utilizado em sondagens com tubos de revestimento de 63,5mm até 101,6mm e sua cravação, padronizada em 1930 por Fletcher e Mohr, era feita com um martelo de 65 kg de massa, caindo de uma altura de 76 cm. O resultado do ensaio, que consistia na contagem do número de golpes necessários à cravação de 30 cm do amostrador no solo, após uma pré-cravação de 15 cm, seria aplicado em projetos e construção de tubulões (Fletcher, 1965).

Nos anos seguintes, em muitos países, principalmente do continente americano, procedimentos semelhantes

Fig. 4 - AMOSTRADOR RAYMOND

ao ensaio de resistência dinâmico desenvolvido pela Raymond, começaram a ser utilizados, porém com amostradores diferentes.

O primeiro passo para a uniformização dos ensaios dinâmicos foi dado em 1948 por K. Terzaghi e R. Peck ao divulgarem no livro "Soil Mechanics in Engineering Practice", o ensaio proposto em 1930 por Fletcher e Mohr, onde ele recebeu a consagrada denominação de "Standard Penetration Test" (SPT).

Na mesma obra, além de recomendarem a utilização do SPT, pela facilidade de se obter informações do subsolo, os autores apresentam tabelas correlacionando os resultados do ensaio com a compacidade relativa de areias, consistência de argilas, resistência à compressão simples de argilas e taxa de trabalho de areias para sapatas e "raders" (Terzaghi e Peck, 1967).

No entanto, as discrepâncias observadas entre os resultados obtidos por inúmeros pesquisadores em todo o mundo, impediram o êxito total do SPT na engenharia de fundações nos anos seguintes. Os motivos de resultados tão diferentes muitas vezes são inerentes ao próprio ensaio, como por exemplo, sua característica dinâmica, segundo Schmertmann (1966), outras vezes pela falta de uniformização na técnica de operação e no equipamento, ou ainda pelos diferentes tipos de solos amostrados, motivos esses intensamente relatados por Mello (1971).

Todos esses fatores cooperaram para que o processo de amostragem e reconhecimento do subsolo, seguramente mais utilizado na engenharia de fundações, não tenha, ainda hoje, uma padronização internacional.

No Brasil, o ensaio de resistência à penetração dinâmica foi introduzido em 1939 por Odair Grillo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). O amostrador tinha 46,0mm de diâmetro externo e 38,1mm de diâmetro interno (Fig. 5) e utilizava-se, na sua cravação, um martelo de 70kg de massa, posteriormente modificado para 60kg, em queda livre de uma altura de 75cm. O resultado do ensaio era expresso pelo número de golpes necessários à cravação dos 30cm iniciais do amostrador no solo.

Fig. 5 - AMOSTRADOR IPT

Em fins de 1944, a firma Geotécnica S.A., começa a utilizar um amostrador que havia sido introduzido no Brasil, por H.A. Mohr, durante a construção de instalações industriais de empresa norte-americana. Esse amostrador que, ainda era utilizado nos Estados Unidos em sondagens com tubo de revestimento de 50,8mm, tinha 41,3mm e 25,4mm de diâme-

tro externo e interno (Fig. 6) e passou a ser conhecido no Brasil, como amostrador "Mohr-Geotécnica" (Teixeira, 1974). Era cravado 30cm no solo com um martelo de 65kg e altura de queda de 75cm.

O amostrador "Raymond" aparece em 1947, sendo utilizado inicialmente só em "sondagens especiais" onde se necessitava, para retirada de amostras indeformadas com "Shelby", de um tubo de revestimento maior que 50,8mm (Teixeira, 1974).

Desde então passam a ser utilizados no país três tipos de amostradores: o "IPT", o "Mohr-Geotécnica" e o "Raymond".

Fig. 6 - AMOSTRADOR MOHR-GEOTÉCNICA

Em 1974, no V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos é proposta a uniformização dos ensaios de resistência à penetração em torno do "Standard Penetration Test", utilizando-se, em consequência, unicamente o amostrador "Raymond".

Em dezembro de 1980, com o título "Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos", o "Standard Penetration Test" é normalizado no país pela NBR 6484/1980 da ABNT.

2.2 - Execução das sondagens

A NBR 6484/1980 especifica a execução das sondagens de simples reconhecimento dos solos, no entanto, não é intenção transcrever aqui essa norma, mesmo porque, quase que integralmente, as sondagens analisadas neste trabalho foram executados antes de 1980.

Deve-se assinalar que, além da normalização do ensaio e do equipamento como também de alguns detalhes de operação e de apresentação dos relatórios, a NBR 6484 não difere muito dos procedimentos gerais que eram até então, utilizados pelas firmas da região.

A preocupação nesse ítem, portanto, se prende unicamente à apresentação do método de obtenção de dados utilizado neste trabalho, mostrando somente os procedimentos gerais que nortearam e norteiam a execução desses ensaios.

2.2.1 - Perfuração

A sondagem deve ser iniciada com emprego do trado cavadeira manual até a profundidade de um metro, colocando-se o primeiro segmento do tubo de revestimento. A perfuração, intercalada com o ensaio de penetração, prossegue com um trado helicoidal até atingir-se o nível d'água, ou torna-se inoperante. A seguir utiliza-se o processo de perfuração com circulação de água.

2.2.2 - Amostragem e Identificação do Solo

Durante toda a operação de perfuração devem ser anotadas as profundidades das transições entre camadas,

detectadas pela análise das amostras colhidas pelo trado helicoidal ou pela água de lavagem.

Tão importantes quanto a correta determinação da cota de transição das camadas, são a identificação e a descrição dessas camadas. Durante a fase de perfuração a trado, essa identificação pode ser feita com o material trazido pelo próprio trado. Quando na fase por lavagem, a análise feita somente com os detritos trazidos pela água é insuficiente e nesses casos a identificação deve ser feita com material retirado pelo amostrador.

Essa identificação é feita pelo operador da sonda através de uma análise visual e táctil do solo, que consta de testes simples que tendem a avaliar características e propriedades do solo, como plasticidade, permeabilidade, coesão e dimensão de partículas, tentando com isso classificá-lo em areias, siltes ou argilas (Stancati et alii, 1981). Nessa classificação deve constar também a indicação da cor da amostra, feita logo após a sua coleta.

Esses testes, simples e aparentemente imprecis, têm-se mostrado importantíssimos na engenharia de fundações, pois, juntamente com os resultados dos ensaios de resistência à penetração, constituem as variáveis que orientam a obtenção de parâmetros para projeto de fundações de edificações.

2.2.3 - Ensaio de Penetração Dinâmica

Para cada metro de sondagem, realiza-se um ensaio de resistência à penetração dinâmica do solo.

Após a perfuração e limpeza dos detritos, o amostrador, acoplado às hastes de sondagem, é descido e apoiado suavemente no fundo do furo. A seguir o amostrador é cravado 45cm a contar da cota do fundo do furo, sendo anotados os golpes necessários para se cravar cada um dos três 15cm.

Nos ensaios com amostradores tipos "IPT" e "Mohr-Geotécnica" o Índice de resistência à penetração é igual à soma dos golpes necessários para se cravar os primeiros 30cm.

No "Standart Penetration Test", agora normalizado no Brasil, o Índice de resistência à penetração (N) é a soma dos golpes necessários para a cravação dos últimos 30cm.

2.2.4 - Nível D'Água

Durante a fase de perfuração deve-se estar atento a qualquer indício da presença de água no furo. Assim que o lençol d'água for atingido os trabalhos de perfuração devem ser interrompidos e a variação do nível d'água anotada durante pelo menos 30 minutos. Esse procedimento é repetido após o término da sondagem e o nível freático, que obrigatoriamente deve constar no relatório, é novamente determinado.

3

ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO INICIAL DOS DADOS

3.1 - Dados Disponíveis

Os resultados das sondagens de simples reconhecimento são largamente empregados no Brasil desde 1939, sendo que na maioria dos projetos de fundações de edifícios constituem a única fonte de informações do subsolo à disposição do projetista e construtor.

Graças ao seu baixo custo e à sua importância na engenharia de fundações, a quantidade de sondagens realizadas em sítios urbanos é extremamente elevada. Uma prova disso é que em 1945, ou seja, com apenas 6 anos de atividades no Brasil, já haviam sido executados, somente pelo IPT-SP, mais de 36.000m de perfurações (Vargas, 1945).

Em São Carlos, devido ao seu maior desenvolvimento e à instalação de firmas especializadas em sondagens na região, o uso dessa técnica se intensificou a partir da década de 60 e o intercâmbio profissional mantido, desde então, por essas empresas com a EESC-USP, permitiu ao Departamento de Geotecnia a obtenção de um grande número de relatórios des

sas sondagens.

Este trabalho, voltado para a utilização de tais dados, é baseado em mais de 400 furos de sondagens que totalizam cerca de 7.000 metros perfurados, distribuídos em 105 locais diferentes.

Uma relação resumida e condensada das sondagens disponíveis é mostrada no anexo I, onde cada sondagem, representando a média de todos os furos executados em um mesmo local, apresenta os seguintes dados:

- a) número de sondagem.
- b) cota altimétrica da boca do furo.
- c) cota do lençol freático com o respectivo mês de determinação.
- d) classificação de cada camada, conforme apresentada no relatório de sondagem.
- e) tipo de ensaio de resistência à penetração.
- f) índices de resistência à penetração mínimo, médio e máximo de cada camada.

A cota altimétrica da boca do furo foi obtida com auxílio do levantamento aerofotogramétrico, escala 1:2.000, executado pela Aeromapa Brasil S/A, 1970, que apresenta o traçado urbano e a topografia de São Carlos, com curvas de nível com equidistância de um metro. No início da pesquisa algumas dessas cotas foram determinadas com auxílio de altímetros tipo MM-1 do "American Paulin System", técnica que foi abandonada após a obtenção do mapa citado.

Comparações entre os resultados obtidos pelos dois métodos mostraram erros geralmente próximos dos 2 m, mas às vezes, superiores a 5m.

3.2 - Desenvolvimento Inicial do Trabalho

No início do trabalho pretendia-se utilizar os relatórios disponíveis com vistas, unicamente, à engenharia de fundações, tentando conhecer e mapear as características de resistência dos solos de São Carlos, com base nos resultados do SPT. No entanto, como era grande o número de sondagens realizadas com o ensaio proposto pelo IPT, agora em desuso no Brasil, tentou-se, visando o aproveitamento de todos os dados disponíveis, uma correlação entre os resultados dos dois ensaios. Verificou-se a não disponibilidade de furos com ensaios diferentes, próximos entre si o suficiente para uma correlação direta entre eles. Uma correlação global entre as sondagens, esbarrava na possibilidade de se correlacionar tipos de solos diferentes, notando-se, então, que havia necessidade de um conhecimento mais detalhado dos diversos solos envolvidos. A princípio, esperava-se que somente a classificação do solo que acompanha os relatórios de sondagens bastasse para identificar cada tipo de solo, no entanto, verificou-se que isso seria insuficiente, pois era de se admitir que, devido às várias épocas e firmas envolvidas, solos iguais pudessem ser classificados diferentemente ou ainda, que solos geologicamente diferentes pudessem, mesmo que corretamente, ser classificados como idênticos. Um exemplo disso é que um silte arenoso do Grupo Bauru tem características diferentes de um silte are-

noso da Formação Serra Geral, apesar de ambos serem siltes arenosos na identificação visual e táctil.

Este trabalho volta-se, então, para a tentativa de se conhecer mais detalhadamente a estratigrafia e a geologia de pequena profundidade, não só pela necessidade - verificada, mas também por se acreditar que a subdivisão geológica é o primeiro passo para a caracterização geotécnica dos solos de uma região.

Novamente as sondagens de simples reconhecimento foram lembradas para a obtenção de dados de sub-superfície, e mesmo sabendo-se de sua não propriedade, julgou-se que, pelo número de relatórios disponíveis e pela dificuldade de obtenção de dados apropriados, uma pesquisa desse tipo merecia ser analisada.

Essa tentativa de se conhecer a geologia de uma região usando dados de sondagens de simples reconhecimento é, até onde se sabe, única no país e apresenta, como é de se esperar, uma série de dificuldades, que podem ser assim resumidas;

- a) os objetivos dos ensaios de resistência não englobam a descrição geológica do material.
- b) a classificação do material nos relatórios é baseada em análise táctil-visual, método algo subjetivo que pode, quando executado por pessoas diferentes, ou quando não for criteriosamente executado, levar solos idênticos a classificações diferentes.
- c) a possibilidade de que solos táctil-visualmente iguais sejam geologicamente diferentes.

Para contornar tais dificuldades, seria necessário um conhecimento mais profundo de todas as variações - litológicas presentes em cada formação geológica e seus respectivos posicionamentos espaciais. Para isso, foram necessárias observações de campo e pesquisa bibliográfica, que serão tratadas no capítulo seguinte.

Além disso, seria necessária uma identificação visual e táctil precisa de cada camada, e uma comparação entre esta e a descrita nos relatórios de sondagens. Isso foi solucionado com o acompanhamento de algumas sondagens executadas recentemente, além da obtenção de alguns relatórios de sondagens acompanhados pelo material recolhido dos furos. Esse material foi analisado táctil-visualmente e a classificação obtida foi comparada com a descrita no relatório da firma, que mostrou, quase sempre, concordância. Essa concordância se deve, provavelmente, ao fato de que todas essas sondagens foram realizadas por uma única empresa, que pela sua atuação na região, conhece muito bem o subsolo da cidade.

4

LEVANTAMENTO GEOLÓGICO

A geologia da cidade de São Carlos é bastante conhecida e a literatura especializada possui várias obras que englobam a região com detalhadas descrições. Quase todas essas publicações são baseadas em geologia de superfície e não apresentam nenhum mapeamento estratigráfico porme-
norizado da área.

Apenas dois trabalhos apresentam noções da es-
tratigrafia da região. O primeiro, desenvolvido por Bjornberg e Tolentino (1959), é baseado na geologia de superfície e em poços rasos e profundos executados no município. O se-
gundo, de características regionais, foi coordenado pela -
DAEE em 1974. Ambos tratam da estratigrafia de profundida-
de e da geologia de superfície, não se preocupando com a es-
tratigrafia de pequena profundidade.

O levantamento geológico apresentado a seguir, foi baseado em observações de campo, pesquisa bibliográfica e também no acompanhamento de dez sondagens de simples reco-
nhecimento executadas recentemente, que possibilitaram um
conhecimento das características litológicas e tãctil-visuais

de cada formação geológica atingida.

4.1 - Formação Botucatu

De todas as unidades geológicas envolvidas - neste trabalho, a Formação Botucatu é a que apresenta menor interesse, pois em quase toda a área estudada encontra-se - recoberta pelos magmatitos básicos, o que impede que seja - alcançada pelas sondagens de simples reconhecimento.

O interesse pela Formação Botucatu, devido ao desaparecimento dos magmatitos, se limita à região sul da cidade, onde seu contato superior é feito, em discordância erosiva, com o Grupo Bauru. Bjornberg et alii (1964) encontraram nesse contato a presença de "canga", que indicaria, também nessa região, a existência dos magmatitos básicos, - erodidos antes da deposição cretácea.

Seus melhores afloramentos podem ser observados nas proximidades do Jardim Pacaembu (região sul) onde - silicificados sustentam encostas de até 50m de altura.

A fácies eólica da Formação Botucatu, devido à sua predominância, será a única aqui descrita. Consiste de arenitos bem selecionados, de granulação média a fina e porcentagem de silte e argila inferior a 7% (DAEE-1974). - Apresentam estratificação cruzada bem visível e seus grãos, quase que exclusivamente de quartzo, possuem bons arredondamento e esfericidade. De coloração avermelhada a amarelo claro, podem aparecer desde incoerentes até altamente silicificados.

De todas as sondagens analisadas neste trabalho, somente a de número 14 (vide Anexo I) parece ter atingido essa Formação, o que justifica a pouca importância atribuída a ela.

4.2 - Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral (Juro-cretácea) é constituída pelos magmatitos básicos e pelos arenitos eólicos - inter-derrames.

Os arenitos, de características idênticas às dos da Formação Botucatu, apresentam-se altamente silicificados e dispostos em finas camadas entre os derrames basálticos. Sua importância, devido à posição estratigráfica que ocupa, é muito pequena neste trabalho.

Incluem-se nos magmatitos básicos os derrames basálticos e as intrusões de diabásio. Apesar de no município de São Carlos se verificar a ocorrência de diques de diabásio, aspectos observados em afloramentos e em perfis de poços profundos indicam que, na cidade, a predominância é dos derrames basálticos. Bjornberg e Tolentino (1959), citam evidências de um contato entre dois derrames, com passagem brusca de diaclasamento vertical a horizontal, em uma exposição de magmatitos numa cachoeira do Córrego Monjolinho a SW da cidade. No mesmo local, observaram uma zona altamente amidaloïdal contendo delessita e zeólita, sotoposta por outra com textura vítrea. Ainda segundo os mesmos autores: "essas evidências de dois derrames justapostos, são assinalados também em perfis de sondagens. Em alguns poços a

sequência dos derrames é marcada por fina camada de arenito eólico intensamente silicificado, indicando que entre um e outro ocorreu um lapso de tempo suficiente para os ventos iniciarem a formação de depósitos arenosos".

O contato inferior das eruptivas é feito com a Formação Botucatu, através de uma superfície bastante irregular, o que proporciona à Formação Serra Geral, espessuras extremamente variáveis (Bjornberg e Tolentino, 1959). Nos altos do planalto, os magmatitos básicos estão em contato superior com o Grupo Bauru, enquanto que nas encostas dos vales estão recobertos pelos Sedimentos Cenozóicos, nos dois casos em discordância erosiva. Nas encostas mais íngremes, como a S e SW da cidade, e no fundo dos vales de rios, eles afloram.

A grande importância atribuída, neste trabalho, à Formação Serra Geral, se deve ao manto de intemperismo do basalto, única porção da Formação que pode ser perfurada e amostrada pelas sondagens de simples reconhecimento. Presente em quase todas as sondagens, esse manto de intemperismo se mostra, como é de se esperar, tanto na espessura, como no grau de alteração, muito heterogêneo. Nas regiões altas, normalmente, é pequena a espessura de material alterado, fato que pode ser explicado pela presença, nessas regiões, do arenito Bauru, que recobrindo o basalto, impediu sua exposição e dificultou a percolação de água. Nas encostas, a espessura de rocha decomposta e seu grau de alteração aumentam, como, por exemplo, no centro da cidade, onde pode atingir 20m de espessura (vide sondagem 38), com varia dos graus de alteração. No fundo dos vales, tanto a altera

ção como a espessura voltam a diminuir.

O perfil desse manto intemperizado normalmente se inicia através de uma pequena espessura de material alterado repousando, sem contato definido, sobre a rocha matriz. Esse material, de coloração amarela ou cinza, é classificado táctil-visualmente como um silte arenoso, pois além de possuir pequena plasticidade, apresenta certa aspereza ao tato, que se deve à presença de partículas de magnetita e ilmenita e de fragmentos de basalto em decomposição. Pode aflorar nos leitos dos rios ou estar em contato superior com o basalto alterado a seguir descrito, ou com os arenitos do Grupo Bauru.

O manto de intemperismo do basalto, normalmente, é completado por um material que atinge maiores espessuras que o anterior e que se apresenta muito ou totalmente alterado. Sua cor já se aproxima do marrom ou vermelho, típicas dos solos de basalto, sendo que, em alguns casos, surgem manchas brancas, que provavelmente, são zeólitas das amídalas da rocha matriz.

Esse material, classificado nos relatórios de sondagem como silte argiloso ou como argila siltosa, repousa sobre o silte arenoso já descrito e está, geralmente, coberto pelos Sedimentos Cenozóicos. Somente em um local do centro da cidade foi verificado que a sequência do manto de intemperismo do basalto não se encerrava com a argila siltosa, surgindo sobre ela, novamente, o silte arenoso de material menos alterado. Isso foi observado nas escavações para construção das fundações do edifício da Telesp e detecta

do pelas sondagens ali realizadas (vide Anexo I, sondagem 42).

4.3 - Grupo Bauru

O Grupo Bauru (Cretáceo Superior) de origem - flúvio-lacustre, está representado na área por arenitos de granulação média a conglomeráticos, com grãos angulosos, - teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis e raramente apresentando estratificação cruzada (Soares et alii, 1980).

Seu contato basal é feito, em discordância erosiva, com a Formação Serra Geral em quase toda a cidade - de São Carlos, sendo que somente na região sul, onde os magmatitos desaparecem, repousam sobre a Formação Botucatu, também em discordância erosiva.

Superiormente, estão em contato, em discordância erosiva, com os Sedimentos Cenozóicos ou afloram em poucos pontos como na Vila Elizabeth (região centro-norte) e nas proximidades do Jardim Pacaembu (região sul).

A estratigrafia do Bauru na região, se inicia com um conglomerado basal rico em seixos de basalto, arenito, argilito e quartzo, em matriz variável. Essa fácies não possui continuidade horizontal e deve estar relacionada somente com vales deposicionais de grande competência e transporte do Cretáceo. O melhor afloramento dessa unidade pode ser visto na estrada São Carlos-Descalvado, km 131. Na cidade pode ser vista no Jardim Pacaembu com 7 a 15m de espessura repousando sobre o arenito Botucatu (Bjornberg et alii,

1964). Sua presença também foi notada na região oeste, cerca de dois metros abaixo do leito do Córrego Monjolinho, - quando da escavação para construção da ponte que liga a cidade ao Jardim Alvorada. Deve, no entanto, tratar-se de pequena mancha que restou após a erosão do Grupo Bauru, uma vez que o Córrego do Monjolinho corre nessa região sobre o basalto. Isso também comprova a afirmação de King (1956) - de que os vales da região de São Carlos foram entalhados antes da deposição do Cretáceo Superior. Nas sondagens analisadas neste trabalho, não se notou a presença desse conglomerado.

Outra camada, também pouco importante em área e espessura, foi encontrada nos barrancos do córrego existente na Vila Carmem, (região sudoeste) e que pode ser descrito como um arenito médio a fino, friável, de cor cinza. Nessa região não ultrapassa um metro de espessura, repousa sobre o basalto e está coberto pelos Sedimentos Cenozóicos. No Jardim Botafogo (região oeste) a sondagem número 7 (vide Anexo I) cortou-o numa espessura de 3m e classificou-o como areia fina a média siltosa. Não foram encontradas na região outras evidências desse arenito.

• O Grupo Bauru está melhor representado na região, através de 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.

• Na identificação táctil-visual pode ser classificado como areia média a fina argilosa vermelha ou rosa-

da com manchas variegadas, sendo que nos relatórios aparece descrito como areia fina a média siltosa, areia fina argilosa ou, mais raramente, como silte arenoso.

O contato inferior dessa camada geralmente é feito com o silte arenoso da Formação Serra Geral já descrito. Na sondagem nº 7 aparece sobre a areia média a fina, cinza, do Grupo Bauru. Superiormemente, está em contato com a camada do Bauru a seguir descrita, ou com os Sedimentos Cenozóicos.

De menor importância, surge um arenito fino a médio argiloso de cor marrom e com características muito semelhantes às do Sedimento Cenozóico arenoso. Não tem continuidade horizontal, sendo sua presença mais notada a leste da cidade, onde pode ser observado em cortes da Rodovia Washington Luiz. É descrito nas sondagens como areia fina argilosa marrom ou vermelha e está sotoposto aos Sedimentos Cenozóicos.

4.4 - Sedimentos Cenozóicos

(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, aparecem capeando toda a região os Sedimentos Cenozóicos.

Pouco compactos e muito porosos apresentam uma característica peculiar para a engenharia de fundações: estão sujeitos a colapso estrutural quando carregados e inundados (Vilar, 1979).

Na cidade, duas litologias mais importantes - podem ser verificadas. A primeira, ocorre nos altos do plalto, devendo ter recebido contribuição principalmente dos materiais do Grupo Bauru. É constituída de sedimentos mal selecionados, contendo cerca de 35% de argila e 50% de areia de granulação média a fina. É classificada, nos relatórios de sondagem, como areia fina argilosa, marrom, sendo que inferiormente, está em contato com o Grupo Bauru através de uma fina camada de seixos de quartzo e limonita. Essa liinha de seixos, detectada pela maioria das sondagens analisadas, foi muito utilizada para a determinação do contato entre essas duas unidades geológicas. Descendo as encostas - dos vales, logo após o desaparecimento do Grupo Bauru, esse Sedimento Cenozóico arenoso pode ainda ser notado, agora em contato com a Formação Serra Geral. A partir de então, nas encostas, surge a segunda litologia importante dos Sedimentos Cenozóicos, que provavelmente recebeu contribuição do basalto e do Grupo Bauru. É constituída por sedimentos que apresentam cerca de 40% de argila e 44% de areia. Inferiormente, seu contato é feito com a Formação Serra Geral, onde somente raras vezes se nota a linha de seixos já citada. É descrita nos relatórios de sondagem como argila arenosa vermelha.

Completando o quadro, e de pouca importância neste trabalho, aparecem pequenos depósitos aluvionares nas baixadas e fundo de vales. O único a merecer mapeamento está localizado no vale do Córrego do Gregório, em frente ao Mercado Municipal. Tem até 5m de espessura e é constituído principalmente de areias siltosas ou argilosas, muito varia

das, contendo pedregulhos, fragmentos de rocha e às vezes - matéria orgânica. Predomina a cor cinza claro a cinza escuro.

A Figura 7 mostra, esquematicamente, o posicionamento espacial das formações estudadas juntamente com as descrições tátil-visuais das litologias predominantes.

Fig. 7 — SEÇÃO ESQUEMÁTICA DAS FORMAÇÕES ESTUDADAS

5

INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA DAS SONDAGENS

5.1 - Metodologia Empregada

Com auxílio das descrições de todas as variações litológicas das formações e de seus posicionamentos espaciais, relatados no capítulo anterior, foi possível, com razoável segurança, identificar geologicamente cada uma das camadas perfuradas e descritas nos relatórios de sondagem.

Essa identificação foi feita através de análises sobre cada uma das sondagens, empregando-se a seguinte metodologia:

- a) análise individual de cada camada perfurada, dando especial atenção ao tipo de solo e à sua cor; baseando-se nisso, foi feita uma classificação geológica - preliminar de cada camada.
- b) análise global de cada perfil de sondagem, levando-se em conta a sua sequência estratigráfica e a classificação preliminar do item "a". Aqui, é verificada, não só a sequência estratigráfica entre as formações, mas

principalmente, a sequência entre as variações litológicas de todas as formações. Ou seja, verifica-se, por exemplo, se um silte arenoso, preliminarmente classificado como basalto alterado, está em contato superior com um silte argiloso ou uma argila siltosa, também da Formação Serra Geral, ou com uma areia do Grupo Bauru; mais ainda, verifica-se, se inferiormente - essa camada é impenetrável ao amostrador, tudo isso de acordo com o previsto no capítulo anterior. Não havendo confirmação da classificação preliminar, retorna-se ao ítem "a" e uma nova classificação é analisada.

- c) persistindo a incoerência entre os dois ítems anteriores, o que ocorreu somente em pequena parte das sondagens, aventa-se a hipótese de haver erro no relatório de sondagem. Aqui são analisados possíveis contatos não determinados pelo sondador e possíveis incorreções ou variações na classificação visual e táctil das camadas. Para isso, são utilizados o perfil da sondagem como um todo, a resistência à penetração (variações bruscas sugerem contato), a comparação com sondagens próximas, a presença da linha de seixos e a tendência do comportamento geral dos contatos, determinada pelas demais sondagens e por mapeamentos de outros autores.

Ressaltamos que, para qualquer incorreção ventilada, sempre se procurava uma justificativa plausível e sensata para tal. Ou seja, se um contato não havia sido

determinado pela sondagem, isso só poderia se justificar se as duas formações tivessem características táctil-visuais parecidas; vide, por exemplo, a sondagem nº 48 (Anexo I); ali, desde os 7m, o solo é descrito como areia siltosa (Grupo Bauru); no entanto, uma variação brusca do Índice de resistência à penetração, que passa de 10 a 30, é notada próximo dos 18 metros de profundidade, e verifica-se também pelas sondagens vizinhas, a presença do basalto alterado (silte arenoso) nessa região. A presença de um contato (Grupo Bauru-Formação Serra Geral) aos 18m é analisada. A troca de um silte arenoso por uma areia siltosa, nos últimos 3m de perfuração, devido a um erro do sondador, é perfeitamente plausível, e o contato, assim justificado, é aceito.

Em raras ocasiões as dúvidas quanto aos contatos ainda permaneceram, e nesses casos, o contato mais provável foi admitido.

No Anexo I, que mostra um resumo de todas as sondagens analisadas, consta também, a geologia provável de todas as camadas, determinada conforme o exposto. Os casos duvidosos, tanto da geologia, como da classificação das camadas, aparecem assinalados com um sinal de interrogação.

5.2 - Mapeamento Geológico

O mapeamento geológico proposto, foi baseado em levantamentos de campo, em mapeamentos regionais anteriores (Bjornberg e Tolentino, 1959; Fiori et alii, 1976; Zu-

quette, 1981) e principalmente, nos dados do Anexo I.

No sentido de facilitar a análise do conjunto de pontos e o manuseio, além de propiciar uma precisão compatível com os dados disponíveis, todo o mapeamento geológico é apresentado na escala aproximada 1:27.000. Essa escala incomum, se justifica pela maneira como o mapa do traçado urbano, base de todo o mapeamento, foi obtido: através de reduções sucessivas da planta da cidade, escala 1:10.000, da Prefeitura Municipal de São Carlos, 1976.

O mapeamento geológico é apresentado em quatro mapas, descritos a seguir e sujeitos a um mesmo sistema arbitrário de linhas-base, que visa facilitar a consulta entre eles.

5.2.1 - Geologia de Superfície - Mapa I

O mapa I (pág. 39) apresenta o traçado urbano e a geologia de superfície da cidade. Além disso, são mostrados os locais sondados, assinalando-se diferentemente as sondagens executadas com ensaios IPT e SPT. A numeração de cada local é feita de acordo com a sequência apresentada no Anexo I.

5.2.2 - Topografia da Cidade - Mapa II

Para uma consulta ao mapeamento geológico proposto é necessário que se conheça a cota altimétrica dos pontos de interesse. Isso pode ser feito com auxílio do mapa II, (pág. 40) que mostra a topografia da cidade, (representada por curvas de nível com equidistância de 5 metros), obtida através de redução do levantamento aerofotogramétrico já citado.

5.2.3 - Superfície Pré-Cenozóica - Mapa III

O mapa III (pág. 41) mostra a geologia e a topografia, nas condições atuais, das formações existentes - até o Período Cretáceo, ignorando-se, portanto, as formações mais recentes que o Grupo Bauru.

A diferença observada entre as cotas dos mapas II e III, representa a espessura dos Sedimentos Cenozóicos.

5.2.4 - Superfície Pré-Grupo Bauru - Mapa IV

No mapa IV (pág. 42), análogo ao anterior, são mostradas a geologia e a topografia, nas condições atuais, para formações existentes até o Juro-cretáceo, ou seja até os magmatitos básicos da Formação Serra Geral. Ignoram-se, portanto, o Grupo Bauru e os Sedimentos Cenozóicos.

Devem ser notadas a presença da Formação Botucatu ao sul e a impossibilidade de mapeamento altimétrico ao leste e sul, onde nenhuma sondagem atravessou o Grupo Bauru.

O contato entre as Formações Botucatu e Serra Geral mapeado ao sul é impreciso, pois apenas uma sondagem atingiu os arenitos eólicos. Esse contato foi estimado com base em poucos poços profundos executados na região e relatados por Bjornberg e Tolentino (1959).

Pode-se verificar, nesse mapa, que a Formação

Serra Geral, não ocupa posições acima dos 840m, e que seus altos topográficos tem invariavelmente cota situada entre 840 e 835m.

6

ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Neste capítulo estão relatadas algumas características geotécnicas dos solos de São Carlos, obtidas através das sondagens de simples reconhecimento e também de ensaios de laboratório executados sobre amostras de solo retiradas em dois locais da cidade.

No primeiro local, aproveitando a abertura de poços para execução das fundações do edifício da Telesp (localização idêntica à da sondagem 42), foram retirados 3 blocos de amostras indeformadas aos 3, 4 e 6 metros de profundidade. Os dois primeiros forneceram amostras do Sedimento Cenozóico argiloso e o terceiro da Formação Serra Geral.

No segundo local, idêntico ao da sondagem 105, foi aberto um poço com a finalidade única de amostragem do subsolo. Para cada metro escavado foi retirado um bloco de amostra indeformada até atingir-se o nível d'água, aos 9,70m. Os sete primeiros blocos amostraram o Sedimento Cenozóico - arenoso e os outros três representaram o Grupo Bauru.

Sobre todas essas amostras foram realizados -

MAPA II
TOPOGRAFIA DA CIDADE DE SÃO CARLOS

Escala Aprox. 1:27.000
Equidistância Curvas de Nível : 5m

LEGENDA

— 820 —
815 — CURVAS DE NÍVEL

— RODOVIAS

--- FERROVIA

— RUAS PRINCIPAIS

H1 . V5 LINHAS-BASE ARBITRÁRIAS

MAPA III
SUPERFÍCIE PRÉ-GEZOZÓICA
(Condições Atuais)

Escala Aprox. 1: 27.000
Equidistância Curvas de Nível : 5 m

LEGENDA

- GRUPO BAURIS
- FORMAÇÃO SERRA GERAL
- CONTATOS GEOLÓGICOS
- CURVAS DE NÍVEL
- COTAS ALTIMÉTRICAS
- RODOVIAS
- FERROVIA
- RUAS-PRINCIPAIS
- LIMITE URBANO
- LINHAS-BASE ARBITRÁRIAS

ensaios de caracterização dos solos, de compactação Proctor normal e ensaios triaxiais rápidos com medidas de pressão neutra e variação de volume, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

6.1 - Superfície Freática - Mapa V

Com base nos dados do Anexo I foi feito um mapeamento do nível freático superior da cidade de São Carlos, que geralmente está suspenso próximo ao contato Sedimento Cenozóico-Grupo Bauru.

O mapa V (pág.45) mostra a superfície freática através de curvas de nível com equidistância de 5 metros.

6.2 - Características das Formações

6.2.1 - Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral apresenta características bastante heterogêneas, uma vez que seu manto de intemperismo possui graus de alteração muito variados. Resultados do SPT (N), desde 4 até impenetrável, é comum em muitos perfis de sondagem, mostrando uma grande variação vertical.

A camada mais alterada, normalmente descrita como silte argiloso ou argila siltosa vermelha ou marrom, tem N variando desde 2 até 22 e sua espessura pode chegar - aos 11m (vide sondagem nº 38).

A porção menos alterada, descrita como silte arenoso cinza ou amarelo, apresenta N desde 4 até impenetrável e sua espessura dificilmente ultrapassa os 7 m.

Os resultados dos ensaios, sobre a única amostra obtida da Formação Serra Geral, estão mostrados na Tabela 1, sendo que, de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), tal amostra pode ser enquadrada no grupo MH dos siltes compressíveis.

6.2.2 - Grupo Bauru

A maior espessura do Grupo Bauru detectada pelas sondagens foi de 26m ao norte da cidade (sondagem nº 105), no entanto, acreditamos que a leste, nos altos topográficos da cidade, possa atingir valores bem mais elevados.

Os arenitos do Grupo Bauru possuem características bem menos heterogêneas que os basaltos alterados, apresentando, na maioria dos casos, valores de N entre 4 e 23.

A Tabela 1 mostra os resultados dos ensaios sobre as três amostras obtidas da fácies mais comum do Grupo Bauru, a areia fina argilosa rosada. As três amostras são classificadas pelo SUCS como siltes compressíveis (Grupo MH), sendo que, somente a amostra aos 8m de profundidade, pode também ser enquadrada no grupo SC das areias argilosas.

6.2.3 - Sedimentos Cenozóicos

As características dos Sedimentos Cenozóicos são bastante homogêneas, sendo que a grande parte dos SPT mostrou valores de N entre 2 e 7, independentemente das litologias arenosa ou argilosa.

Quanto à espessura, o Cenozóico arenoso pode ultrapassar os 12m (sondagem nº 1), predominando valores entre 5 e 7m. No Cenozóico argiloso, observaram-se espessuras de até 9m sem predominância para qualquer valor.

Na Tabela 1 são mostrados os resultados dos ensaios realizados sobre as duas amostras do Sedimento Cenozóico argiloso e as classificações obtidas através do SUCS, que enquadra a primeira amostra (3m de profundidade), no grupo fronteiro CL-ML e a segunda (4m de profundidade), no também fronteiro MH-ML.

O Sedimento Cenozóico arenoso, representado por sete amostras pode ser classificado pelo SUCS nos três primeiros metros de profundidade, como SC-SM, nos dois metros seguintes, como SM e no sexto e sétimo metros, tanto como SM como ML. Os resultados dos ensaios sobre essas amostras podem ser vistos na Tabela 1.

6.3 - Análise dos Resultados

Análises sobre os resultados obtidos, mostram uma significativa concordância de valores para amostras litologicamente iguais e pertencentes a mesma formação geológica. Além disso, verificam-se também variações acentuadas entre amostras litologicamente próximas, mas pertencentes a formações diferentes.

Apesar de o número de amostras ser muito pequeno e não representativo, pode-se sugerir, com esses poucos resultados, que a diferenciação geológica proposta parece ser muito útil na classificação preliminar dos solos da

região e que, talvez seja obrigatória nas correlações paramétricas que futuramente venham a ser propostas.

LOCAL	PROF. (m)	GEOLOGIA	ρ_s (g/cm ³)	ρ (g/cm ³)	e	w (%)	% AREIA	% ARGILA	LL	LP	ATIVIDADE COLOIDAL	$\rho_{dm\acute{o}x}$ (g/cm ³)	w _{ot} (%)	C _u (kPa)	ϕ_u	C' (kPa)	ϕ'	CLASS. (SUCS)
105	1,0	Cenozóico aren.	2,70	1,40	1,28	18,0	63	33	34,0	23,1	0,33	1,82	15,5	10	15°	10	23°	SC-SM
105	2,0	Cenozóico aren.	2,71	1,51	1,15	19,5	59	32	35,5	26,7	0,28	1,81	15,6	17	13°	15	24°	SC-SM
105	3,0	Cenozóico aren.	2,71	1,60	1,06	21,2	57	33	36,3	25,5	0,33	1,74	17,5	24	13°	10	29°	SC-SM
105	4,0	Cenozóico aren.	2,72	1,63	1,03	21,4	54	35	38,9	27,6	0,32	1,74	18,4	26	14°	18	25°	SM
105	5,0	Cenozóico aren.	2,71	1,60	1,08	22,7	55	30	36,7	30,4	0,21	1,73	18,8	25	11°	18	22°	SM
105	6,0	Cenozóico aren.	2,70	1,69	0,98	23,3	52	34	39,7	29,2	0,31	1,70	18,7	34	10°	28	20°	SM/ML
105	7,0	Cenozóico aren.	2,70	1,71	0,96	24,2	53	31	40,8	29,6	0,36	1,70	19,0	23	14°	21	22°	SM/ML
105	8,0	Grupo Bauru	2,69	1,71	0,91	21,1	53	33	62,4	34,4	0,85	1,64	20,8	45	23°	45	28°	SC/MH
105	9,0	Grupo Bauru	2,72	1,70	1,00	25,1	44	30	63,0	40,4	0,75	1,52	25,8	72	18°	68	23°	MH
105	9,7	Grupo Bauru	2,71	1,65	1,06	24,8	44	33	69,0	42,0	0,82	1,53	24,8	85	13°	78	18°	MH
42	3,0	Cenozóico arg.	2,92	1,51	1,36	22,4	44	41	46,0	26,5	0,48	1,74	20,9	27	14°	15	26°	CL-ML
42	4,0	Cenozóico arg.	2,93	1,51	1,41	23,5	44	38	51,4	31,3	0,53	1,69	21,5	33	16°	27	24°	MH-ML
42	6,0	F.Serra Geral	2,96	1,59	1,21	30,5	44	24	58,3	41,5	0,70	1,47	30,3	32	21°	-	-	MH

Tabela 1 - Resultados de Ensaios

CONCLUSÕES

Análises efetuadas sobre os resultados obtidos neste trabalho, permitem concluir, principalmente, o seguinte:

- a) foi possível, para a região de São Carlos e provavelmente o será também para regiões com características similares, determinar a geologia de subsuperfície, a partir de sondagens de simples reconhecimento;
- b) é indispensável, em trabalhos deste tipo, o conhecimento de todas as variações litológicas e respectivos posicionamentos espaciais de cada formação geológica envolvida;
- c) o topo da Formação Serra Geral parece não ultrapassar, na região, os 840m de altitude, sendo que os altos topográficos mapeados têm cota situada, invariavelmente, entre 835 e 840 metros;

- d) a espessura dos Sedimentos Cenozóicos na cidade de São Carlos é bastante homogênea, predominando valores próximos dos 6 metros;
- e) há concordância entre a identificação táctil-visual - obtida no laboratório do Departamento de Geotecnia e a descrita no relatório de sondagens das firmas, pelo menos daquelas que mais atuam na região;
- f) resultados do SPT mostram valores muito variados para a Formação Serra Geral (entre 4 e impenetrável), valores menos heterogêneos para o Grupo Bauru (entre 4 e 23) e valores relativamente homogêneos para os Sedimentos Cenozóicos (entre 2 e 7);
- g) a diferenciação geológica proposta parece ser muito - útil na classificação preliminar dos solos da região, principalmente quando não se dispõe de ensaios de caracterização, como é o caso de solos classificados - táctil-visualmente;
- h) acreditamos que correlações paramétricas, baseadas em relatórios comerciais de sondagens de simples reconhecimento, só devam ser analisadas para solos geologicamente idênticos, pois já no desenvolvimento inicial deste trabalho verificou-se que somente a classificação visual e táctil é insuficiente para diferenciar os solos envolvidos;
- i) este trabalho pode ser muito útil na orientação do profissional de engenharia ou de geologia no desenvol

vimento preliminar de um projeto, no entanto, não deve ser utilizado como subsídio para reduzir sondagens de simples reconhecimento, nem para obter parâmetros de projetos de fundações, pois as amostras ensaiadas não são numerosas o bastante para representar todo o subsolo da cidade.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho foi desenvolvido principalmente tendo em vista a caracterização geotécnica dos solos responsáveis pelo suporte da maioria das construções da cidade. A subdivisão geológica apresentada, somente inicia essa caracterização e portanto muito há para ser feito.

Sugestões para trabalhos mais imediatos, que seguem essa linha de pesquisa são a seguir apresentados:

- A concordância que parece haver entre as características dos solos da região e a classificação geológica proposta, deve ser melhor analisada através de ensaios sobre um número de amostras representativo de cada litologia. Em trabalhos desse tipo, acreditamos que seja suficiente submeter as amostras aos ensaios de caracterização dos solos.

- O uso dos relatórios de sondagens disponíveis no Departamento de Geotecnia, pode ser estendido visando a obtenção de correlações entre resultados de SPT e parâmetros para projetos de fundações. Essas correlações, ao nosso ver, só devem ser propostas para solos táctil-visual e

geologicamente idênticos.

• O grau e a forma como algumas variáveis, como por exemplo, tensão efetiva, posição do nível de água, tipo de solo, ângulo de atrito, coesão, etc., influenciam nos resultados do SPT, talvez possam ser analisados com base nos relatórios de sondagens do Departamento e em ensaios de laboratório. Para isso é necessário que se disponha de um método estatístico apropriado, que se adapte aos dados já disponíveis e aos que venham a ser obtidos em laboratório.

ANEXO I

RELAÇÃO DE SONDAGENS

Neste anexo, são representadas, de forma resumida e condensada, as principais informações contidas em cada um dos 105 relatórios de sondagens analisados neste trabalho. O local de cada sondagem é mostrado no Mapa I.

Abreviaturas e símbolos utilizados no anexo:

*	- nível d'água não alcançado
?	- classificação duvidosa
aluv.	- aluvionar
aren.	- arenoso (a)
arg.	- argiloso (a)
c/mv.	- com manchas variegadas
c/pedreg.	- com pedregulho
espess.	- espessura
F.	- Formação
f/m	- fina a média
I	- impenetrável ao amostrador
N.A.	- nível d'água
silt.	- siltoso (a)
sond.	- sondagem
verm.	- vermelho (a)

Nº SOND.	COTA (m)	N.A. Cota mês	Espess. Camada (m)	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	ENSAIO	Índice Resistência			GEOLOGIA PROVÁVEL
						min.	méd.	máx.	
1	855,0	* MAI	12,0 8,5	areia fina argilosa,marrom areia fina siltosa,verm. c/mv.	SPT	2 7	7 18	19 26	Cenozóico aren. Grupo Bauru
2	846,0	833 JAN	10,0 4,5 2,0	areia fina argilosa,marrom areia fina siltosa,vermelha silte arenoso,marrom,verm.c/mv.	IPT	2 9 12	3 12 12	4 16 13	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
3	830,0	822 OUT	3,5 5,5 1,0	areia fina argilosa,marrom areia fina siltosa,cinza,verm. areia fina siltosa,cinza,verm.	SPT	3 7 1	5 19	7 33	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral?
4	850,0	841 OUT	5,0 15,0 4,0	areia fina argilosa,marrom areia f/m siltosa,verm.c/mv. idem,verm.,marrom,cinza c/mv.	SPT	2 5 36	4 14 41	6 22 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
5	833,0	825 OUT	4,0 3,0 1,0	areia fina argilosa,marrom areia f/m siltosa,vermelha silte argiloso,verm.,cinza c/mv.	SPT	2 9 26	5 12 26	8 15 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
6	841,5	826 OUT	6,0 9,0 6,0	areia fina argilosa,marrom areia fina silt.,verm.c/mv. silte argiloso,verm.,cinza c/mv.	SPT	2 8 4	5 14 8	9 20 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
7	798,0	784 OUT	9,0 1,0 3,0 4,0	argila arenosa,vermelha escuro silte areno-argiloso,marrom areia fina média siltosa,cinza silte areno-arg.,marrom c/mv.	SPT	2 7 17 18	4 12 19 28	7 16 20 1	Cenozóico arg. Grupo Bauru Grupo Bauru F.Serra Geral
8	816,0	798 JUN	4,0 10,0 1,0 7,0 2,0	argila arenosa,vermelha silte aren.,amarelo,cinza c/mv. areia fina siltosa,vermelha silte arg.,verm.,marrom c/mv. silte arenoso,marrom cinza c/mv.	IPT	1 1 10 7 7	2 6 10 10 11	3 13 10 20 20	Cenozóico arg. Grupo Bauru Grupo Bauru F.Serra Geral F.Serra Geral
9	843,5	827 AGO	6,0 11,0 5,0	areia fina argilosa,marrom,verm. areia fina silt.,vermelha c/mv. silte arenoso,cinza c/mv.	IPT	3 3 22	3 9 28	6 20 30	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
10	836,0	820 ABR	9,0 7,5	areia fina argilosa,marrom silte arenoso,amarelo c/mv.	SPT	2 6	6 16	9 1	Cenozóico aren. F.Serra Geral
11	836,0	818 OUT	10,0 6,5 4,0	areia fina argilosa,marrom silte argiloso,vermelho c/mv. silte arenoso amarelo c/mv.	IPT	2 8 8	4 9 13	6 10 30	Cenozóico aren. F.Serra Geral F.Serra Geral
12	836,0	823 ABR	8,0 1,5 3,0 8,0	argila arenosa,vermelha escuro argila arenosa,vermelha escuro argila siltosa,vermelha c/mv. silte aren.,cinza,amarelo c/mv.	SPT	2 4 4 5	4 6 10 22	6 9 18 58	Cenozóico arg. Grupo Bauru F.Serra Geral F.Serra Geral
13	847,0	* JAN	8,5 2,0 3,0	areia fina argilosa,marrom silte argiloso,vermelho c/mv. silte aren.,amarelo,cinza c/mv.	SPT	2 5 11	4 12 26	10 16 1	Cenozóico aren. F.Serra Geral F.Serra Geral
14	838,0	822 OUT	11,5 0,5 4,0 1,0	areia fina argilosa,vermelha argila siltosa vermelha silte arg.,roxo,marrom c/mv. areia fina siltosa,amarela	IPT	1 6 7 30	4 6 13 30	12 8 18 1	Cenozóico aren. F.Serra Geral? F.Serra Geral? F.Botucatu?

Nº SOND.	COTA (m)	N.A. Cota mês	Espess. Camada (m)	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	ENSAIO	Índice Resistência			GEOLOGIA PROVÁVEL
						min.	méd.	máx.	
15	853,0	* NOV	7,0 4,0 5,0 2,0	areia fina argilosa,marrom areia fina siltosa,marrom idem,vermelha,marrom c/mv. silte argiloso,marrom c/mv.	SPT	2 4 8 16	2 8 17 24	4 18 1 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru F.Serra Geral
16	859,0	* OUT	9,0 7,0	areia f/m argilosa,amarela areia f/m siltosa,verm.c/mv.	IPT	2 4	3 17	4 30	Cenozóico aren. Grupo Bauru
17	854,5	837 OUT	8,0 11,0 5,0	areia fina argilosa,marrom areia f/m siltosa,verm.c/mv. silte arg.,vermelho,cinza c/mv.	SPT	2 9 35	6 13 35	10 17 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
18	868,0	850 JAN	7,0 3,0 15,0	areia fina argilosa,vermelha areia fina argilosa,vermelha areia fina siltosa,verm.c/mv.	SPT	3 12 11	6 16 17	8 22 24	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru
19	876,0	861 OUT	9,0 16,0	areia fina arg.,amarela,marrom silte arenoso,vermelho c/mv.	SPT	0 6	4 16	16 29	Cenozóico aren. Grupo Bauru
20	877,0	861 MAR	11,0 19,0	areia f/m arg.,marrom,verm. areia f/m siltosa,verm.,c/mv.	IPT	1 4	3 8	8 11	Cenozóico aren. Grupo Bauru
21	875,0	861 OUT	7,0 17,0	areia fina argilosa,marrom areia f/m silt.,verm.c/mv.	IPT	1 4	2 7	4 13	Cenozóico aren. Grupo Bauru
22	870,0	856 NOV	6,0 10,0	areia fina argilosa,marrom areia fina silt.,rosa,marrom c/mv	SPT	2 4	5 12	7 17	Cenozóico aren. Grupo Bauru
23	830,0	* OUT	5,0 10,0	argila arenosa,vermelha silte aren.,marrom,cinza c/mv.	SPT	4 6	4 20	5 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
24	816,0	808 JAN	3,5 6,0	argila arenosa,vermelha silte aren.,amarelo,marrom c/mv.	IPT	1 2	2 10	3 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
25	831,0	* ABR	7,0 8,0	argila siltosa,vermelha silte arenoso,cinza c/mv.	IPT	2 3	4 13	6 30	Cenozóico arg. F.Serra Geral
26	843,0		8,5 5,0	argila arenosa,vermelha silte arg.,amarelo,cinza c/mv.	SPT	4 4	5 10	7 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
27	833,0	819 FEV	8,0 3,0 4,0	argila siltosa,vermelha argila siltosa,marrom argila siltosa,marrom e roxa	SPT	1 3 7	3 8 16	4 13 34	Cenozóico arg. F.Serra Geral F.Serra Geral
28	825,0	812 FEV	8,0 2,0 5,0	argila siltosa,vermelha argila siltosa,marrom argila siltosa,marrom e roxa	SPT	1 3 4	4 6 13	10 10 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral F.Serra Geral
29	827,0	818 NOV	6,0 10,0 4,0	argila arenosa,vermelha silte argiloso,vermelho c/mv. silte arenoso,cinza c/mv.	SPT	4 6 17	4 9 34	6 11 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral F.Serra Geral
30	803,0	803 ABR	3,0	areia f/m silt.,cinza c/mv. rocha	IPT	2 1	3	3	Cenozóico aluv. F.Serra Geral
31	803,0	802 JUN	4,0	(sedimentos arenosos variados) rocha	IPT	1 1	3	5	Cenozóico aluv. F.Serra Geral
32	806,0		3,5 3,0	areia f/m argilosa,marrom silte aren.,cinza,marrom c/mv.	IPT	1 3	2 20	3 1	Cenozóico aren. F.Serra Geral
33	802,0	800 MAI	1,0 4,0	argila aren.,cinza,marrom c/mv. silte arenoso,marrom c/mv.	IPT	1 1	1 9	2 1	Cenozóico aluv. F.Serra Geral

Nº SOND.	COTA (m)	N.A. Cota mês	Espess. Camada (m)	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	ENSAIO	Índice Resistência			GEOLOGIA PROVÁVEL
						min.	méd.	máx.	
34	816,0	806 SET	6,0 12,5	areia fina argilosa, vermelha silte arg., marrom, cinza c/mv.	IPT	2 3	2 7	4 1	Cenozóico aren. F.Serra Geral
35	796,0	796 NOV	3,5 2,0	areia fina argilosa, cinza c/mv. silte arg., marrom, amarelo c/mv.	IPT	1 7	7 9	16 1	Cenozóico aluv. F.Serra Geral
36	807,0	802 MAI	2,0 7,0 3,0	argila arenosa, marrom argila siltosa, marrom c/mv. silte aren., amarelo, cinza c/mv.	SPT	2 2 10	3 7 30	6 16 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral F.Serra Geral
37	816,0	812 AGO	5,0 7,0 7,5	argila arenosa, vermelha silte argiloso, vermelho c/mv. silte aren., marrom, amarelo c/mv.	SPT	2 8 11	4 13 26	13 24 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral F.Serra Geral
38	832,0	823 AGO	8,0 11,0 9,0	argila arenosa, vermelha silte argiloso, marrom c/mv. silte aren., amarelo, cinza c/mv.	SPT	2 4 14	2 10 24	5 15 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral F.Serra Geral
39	828,5	820 DEZ	7,0 6,0 12,0	argila arenosa, vermelha silte argiloso, marrom c/mv. silte aren., marrom, amarelo c/mv.	SPT	1 4 6	2 7 19	6 18 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral F.Serra Geral
40	834,0	821 JUN	6,0 18,0	argila pouco arenosa, vermelha silte argiloso, vermelho c/mv.	SPT	2 5	3 11	6 31	Cenozóico arg. F.Serra Geral
41	824,0	813 AGO	2,0 7,0 13,0	areia fina argilosa, vermelha argila arenosa, vermelha silte argiloso, marrom c/mv.	SPT	2 2 7	2 5 14	2 9 53	Cenozóico aren. Cenozóico arg. F.Serra Geral
42	828,0	813 JAN	5,0 9,0 6,0 1,0	argila arenosa, marrom silte aren., marrom, cinza c/mv. argila silt., marrom, vermelha silte arenoso, marrom, cinza	SPT	2 7 12 24	4 16 19 45	7 28 28 63	Cenozóico arg. F.Serra Geral F.Serra Geral F.Serra Geral
43	818,0	810 OUT	4,0 15,0	argila arenosa, marrom silte argiloso, marrom c/mv.	IPT	2 3	3 10	4 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
44	842,5	829 DEZ	5,0 1,0 6,0 4,0	areia fina média, verm., amarela areia arg.c/pedreg., verm.c/mv. silte arenoso, vermelho c/mv. silte argiloso, amarelo c/mv.	IPT	1 1 2 5	1 1 3 12	3 3 4 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru F.Serra Geral
45	849,0	841 MAI	5,5 10,0 7,0	areia fina argilosa, marrom areia f/m. siltosa, verm.c/mv. silte aren., cinza, verde c/mv.	IPT	1 2 10	1 8 22	2 15 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
46	853,0	847 FEV	5,5 6,0 7,5 2,0	argila silto-arenosa, marrom ? argila silto-arenosa, vermelha ? silte argiloso, vermelho, cinza ? silte argiloso, vermelho, cinza	SPT	2 2 9 31	3 8 19 36	7 16 34 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru F.Serra Geral
47	851,0	844 OUT	3,0 4,0 12,0 3,5	areia f/m argilosa, amarela areia arg. c/pedreg., vermelha areia f/m argilosa, variegada silte arenoso, amarelo c/mv.	IPT	2 2 3 20	2 2 11 30	2 4 30 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru F.Serra Geral
48	847,5	839 JUN	7,0 11,0 3,0	areia f/m argilosa, marrom areia f/m siltosa, verm.c/mv. areia f/m siltosa, verm.c/mv.	IPT	1 2 10	2 7 25	3 11 30	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral

Nº SOND.	COTA (m)	N.A. Cota mês	Espess. Camada (m)	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	ENSAIO	Índice Resistência			GEOLOGIA PROVÁVEL
						min.	med.	máx.	
49	840,0	830 SET	5,5 7,5 4,0	areia fina argilosa,marrom areia f/m siltosa,verm. c/mv. silte aren.,marrom,cinza c/mv.	SPT	2 3 15	3 9 32	5 49 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
50	833,0	819 JUL	6,0 3,5 5,0	areia fina argilosa,marrom areia fina silto-arg.,marrom silte aren.,verm.,amarelo c/mv.	SPT	3 5 11	5 8 18	10 11 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
51	826,0	* DEZ	5,0 3,0	argila arenosa,marrom silte argiloso,variegado	IPT	0 4	3 6	5 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
52	818,0	808 NOV	3/19	silte aren.,cinza,amarelo c/mv. (espessura da camada muito variável)	SPT	4	12	1	F.Serra Geral
53	836,0	* DEZ	6,0 3,0 6,0	areia fina argilosa,marrom areia fina argilosa,marrom silte,marrom,amarelo c/mv.	SPT	1 8 4	3 9 10	6 9 28	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
54	825,5	814 DEZ	4,0 3,0 7,0	argila arenosa,vermelha argila arenosa,vermelha silte arenoso,amarelo c/mv.	IPT	2 3 3	2 3 6	3 4 1	Cenozóico arg. Grupo Bauru ? F.Serra Geral
55	822,5	813 JUL	7,5 7,0	argila pouco arenosa,vermelha silte arg.,amarelo,preto,cinza	SPT	2 8	3 13	7 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
56	817,0	* OUT	6,5 3,5	areia fina argilosa,vermelha ? silte arenoso,amarelo c/mv.	SPT	4 9	6 18	8 67	Cenozóico arg. F.Serra Geral
57	800,0	* ABR	2,0 2,0	areia fina argilosa,vermelha ? silte aren.,marrom,amarelo c/mv.	SPT	2 9	3 16	4 38	Cenozóico arg. F.Serra Geral
58	814,0	804 JUL	7,5 7,0	argila pouco arenosa,vermelha silte argiloso,amarelo,cinza	SPT	2 4	4 23	6 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
59	813,0	804 ABR	5,0 9,0	argila arenosa,vermelha silte arg.,amarelo,cinza c/mv.	IPT	2 3	2 7	3 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
60	846,0	837 MAR	7,0 5,0 8,5 3,5	areia fina argilosa,marrom areia f/m siltosa,marrom c/mv. areia f/m argilosa,vermelha silte arg.,marrom,verm.c/mv.	SPT	2 6 9 12	4 13 17 31	10 16 28 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru F.Serra Geral
61	852,0	843 DEZ	7,0 10,0 7,0 2,0	areia fina argilosa,marrom areia fina silt.,marrom c/mv. areia fina silt.,cinza,marrom silte arenoso,cinza c/mv.	SPT	0 2 14 26	3 8 23 38	5 19 36 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru F.Serra Geral
62	843,0	836 JUN	6,0 9,0	argila siltosa,marrom ? argila siltosa,vermelha,cinza ?	IPT	1 4	2 17	4 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru
63	840,0	832 OUT	5,5 10,0 3,0	areia fina argilosa,marrom areia fina silt.,vermelha c/mv. silte aren.,marrom,cinza c/mv.	IPT	1 2 14	2 6 23	2 18 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
64	836,0	827 OUT	6,5 6,0 6,0	areia fina argilosa,marrom areia silt.,vermelha c/mv. silte arenoso, cinza c/mv.	IPT	1 1 6	2 3 21	5 5 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral

Nº SOND.	COTA (m)	NA Cota mês	Espess. Camada (m)	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	ENSAIO	Índice Resistência			GEOLOGIA PROVÁVEL
						min.	méd.	máx.	
65	833,5	819 MAR	9,0 7,5 2,5	areia fina argilosa,marrom silte argiloso,marrom c/mv. silte aren.,marrom,cinza c/mv.	SPT	2 9 26	5 13 42	9 16 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru? F.Serra Geral
66	822,0	816 JUN	3,0 9,0	argila siltosa,vermelha argila silt.,verm.,cinza,amarela	IPT	1 4	4 16	8 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
67	813,0	805 MAI	3,0 6,0	argila siltosa,vermelha argila silt.,verm.,cinza,amarela	IPT	1 5	4 15	8 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
68	817,0	804 MAI	7,0 11,0	argila arenosa,vermelha silte arenoso,amarelo c/mv.	IPT	2 3	3 8	3 1	Cenozóico arg. F.Serra Geral
69	836,5	824 JUN	7,0 8,0 2,5	areia fina argilosa,vermelha areia fina silt.,vermelha c/mv. silte aren.,amarelo,cinza c/mv.	IPT	1 3 8	2 6 17	5 9 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
70	861,5	* JUN	6,0 3,0	areia f/m argilosa,marrom areia arg. c/pedreg.,variegada	IPT	1 3	2 6	3 8	Cenozóico aren. Grupo Bauru
71	864,0	857 ABR	7,5 3,5 13,0 3,0	areia f/m arg.,marrom,verm. argila siltosa,vermelha c/mv. areia fina silt.,marrom c/mv. areia f/m argilosa,verm.c/mv.	SPT	2 6 6 8	3 8 13 12	6 13 48 15	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru Grupo Bauru
72	850,0	846 AGO	6,0 4,0 4,5	areia fina arg.,amarela,marrom areia fina silto-arg.,vermelha areia fina siltosa,marrom	SPT	1 10 15	2 18 23	3 27 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru
73	847,0	844 MAI	14,0	areia fina arg.,marrom c/mv.	SPT	0	13	1	Grupo Bauru
74	846,0	843 JAN	6,0 6,0	areia fina silt.,marrom c/mv. areia fina silt.,marrom c/mv.	SPT	2 10	6 23	9 1	Grupo Bauru Grupo Bauru
75	850,0	843 MAI	6,0 5,5 11,5	areia fina argilosa,amarela areia fina silt.,vermelha c/mv. silte aren.,marrom,cinza c/mv.	IPT	2 3 3	3 4 10	5 6 25	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
76	848,0	837 AGO	6,0 6,5 8,0	areia f/m arg.,amarela,verm. areia f/m argilosa,verm.c/mv. argila siltosa,vermelha c/mv.	IPT	1 2 5	2 4 9	5 8 20	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral
77	838,0		12,0 3,0	silte arenoso,cinza c/mv. silte arenoso,cinza c/mv.	IPT	1 20	6 25	15 30	Grupo Bauru ? F.Serra Geral?
78	857,0	848 ABR	6,0 6,0 12,0	areia siltosa,marrom c/mv. areia f/m siltosa,verm.c/mv. idem,cinza,vermelha c/mv.	IPT	2 4 8	2 6 17	3 7 21	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru
79	865,0	854 NOV	7,5 17,0	areia fina argilosa,marrom areia fina siltosa,marrom c/mv.	SPT	2 5	5 13	10 23	Cenozóico aren. Grupo Bauru
80	865,0	858 NOV	4,0 5,0 16,0	areia fina arg.,marrom,vermelha areia fina arg.,marrom,vermelha areia fina silt.,marrom,cinza	SPT	2 5 7	4 6 13	6 8 24	Cenozóico aren. Grupo Bauru Grupo Bauru

Nº SOND.	COTA (m)	N.A. Cota mês	Espess. Comodo (m)	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	ENSAIO	Índice Resistência			GEOLOGIA PROVÁVEL
						min.	méd.	máx.	
81	868,0	860 AGO	4,0	argila arenosa, amarela ?	IPT	0	2	4	Cenozóico aren.
			1,0	argila c/pedregulhos, vermelha?		2	3	4	Grupo Bauru
			3,5	argila variegada?		2	4	7	Grupo Bauru
			7,0	argila arenosa, vermelha?		2	5	9	Grupo Bauru
			4,0	argila arenosa, variegada?		2	5	9	Grupo Bauru
			1,0	argila, variegada?		17	17	17	Grupo Bauru
82	878,0	871 FEV	5,0	areia fina argilosa, marrom	SPT	2	3	5	Cenozóico aren.
			12,0	areia f/m siltosa, verm. c/mv.		3	15	33	Grupo Bauru
			5,0	silte aren., marrom, cinza c/mv.		14	23	1	Grupo Bauru
				areia fina siltosa, marrom		1			Grupo Bauru
83	873,0	863 JAN	4,5	areia f/m argilosa, marrom	IPT	1	2	3	Cenozóico aren.
			2,0	areia média arg., verm. c/mv.		4	4	5	Grupo Bauru
			9,0	areia fina silt., vermelha c/mv.		5	9	13	Grupo Bauru
84	903,0	895 SET	3,0	areia fina siltosa, marrom	IPT	2	3	4	Cenozóico aren.
			12,0	areia fina silt., verm., cinza c/mv		3	13	1	Grupo Bauru
85	859,0	844 NOV	5,0	areia fina arg., amarela, marrom	SPT	1	1	2	Grupo Bauru
			11,0	areia fina silt., vermelha c/mv.		1	5	11	Grupo Bauru
			3,0	silte arenoso, amarelo c/mv.		14	42	1	F.Serra Geral
86	866,0	860 DEZ	5,0	areia fina arg., marrom c/mv.	SPT	1	3	5	Cenozóico aren.
			11,5	areia fina silt., vermelha c/mv.		3	19	35	Grupo Bauru
87	860,0	855 DEZ	6,0	areia f/m arg., verm., amarela	IPT	1	1	1	Cenozóico aren.
			15,0	areia f/m siltosa, verm. c/mv.		2	6	40	Grupo Bauru
88	846,0	838 MAI	6,0	areia fina argilosa, marrom	SPT	4	6	7	Cenozóico aren.
			2,0	areia fina argilosa, marrom		5	7	8	Grupo Bauru
			9,5	areia fina siltosa, marrom c/mv.		5	10	18	Grupo Bauru
			3,0	silte arenoso, vermelho c/mv.		37	39	1	F.Serra Geral
89	835,0	822 NOV	6,5	areia fina argilosa, marrom, verm.	SPT	2	6	10	Cenozóico aren.
			9,5	silte arg., verm., amarelo c/mv.		7	17	56	F.Serra Geral?
90	935,0	823 NOV	6,0	areia fina argilosa, marrom	IPT	1	3	8	Cenozóico aren.
			2,0	areia fina argilosa, marrom		3	5	8	Grupo Bauru
			4,5	argilosa siltosa, vermelha c/mv.		3	6	9	F.Serra Geral?
			8,0	silte argiloso, vermelho c/mv.		4	8	10	F.Serra Geral
91	931,0	819 NOV	7,5	areia fina argilosa, marrom	IPT	1	2	8	Cenozóico aren.
			3,0	areia fina argilosa, marrom		4	7	18	Grupo Bauru
			12,0	argila siltosa, vermelha c/mv.		5	7	13	F.Serra Geral?
			2,0	silte arenoso, marrom c/mv.		10	10	10	F.Serra Geral
92	830,0	820 NOV	8,0	areia fina arg., marrom, verm.	SPT	2	4	9	Cenozóico aren.
			7,0	silte arg., verm., marrom c/mv.		11	20	31	F.Serra Geral?
93	829,5	818 NOV	6,0	areia fina arg., marrom, verm.	IPT	1	2	6	Cenozóico aren.
			1,0	areia fina arg., marrom, verm.		3	6	11	Grupo Bauru
			3,0	argila siltosa, vermelha c/mv.		3	5	6	F.Serra Geral?
			6,0	silte aren., marrom, verm. c/mv.		5	6	7	F.Serra Geral
94	834,0	822 SET	6,0	areia fina argilosa, marrom	SPT	0	2	7	Cenozóico aren.
			18,0	silte argiloso, vermelho c/mv.		4	9	65	F.Serra Geral?
95	835,0	822 AGO	6,5	areia fina argilosa, marrom	IPT	1	1	2	Cenozóico aren.
			3,5	argila siltosa, vermelha c/mv.		3	5	8	Grupo Bauru
			4,0	silte argiloso, vermelho c/mv.		6	7	10	F.Serra Geral?

Nº SOND.	COTA (m)	N.A. Cota mês	Espess. Camada (m)	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	ENSAIO	Índice Resistência			GEOLOGIA PROVÁVEL
						min.	méd.	máx.	
96	833,0	* AGO	7,5 2,0 4,0	areia fina argilosa,marrom silte arenoso,marrom c/mv. argila siltosa,vermelha c/mv.	IPT	1 6 8	1 7 12	2 8 15	Cenozóico aren. Grupo Bauru? F.Serra Geral?
97	832,0	* AGO	6,5 2,0 1,0	areia fina argilosa,marrom areia silt.c/pedreg.,marrom c/mv argila siltosa,vermelha c/mv.	IPT	1 6 17	1 8 17	2 1 17	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral?
98	827,0	821 MAI	6,0 17,0	areia f/m arg.,marrom c/mv. silte argiloso,marrom c/mv.	IPT	1 5	1 10	2 13	Cenozóico aren. F.Serra Geral?
99	826,0	817 SET	8,5 16,0	areia fina argiloso,vermelho c/mv silte argiloso,vermelho c/mv.	SPT	2 6	5 13	12 22	Cenozóico aren. F.Serra Geral?
100	822,0	821 SET	2,5 6,0	areia fina arg.,cinza,marrom c/mv argila siltosa,vermelha c/mv.	SPT	4 7	6 11	11 13	Cenozóico aren.? F.Serra Geral?
101	844,0	839 FEV	5,0 10,0 1,0 1,5 2,5	areia fina arg.,vermelha c/mv. areia fina arg.,vermelha c/mv. argila siltosa,marrom c/mv. silte arenoso,marrom c/mv. argila siltosa,marrom c/mv.	SPT	2 2 9 14 10	3 9 11 40 40	5 32 11 1 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral F.Serra Geral F.Serra Geral
102	832,0	822 ABR	3,0 1,0 10,0 6,0	argila arenosa,marrom argila arenosa,marrom silte arg.,marrom,amarelo c/mv. silte arg.,marrom,roxo c/mv.	SPT	1 1 2 15	2 4 15 32	5 9 40 48	Cenozóico arg. Grupo Bauru F.Serra Geral F.Serra Geral
103	816,0	811 AGO	1,0 9,0 3,5 10,5	areia fina argilosa,vermelha silte aren.,marrom,amarela c/mv. silte argiloso,marrom c/mv. silte aren.,marrom,amarelo c/mv.	IPT	1 1 4 10	2 6 7 19	3 10 11 1	Cenozóico aren. F.Serra Geral F.Serra Geral F.Serra Geral
104	820,0	817 JAN	5,0 8,0 4,0 5,0	areia fina arg.,amarela,verm. silte arg.,amarelo,verm. c/mv. silte argiloso,vermelho silte aren.,marrom,amarelo c/mv.	SPT	0 4 9 18	2 9 11 28	9 14 22 39	Cenozóico aren. F.Serra Geral F.Serra Geral F.Serra Geral
105	852,0	844 MAI	7,0 26,0 3,0	areia fina argilosa,marrom areia fina silt.,verm.,marrom c/mv silte arenoso,cinza c/mv. (SPT realizado somente até 26 m)	SPT	2 4	4 10	6 17 1	Cenozóico aren. Grupo Bauru F.Serra Geral

BIBLIOGRAFIA

1. ABNT (1945) - Normas Gerais de Sondagens de Reconhecimento para Fundações de Edifícios - ABNT - NB-12.
2. ABNT (1980) - Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento - ABNT - NBR 6484 - dez/1980.
3. Aeromapa Brasil S.A. (1970) - Levantamento aerofotogramétrico - Cidade de São Carlos. Esc. 1:2.000 (22 pranchas).
4. Bjornberg, A.J.S. e Tolentino, M. (1959) - Contribuição ao estudo da geologia e águas subterrâneas em São Carlos. Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 8, nº 2, set / 1959 (separata).
5. Bjornberg, A.J.S.; Gandolfi, N. e Paraguassu, A.B. (1964) Ocorrência de prismas hexagonais de arenito em São Carlos, SP (Formação Botucatu). Bol. Soc. Bras. Geol. Vol. 13, nºs 1-2 (separata).
6. Bjornberg, A.J.S. (1965) - Sedimentos Pós-Cretácicos do leste do Estado de São Paulo. Tese de Livre-Docência, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 133 p., São Carlos.

7. Bjornberg, A.J.S. e Landim, P.M.B. (1966) - Contribuição ao Estudo da Formação Rio Claro (Neoceno-zóico). Bol. Soc. Bras. Geol., Vol. 15, nº 4. (separata).
8. Bjornberg, A.J.S. (1969) - Contribuição ao Estudo do Cenozóico Paulista: Tectônica e Sedimentologia. Tese de Professor Titular, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 128 p. São Carlos.
9. Bueno, B.S. e Vilar, O.M. (1980) - Mecânica dos Solos. Apostila. Universidade Federal de Viçosa-MG, 131 p., Viçosa.
10. Christofolletti, A. e Queiróz Neto, J.P. (1966) - Os Sedimentos de Serra de Santana (São Paulo) - Bol. Paranaense de Geogr. nºs 18-20. (separata).
11. D.A.E.E. (1974) - Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 6 - Ribeirão Preto. Vol. 2,3,4, DAEE.
12. DNAEE-EESC(1980)- Bacia Experimental Rio Jacaré-Guaçu. Convênio DNAEE-EESC. Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 113 p., São Carlos.
13. Fiori, A.P.; Gama Jr., E. e Caetano, M.R. (1976) - Mapa Fotogeológico da Região de São Carlos. Esc. 1:100.000.
14. Fletcher, G.F.A. (1965) - Standard Penetration test: its uses and abuses. J. Soil Mech. Found. Div. ASCE, Vol. 91, nº SM 4, pp 67-75.
15. Freitas, R. O. de (1955) - Sedimentação, Estratigrafia e Tectônica da Série Bauru (Estado de São Paulo). Faculdade Filosofia, Ciências e Letras-USP, Bol. 194, Geol. 14, 185 pp. São Paulo.

16. Gandolfi, N.; Bjornberg, A.J.S.; Paraguassu, A.B. e Rodrigues, J.E. (1975) - Feições Tectônicas das Ocorrências de Magmatitos Básicos na Bacia do Rio Paraná - Brasil. II Congresso Ibero-Americano de Geologia Econômica, Buenos Aires, Tomo III, pp. 225- 34. (separata).
17. Hvorslev, M.J. (1949) - Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purposes. Waterways Experiment Station, Vicksburg.
18. IBGE (1981) - Sinopse preliminar do censo demográfico: São Paulo. IX Recenseamento geral do Brasil - 1980. IBGE, Rio de Janeiro.
19. IGG (1964) - Geologia do Estado de São Paulo. IGG., Bol. nº 41, 263 p., São Paulo.
20. IPT (1981) - Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Esc. 1:500.000, Vol. I e II, São Paulo.
21. Ireland, H.O.; Moretto, O. e Vargas, M. (1970) - The dynamic penetration test: a standard that is not standardized. Géotechnique. Vol. 20, nº 2 - 185-192 pp.
22. King, L.C. (1956) - A Geomorfologia do Brasil Oriental. Rev. Bras. Geogr., XVIII, nº 2, 147-265 pp., Abr-Jun/1956.
23. Machado, O. e Magalhães, C. (1955) - A resistência à penetração na fixação das taxas admissíveis dos terrenos de fundação. Rev. de Engenharia, Vol. XIII, nº 148, março 1955.

24. Mello, V.F.B. de e Magalhães, C.S. (1957) - Reconhecimento do subsolo para fundações de edifício. Rev. Eng. Mackenzie, nº 133, 77-90 pp., set/out. 1957.
25. Mello, V.F.B. de (1971) - The Standard Penetration Test. State of the Art. An. IV Cong. Pan. Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Vol. 1, pp. 1-86, Porto Rico.
26. Mezzalana, S. (1974) - Contribuição ao Conhecimento da Estratigrafia e Paleontologia do Arenito Bauru. IGG, Bol. nº 51, 163 p., São Paulo.
27. Nogueira, J.B. (1977) - Amostragem e Reconhecimento do subsolo. Apostila Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 81 p. São Carlos.
28. Prefeitura Municipal de São Carlos (1976) - Mapa do traçado urbano - Cidade de São Carlos. Esc. 1:10.000, P.M. São Carlos, Div. Cadastro.
29. Schmertmann, J.H. (1966) - Discussion: "Standard Penetration Test: its uses and abuses". J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol. 92, nº SM 5, sept/1966.
30. Soares, P.C.; Sinelli, O.; Penalva, F.; Wernick, E.; Souza, A. e Castro, P.R.M. (1973) - Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. An. XXVII - Cong. Bras. de Geol., Vol. 1, pp. 209-229, Aracaju.
31. Soares, P.C.; Landim, P.M.B., Fulfaro, V.J. e Sobreiro Neto, A.F. (1980) - Ensaio de Caracterização Estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. Rev. Bras. Geociências, Vol. 10, Nº 3, pp.

32. Soares, P.C. (1975) - Divisão Estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo. Rev. Bras. Geociências, Vol. 5, nº 4, pp. 229-251, dez/1975.
33. Stancati, G.; Nogueira, J.B. e Vilar, O.M. (1981) - Ensaaios de Laboratório em Mecânica dos Solos. Apostila Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 208 p., São Carlos.
34. Teixeira, A.H. (1974) - A Padronização da Sondagem de Simples Reconhecimento. An. V Cong. Bras. de Mecânica dos Solos, Vol. III, pp. 1-22, São Paulo.
35. Terzaghi, K. e Peck, R.B. (1967) - Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons, 2nd edition, 729 p. New York.
36. Tolentino, M.; Gandolfi, N. e Paraguassu, A.B. (1968) - Estudo Morfométrico das Bacias Hidrográficas do Planalto de São Carlos (São Paulo). Rev. Bras. Geogr. ano 30, nº 4, pp. 42-50.
37. Vargas, M. (1945) - A exploração do sub-solo para fins de estudos de fundações. Rev. Politécnica, ano 41º, nº 149, pp. 167-180, out/1945.
38. Vilar, O.M. (1979) - Estudo da Compressão Unidirecional do Sedimento Moderno (Solo Superficial) da cidade de São Carlos. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 110 p., São Carlos.
39. Zuquette, L.V. (1981) - Mapeamento Geotécnico Preliminar na Região de São Carlos. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, Vol. I e II,