

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

Caracterização do Aquífero Botucatu na Região do Lixão de São Carlos - SP



Geóloga Ana I. ... abóia de Freitas

Orientador: Prof. Dr. Dante Contin Neto

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos
como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Mestre
em Ciências da Engenharia Ambiental

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017283

São Carlos, 1996



Foto da Capa: Operação de quarteamento de "lixo" durante a construção de poços de monitoramento e amostragem - trabalho em equipe.

Data : 31/10/95

Autor: Dante Contin Neto

Class.	TESE
Cont.	F. Sabóia
Tempo	1996/97

Eng. Dante Contin Neto

Tese
2336

ct 0745512

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

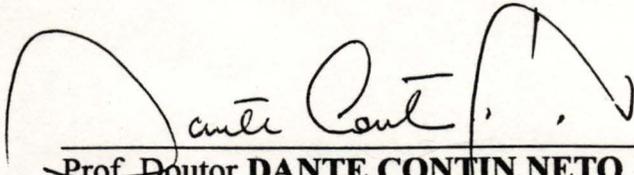
F866c Freitas, Ana Luíza Sabóia de
Caracterização do Aquífero Botucatu na região do lixão de São Carlos - SP / Ana Luíza Sabóia de Freitas. - São Carlos, 1996.

Dissertação (Mestrado). -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1996.
Orientador: Prof. Dr. Dante Contin Neto.

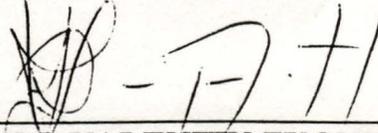
1. Água subterrânea. 2. Resíduos sólidos.
 3. Lixão. 4. Ensaio de bombeamento.
 5. Eletroresistividade. 6. Aquífero botucatu.
- I. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

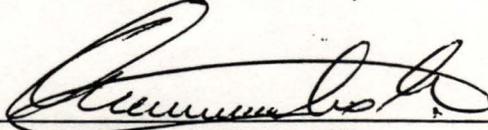
Dissertação defendida e aprovada em 24-9-1996
pela Comissão Julgadora:



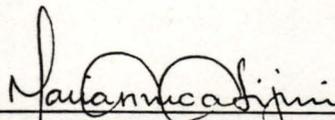
Prof. Doutor **DANTE CONTIN NETO (Orientador)**
(Departamento de Hidráulica e Saneamento - USP)



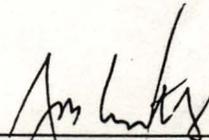
Prof. Doutor **LÁZARO VALENTIN ZUQUETTE**
(Departamento de Geotecnia - USP)



Prof. Doutor **VALDIR SCHALCH**
(Departamento de Hidráulica e Saneamento - USP)



Prof. Dra. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora da área - Ciências da Engenharia Ambiental



Prof. Dr. **JOSE CARLOS ANGELO CINTRA**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

A Antônio Alberto Fonseca Filho.
Amor, força e dedicação.

A minha mãe, Lygia M^a Maurity Sabóia, meu pai,
Carlos Eduardo de Freitas, meus irmãos, Cristiana e Pedro Felipe
e a minha avó, Adelaide Pinheiro Guimarães de Freitas (*in Memoriam*),
que tanto me incentivaram em todas os momentos importantes da vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Dante Contin Neto, pela orientação exemplar, amizade e prestatividade em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Valdir Schalch, pelos incentivo, discussões instrutivas sobre resíduos sólidos e sugestões.

Ao Prof. Walter Malagutti Filho, pela ajuda no levantamento geofísico e na interpretação dos dados.

Ao Geólogo Marcelo Roselli, pela inestimável ajuda e orientação em todas as etapas dos trabalhos de campo.

Aos funcionários Roberto Maramarque e Fernando Felipelli, pela presença imprescindível e companhia nos trabalhos de campo, pela prestatividade e espírito de trabalho em grupo.

Ao Matemático Sérgio Sadayoshi Matsuzaki e ao Eng. Sanitarista Romeu Francisco Gadotti, pela amizade e pelas grandes "brigas" e discussões.

Ao Eng. Civil Fernán Enrique Vergara pela ajuda na confecção de gráficos de comparação de curvas.

Aos Funcionários Paulo Sérgio Batista (Dep. de Transportes EESC), João Carlos Rodrigues e Mário Márcio Espadacini, pela realização do levantamento planialtimétrico.

Às empresas BASE Infra-estrutura e Fundações LTDA e DESTACA Fundações LTDA, pelo auxílio na perfuração dos poços de monitoramento e amostragem.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

A FAPESP pela concessão da verba de auxílio pesquisa.

Aos proprietários do Sítio St^a Madalena e da Fazenda Itaguassu, por dar apoio logístico e possibilitar a execução dos trabalhos de campo na área do "lixão" de São Carlos.

Em especial a Antônio Alberto Fonseca Filho, pelo carinho e amor, pela ajuda em todos as etapas e por ser alguém muito especial.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
Lista de Siglas	vii
Lista de Símbolos	viii
Resumo	ix
Abstract	x
1 - Introdução	1
2 - Objetivos	4
3 - Localização e Acesso	5
4 - Revisão Bibliográfica	6
4.1 - Conceitos	6
4.1.1 - Balanço Hídrico	6
4.1.2 - Hidrologia Subterrânea	8
4.1.2.1 - Aquíferos	8
4.1.2.2 - Classificação Litológica de Aquífero	8
4.1.2.3 - Classificação de Aquíferos de Acordo com a Pressão Hidrostática	9
4.1.2.4 - Conceitos Fundamentais	10
4.2 - Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos importantes na Locação de Aterros Sanitários	16
4.3 - Métodos de Balanço Hídrico para Aterros Sanitários	18
4.4 - Aspectos Importantes na Geração de Chorume em Aterros e "Lixões"	23
4.5 - Aspectos Fisiográficos da Área de Estudo	25
4.5.1- Geologia Regional	25

4.5.1.1 - Considerações Gerais	25
4.5.1.2 - Formação Pirambóia	26
4.5.1.3 - Formação Botucatu	26
4.5.1.4 - Formação Serra Geral	27
4.5.1.5 - Grupo Bauru	27
4.5.2 - Geologia Local	28
4.5.2.1 - Considerações Gerais	28
4.5.2.2 - Coberturas Residuais	29
4.5.2.3 - Sedimentos Cenozóicos	30
4.5.3 - Hidrogeologia	31
4.5.3.1 - Considerações Gerais	31
4.5.3.2 - Aquífero Serra Geral	31
4.5.3.3 - Aquífero Bauru	32
4.5.3.4 - Aquífero Botucatu	33
4.5.3.5 - Hidrogeologia Local	34
4.5.4 - Geomorfologia	36
4.5.5 - Trabalhos Realizados no “Lixão” de São Carlos	38
4.5.5.1 - Considerações Gerais	38
4.5.5.2 - Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Área do “Lixão” de São Carlos	39
4.5.5.3 - Aspectos Hidrogeológicos e Hidrogeoquímicos da Região do “Lixão” de São Carlos	42
5 - Metodologia	45
5.1 - Levantamento Geológico e Ensaio de Solo	45
5.1.2 - Considerações Gerais	45
5.1.3 - Ensaio de Solo	46
5.2 - Levantamento Planialtimétrico	47
5.3 - Levantamento Geofísico	48
5.3.1 - Considerações Gerais	48
5.3.2 - Metodologia Empregada	49
5.4 - Poços de Monitoramento e Amostragem	51

5.4.1 - Considerações Gerais	51
5.4.2 - Metodologia da Construção	52
5.5 - Piezometria e Ensaio de Bombeamento	55
5.5.1 - Considerações Gerais	55
5.5.2 - Metodologia dos Ensaio de Bombeamento	57
5.5.3 - Interpretação dos Resultados	61
5.6 - Sugestão para Cálculo de Balanço Hídrico	64
5.6.1 - Considerações Gerais	64
5.6.2 - Cálculo de Balanço Hídrico	64
5.6.3 - Procedimento	66
6 - Resultados e Discussão	67
6.1 - Levantamento Geológico	67
6.1.1 - Considerações Gerais	67
6.1.2 - Formação Botucatu	67
6.1.3 - Formação Serra Geral	69
6.1.4 - Materiais Inconsolidados	70
6.2 - Levantamento Geofísico	73
6.2.1 - Considerações Gerais	73
6.2.2 - Descrição dos Resultados de Campo	74
6.2.3 - Comparação dos Resultados do Levantamento Geológico	75
6.2 ³ - Ensaio de Bombeamento	79
6.3.1 - Direção do Fluxo Subterrâneo	79
6.3.2 - Resultado dos Ensaio de Bombeamento	80
6.3.3 - Tratamento dos Dados	82
6.3.4 - Análise dos Resultados	86
6.3.5 - Ensaio de Permeabilidade e Estimativas de K pela Granulometria	89

7 - Conclusão	90
7.1 - Conclusões Finais	90
7.2 - Sugestões para Futuros Trabalhos de Pesquisa na Área do “Lixão” de São Carlos	92
ANEXOS	94
ANEXO A	95
ANEXO A ₁	96
ANEXO A ₂	97
ANEXO A ₃	99
ANEXO B	102
Referências Bibliográficas	109
APÊNDICES	
APÊNDICE 1	
APÊNDICE 2	
APÊNDICE 3	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização do “lixão” de São Carlos	5
Figura 2: Exemplos de arranjo entre os grão em rochas sedimentares	8
Figura 3: Estruturas de dissolução em rocha calcária	8
Figura 4: Estruturas de fraturas e falhas em rocha metamórfica ou ígnea	9
Figura 5: Classificação de aquíferos de acordo com a pressão hidrostática	9
Figura 6: Perfil da água abaixo do solo	10
Figura 7: A - espessura em cunha, B - camadas com diferentes valores de K, C - contato interdigital	15
Figura 8: Bacias intracratônicas do Brasil	25
Figura 9: Perfil geológico da região de São Carlos	28
Figura 10: Mapa hidrogeológico da Bacia do Paraná. Estado de São Paulo está assinalado	31
Figura 11: Perfil geológico provável de São Carlos-SP	35
Figura 12: Lixo sendo depositado no local de estudo	38
Figura 13: Esboço geológico da região do “lixão” de São Carlos	39
Figura 14: Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo	49
Figura 15: Seção de resistividade aparente arranjo dipolo-dipolo	50
Figura 16: Perfil esquemático de poço de monitoramento e amostragem	51
Figura 17: Trado mecanizado	52
Figura 18: Sonda de Fundações	53
Figura 19: Operação de desenvolvimento dos poços de monitoramento e amostragem	54
Figura 20: Desenho esquemático mostrando a posição dos poços de bombeamento em relação aos poços de observação	56
Figura 21: Sistema motor-gerador	57
Figura 22: Tubos elevatórios da bomba	58
Figura 23: Hidrômetro utilizado nos testes de bombeamento	59
Figura 24: Desenho esquem. da bomba submersa e o ND, distância de segurança	59
Figura 25: Gráfico de calibração do Hidrômetro	61
Figura 26: Relação entre a espessura do aquífero e as profundidades dos poços de observação e de bombeamento	62
Figura 27: Esquema de cálculo de balanço hídrico	65
Figura 28: Aspecto geral dos afloramentos da Form. Botucatu na área de Estudo. Estratificações cruzadas de baixo ângulo	68
Figura 29: Falha subvertical em arenito silicificado da Form. Botucatu	68
Figura 30: Aspecto dos afloramentos da Form. Serra Geral na região do “lixão” de São Carlos	69
Figura 31: Aspecto da Form. Serra Geral nas porções mais elevadas do terreno	70
Figura 32: Carta planialtimétrica em escala reduzida, mostrando os piezômetros e os caminhamentos geofísicos	73
Figura 33: Desenho esquem. mostrando a direção de uma possível falha, baseando-se na união de pontos que apresentam anomalias em profundidade	78
Figura 34: Direção principal do fluxo subterrâneo na área de estudo	79
Figura 35: Comportamento do fluxo lateral junto aos poços L 5 ₁ e L 5 ₂	82
Figura 36: Gráfico tipo A correspondente à tabela 15	83
Figura 37: Gráfico tipo B correspondente à tabela 16	84
Figura 38: Desenho esquemático mostrando a alteração da porosidade efetiva natural pelos líquidos percolados gerados pelo “lixão” de São Carlos	87
Figura 39: Desenho esquemático exibindo grande parte do nível dinâmico inserido na área ocupada pelo “lixão”	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Porosidade total e efetiva de alguns tipos de rocha	11
Tabela 2: Alguns valores de <i>c</i> mais usados	13
Tabela 3: Relação entre tipo de cobertura, declividade e coeficiente de escoamento	22
Tabela 4: Principais feições de planaltos isolados nas <i>cuestas</i> basálticas	37
Tabela 5: Composição física média do lixo urbano aterrado em São Carlos-SP, em 1988	39
Tabela 6: Valores médios de 0,5 a 2,5 metros	40
Tabela 7: Valores médios de 0,5 a 2,5 metros	40
Tabela 8: Características da cobertura residual da Formação Serra Geral	40
Tabela 9: Análise granulométrica e CTC do material da Form. Botucatu, retirado dos poços piezométrico na área do lixão	41
Tabela 10: Comparação entre as características físicas levantadas por MENEZES e as situações de risco sugeridas por GANDOLFI e ZUQUETTE	42
Tabela 11: Relação das distâncias entre os poços de observação e de bombeamento	56
Tabela 12: Relação entre tempo de bombeamento e intervalos de leitura	58
Tabela 13: Resultados do teste de calibração do hidrômetro	60
Tabela 14: Resultados obtidos nos testes de granulometria	71
Tabela 15: Valores de resistividade de alguns materiais	75
Tabela 16: Alguns resultados do rebaixamento em relação ao tempo de bombeamento. 1º Ensaio	80
Tabela 17: Alguns resultados do rebaixamento em relação ao tempo de bombeamento. 2º Ensaio	80
Tabela 18: Valores da função de Streltsova, para poços parcialmente penetrantes, em aquíferos não confinados, Gráfico tipo A	83
Tabela 19: Valores da função de Streltsova, para poços parcialmente penetrantes, em aquíferos não confinados, Gráfico tipo B	84
Tabela 20: Resultados da análise gráfica dos ensaios de bombeamento	85

LISTA DE SIGLAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- CHREA - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada
- CTC - capacidade de troca catiônica
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica
- EESC - Escola de Engenharia de São Carlos
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- NA - nível d'água
- ND - nível dinâmico
- NE - nível estático
- P.A.S. - ponto de amostragem de solo

LISTA DE SÍMBOLOS

~~Al³⁺ - íon Alumínio~~~~atm - atmosfera~~~~°C - graus Celsius~~~~Ca²⁺ - íon Cálcio~~~~CaCO₃ - carbonato de Cálcio~~~~cm - centímetros~~~~cm² - centímetros quadrados~~~~Eh - potencial de oxi-redução~~~~g - gramas~~~~h - horas~~~~H⁺ - íon hidrogênio~~~~K - condutividade hidráulica~~~~k - permeabilidade~~~~K⁺ - íon Potássio~~~~km - quilômetro~~~~km² - quilômetro quadrado~~~~L - litro~~~~m - metro~~~~m² - metro quadrado~~~~m³ - metro cúbico~~~~Mg²⁺ - íon magnésio~~~~mg - miligrama~~~~min. - minuto~~~~ml - mililitro~~~~mm - milímetro~~~~n - porosidade~~~~n_e - porosidade efetiva~~~~pH - potencial hidrogeniônico~~~~S - armazenabilidade~~~~s - segundo~~~~S_y - porosidade específica~~~~T - transmissividade~~~~μS - micro Siemens~~~~Ω - ohm~~

RESUMO

FREITAS, A.L.S. *Caracterização do Aquífero Botucatu na Região do "Lixão" de São Carlos-SP*. São Carlos, 1996. 113 p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Os resíduos sólidos de São Carlos foram depositados por aproximadamente 16 anos sobre solo arenoso, onde encontram-se cabeceiras de afluentes do Córrego São José, que faz parte da bacia do Ribeirão do Feijão, principal fonte de água de abastecimento de São Carlos. O local também é uma importante área de recarga do aquífero Botucatu, principal aquífero do Estado de São Paulo. Esta pesquisa faz parte de um projeto maior, que tem por objetivo o estudo completo da água subterrânea na região do lixão de São Carlos. Para tanto foi necessária uma caracterização profunda da geologia local, estudo das características hidrodinâmicas do aquífero, a determinação das direções principais de fluxo e o estudo da influência do corpo do "lixo" aterrado sobre as características hidrodinâmicas do aquífero. Para a execução destes objetivos, realizou-se levantamento geológico e geofísico, foi construída uma rede de piezômetros no local e realizaram-se dois ensaios de bombeamento. O levantamento geofísico empregou o método da eletrorresistividade com arranjo dipolo-dipolo. Os piezômetros foram construídos seguindo estritamente as normas estabelecidas pela CETESB. O tipo de ensaio escolhido foi o ensaio a vazão constante, o primeiro ensaio durou 48 horas e o segundo 24 horas. Os resultados mostraram um meio profundamente influenciado pelo chorume e líquidos percolados e altos valores de condutividade hidráulica e transmissividade, o que facilita o deslocamento da pluma de poluentes.

Palavras-chave: Água subterrânea - resíduos sólidos - lixão - eletrorresistividade - ensaio de bombeamento - Aquífero Botucatu.

ABSTRACT

FREITAS, A.L.S. *Botucatu Aquifer Characterisation close to Landfill Area (São Carlos-SP)*. São Carlos, 1996. 113 p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

In *São Carlos* (State of *São Paulo* - Brazil), the solid wastes have been disposed over a sandy soil for 16 years. This area belongs to the *Feijão* River Hydrographic Basin, the most important source of water of the city and is also an important recharge area of the *Botucatu* Aquifer, the most important of the State of *São Paulo*. This research is part of a bigger project developed in the *São Carlos* landfill which goal is the complete study of the groundwater in the area. It was necessary the detailed geologic study, the aquifer hydrodynamic characteristics determination, the flow direction knowledge and the study of the covered solid wastes influence over the hydrodynamic characteristics. So it was made a geological and a geophysical survey, it was built a monitoring wells net and it was performed tow pumping tests. The eletroresistivity method was used to the geophysical survey performance with dipole-dipole arrangement. The monitoring wells were built following the rules determinate by CETESB. It was chosen the constant discharge method to develop the pumping tests. The results show the environment alteration by the leachate and high values of hydraulic conductivity and transmissivity, what makes easy the plume displacement.

Key-words: Groundwater - solid wastes - landfill - eletroresistivity - pumping tests - *Botucatu* Aquifer.

1 - INTRODUÇÃO

[Sabe-se hoje que 97,2 % da água existente no planeta está contida nos oceanos, enquanto que os restantes 2,8 % distribuem-se de maneira desigual pelo globo. As calotas polares e as geleiras respondem por 2,14 % do total. O restante encontra-se nos rios (0,001 %), nos lagos de água doce (0,009 %), nos lagos salgados (0,008 %) e nas reservas de água subterrânea (0,61 %, se considerados aquíferos de até 4.000 metros de profundidade) (FETTER, 1994).

Em geral as águas subterrâneas apresentam características físicas perfeitamente compatíveis com os padrões de potabilidade. Devido à ação filtradora lenta através das camadas permeáveis, essas águas mostram baixos teores de cor e turbidez e são isentas de bactérias encontradas em águas superficiais, a não ser que sejam atingidas por alguma fonte poluidora (YASSUDA e NOGAMI, 1978).

A demanda por recursos hídricos subterrâneos vem crescendo de maneira irracional, em virtude do aumento populacional e da deterioração das reservas superficiais. Na década de oitenta estimava-se em 50.000 o número de poços tubulares ativos no Brasil, fornecendo água para diversos usos, principalmente para abastecimento público.] Diversas são as cidades que optaram pela água subterrânea como sua principal fonte de água de abastecimento. Podemos citar São Luiz (MA), Terezina (PI), Natal (RN), Maceió (AL) e Ribeirão Preto (SP) entre outras. Numerosos centros urbanos e agro-industriais têm na água subterrânea uma fonte complementar de água para abastecimento (JORBA e ROCHA., 1982) uma vez que estas, na maioria das vezes, salvo atingidas por alguma fonte poluidora, enquadram-se dentro das normas e características descritas na PORTARIA Nº 36, do MINISTÉRIO DA SAÚDE, de 19/01/1990. Esta portaria rege normas e padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano em todo território nacional.

Pode-se afirmar que um dos fenômenos sociais mais marcantes deste século é a consolidação de grandes centros urbanos, o que acentuou a degradação do meio físico em diversos níveis (RAMADE, 1979). [Dentre as diferentes modalidades de destruição do meio ambiente junto a grandes centros, destacam-se os depósitos de “lixo” doméstico, industrial e de serviços de saúde, fora dos padrões legais, sem o prévio estudo das condições geológicas e hidrológicas, constituindo um perigo para os recursos hídricos e, conseqüentemente, para a população como um todo. Esses locais são os chamados “lixões”, que podem ser definidos como o simples despejo dos resíduos no solo, provocando impactos negativos ao meio ambiente (RISSO, 1994).

Uma outra forma de disposição final de resíduos sólidos no solo são os chamados aterros controlados, onde há um certo grau de controle, compactação e cobertura. Todavia não encontramos estruturas de apoio como sistemas de drenagem, impermeabilização, controle de entrada etc.. Estes aterros estão longe de se enquadrar nos critérios necessários a um aterro sanitário.

O aterro sanitário compreende a disposição final de resíduos sólidos no solo, constituindo-se numa obra de engenharia que tem por objetivo acomodar os resíduos, ocupando o menor espaço possível e proporcionar seu isolamento seguro, evitando danos ao meio ambiente. Esta obra deve seguir critérios básicos como um projeto, aterramento, drenagem, compactação entre outros (RISSO, *op.cit.*).

A NBR-10004 (ABNT, 1987) define resíduo sólido como sendo “resíduos nos estados sólidos e semi sólidos, que resultam de atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d’água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

Lamentavelmente, ainda hoje verifica-se a idéia de que o simples entulhamento dos resíduos indesejáveis em depressões naturais ou em voçorocas seria a solução mais adequada. Se por um lado minimiza-se um problema, por outro cria-se

um ainda maior. O contato direto de dejetos com o lençol freático representa um elevado risco de contaminação e poluição para a água subterrânea (ELLERT *et al.*, 1990).

Hoje sabe-se que a água não é um recurso ilimitado e que vem se tornando cada vez mais escassa no planeta. O problema é ainda mais grave nos chamados países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, onde há pouco ou nenhum saneamento básico, contribuindo para a contaminação e poluição dos recursos hídricos, tornando-os impróprios para o consumo humano.

Quando se fala em integridade de recursos hídricos, necessariamente deve-se falar em meio ambiente, uma vez que ambos estão intimamente ligados. O estudo dos meios e processos de contaminação dos recursos hídricos é uma necessidade em todos os países neste final de milênio, e deve ser efetuado em todos os níveis e escalas, a fim de protegê-los.]

Este trabalho visa contribuir de forma significativa para o entendimento do processo de contaminação do aquífero Botucatu em uma de suas áreas de recarga por líquidos percolados e pelo chorume gerados pelo “lixão” de São Carlos, e acrescenta subsídios para o estudo do deslocamento da pluma de poluentes no tempo e no espaço. Mesmo sendo realizado em escala municipal, a pesquisa tem por objetivo fornecer informações importantes em um contexto regional.

2 - OBJETIVOS

Esta dissertação faz parte de um projeto maior, que vem sendo realizado na região do “lixão” de São Carlos, sob orientação do Prof. Dr. Dante Contin Neto.

O objetivo central desta dissertação é o estudo e caracterização do aquífero Botucatu na região do “lixão” de São Carlos e de sua inter-relação com os resíduos sólidos aterrados. Para sua realização efetuaram-se as seguintes etapas:

1. realização de levantamentos geológico e geofísico, a fim de conhecer o meio no qual ocorre o fluxo subterrâneo, através da análise e comparação entre ambos os levantamentos;
2. validação do método geofísico como indicador do comportamento da pluma de poluentes;
3. implementação de uma rede de poços de monitoramento e amostragem na área;
4. realização de testes de bombeamento a fim de se conhecer os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero local e para o entendimento do fluxo subterrâneo como um todo;
5. sugestões para cálculo de balanço hídrico.

A equipe do projeto pretende construir uma infra-estrutura que possibilite a determinação da recarga efetiva do aquífero através de cálculo de balanço hídrico com base semanal e/ou mensal. Esta infra-estrutura se constituirá dos poços de monitoramento e amostragem (piezômetros), de uma estação climatológica e de um vertedouro na saídas dos efluentes do “lixão”.

3 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A cidade de São Carlos localiza-se na porção NNE do Estado de São Paulo, mais precisamente junto às coordenadas $22^{\circ} 15'$ sul e $47^{\circ} 53'$ oeste. O lixão de São Carlos encontra-se a aproximadamente 20 km do centro da cidade e o acesso ao local dá-se pela Rodovia Washington Luís, no sentido São Carlos - São Paulo, até a altura do Rodoposto Castelo. Segue-se então por estrada vicinal não pavimentada, em direção à cidade de Analândia, por aproximadamente 4 km (Fig. 1).

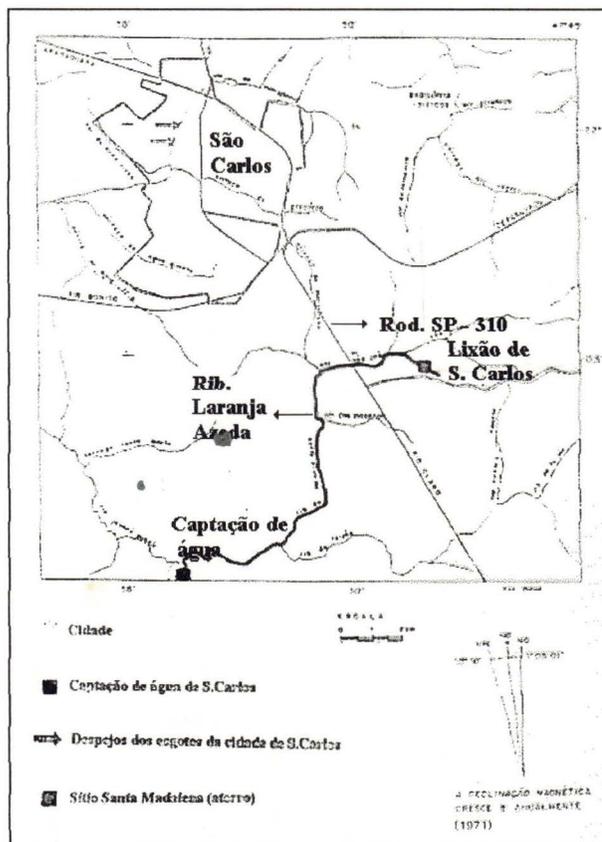


Figura 1 - Mapa de localização do "lixão" de São Carlos-SP.
Fonte - GONÇALVES (1986).

4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 - CONCEITOS

4.1.1 - BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico consiste na quantificação de cada etapa do ciclo hidrológico em uma determinada área (bacia hidrográfica) durante um determinado intervalo de tempo (base diária, mensal ou anual), onde todas as etapas estejam bem representadas. A equação básica do balanço é:

$$P = Evt + ES + Rec \pm \Delta U \quad (1)$$

onde P - precipitação

Evt - evapotranspiração

ES - escoamento superficial

Rec - recarga profunda

ΔU - armazenamento

PRECIPITAÇÃO

Precipitação média é a lâmina d'água de altura uniforme, formada sobre toda a área considerada, associada a um período de tempo dado. Suas características mais importantes são o seu total, sua duração e distribuição temporal e espacial (TUCCI e BELTRAME, 1993).

INFILTRAÇÃO

Infiltração é o processo pelo qual a água penetra as camadas superficiais do solo e move-se para baixo, em direção ao lençol freático. A gravidade, a tensão capilar e a adsorção são responsáveis pelo movimento da água no solo (TEIXEIRA, 1978).

EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Evaporação é o processo pelo qual a água líquida passa para o estado de vapor em condições naturais; matematicamente pode ser expresso por:

$$E = \frac{dm}{dt} \quad (2)$$

onde E é a taxa de evaporação por unidade de área; dm é a massa de água que passa para o estado de vapor e dt o intervalo de tempo em que este fenômeno ocorre (SWAMI e MATTOS, 1975). Evaporação potencial é a perda de água para a atmosfera de uma superfície líquida exposta livremente às condições ambientais. Transpiração é a perda de água para a atmosfera na forma de vapor, decorrente das ações físicas e fisiológicas dos vegetais. Evapotranspiração é o fenômeno conjunto da evaporação da água do solo somada à transpiração das plantas. Evapotranspiração real é a perda d'água observada por evaporação ou transpiração nas condições reinantes atmosféricas e de umidade do solo (SWAMI e MATTOS, *op. cit.*).

ESCOAMENTO TOTAL

Escoamento superficial é a quantidade de água que escoar na superfície do terreno, sem infiltrar, até o momento que atinge um curso d'água. Escoamento sub-superficial é a água que infiltra no terreno e não atinge a zona saturada, podendo retornar à superfície antes de atingir um curso d'água; escoamento subterrâneo é a parte do escoamento fornecida pelo aquífero e que alimenta o curso d'água durante a época seca e, finalmente, escoamento total é a soma dos primeiros (TEIXEIRA, *op. cit.*).

ESCOAMENTO BÁSICO

É o escoamento que se mantém muito tempo com certa regularidade, ainda quando não há mais chuva ou irrigação na bacia. É formado pelo escoamento subterrâneo e o escoamento superficial diferido. Este último é definido como sendo a parte do escoamento superficial que chega às estações de medida (vertedouros) com um atraso considerável em razão de alguma retenção temporária em lagos ou represas ou açudes, etc. (LLAMAS, 1994).

4.1.2 - HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA

4.1.2.1 - AQUÍFEROS

Segundo CAICEDO (1993), aquífero é uma formação geológica, ou um conjunto delas, que contém água e permite que ela se movimente em condições naturais e em quantidades significativas.

4.1.2.2 - CLASSIFICAÇÃO LITOLÓGICA DE AQUÍFEROS

Os aquíferos mais freqüentes são formados por depósitos não consolidados de materiais soltos, tais como areias, seixos etc. (GALOFRÉ, 1994). Rochas sedimentares consolidadas tais como arenitos, conglomerados e argilas são aquíferos comuns. Estes tipos de formações geram um aquífero chamado poroso, uma vez que a água fica armazenada e circula nos poros vazios entre os grãos sedimentados (Fig. 2).

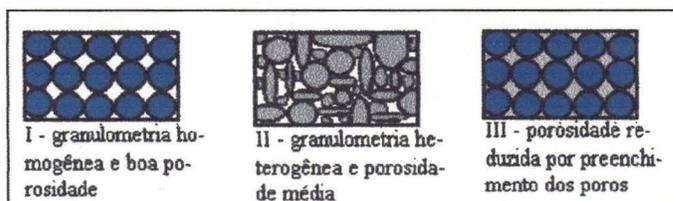


Figura 2 - exemplos de arranjo entre os grãos em rochas sedimentares
Fonte - FETTER (1994)

Outros tipos de rochas sedimentares que podem constituir ótimos aquíferos são as rochas carbonáticas (calcários, dolomitos). A densidade, permeabilidade e porosidade deste tipo de rocha é variável, dependendo do ambiente de sedimentação e das condições de desenvolvimento das zonas permeáveis por dissolução (formação de cavernas) (GALOFRÉ, *op. cit.*). Este tipo de aquífero é conhecido como aquífero cárstico (Fig. 3).

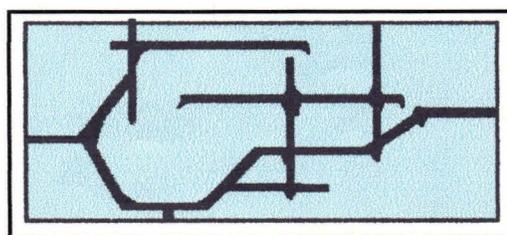


Figura 3 - Estruturas de dissolução em rocha calcária
Fonte - FETTER - 1994

FETTER (1994) descreve as rochas ígneas e metamórficas como possuidoras de pouca ou nenhuma porosidade primária. Essas rochas possuem água condicionada à presença de fraturas, falhas ou alteração química da rocha primária. Fraturas e falhas podem ser desenvolvidas durante movimentos tectônicos, pressão do relevo em virtude da erosão, fraturamento por grande variação de temperatura e tensão tectônica regional (Fig. 4). Por depender da existência de fraturas e/ou falhas, este aquífero é chamado de aquífero fissural.



Figura 4 - Estruturas de fraturas e falhas em rocha metamórfica ou ígnea
Fonte - BEAR (1979)

4.1.2.3 - CLASSIFICAÇÃO DE AQUIFEROS DE ACORDO COM A PRESSÃO HIDROSTÁTICA

Chamam-se aquíferos livres, não confinados ou freáticos, aqueles nos quais existe uma superfície livre de água que está em contato direto com a atmosfera. Na Figura 5 o aquífero B encontra-se dentro desta definição. Ao se perfurar poços nestes aquíferos, a superfície obtida forma uma superfície real (superfície freática, nível estático).

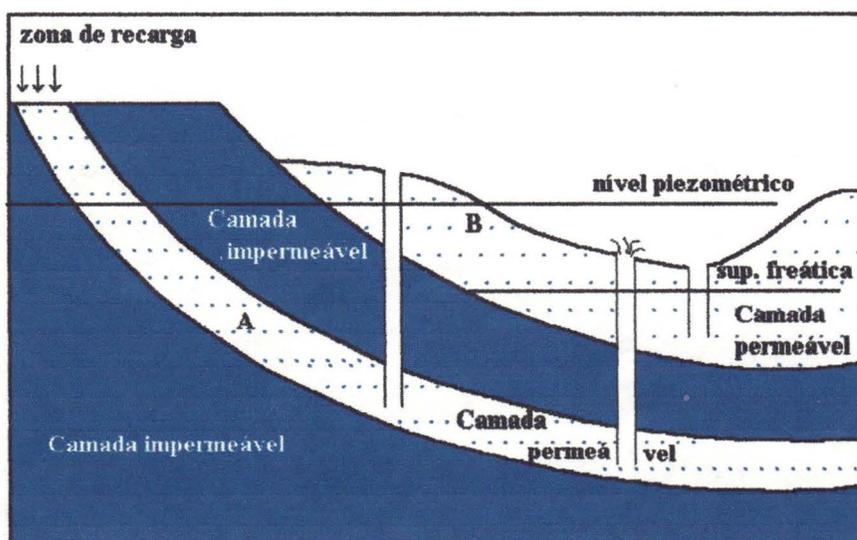


Figura 5 - Classificação de aquíferos de acordo com a pressão hidrostática.
Fonte - Modificado de GALOFRÉ (1994).

O aquífero livre pode ser dividido em três partes básicas (Fig. 6): zona de aeração, onde os poros contêm água e ar ou vapor d'água; zona de capilaridade, onde predominam as forças de capilaridade; e zona de saturação, onde todos os espaços vazios encontram-se completamente preenchidos por água (CAICEDO, 1993). Por outro lado, nos aquíferos confinados (aquífero A na Figura 5), a água encontra-se submetida a uma certa pressão superior à pressão atmosférica e ocupa todos os poros da formação que a contém. Durante a perfuração de poços nestes aquíferos, observa-se a ascensão rápida do nível da água até a estabilização em uma determinada altura. Dependendo da posição de estabilização (nível piezométrico) e da posição topográfica do poço, podem aparecer poços jorrantes.

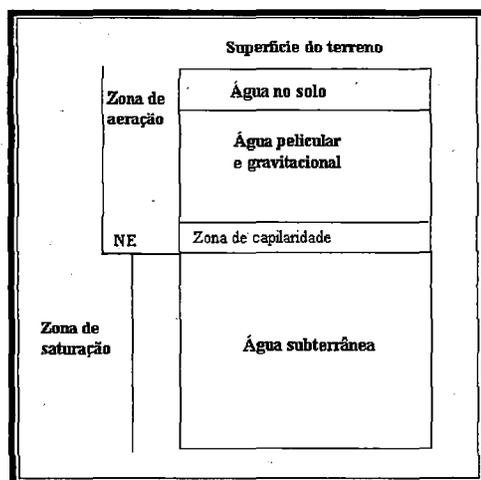


Figura 6 - Perfil da água abaixo no solo
Fonte - Modificado de CAICEDO (1993)

4.1.2.4 - CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Existem alguns parâmetros fundamentais que permitem definir as respostas da água de um aquífero frente a algumas ações exteriores. O conceito e conhecimento destes parâmetros é de grande importância na compreensão e estudo das águas subterrâneas. Essas grandezas são porosidade, permeabilidade e condutividade hidráulica, transmissividade, coeficiente de armazenamento, capacidade de campo, isotropia e anisotropia, homogeneidade e heterogeneidade.

POROSIDADE

Porosidade pode ser definida como sendo a relação entre o volume de vazios e o volume total representativo do meio poroso (CAICEDO, 1993).

A porosidade de alguns materiais e rochas mais freqüentemente encontrados está exposta na Tabela 1.

TABELA 1 - Porosidade total e efetiva de alguns tipos de rocha
Fonte - Modificados de CUSTODIO (1994)

MATERIAL	POROSIDADE TOTAL			POROSIDADE EFETIVA %		
	%					
	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA	MÍNIMA
GRANITO	0,3	4	0,2	<0,2	0,5	0
CALCÁRIO MACIÇO	8	15	0,5	<0,5	1	0
BASALTOS MACIÇOS	2	5	0,1	<1	2	0,1
ARENITOS	15	25	3	10	20	0

A porosidade é definida matematicamente pela equação:

$$\uparrow n = \frac{\uparrow V_v}{V_t \downarrow} \cdot 100 \quad (3)$$

onde V_v é o volume de vazios; V_t é o volume total e n é a porosidade expressa em percentagem. Porosidade específica n_e é a relação entre o volume de água liberado pela ação da gravidade (V_e) e o volume total.

$$n_e = \frac{V_e}{V_t} \cdot 100 \quad (4)$$

A porosidade efetiva é muito influenciada pela distribuição e tamanho dos grãos, pela presença de argilas e seu grau de hidratação.

PERMEABILIDADE E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

A capacidade de a rocha transmitir água juntamente com a capacidade de reter água constitui uma das mais significativas propriedades hidrogeológicas. Há rochas que possuem porosidade mas pouca ou nenhuma comunicação entre os poros (basaltos vesiculares); há outras que, mesmo com alta porosidade, os poros são tão pequenos que o fluxo entre estes torna-se muito difícil (argilas) (FETTER, 1994).

Segundo Darcy a vazão em uma seção de um aquífero é dada pela seguinte relação:

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{h}{l} \quad (5)$$

onde K é o coeficiente de proporcionalidade, A a área da seção através da qual é efetuado o fluxo, h é a diferença de carga (diferença de altura de coluna d'água) entre a entrada e a saída e l é o percurso que a água deve realizar.

Defini-se gradiente hidráulico (j) como sendo o quociente da carga hidráulica pela distância percorrida pelo fluxo:

$$j = \frac{h}{l} \quad (6)$$

Definire-se ainda descarga específica (q) como sendo o volume de água que flui por uma seção transversal, por unidade de tempo:

$$q = K \cdot j \quad (7)$$

$$\text{Logo } q = \frac{Q}{A} \text{ e } j = \frac{(h_1 - h_2)}{l}.$$

O coeficiente de proporcionalidade K , que aparece na lei de Darcy, é chamado de condutividade hidráulica. Esta grandeza traduz a facilidade com que um fluido é transportado em uma matriz porosa. É, portanto, um coeficiente que depende tanto das propriedades da matriz (tamanho dos grãos ou dos poros, forma dos grãos, superfície específica e porosidade) como do fluido (densidade (ρ), viscosidade dinâmica (μ)). A relação entre as propriedades da matriz porosa e do líquido pode ser expressa da seguinte forma (BEAR, 1979):

$$K = \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu} \quad (8)$$

onde k é a permeabilidade ou permeabilidade intrínseca da matriz porosa. Existem diversas formas de se determinar a permeabilidade intrínseca. Uma delas é através da relação:

$$k = c \cdot d^2 \quad (9)$$

onde c é um coeficiente baseado na Tabela 2; d é o diâmetro efetivo dos grãos d_{10} , isto é, é o diâmetro em que 10 % dos grãos são menores.

TABELA 2 - Alguns valores de c mais usados Fonte - FETTER (1994)

MATERIAL	VALOR DE C
AREIA MUTTO FINA, MAL SELECIONADA	40 - 80
AREIA MÉDIA, BEM SELECIONADA	80 - 120
AREIA GROSSA, MAL SELECIONADA	80 - 120
AREIA GROSSA, BEM SELECIONADA E PURA	120 - 150

Outra formulação para k é:

$$k = \frac{1}{\beta} \cdot \left[\frac{(1-n)^2}{n^3} \cdot \left(\frac{\alpha}{100} \sum_m \frac{P_m}{d_m} \right)^2 \right]^{-1} \quad (10)$$

onde β é igual a 5 e é um fator de compactação; α é um fator relacionado à forma dos grãos, variando de 6 (grãos esféricos), a 7,7 (grãos angulares); P_m é a percentagem de grãos retidos em uma determinada peneira e d_m é o diâmetro médio da trama da peneira.

TRANSMISSIVIDADE

Transmissividade em escoamentos horizontais é definida como sendo o produto da condutividade hidráulica (K) pela espessura do aquífero (B):

$$T = K \cdot B \quad (11)$$

Esta grandeza aparece sempre que consideramos o fluxo no aquífero como um todo (CAICEDO,1993).

COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO

O coeficiente de armazenamento é definido pela fórmula abaixo, onde volume de água liberado pelo aquífero é (ΔV), a área é (A) e a carga hidráulica é (Δh) (BEAR, 1979):

$$S = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta h} \quad (12)$$

Em aquíferos confinados, o coeficiente de armazenamento horizontal pode ser expresso por:

$$S = B \cdot g \cdot \gamma \cdot (\alpha + n \cdot \beta) \quad (13)$$

onde B é a espessura do aquífero, γ é o peso específico do fluido, α é a compressibilidade da matriz porosa, e β é a compressibilidade da água. O valor de β para a água a 20° C e 1 atm é de $4,7 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{kg}$. O valor de α é muito variável.

Segundo CUSTODIO (1994), em aquíferos livres, toda variação de altura piezométrica, ou nível estático, traduz-se em uma reação elástica, à semelhança do que acontece em aquíferos confinados. Quando há um decréscimo de uma unidade no nível piezométrico ou nível estático, e supondo-se que o fluxo seja quase horizontal, a água liberada provém da reação elástica e deste decréscimo do nível estático:

$$S = S(\text{elástico}) + n \cong n \quad (14).$$

Já que a porosidade (n) é muito maior que o coeficiente de armazenamento elástico (S elástico), a porosidade neste caso é a porosidade efetiva.

CAPACIDADE DE CAMPO

Quando o conteúdo de umidade do solo cresce, em virtude de precipitação atmosférica ou irrigação, até o ponto no qual a força da gravidade é igual à tensão superficial, a drenagem gravitacional cessa. Este conteúdo de umidade do solo é a capacidade de campo, que depende da retenção específica, alcance da evapotranspiração em profundidade e da condutividade hidráulica do solo (FETTER, 1994).

HOMOGENEIDADE E ISOTROPIA

FETTER (*op. cit.*) define uma unidade homogênea como sendo aquela que possui as mesmas propriedades em todos os pontos. Para um arenito indica que o tamanho dos grãos, sua distribuição, sua porosidade, seu grau de cimentação e sua espessura variam apenas em pequenos limites. O autor define formações heterogêneas como sendo formações onde as propriedades hidráulicas mudam espacialmente. Um bom exemplo é a mudança de espessura das camadas. Rochas sedimentares, muitas vezes, apresentam-se em várias camadas. Cada camada pode mostrar propriedades homogêneas, porém o aquífero como um todo não será (Fig. 7).

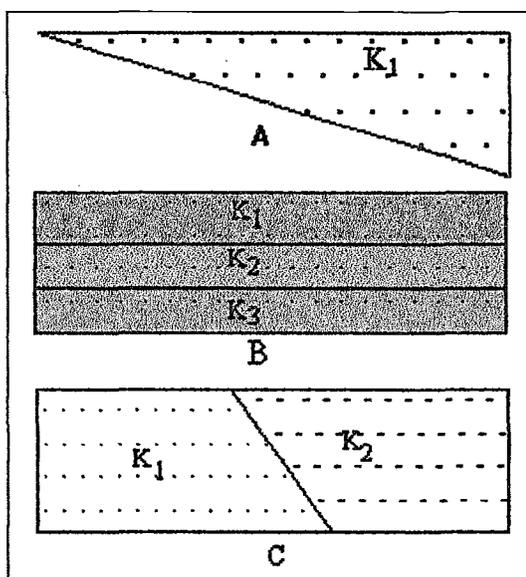


Figura 7- A - espessura em cunha; B - camadas com diferentes valores de K ; C - contato interdigital
Fonte - FETTER (1994.)

FETTER (1994) ainda define meios isotrópicos em sedimentos porosos como sendo um meio formado por grãos de diâmetro uniforme e com a geometria dos espaços vazios sem grandes variações em todas as direções. Por outro lado, se a geometria dos vazios não é uniforme, deve haver uma direção na qual a permeabilidade intrínseca é maior, neste caso o meio é chamado anisotrópico. Os solos compactados verticalmente, seja pela ação da natureza ou do homem, são meios anisotrópicos, ou seja, a relação entre as condutividades hidráulicas horizontal (k_h) e vertical (k_v) varia entre 10 e 100 $\left(10 < \frac{k_h}{k_v} < 100\right)$.

4.2 - ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS IMPORTANTES NA LOCAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

A norma PN 1:603.06 - 003 (CETESB, 1988) dita que os poços de monitoramento e amostragem devem ser locados em planta topográfica, em escala compatível e que deve haver pelo menos um poço a montante do aterro, a fim de se conhecer a qualidade da água não contaminada; e três a jusante, não alinhados, para se avaliar uma possível interferência na qualidade da água subterrânea local.

HAITJEMA (1991) afirma que, enquanto grande atenção é dada aos parâmetros geológicos ou hidrogeológicos na locação e construção de aterros sanitários, pouca ou nenhuma ênfase é dada aos aspectos hidráulicos da água subterrânea, que, em última análise, determinam a facilidade com que os contaminantes migram dos aterros até os aquíferos. Ainda segundo o autor, os aterros tradicionais são projetados e monitorados de forma imprópria para a proteção da água subterrânea, em virtude do conhecimento incompleto sobre o tempo de residência do chorume nas camadas compactadas, a integridade de *liners*¹, a heterogeneidade dos aquíferos e as trajetórias dos contaminantes.

ROUSE e PYRIH (1993) mencionam que muitos materiais geológicos são formados por uma mistura de argilominerais, hidróxidos e óxidos de ferro e manganês e matéria orgânica. A atenuação funciona à base de troca de ânions e cátions entre argilominerais, óxidos e hidróxidos e os íons da solução. As condições necessárias para que isso aconteça são o conteúdo de argilominerais, a capacidade de troca catiônica, conteúdo de óxidos hidratados de manganês e ferro, quantidade de carbono orgânico, pH e Eh do solo e potencial de neutralização de bases e ácidos existentes.

O local escolhido para a disposição final de resíduos não deve conter fraturas ou estruturas que permitam a infiltração do chorume na água subterrânea, uma vez que, se as condições geológicas e hidrogeológicas nestes locais puderem permitir a migração dos contaminantes, a água subterrânea fatalmente será atingida. Sendo

¹*liners* são barreiras protetoras colocados sobre o fundo e as paredes de aterros e lagoas e que devem reter o máximo possível a percolação de fluidos contaminantes para o meio físico

assim, as sondagens geofísicas possuem um importante papel na seleção do local. Métodos como raios gama, eletrorresistividade, polarização induzida, VLF (*very low frequency*), magnetometria, entre outros, podem ajudar não só na escolha do local, como também no monitoramento da água subterrânea (MWENIFUMBO, 1993).

A fim de prevenir a infiltração de águas pluviais nos aterros ou lixões, é conveniente cobrir os resíduos com uma camada de argila ou material de baixa permeabilidade. Entretanto, fissuras podem se desenvolver nesta camada, facilitando a entrada da água (BENGTSSON *et al.*, 1994).

MIKKELSEN *et al.* (1994), em estudos sobre contaminação de água subterrânea, afirmam que os micropoluentes que infiltram no solo com a água, são influenciados por diversos processos diferentes que determinam suas taxas de acumulação, deslocamento e degradação. Os processos de adsorção são usualmente encarados como sendo os processos dominantes no retardo dos elementos dissolvidos, porém micropoluentes orgânicos e metais pesados diferenciam seu estilo de adsorção. Os fenóis, por exemplo, não aderem à matéria orgânica, enquanto que outros, hidrocarbonetos em geral, o fazem. No caso dos metais pesados, a mobilidade e capacidade de adsorção vão depender do pH do meio, do conteúdo e tipos de argila entre outros fatores.

A superfície dos sólidos, especialmente a das argilas, possui carga elétrica em razão de substituições isomórficas ou ligações quebradas. Esta carga pode ser neutralizada através da adsorção de um íon carregado. A adsorção pode ser fraca, principalmente por ser um processo físico causado pelas forças de Van der Waals. Entretanto pode ser forte se a ligação ocorrer entre a superfície e o íon. As argilas tendem a realizar adsorções fortes pois possuem uma grande área por unidade de volume e cargas elétricas significantes em sua superfície. Em geral, a carga da superfície dos sólidos é negativa, favorecendo a adsorção de cátions em detrimento de ânions. Os cátions divalentes são mais fortemente adsorvidos (FETTER, 1994).

Com respeito aos solos brasileiros, em especial os solos oriundos do Botucatu, deve-se levar em consideração a formação de óxidos e hidróxidos de ferro, que participam diretamente de processos de retenção e adsorção.

4.3 - MÉTODOS DE BALANÇO HÍDRICO PARA ATERROS SANITÁRIOS

O balanço hídrico é usado em diversos estudos hidrológicos, objetivando a avaliação e gestão de recursos hídricos. Estes estudos são particularmente importantes para a previsão das vazões dos rios, de mudanças no nível de lagos e reservatórios, cálculo de recarga de aquíferos, demanda de água para irrigação e, finalmente, para a avaliação do impacto das atividades humanas no ciclo hidrológico. Em locais de disposição final de resíduos sólidos (aterros e "lixões"), a realização de balanço hídrico é de suma importância para que seja feita uma abordagem da quantidade de água que infiltra e lixivia os resíduos e que formará o chorume.

ABDULRAZZAK *et al.* (1989), realizaram estudos de balanço hídrico em uma bacia situada em região extremamente árida na Arábia Saudita. O modelo empregado pelos autores utiliza a equação da conservação de massa com componentes de precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração e mudanças no estoque da água subterrânea, que são agrupados para uma área e período de tempo finitos:

$$P = R + A E \pm \Delta S \quad (15)$$

onde P é a precipitação, R é o escoamento superficial, AE é a evaporação atual, ΔS é a soma da recarga da água subterrânea (GR) e da umidade do solo (SM), ($\Delta S = GR + SM$). PE é a evapotranspiração ($AE = PE$, quando a água não é um fator limitante).

BERGER (1992) empregou um modelo de percolação (DPM), desenvolvido por BAUER e VACCARO ² (1987) *apud* BERGER (*op. cit.*), com o objetivo de calcular a recarga em uma área semi-árida do Estado de Nevada nos Estados Unidos. Este modelo necessita de medidas de temperatura e precipitação para estimar a recarga. No caso específico da área de estudo do autor, a equação básica empregada pelo modelo foi:

$$R = P - (SE + BE) \quad (16)$$

onde P é a precipitação, SE a sublimação, BE é a evaporação do solo exposto e R a recarga. Alguns parâmetros do aquífero estudado por BERGER (*op. cit.*) foram de-

²BAUER, H. H. e VACCARO, J.J.(1987). *Documentation of a Deep-Percolation Model for Estimating Ground-Water Recharge*. U.S. Geological Survey Open-File Report 85 - 536, 180 pp.

terminados em laboratório, tais como a condutividade hidráulica vertical e a porosidade.

Os recursos hídricos subterrâneos e seus efeitos nos fluxos dos rios são de importância capital no mundo inteiro. Todavia sua susceptibilidade a mudanças climáticas foi pouco estudada (WILKINSON e COOPER, 1993). Estudando a resposta da recarga de um aquífero às mudanças climáticas, os autores utilizaram uma equação que relaciona transmissividade, coeficiente de armazenabilidade e extensão do aquífero:

$$Ta = \frac{T}{S \cdot L^2} \quad (17)$$

onde Ta é a resposta do aquífero (t^{-1}), T é a transmissividade (L^2/t), S é a armazenabilidade (adimensional) e L o comprimento do aquífero (L). Os autores afirmam que baixos valores de Ta indicam baixa resposta a qualquer recarga ou drenagem de água.

GILVEAR *et al.* (1993) realizaram balanço hídrico em região de área alagada com ênfase na recarga de aquífero, uma vez que muitos sistemas de áreas alagadas são alimentados por estes. Neste estudo, os autores separaram os mecanismos hidrogeológicos em quatro fases: 1. coleta de dados; 2. elaboração de balanço hídrico; 3. quantificação do balanço hídrico e 4. modelamento do fluxo subterrâneo. A equação empregada no balanço hídrico da área de estudo foi:

$$P + HWI + GWI = Et + SWO + \Delta S \quad (18)$$

onde P é a precipitação; HWI é a água superficial e a entrada de água na vertente; GWI é a recarga de água subterrânea; Et é a evapotranspiração; SWO é a saída de água superficial; GWO é a saída de água subterrânea e ΔS é a variação no estoque de água. O fluxo de água subterrânea foi estudado através do programa computacional MODFLOW.

LANGSHOLT (1994) desenvolveu um modelo estocástico para determinação de balanço hídrico em terrenos lateríticos na região de Kerala, sudoeste da Índia, onde a umidade do solo e interações da água subterrânea foram levados em conta. A coleta de dados para calibração do modelo contou com a aquisição de dados pluviométricos durante os anos de 1988 e 1989 e medidas do nível estático e umidade do

solo no local. O escoamento superficial foi drenado para um canal que o levava a um reservatório, onde poderia ser medido. Não foram empregados aparelhos para medição de evapotranspiração, para tanto foi utilizado a teoria de MORTON³ (1978) *apud* LANGSHOLT (1994). Também foram coletadas informações sobre a porosidade efetiva, peso específico, condutividade hidráulica vertical e distribuição de granulometria do solo.

O modelo empregado por LANGSHOLT (*op. cit.*) foi desenvolvido a partir de uma abordagem feita por DEGAN e BRESLER⁴ (1983) *apud* LANGSHOLT (*op. cit.*). Os autores deduziram a variância do fluxo na direção horizontal em um meio heterogêneo, em função da profundidade, do tempo para uma infiltração e redistribuição unidimensional. Neste caso, foram empregadas soluções simplificadas para o fluxo vertical em uma coluna de solo, baseando-se no conceito de frente de umidade, considerando formas funcionais específicas de condutividade hidráulica e conteúdo de umidade no solo em relação ao coeficiente mátrico.

As vantagens demonstradas por LANGSHOLT (*op. cit.*) para este modelo são: 1. o modelo é realístico; 2. simples e econômico em termos de tempo computacional; 3. sua estrutura funciona como uma base para aproximações de valores de fluxo, de geração de *runoff*⁵ e da determinação de fluxos descontínuos nos macroporos.

CAMPBELL (1993) salienta que a elaboração de balanços hídricos na região de disposição final de resíduos sólidos foi, por bastante tempo, ignorada; contudo, a partir de agora, deve ser dada atenção especial a estes, visando o tratamento e gestão do chorume produzido.

Segundo BENGTTSSON *et al.* (1993), o total de poluentes de um aterro ou lixão carreados para o ambiente, é função da quantidade e qualidade da água que percola os resíduos. Ao se projetar aterros sanitários, é necessário dimensionar a quantidade do chorume produzido, o que depende diretamente de um balanço hídrico realizado no local.

³MORTON, F.I. (1978). *Estimating evapotranspiration from potential evaporation: practicality of an iconoclastic approach*. In: Journal of Hydrology. Vol 38, p 1 - 32.

⁴DEGAN, G.; BRESLER, E. (1983). *Unsaturated flow in spatially variable fields, I, derivation of models of infiltration and redistribution*. In: Water Resource. Res., 19, p 413 - 420.

⁵Runoff - escoamento superficial.

De acordo com CAFFREY e HAM ⁶ (1974) *apud* BENGTTSSON (1993.), as altas temperaturas que ocorrem durante os processos aeróbios de decomposição influenciam a evapotranspiração. A partir do momento em que a condição anaeróbia prevalece, a temperatura do aterro decai, não interferindo tão fortemente no processo.

Para a realização de processos anaeróbios é necessária uma certa quantidade de umidade no ambiente. Uma parcela de água é utilizada nos processos microbiológicos que ocorrem no interior do aterro. Os produtos gasosos principais são dióxido de carbono e gás metano. Há vapor d'água no gás emitido por aterros. Conhecendo-se a temperatura do gás e considerando-se o gás saturado em umidade, as perdas de água para a atmosfera através da emissão de gases podem ser calculadas. Um exemplo é citado por BENGTTSSON: "...a produção de gás em uma célula teste contendo 3.400 toneladas de "lixo" domiciliar e perfazendo uma área de 1.600 m², é de aproximadamente 68.000 m³, dos quais 50 % são metano. A partir da lei geral dos gases, para produzir 1 m³ são necessárias 0,251 partes de água; sendo assim, são consumidos 16.500 l de água neste processo, o que significa uma perda de água correspondente a 100 mm/ano, por unidade de área".

O início ou o fim dos processos aeróbios e anaeróbios depende da idade do resíduo aterrado. Deste modo, em um mesmo aterro podem coexistir ambos os processos, tendo em vista que determinadas células confinam resíduos antigos enquanto que em outras é depositado "lixo" "fresco".

SU (1994) salienta que há um número grande de fatores que afetam a recarga de um aquífero; entre eles o autor cita a condutividade hidráulica, a porosidade, a precipitação, o gradiente hidráulico, a declividade do terreno e a umidade do solo. Entretanto, a condutividade hidráulica e a porosidade do solo possuem a maior influência.

PEYTON e SCHROEDER (1995) aconselham o uso do método criado por FENN ⁷ *et al.*(1975) PEYTON e SCHROEDER (1995) para cálculo de geração de

⁶CAFFREY, R.P. e HAM, R.K. (1974). *The role of evaporation in determining liachae production from milled refuse landfills*. Compost Sci. March - April: II - 15.

⁷FENN, D.G.; HANLEY, K.J.; DeGEARE, T.V. (1975). *Use of the water balance method for predicting leachate generation from solid waste disposal sites*, EPA/530/SW-168, USEPA, Cincinnati OH.

chorume. Este método baseia-se no modelo de THORNWAIT e propõe o uso de coeficientes de escoamento para aterros e valores de umidade para resíduos urbanos. A fórmula sugerida é:

$$IN = P - R \quad (19)$$

onde IN é a infiltração mensal na cobertura, P é a precipitação e R é o escoamento mensal. Neste caso R segue a seguinte fórmula:

$$R = CP \quad (20)$$

onde C é um coeficiente que pode ser estimado, seguindo-se uma tabela sugerida por FENN:

TABELA 3: Relação entre tipo de cobertura, declividade e coeficiente de escoamento.
Fonte: PEYTON e SCHROEDER (1995)

TIPO DE COBERTURA DO SOLO	DECLIVIDADE	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL
SOLO ARENOSO	PLANO (< 2%)	0,05 - 0,10
	MODERADO (2 - 7 %)	0,10 - 0,15
	ÍNGREME (> 7%)	0,15 - 0,20
SOLOS ARGILOSOS	PLANO (< 2%)	0,13 - 0,17
	MODERADO (2 - 7 %)	0,18 - 0,22
	ÍNGREME (> 7%)	0,25 - 0,35

A evapotranspiração PET pode ser calculada através do método de Thornthwait. A diferença $IN - PET$, se negativa, indica que a água pode evaporar do solo, mas, se o solo já estiver seco, não haverá mais evaporação. A quantidade evaporada não depende apenas desta diferença, mas também do conteúdo de água no solo. Se, ao contrário, a diferença for positiva, a água que precipita pode ser estocada na cobertura do solo. Se, entretanto, a cobertura já estiver saturada, o solo não poderá mais estocar água e começará a infiltração para as regiões mais profundas. Este método é simples e fornece uma idéia da quantidade de água que infiltra dentro de um aterro.

É importante salientar que esta pesquisa foi realizada para solos diferentes dos brasileiros. Sendo assim, os valores de coeficientes de escoamento superficial não são compatíveis com os solos empregados como material de cobertura no Brasil.

4.4 - ASPECTOS IMPORTANTES NA GERAÇÃO DE CHORUME EM ATERROS E "LIXÕES"

O chorume ou sumeiro é o líquido resultante da degradação anaeróbia natural da matéria orgânica. Seu volume e capacidade de lixiviação vai depender da quantidade de água e precipitação atmosférica que atinja os resíduos, da quantidade e qualidade da matéria orgânica e do tipo de solo, que em última análise pode permitir uma infiltração maior do chorume nas camadas mais profundas do solo (PEREIRA NETO, 1996).

É muito difícil efetuar uma caracterização geral do chorume, uma vez que são diversos os fatores que influenciam suas características. Pode-se citar como fatores determinantes na constituição do chorume as características da matéria orgânica, tais como suas qualidades físicas, químicas e biológicas, o tipo de solo em que os resíduos estejam confinados e o estágio de degradação da matéria orgânica (PEREIRA NETO, *op. cit.*).

O lixo urbano no Brasil conta com aproximadamente 50 % de matéria orgânica. O não revolvimento desta quantidade de matéria orgânica proporciona o total consumo do oxigênio pela ação bacteriana, dando início à decomposição anaeróbia (SHALCH *et al.*, 1990).

Os líquidos percolados são aqueles que compõem a fase líquida do aterro sanitário. Sua geração é função de fatores como geologia, hidrogeologia, meteorologia, topografia, composição, umidade dos resíduos, inoculação microbiana, compactação das células, impermeabilização e cobertura vegetal (SCHALCH, 1992).

BENGTSSON *et al.* (1993) afirmam que a água não percola para níveis inferiores do aterro enquanto a região onde esteja contida não atingir a capacidade de campo. Como esta última varia em cada parte do aterro, o chorume pode ser gerado mesmo quando o grau de saturação estiver abaixo da capacidade de campo. A capacidade de campo e a capacidade de troca catiônica em um aterro modificam-se bastante com o aumento da idade dos resíduos.

Os autores discutem que o fluxo em aterros se dá preferencialmente nos macroporos, o que é explicado pelo fato de haver variação sazonal da descarga do chorume, que em muitos casos, dependendo da época do ano, cessa. A precipitação é

continuamente acumulada nos depósitos de “lixo” por muitos anos, o que explica a baixa produção de chorume em aterros novos.

CAMPBELL (1993) considera os aterros sanitários como um “biorreator”, e como tal, o pleno processo de degradação depende da existência de condições ótimas para a reatividade dos resíduos. Entretanto, a variação da composição dos efluentes, líquidos ou gasosos, no decorrer do tempo, deve ser completamente entendida, para assegurar o correto controle ambiental. A maior parte da matéria orgânica depositada em aterros sanitários degrada-se anaerobicamente, criando um ambiente onde as espécies inorgânicas, tais como metais pesados, serão largamente retidas, por processos de precipitação e/ou de troca catiônica. Muitos são os fatores que influenciam a degradação da matéria orgânica e a quantidade de chorume e gás produzidos. Entre eles o autor cita a densidade, grau de compactação, umidade e temperatura dos resíduos.

Segundo o autor, os aterros devem ser considerados como meios de tratamento e disposição final. O controle ambiental de áreas contendo aterros e depósitos requer o monitoramento da qualidade e quantidade do chorume produzido nas áreas vizinhas.

4.5 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

4.5.1 - GEOLOGIA REGIONAL

4.5.1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

A região de São Carlos situa-se no contexto geológico da Bacia do Paraná, uma bacia sedimentar intracratônica que abrange praticamente toda a Região Sul, a maior parte dos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, além de fatias dos Estados do Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais, perfazendo 1.000.000 km² do território nacional (PETRI e FULFARO, 1988) (Fig. 8).

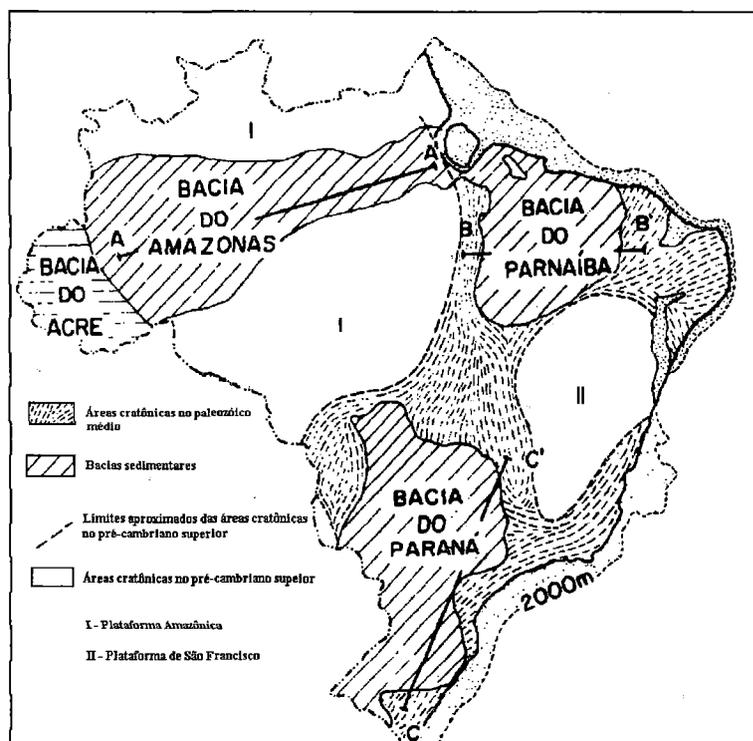


Figura 8 - Bacias Intracratônicas do Brasil.

Fonte (PETRI e FÚLFARO, 1988)

Em linhas gerais, o Estado de São Paulo compreende duas unidades geotectônicas distintas; o Escudo Atlântico na porção sudeste e as coberturas sedimentar e vulcânica da Bacia do Paraná, que se encontram representada no Estado pelos Grupos Paraná, Tubarão, Passa Dois, São Bento e Bauru (IPT, 1981). A região de São

Carlos, da qual trata este projeto, encontra-se na área de afloramento das formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral (Grupo São Bento) e Grupo Bauru.

4.5.1.2 - FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

A base do Grupo São Bento é representada pela Formação Pirambóia, que se caracteriza por uma sucessão de camadas arenosas avermelhadas, amareladas e esbranquiçadas, siltico-argilosas, de granulometria variando de fina a média, muitas vezes possuindo matriz silto - argilosa (PETRI e FULFARO, 1988), localmente apresentando arenitos grossos e lentes argilosas. SOARES ⁸ (1973) *apud* PFEIFFER (1993) dividiu esta formação em dois membros; o inferior mais argiloso, com estratificações de pequeno porte; e o superior, caracterizado pela sucessão de bancos de arenitos pouco argilosos, com estratificação cruzada e bancos de arenitos mais argilosos com estratificação plano-paralela. A espessura varia de 270 m (maior espessura medida em superfície) a 370 m (espessura medida em subsuperfície). Estes sedimentos sugerem deposição em canais meandantes e depósitos de transbordamento (IPT, 1981).

4.5.1.3 - FORMAÇÃO BOTUCATU

A Formação Botucatu recobre a Formação Pirambóia e compreende essencialmente arenitos finos a médios, uniformes, foscos com boa seleção e alta esfericidade (IPT, 1981). Estratificações cruzadas de porte médio a grande, com inclinação em trono de 30° são a estrutura sedimentar dominante. São encontrados esporadicamente corpos lenticulares compostos por arenitos conglomeráticos, predominantemente na sua porção basal; fácies lacustres também estão presentes. Esta formação estende-se por toda a Bacia do Paraná, transgredindo sobre formações mais antigas, chegando mesmo a repousar sobre o embasamento cristalino em Minas Gerais. No contato do arenito Botucatu com os basaltos da Formação Serra Geral, os primeiros mostram-se silicificados e o contato entre as duas formações, muitas vezes, é de difi-

⁸SOARES P.C., LANDIM P.M.B., 1973. "Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste". In: Congresso Brasileiro de Geologia, 27. Aracaju (SE). Anais... p. 243 - 256.

cil determinação, em virtude da presença de corpos intrusivos tabulares e da existência de pacotes de arenito inter-derrame (SOARES, 1973). Sua espessura máxima oscila em torno de 130 m, mas em geral não ultrapassa os 100 m. Todas as características dos sedimentos da Formação Botucatu sugerem um ambiente de sedimentação do tipo desértico (PETRI e FULFARO, 1988).

4.5.1.4 - FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Formação Serra Geral é composta por uma série de derrames de basaltos toleíticos mostrando associações com intrusões marcadas principalmente por diques e *sills*. Pequenas lentes e camadas de arenitos podem intercalar-se nos derrames, e o conjunto é conhecido como Formação Serra Geral. Esta formação faz parte do intenso vulcanismo correspondente ao período juro-cretáceo, que originou extensos platôs (REBOUÇAS ⁹, 1988, *apud* PFEIFFER, 1993). A espessura desta formação é variável, podendo atingir até 1500 m (Presidente Epitácio - SP) (PETRI e FULFARO, *op. cit.*).

4.5.1.5 - GRUPO BAURU

O Grupo Bauru recobre a Formação Serra Geral e em muitos casos expõe pacotes de arenitos, que podem atingir 250 m de espessura. A unidade mais antiga deste grupo é a Formação Caiuá, composta por arenitos finos a médios, subarredondados, de coloração arroxeada (IPT, 1981). Segue-se a Formação Santo Anastácio, representada por arenitos finos a médios, mal selecionados e de coloração marrom avermelhada. A Formação Adamantina compreende pacotes de arenitos intercalados com lamitos e siltitos. Finalmente, a Formação Marília, (SOARES ¹⁰, 1980, *apud* PETRI e FULFARO, 1988), é descrita como sendo um pacote de arenitos grosseiros a conglomeráticos, com grãos angulosos, pobres em matriz, mal selecionados e ricos em minerais pesados e instáveis.

⁹REBOUÇAS A.C., FRAGA, C.G., 1988. "Hidrogeologia das rochas vulcânicas do Brasil". Revista Águas Subterrâneas, nº 12, Ago. p. 29 -54.

¹⁰SOARES 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", Revista brasileira de geociências, vol. 10, nº 3, p. 177 - 185.

4.5.2 - GEOLOGIA LOCAL

4.5.2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

ZUQUETTE (1981), identificou e caracterizou as rochas do Grupo São Bento e Bauru na região de São Carlos (Fig. 9).

Segundo o autor, a Formação Pirambóia aflora em pequenas regiões, mostrando arenitos de coloração amarela, com predominância de finos. Encontra-se muitas vezes encoberta por solos arenosos e seu grau de intemperismo é semelhante ao da Formação Botucatu.

A Formação Botucatu aparece na área representada por arenitos de granulometria fina a média, variando de amarelo claro até avermelhado. O autor salienta que esta formação pode se apresentar sob duas formas na região de São Carlos: 1. como rocha sã, nas encostas com inclinação superior a 20 %, na forma de corpos bastante compactos cobertos pelo seu solo residual de pequena espessura, geralmente menor que 1 m; 2. totalmente recoberta por sedimentos cenozóicos e somente passível de observação em alguns cortes de estrada. Em São Carlos, esta formação mostra espessuras de até de 150 m, e foi observada em poços para captação de água..

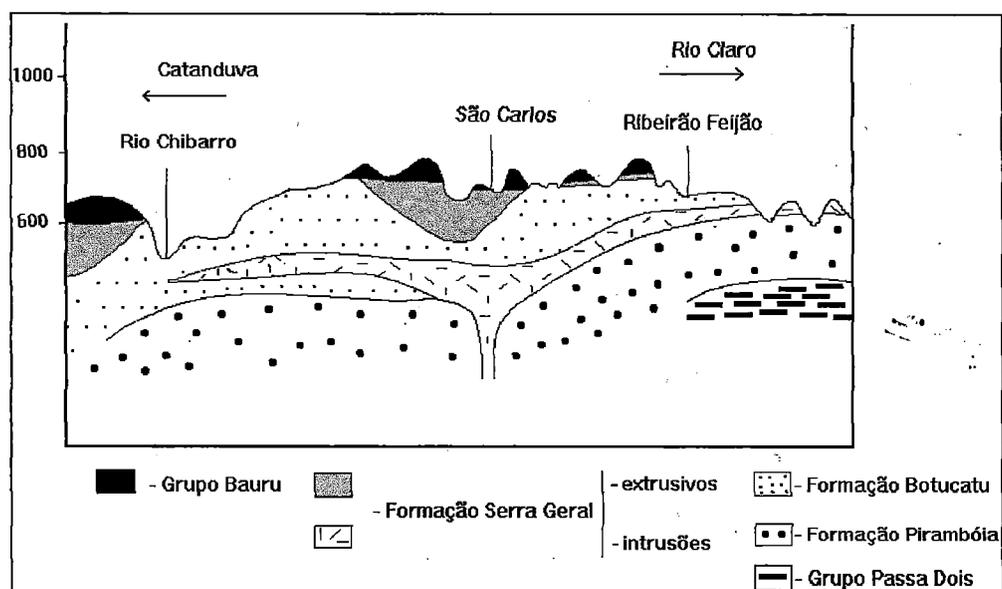


Figura 9 - Perfil geológico da região de São Carlos.

Fonte - DAEE (1974).

ZUQUETE (1981) ressalta que na região de São Carlos os eventos estruturais marcados sobre a Form. Botucatu são simples e os lineamentos representam falhas e fraturas. AGUIAR (1989) observa que a maioria das drenagens sobre o arenito Botucatu seguem as direções NE ou NW e correspondem a lineamentos desta unidade.

A Formação Serra Geral expõe magmatitos básicos, podendo aparecer em escarpas inclinadas, bastante fraturadas, recobertas por solo residual e também ocorrendo em locais planos, sob uma cobertura de sedimentos cenozóicos, e neste caso, é possível observar os magmatitos básicos quase totalmente intemperizados. Na área, esta formação mostra-se muito fraturada e não são observados corpos com grande espessura. Perfurações no perímetro urbano de São Carlos indicam espessuras da ordem de 165 m.

O Grupo Bauru aflora ao norte da região e, na sua maior parte, encontra-se recoberto por sedimentos cenozóicos ou solos residuais. Na área, o Grupo Bauru está representado por arenitos não cimentados, de granulometria fina e coloração de amarela a avermelhada e, em alguns lugares, mostra siltitos róseos e lente de conglomerado. Estruturas tais como estratificação cruzada e plano paralela de pequeno porte podem ser encontradas. Na região de São Carlos, estas rochas podem atingir até 30 m.

4.5.2.2 - COBERTURAS RESIDUAIS

ZUQUETTE (*op. cit.*) reconheceu diversos tipos de coberturas residuais:

- A Formação Pirambóia mostra cobertura residual formada por materiais de granulometria areia média, coloração amarelada e não são observados restos da rocha mãe.

- A cobertura residual da Formação Botucatu ocorre em encostas com inclinação acentuada, e são compostas predominantemente por materiais com granulometria areia fina e argila. Possuem baixa plasticidade e pequena espessura.

Segundo AGUIAR (*op. cit.*) a soma das percentagens das frações areia fina e areia média da cobertura residual da Formação Botucatu não é inferior a 75 %, as amostras desta unidade não possuem plasticidade e 90 % do material constituinte é

formado por quartzo. Estudos em laboratório estimam a condutividade hidráulica em torno de 10^{-4} a 10^{-2} cm/s.

A cobertura residual da Formação Serra Geral pode ser encontrada em situações distintas; 1. em encostas de inclinação bastante acentuada, possuindo pequenas espessuras e se apresentando com restos da rocha mãe; 2. em áreas planas, com espessuras mais acentuadas, sem restos da rocha mãe.

O Grupo Bauru, por sua vez, possui cobertura residual composta por materiais de coloração avermelhada, 50 % dos grãos menores que 0,074 mm e espessura maior que 1 m. Esta cobertura apresenta altos valores de plasticidade e contém, na maioria dos casos, nódulos da rocha original, ocorrendo nos vales dos córregos com altitudes menores que 800 m.

4.5.2.3 - SEDIMENTOS CENOZÓICOS

Os sedimentos cenozóicos têm sua ocorrência predominantemente ao sul da região e a granulometria areia é a mais importante, com quantidades apreciáveis de silte e argila. Estão em depósitos aluvionares e coluvionares. Não possuem material cimentante e não são raros os veios de quartzo e de quartzito, às vezes limonitizados. A coloração varia entre amarelo e avermelhado e a espessura varia de 5 a 50 cm (ZUQUETTE, 1981).

AGUIAR (1989) descreve o material coluvionar do arenito Botucatu, que se desenvolve também em escarpas com declives superiores a 15 % mas cuja classe predominante de declividade encontra-se entre 5 - 10 %, são formados por grande percentual de areia fina, com presença marcante de finos e blocos de arenito e em menor quantidade de basalto. Possuem alta permeabilidade, acima de 10^{-3} cm/s.

Ainda segundo o autor, esses materiais recobrem partes das formações Botucatu, Serra Geral e Bauru. Entre as formações e a cobertura, há frequentemente uma camada de seixos.

4.5.3 - HIDROGEOLOGIA

4.5.3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Estado de São Paulo situa-se sobre um grande manancial de água subterrânea, que, pouco a pouco, vai aumentando sua importância na captação para abastecimento (Fig. 10). Na região em estudo três são os sistemas aquíferos encontrados; Aquífero Serra Geral, Bauru e Botucatu.

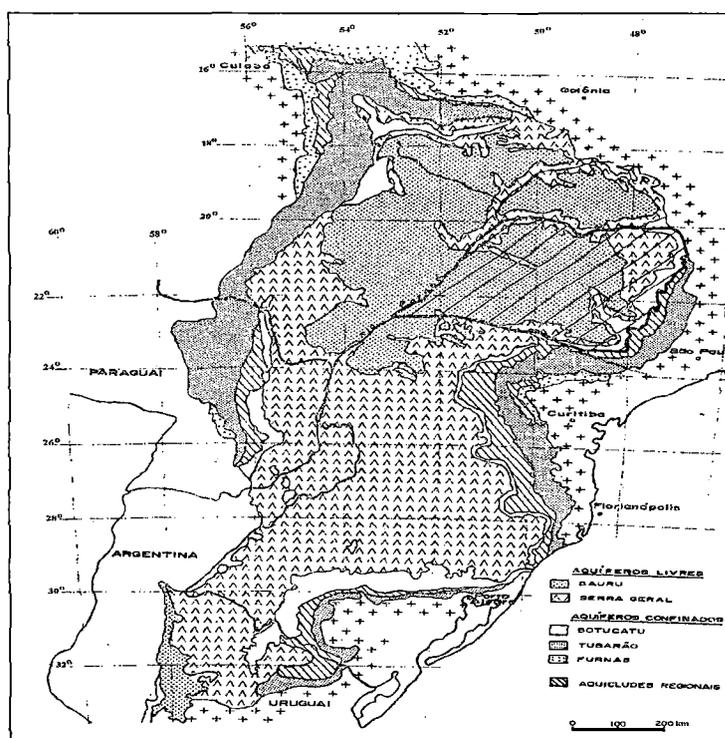


Figura 10 - Mapa hidrogeológico da Bacia do Paraná. O Estado de São Paulo está assinalado.

Fonte - SILVA (1983).

4.5.3.2 - AQÜÍFERO SERRA GERAL

SILVA (1981) afirma que o Aquífero Serra Geral possui área de afloramento de aproximadamente 38.000 km² e a parte não aflorante encontra-se encoberta pelo Grupo Bauru e sedimentos cenozóicos. Sua espessura varia muito e aumenta de leste para oeste, podendo atingir até 1.500 m na confluência dos rios Paraná e Paranapanema. O sistema aquífero Serra Geral mostra porosidade de fratura com circulação

nas descontinuidades verticais e horizontais, tanto de origem primária quanto secundária e ocasionalmente nos bancos de arenito intraderrames.

As capacidades específicas¹¹ deste aquífero são baixas, variando de 1 a 10 m³/h/m, nos poços associados a lineamentos estruturais e linhas de drenagem, enquanto que esses valores caem para a faixa de 0,1 a 1 m³/h/m, fora destes lineamentos. As transmissividades não ultrapassam valores de 1 E -3 m²/s, variando no intervalo de 1 E -5 a 8 E -3 m²/s (REBOUÇAS¹², 1978; *apud* SILVA, 1983).

Este aquífero comporta-se como aquífero livre nas regiões onde aflora, com as linhas de fluxo dirigindo-se para as calhas das drenagens principais. Nas áreas onde se encontra confinado funciona como meio de transferência hidráulica de fluxos ascendentes ou descendentes, dependendo dos níveis potenciométricos dos aquíferos superior e inferior (REBOUÇAS, *op. cit.*).

4.5.3.3 - AQUÍFERO BAURU

Em sua maior extensão, comporta-se como aquífero livre e possui área de aproximadamente 104.000 km².

ROCHA¹³ et alii (1982) *apud* SILVA (1983) encontraram valores de capacidade específica entre 5,5 a 1 m³/h/m, podendo atingir valores da ordem de 2 m³/h/m (mais característico da Formação Caiuá).

Os valores de transmissividade oscilam entre 3 E -4 e 6 E -4 m²/s na Formação Adamantina. Valores maiores, por volta de 1 E -3 m²/s são mais freqüentes nas exposições da Formação Santo Anastácio e as transmissividades de 2 E -3 m²/s podem ser encontrados na Formação Caiuá.

A condutividade hidráulica também varia conforme a estratigrafia do pacote de arenitos do Grupo Bauru. Na Formação Adamantina encontram-se os menores valores, 1 E -6 a 3 E -6 m/s, enquanto que nas formações Santo Anastácio e Caiuá os

¹¹ Capacidade específica é a relação entre a vazão de exploração de um poço e o rebaixamento causado por esta vazão.

¹²REBOUÇAS, A.C. 1978. Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da bacia sedimentar do Paraná no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30^o, Recife, 1978. Anais ... SBG, v.6, p. 2963 - 76.

¹³ROCHA, G.A., BERTACHINI, A.C., CAMPOS, H.C.N.S. E CAIXETA, J.B., 1982. Tentativa de zoneamento das características hidráulicas e hidroquímicas do aquífero Bauru. In: SBG & ABAS. ENCONTRO DE GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA, 1^o, São Paulo.

valores situam-se na faixa de $3 \text{ E } -6$ a $1 \text{ E } -5$ m/s. Em certas regiões de afloramento do arenito Caiuá, esses valores podem atingir $3 \text{ E } -5$ m/s.

As velocidades de circulação da água subterrânea variam de $1 \text{ E } -6$ a $5 \text{ E } -7$ m/s, dependendo da formação analisada, e as linhas de fluxo convergem para as calhas dos rios. Os gradientes hidráulicos nas cabeceiras das bacias variam de 8 a 10 m/km, enquanto que a jusante oscilam entre 3 e 5 m/km.

4.5.3.4 - AQÜÍFERO BOTUCATU

O sistema aquífero Botucatu é um dos mais importantes mananciais de água subterrânea do Estado de São Paulo assim como do país, não só pela sua grande área de ocorrência (180.000 km^2) como também pela qualidade físico-química de suas águas e pelo fato de ter 90 % de sua área recoberta pelos derrames básicos da Formação Serra Geral, o que o torna confinado em quase toda a sua extensão. É composto pelo conjunto das formações Pirambóia e Botucatu e mostra-se livre nas áreas de exposição dessas formações. O sistema aquífero Botucatu encontra-se sobreposto ao Grupo Passa Dois, que funciona com um substrato impermeável. Todo o sistema apresenta mergulho geral para oeste, em direção à calha do Rio Paraná (SILVA, 1981).

SILVA (1983) definiu diversos parâmetros hidráulicos e hidrogeoquímicos do aquífero, baseados em dados coletados em campo e existentes na literatura até então.

A capacidade específica mostrou que 30 % dos valores situam-se em faixas inferiores a $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, 38 % estão entre 1 e $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ e os demais ultrapassam $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Os valores mais baixos são muitas vezes atribuídos à má construção dos poços, que, na maioria das vezes, são parcialmente penetrantes. Em poços adequados, esses valores podem mesmo atingir números superiores a $23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

A transmissividade varia de $4,7 \text{ E } -4$ a $1,5 \text{ E } -2$ m²/s. Esses valores tendem a aumentar na direção noroeste, de acordo com o espaçamento da camada. A condutividade hidráulica, se calculada com base nos dados de transmissividade, oscila em torno de $2,4 \text{ E } -6$ e $4,5 \text{ E } -5$ m/s.

Ensaio realizado pelo DAEE de Ribeirão Preto indicaram valores de armazenabilidade em torno de 2×10^{-4} e 4×10^{-5} . A porosidade efetiva foi estimada entre 0 e 15 % (SILVA, 1983).

O gradiente regional médio é da ordem de 6 m/km e dependendo das condições estruturais do terreno (altos estruturais), estes valores podem atingir até 30 m/km.

O pH das águas subterrâneas do aquífero Botucatu varia de 5,4 a 10,35, ou seja, varia de ácido a alcalino, predominando sempre as águas alcalinas. A temperatura média das águas é de 22 a 25° C nas partes livres do aquífero e, à medida que aumenta sua profundidade, os valores crescem em virtude do grau geotérmico. Em geral as águas são brandas, com 25 % pouco duras e 6 % duras.

Teores de sílica superiores a 20 mg/l são encontrados; em alguns lugares a concentração de fluoreto foi superior a 10 mg/l (Presidente Prudente e Londrina). Os teores de sódio variam de 0 a 225 mg/l, sempre aumentando a partir da área de exposição das rochas em direção às porções confinadas. Os teores de cálcio não ultrapassam 50,4 mg/l e sua concentração varia de maneira inversa a do sódio. O comportamento do magnésio é semelhante ao do cálcio. O ânion bicarbonato é o ânion mais importante e seus teores variam entre 1 e 170 mg/l. Cloretos e sulfetos também são encontrados (SILVA, 1981).

4.5.3.5 - HIDROGEOLOGIA LOCAL

O aquífero mais importante na região de São Carlos é, sem dúvida, o Botucatu, que ocorre em todo o município, seja na sua porção livre, seja na sua porção confinada. Deste modo, o maior número de poços existentes encontra-se nos domínios deste aquífero, o que possibilita obter uma maior quantidade de dados a seu respeito. PFEIFFER (1993) reuniu diversas informações importantes a respeito das características gerais do aquífero Botucatu na área de São Carlos.

A principal área de recarga deste aquífero na região encontra-se ao sul da cidade (Fig. 11). Inicialmente ele mostra-se livre (porção sul) e em seguida mergulha sob os basaltos, tornando-se confinado (porção norte). A ocorrência de artesianismo é local e provavelmente ocorre em virtude dos diabásios.

CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS

Os valores de transmissividade medidos em alguns poços na cidade variam de $2,3 \text{ E } -3$ a $3,7 \text{ E } -3 \text{ m}^2/\text{s}$. A vazão específica oscila bastante, mostrando valores na faixa de 6,07, 4,37 e $1,63 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, enquanto que o rebaixamento oscila entre 0,17 e $0,62 \text{ m}/\text{m}^3/\text{h}$. Todos os valores encontrados estão de acordo com a literatura geral sobre o aquífero Botucatu.

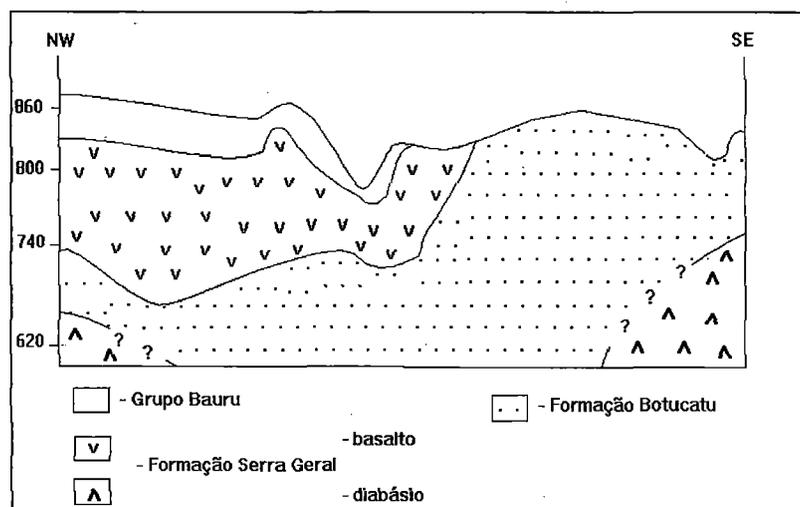


Figura 11 - Perfil geológico provável de São Carlos - SP.
Fonte - PFEIFFER, 1993.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS

Dentro do estudo realizado por PFEIFFER (1993), foram analisados diversos aspectos relacionados às características físico-químicas e bacteriológicas das águas subterrâneas do aquífero Botucatu na região de São Carlos.

Os testes de turbidez mostraram que, em média, os índices estão entre 0,12 e 2,0 U.T., salvo exceções. A condutividade mostrou valores da ordem de $0,92 \text{ E } -5$ e $8,90 \text{ E } -5 \text{ } \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$, sendo que os menores são encontrados em área de recarga. As águas subterrâneas nesta região são classificadas como moles e a concentração de sólidos totais varia de 13,6 a 120 mg/l. Potássio varia de 0,13 a 4,75 mg/l, seguido pelo sódio que variou de 0,20 a 4,9 mg/l, magnésio (0,05 a 3,4 mg/l) e finalmente cálcio (0,03 a 0,95 mg/l), ao contrário do que se poderia imaginar. O pH fica entre 5,3 e 6,7, portanto as águas são classificadas como variando de ácidas a neutras.

4.5.4 - GEOMORFOLOGIA

O relevo no Estado de São Paulo pode ser explicado por dois fatores preponderantes: os fatores litoestruturais e os fatores climáticos. Deste modo, compreende-se que a geologia condicionou o desenvolvimento de uma compartimentação clássica de áreas cristalinas adjacentes a bacias sedimentares. A denudação de maciços antigos e a resistência dos derrames basálticos levaram à elaboração de uma depressão periférica, sucedida por um relevo de *cuestas*, e por um planalto a ocidente do reverso das *cuestas*.

A cidade de São Carlos encontra-se dentro da província geomorfológica das *Cuestas Basálticas* (ALMEIDA ¹⁴, 1964; *apud* IPT, 1981) (Tabela 4). Este relevo é reconhecido, desde os trabalhos de Moraes Rego na década de trinta, e constitui uma das feições mais marcantes do relevo paulista. As *cuestas* são formas de relevo sustentadas por rochas basálticas e caracterizadas por mostrarem escarpas nos seus limites com a depressão periférica, seguidas de uma sucessão de grandes plataformas estruturais de relevo suavizado, inclinadas para o interior em direção à calha do Rio Paraná (IPT, 1981). As plataformas apresentam internamente escarpas menores, dando um caráter misto de colinas e escarpas ao relevo geral.

Nesta província, são identificados diversos planaltos situados a intervalos topográficos bem definidos e configurando um escalonamento do relevo em função de níveis de base locais. Estes são condicionados pela erosão diferencial atuando em camadas sedimentares e intrusões tabuliformes (IPT, 1981).

Segundo LORANDI ¹⁵ (1985) *apud* GONÇALVES (1986), os solos da região urbana e suburbana de São Carlos situam-se em relevo ondulado com declividades variáveis e desenvolvem-se a partir de alteração e desagregação de basaltos, diabásios, arenitos e sedimentos modernos. São solos com o pH baixo, com teores elevados de alumínio trocável. São ainda pobres em matéria orgânica e deficientes quanto a maioria dos elementos essenciais às plantas.

¹⁴ ALMEIDA, F.F.M. de 1964. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. Bol. Inst. Geogr. e Geol., São Paulo, (41): 169 - 263.

<i>Planalto</i>	<i>Escarpas limítrofes</i>	<i>Intervalo Topográfico (m)</i>	<i>Altitude Média de topos (m)</i>	<i>Observações</i>
Planalto de Franca	Serra de Franca Serra da Cachoeira Serra de Furnas	1187 a 750	950	Inclina-se para W e possui escarpas frontais bem marcadas, digitadas em espigões de topo suavizado
Planalto de Altinópolis	Serra da Vazante Serra do Bico de Papagaio	1122 a 800	1100 a 850	Inclina-se regionalmente para W
Planalto de Cravinhos		852 a 750	810	Situado sobre rochas basálticas, com escarpas marginais pouco nítidas.
Planalto Cajuru (Rio Cubatão)	Serra da Lage Serra Graciosa	1095 a 700		Situa-se a norte de "percée" do Rio Pardo. O Morro Agudo é um testemunho deste planalto.
Planalto Cássia dos Coqueiros - Itamoji	Serra da Borda da Mata Serra de Monte Santo	1174 a 860	1000	Inclina-se regionalmente para W. Há um degrau topográfico entre este planalto e o de Cajuru.
Planalto de São Simão	Serra de São Simão	972 a 860	900	Topo da Serra de São Simão, constitui restos deste planalto.
Planalto Santa Rosa do Viterbo	Serra São Pedro Serra de Santa Vitória Serra Fazendinha	872 a 620	800	É intensamente dissecado pelo Ribeirão Quebra - Cuia, que sai do Planalto, entre as Serras São Pedro e Fazendinha. É sustentado por arenito Pirambóia
Planalto Santa Rita do Passa Quatro	Serra do Córrego Fundo, Serra de Santo Onofre, Serra São Simão	1005 a 860	900 a 950	Fica a norte da cidade. É sustentado pelos arenitos da Formação Botucatu.
Plan. de Descalvado - Água Vermelha		858 a 700	760	Localiza-se a norte de São Carlos e é sustentado pelos arenitos Botucatu.
Planalto de São Carlos	Serra de Itaguaçu Serra Monte Sinai	935 a 750	850 a 780	Inclina-se para NNW. O Rio Chibarro interrompe sua continuidade para a região de Araraquara.
Planalto Dourado	Serra do Dourado	762 a 620	700 a 650	Inclina-se para NW de modo notável. É sustentado por bas. da Form. Ser. Geral.
Planalto Campo Alegre (Almeida, 1964)		810 a 620	740	Sustentado pelos arenitos Botucatu. O Rio Jacaré - Guaçu o atravessa em estreito <i>canion</i> . É rebaixado em relação ao platô de Itaqueri.
Planalto Itaqueri	Serra do Itaqueri, Serra de São Pedro, Serra do Tabuleiro, Serra de Brotas, Serra de Cachoeira	724 a 700	850	Situa-se a N da "percée" do Rio Tietê. É sustentado por rochas do Grupo Bauru e Formação Ser. Geral.
Planalto Botucatu	Serra do Botucatu	956 a 800		Sustentado pela Formação Serra Geral. Suas altitudes decrescem para NE.

TABELA 4- Principais feições de planaltos isolados nas cuestas basálticas. Fonte: *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo* (IPT, 1981).

¹⁵LORANDI, R., 1985. Caracterização dos solos das áreas urbana e suburbana de São Carlos (SP) e suas aplicações. Piracicaba, ESALQ-USP, 181 p. (Tese de Doutorado)

4.5.5 - TRABALHOS REALIZADOS NO “LIXÃO” DE SÃO CARLOS

4.5.5.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O “lixão” de São Carlos está localizado em uma das zonas de recarga do aquífero Botucatu e situa-se às margens do Córrego São José. Este córrego faz parte da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Feijão, um dos principais responsáveis pelo abastecimento de água da cidade de São Carlos. O “lixão” já existe há aproximadamente 16 anos e por muito tempo abrigou os resíduos de serviço de saúde, industriais e domiciliares (Fig. 12).



Figura 12 - Lixo sendo depositado no local de estudo.

As atividades foram interrompidas em junho de 1994, reiniciaram-se em fevereiro de 1995 e se encerraram finalmente em junho de 1996

GOMES (1989) salienta que no município de São Carlos produzem-se 2.200 ton. de lixo por mês e a média por habitante é de 470 gramas. A Tabela 5 caracteriza os resíduos sólidos da cidade:

TABELA 5: Composição física média do lixo urbano aterrado em São Carlos - SP, em 1988. Fonte: GOMES (1989)

COMPONENTE	CLASSIFICAÇÃO	MÉDIA FINAL (%)
MATÉRIA ORGÂNICA	FD	56,7
PAPEL	MD	21,3
PLÁSTICO	DD	8,5
METAL	ND	5,4
TRAPOS	DD	3,4
MADEIRA, COURO, BORRACHA	DD	2,3
VIDRO	ND	1,4
INERTES	ND	1,3
TOTAL		100

FD - facilmente degradável
DD - dificilmente degradável

MD - moderadamente degradável
ND - não degradável

4.5.5.2 - ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA ÁREA DO LIXÃO DE SÃO CARLOS

Na área do “lixão” de São Carlos, a Formação Botucatu aparece nas encostas com inclinação superior a 20 % como rocha sã e, nos terrenos com baixa inclinação, a formação mostra-se recoberta por sedimentos cenozóicos observados em cortes de estradas (MENEZES, 1995) (Fig. 13).



Figura 13 - Esboço geológico da região do “lixão” de São Carlos - SP

Nas escarpas laterais do lixão, destacam-se os níveis silicificados mais resistentes à erosão. A voçoroca na qual foram depositados os resíduos sólidos, instalou-se na porção mais aplainada do relevo, onde os arenitos da Formação Botucatu encontram-se recobertos pela sua cobertura residual (Fig. 13).

A Formação Serra Geral ocorre na área e está representada pela sua cobertura residual, sempre presente na porção superior das escarpas laterais ao “lixão” (MENEZES, 1995). Segundo ZUQUETTE (1981), esta cobertura residual caracteriza-se por alta percentagem de argila, com significantes teores de areia. POHL (1993) e ZUQUETTE (*op. cit.*) realizaram ensaios geotécnicos neste material, junto à área de pesquisa. Os resultados estão expostos nas Tabelas abaixo.

TABELA 6: valores médios de 0,5 a 2,5 metros. Fonte: POHL (*op. cit.*).

UMIDADE %	AREIA %	SILTE %	ARGILA %	LIMITE DE LIQUIDEZ	LIMITE DE PLASTICIDADE	ÍNDICE DE PLASTICIDADE
22,6	33,5	14,5	52,0	49,0	21,5	27,5

TABELA 7: valores médios 0 a 2,5 metros. Fonte: POHL (*op. cit.*).

pH (H ₂ O)	% MAT. ORG.	% C ORG.	CÁTIONS TROCÁVEIS (ME/100G)			CTC TOTAL
			CA ²⁺ +MG ²⁺	K ⁺	AL ³⁺ +H ⁺	
5,98	0,68	0,32	5,10	0,05	2,45	7,60

TABELA 8: Características da cobertura residual da Formação Serra Geral. Fonte: ZUQUETTE

AREIAS % < 4,76 E > 0,074 MM	SILTE % < 0,074 E > 0,002 MM	ARGILA % > 0,002 MM	LIMITE DE LIQUIDEZ	LIMITE DE PLASTICIDADE	ÍNDICE DE PLASTICIDADE
10,73	19,27	70	69,60	46,54	23,06

GONÇALVES (1986) constatou que o local onde se instalou o “lixão” de São Carlos é constituído por sedimentos arenosos inconsolidados de alta permeabilidade (superior a 10^{-6} cm/s) e é uma das áreas de recarga do aquífero Botucatu. GONÇALVES (1997) realizou análises granulométricas e de capacidade de troca catiônica (CTC) no material retirado na perfuração dos piezômetros. Os resultados encontram-se na Tabela 9.

O material caracterizado como rocha não alterada foi classificado granulometricamente como areia, exceto na parte central da área, em que foi classificado como argila arenosa a areia siltosa.

POÇO	AMOSTR A	CTC	AREIA MUITO GROSSA	AREIA GROSSA	AREIA MÉDIA	AREIA FINA	AREIA MUI- TO FINA	SILTE	ARGILA
L1	1 - 2 m	6	0,2	1,01	17,73	53,7	7,5	3,57	16,29
L1	4 - 5 m	10,3	0,31	2,06	18,6	49	4,22	5,06	20,75
L2	0 - 1 m	6	0,2	0,61	12,24	71,49	5,46	1,08	8,92
L2	1 - 2 m	5,1	0,1	0,4	10,19	75,49	5,46	1,08	8,92
L4	0 - 1 m	5,7	0,1	11,04	18	64,03	5,4	0,87	0,56
L4	4 - 5 m	5,1	0,31	1,04	6,44	37,07	6,44	1,74	46,96
L5	0 - 1 m	2,9	0	10,94	21,3	49,8	4,8	3,46	9,7
L5	1 - 2 m	7	0	0,71	15,45	52,34	5,79	1,2	24,51
L5	6 - 7 m	9,9	0	0,94	10,73	52,71	5,94	3,96	25,72
L6	0 - 1 m	4,4	0	0,1	10,92	29,01	7,78	1,33	50,86
L6	6 - 7 m	2	0	1,02	36,45	37,66	11,86	1,02	11,97
L7	0 - 1 m	4,2	0,2	11,2	20	54,22	4,8	1,29	8,29
L7	1 - 2 m	0,7	0	1,23	18,8	60,5	5,52	7,41	6,54
L8	0 - 1 m	5,7	0,1	0,61	12,78	58,42	10,04	0,56	17,49
L8	5 - 6 m	5,5	0,1	0,31	25,08	52,07	9,61	3,25	9,58
L9	0 - 1 m	5,7	0,1	0,3	13,9	73,92	3,83	7,6	0,35
L9	1 - 2 m	5,1	0,1	0,3	18,43	68,38	7,65	1,96	3,18
L10	0 - 1 m	3,8	0,1	1,24	11,64	52,73	8,55	5,14	20,6
L10	1 - 2 m	6,4	0	1,02	11,53	54,3	8,46	5,93	18,76
L10	6 - 7 m	10,8	0	1,13	11,6	50,51	5,13	3,55	28,08
L11	0 - 1 m	3,8	0,1	0,61	14,97	59,06	12,42	2,38	10,46
L11	5 - 6 m	9,7	0	0,92	19,8	55,51	13,57	0	1,2
L12	0 - 1 m	7,3	0,1	0,81	16,72	56,33	7,6	3,3	15,14
L12	1 - 2 m	6,4	0,2	0,81	14,45	59,09	7,68	4,55	13,22
L12	6 - 7 m	5,7	0	0,9	16,85	60,24	5,15	2,38	14,48
L13	0 - 1 m	5,5	0,1	0,4	8,38	71,24	7,06	4,73	8,09
L13	1 - 2 m	5,5	0,1	0,1	3,54	76,42	5,87	7,1	6,87
L13	7 - 8 m	1,3	0	0,3	21,2	62,27	9,53	3,14	3,56

TABELA 9 - Análise granulométrica (%) e CTC do material da Formação Botucatu, retirado dos poços piezômetros na área do lixão (primeiro e último metros perfurados). Fonte: GONÇALVES (1997).

MENEZES (1995) estudou as características do meio físico da área do lixão de São Carlos e comparou-as com as situações de risco sugeridas por GANDOLFI e

ZUQUETTE ¹⁶ (1991) *apud* MENEZES (1995). Para cada característica física levantada na área, atribuiu-se níveis de acordo com estudo dos autores. Os resultados encontram-se na tabela 10.

Tabela 10: Comparação entre as características físicas levantadas por MENEZES e as situações de risco sugeridas por GANDOLFI e ZUQUETTE.

Fonte: Modificado de MENEZES (1995).

<i>ATRIBUTO</i>	<i>CARACTERÍSTICAS LEVANTADAS NA ÁREA DO "LIXÃO"</i>	<i>NÍVEIS DE PRIORIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS</i>
<i>Movimentos de terreno</i>	<i>Não foram observados na área</i>	<i>Atributo favorável</i>
<i>Densidade de canais</i>	<i>2/km²</i>	<i>Atributo intermediário</i>
<i>Declividade do terreno</i>	<i>porção inferior - 5 a 10 % porção superior - > 10 %</i>	<i>Atributo intermediário a desfavorável</i>
<i>Coefficiente de permeabilidade</i>	<i>10⁻⁴ a 10⁻⁶ cm/s - permeabilidade alta a moderada</i>	<i>Atributo intermediário a desfavorável</i>
<i>Forma do terreno</i>	<i>próximo ao contato entre superfícies de traços físicos diferentes</i>	<i>Atributo intermediário</i>
<i>Materiais</i>	<i>Materiais inconsolidados</i>	<i>Atributo desfavorável</i>
<i>Profundidade do nível estático</i>	<i>varia de 1,97 a 8,70 m</i>	<i>atributo desfavorável</i>
<i>CTC</i>	<i>2,71 a 7,3 mE/100g</i>	<i>Atributo desfavorável</i>
<i>Potencial à erosão</i>	<i>Área apresenta alto potencial à erosão, tendo sido anteriormente um voçoroca</i>	<i>Atributo desfavorável</i>

A autora concluiu que a maioria das características do meio físico possuem nível de risco intermediário a alto, desabilitando a área para atividades deste fim.

4.5.5.3 - ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS E HIDROGEOQUÍMICOS DA REGIÃO DO "LIXÃO" DE SÃO CARLOS

ELLERT *et al.* (1992) realizaram levantamentos geofísicos no lixão de São Carlos empregando o método de eletrorresistividade e de eletromagnetometria indutiva para determinar a pluma de poluentes e sísmica para determinar o comportamento vertical e horizontal da geologia local. Os resultados dos levantamentos leva-

¹⁶GANDOLFI, N.; ZUQUETTE, L.V. (1991). *Análise da relação entre disposição de rejeitos de baixa periculosidade e meio geológico receptor*. In: REGEO 91. Simpósio sobre barragens de rejeito e disposição de resíduos. Rio de Janeiro, V.2 pp. 221-232.

ram às seguintes conclusões: 1. existência de uma pluma rumando para WNW e 2. sondagem sísmica indicou zonas silicificadas em subsuperfície.

GONÇALVES *et al.* (1992) tentaram determinar a direção do fluxo do lençol freático. Para tanto, construíram 10 poços piezométricos (Fig. 13, página 39) com diâmetro interno de 4 polegadas. Os trabalhos revelaram que o fluxo caminha na direção NW. A direção do fluxo e a alta permeabilidade do solo no local indicam que grande parte do chorume deve estar infiltrando para o aquífero profundo. De todos os poços construídos restam apenas três, os demais foram encobertos pelos resíduos jogados no local.

BOSSOLAN (1993) realizou estudos sobre a contaminação da água subterrânea do local, enfocando aspectos bacteriológicos e químicos. A autora verificou uma variação do nível estático da ordem de 30 cm no período de um ano, sendo que os maiores valores foram os referentes aos meses de fevereiro e março, enquanto que os menores foram obtidos no mês de agosto. A direção do fluxo subterrâneo foi medido pela autora a partir de linhas isopiezométricas e verificou-se que a direção é NW.

A autora observou valores de pH, oxigênio dissolvido e de alguns metais (Ca, Mg, Fe), indicando forte influência do líquido percolado sobre a água subterrânea. Os indicadores bacteriológicos de poluição fecal, analisados na água subterrânea, estiveram acima dos limites.

MENEZES (1995) levantou diversos dados de contaminação nos poços L5, L12 e L14 (Figura 13, página 39). Foi tomado um poço como sendo livre de contaminação (L5) e dois, como tendo sido atingidos pela pluma de poluentes (L12 e L14). A alcalinidade nos poços L12 e L14 atingiu valores muito altos (964,4 mg/l CaCO_3) e no L5 permaneceu quase nula. Se estes valores forem comparados com os valores encontrados no chorume de aterros (6150 a 15680 mg/l CaCO_3), supõe-se que a água subterrânea está diluindo muito os contaminantes.

Os valores de condutividade também mostram padrões muito acima do aceitável para a área atingida pela pluma. A média para o poço L12 ficou em 3826,45 $\mu\text{S}/\text{cm}$; para o poço L14 em 530,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$; enquanto que no poço L5 oscilou em torno de 72,77 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A autora verificou que a condutividade em todos os poços amostrados aumentou em relação a dados coletados anteriormente por BOSSOLAN (1993),

principalmente os valores do poço L5, tomado como padrão. Este fato pode estar relacionado com o recebimento de percolado menos estabilizado proveniente dos resíduos mais novos. O valor do pH para o poço L5 ficou em torno de 3,83 e os valores para os poços L12 e L14 foram 6,87 e 5,92, respectivamente.

Os metais observados nas amostras de água subterrânea por MENEZES foram ferro e manganês, em altas concentrações. A concentração média de manganês encontrada no poço L5 foi de 0,16 mg/l, no poço L12 foi de 0,06 mg/l; e no poço L14 0,74. Os valores médios de ferro encontrados nos poços L5, L12 e L14 foram 0,095 mg/l, 0,136 mg/l e 0,01 mg/l, respectivamente.

5 - METODOLOGIA

5.1 - LEVANTAMENTO GEOLÓGICO E ENSAIOS DE SOLO

5.1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O levantamento geológico consistiu de mapeamento sistemático de detalhe, tendo como base as cartas 57/086, 57/087, 58/086 e 58/087, executado pela Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo - Coordenadoria de Ação Regional - Divisão de Geografia, na escala 1:10.000, datado de 1979, portanto anterior à colocação de resíduos no local.

Como a área abrangida pelo projeto encontra-se dividida entre as quatro cartas, foi elaborado um mapa-base contendo as informações (drenagem superficial, estradas e vias de acesso, construções etc.) provenientes da junção das quatro cartas. Os dados geológicos coletados em campo foram interpretados e desenhados sobre o mapa-base. A partir do mapa-base contendo as informações pertinentes ao projeto, foi elaborado um mapa geológico final, contando com legendas e informações apropriadas.

Para a melhor descrição das rochas encontradas no local, algumas amostras foram coletadas, serradas e colocadas em lâminas delgadas para pesquisa em laboratório, visando conhecer a composição mineralógica das rochas. O serviço de confecção de lâminas delgadas foi efetuado pelo laboratório de mineralogia do Departamento de Geotecnia da EESC.

5.1.2 - ENSAIOS DE SOLO

Com o objetivo de colaborar com os dados do levantamento geológico, foram efetuados cinco análises de granulometria no laboratório de solos do Departamento de Geotecnia da EESC, em amostras coletadas durante a construção dos poços de monitoramento e amostragem. Este primeiro ensaio constou de teste de peneiramento e sedimentação. Para o peneiramento foram empregadas as peneiras 100, 50, 30, 16, 10 e 4. Em virtude das amostras serem extremamente arenosas, o teste de sedimentação pouco acrescentou, pois pouca variação na densidade foi observada no decorrer do teste.

Além da análise de granulometria, foi feito um teste de permeabilidade com carga constante, em amostra indeformada colhida em campo e locada em mapa (Ponto de amostragem de solo - P.A.S.). A amostra coletada em campo encontrava-se a aproximadamente 1 m de profundidade. Desta amostra foi retirado um corpo de prova de 12,49 cm de comprimento, com diâmetro aproximado de 5 cm. O sentido escolhido para teste de permeabilidade foi o vertical, uma vez que a amostra foi coletada em campo neste sentido e, a esta profundidade, não há compactação do solo, alterando a condutividade hidráulica vertical.

O teste consiste em, após preparado o corpo de prova dentro de um cilindro de ensaio, saturá-lo e medir o volume de água que sai do sistema, durante um intervalo de tempo. Estes valores são colocados na fórmula

$$K = \frac{V \cdot H}{A \cdot L \cdot t} \quad (21)$$

onde K é a condutividade hidráulica, V o volume de água que deixa o sistema, H a altura do corpo de prova, A a área da base do corpo de prova, L a altura da carga e t o tempo medido. As constantes para o ensaio realizado foram:

H - 12,49 cm

A - 19,63 cm²

L - 72,3 cm

$k_v =$

Todos os testes seguiram orientação contida em STANCATI *et al.* (1981).

5.2 - LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO

O levantamento planialtimétrico visou obter uma carta onde os poços já existentes, os novos poços e os limites do lixo estejam locados devidamente. Deste modo, os trabalhos referentes à determinação do fluxo de água subterrânea e da pluma de contaminantes terão maior precisão.

O método utilizado para a aquisição de dados de campo foi o da taqueometria. Os dados obtidos foram digitados no computador e foi empregado o programa computacional LISCADPlus 3.01, para a interpretação e desenho final da carta. A planta obtida por este programa pode ser trabalhada no programa AUTOCAD, em qualquer uma de suas versões, para se obter um resultado mais refinado.

O levantamento planialtimétrico de campo e o tratamento de dados no programa LISCADPlus 3.01 foram realizados por funcionários do Departamento de Transportes da EESC.

A planta resultante (APÊNDICE 3) foi confeccionada na escala 1:2.500, e possui indicações sobre os poços construídos pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), exibe os caminhamentos geolétricos, os limites da área ocupada pelo "lixo" aterrado, os marcos utilizados no levantamento topográfico, construções existentes no local, tais como curral, canaletes para escoamento superficial entre outras e as linhas dos perfis geológicos confeccionados a partir desta carta.

5.3 - LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

5.3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Esta fase dos trabalhos de campo foi necessária para a escolha do local dos novos poços de monitoramento e amostragem, para ter uma idéia do comportamento da pluma de poluentes e do grau de contaminação em profundidade e para tentar adquirir informações acerca da geologia de subsuperfície.

Há muito os métodos geofísicos vêm sendo empregados na tentativa de obter informações sobre a constituição do interior da Terra. Todos os métodos têm em comum o fato de, a partir da medida de uma grandeza física, procurar identificar as condições em que se encontram os materiais do subsolo. Estes métodos já são utilizados na prospecção de águas subterrâneas, entretanto sua utilização no estudo da qualidade dessas águas remonta a cerca de duas décadas e seu maior incremento ocorreu nos últimos dez anos (MENDES, 199/).

A propriedade física da água mais afetada pelos poluentes é a resistividade, o que faz com que os métodos de cálculo desta propriedade sejam os mais utilizados. A resistividade das rochas é um parâmetro que, se dependesse apenas do tipo litológico, teria um valor quase que imensurável, visto que a maioria dos minerais é isolante. A quantidade de água e a qualidade dos sais nela dissolvidos são fatores que conferem uma gama ampla de valores de resistividade (MENDES, *op. cit.*).

O levantamento executado pela equipe foi realizado no mês de junho de 1995, ou seja, no início do período de seca na região. O trabalho de campo utilizou equipamento pertencente ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP) Campus de Rio Claro e técnicos desta instituição participaram do levantamento de campo. A interpretação dos dados teve ajuda do Professor Walter Malagutti Filho desta instituição.

5.3.2 - METODOLOGIA EMPREGADA

Neste projeto foi utilizado o método de caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo. Trata-se de uma técnica de investigação horizontal a uma ou várias profundidades aparentemente constantes, a partir de medidas tomadas na superfície do terreno (IPT, 1990). As investigações pelo caminhamento elétrico geralmente são efetuadas ao longo de perfis, e os resultados obtidos se relacionam entre si através de um estudo em planta a uma profundidade determinada ou de seções com várias profundidades de investigação.

No arranjo dipolo-dipolo (Fig. 14), os eletrodos A e B de envio de corrente e os eletrodos M e N de potencial ou de recepção são alinhados sobre um mesmo perfil. O arranjo é definido pelos espaçamentos $L_1 = AB = MN = L_3$ e $L_2 = nL_1$, sendo n um número inteiro maior ou igual a 2. A profundidade de investigação cresce com n e teoricamente corresponde a $\frac{1}{2} L_2$.

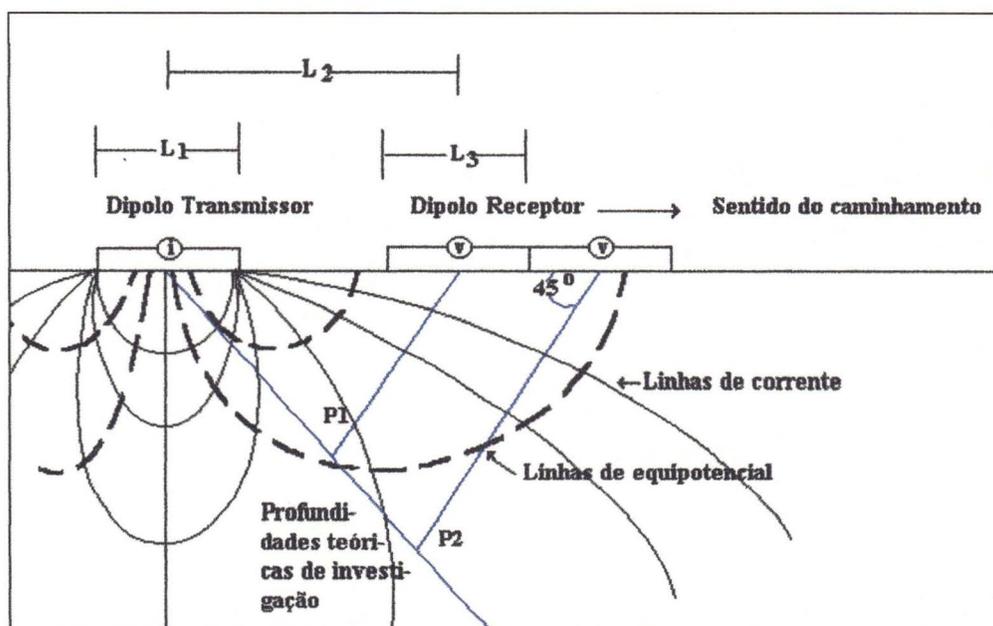


Figura 14 - Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo (caminhamento elétrico)
Fonte - Modificado de IPT (1990)

As medidas são feitas em várias profundidades de investigação, isto é, $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$. A cada estação os dois dipolos são deslocados de uma distância igual a L_3 e os dados obtidos são plotados na forma de seções de resistividades aparentes (Fig. 15).

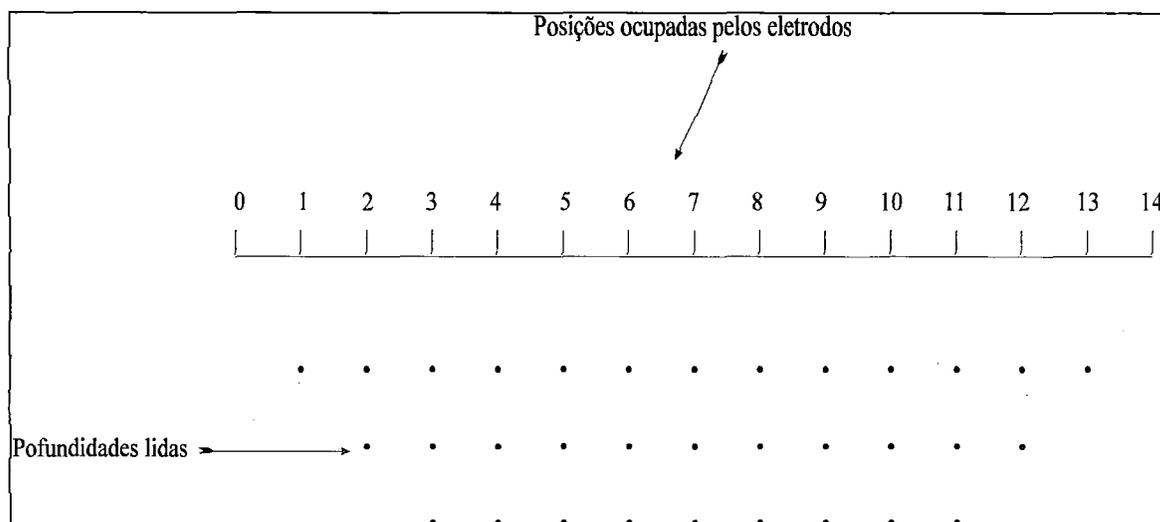


Figura 15: Seção de resistividade aparente arranjo dipolo-dipolo (caminhamento geofísico).
Fonte: Modificado de IPT (1990).

5.4 - POÇOS DE MONITORAMENTO E AMOSTRAGEM

5.4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os novos poços de monitoramento e amostragem construídos pela equipe do projeto, foram locados no mapa planialtimétrico (APÊNDICE 3) e sua distribuição baseou-se nos resultados obtidos no levantamento geofísico. O relatório final dos poços, constando de todos os detalhes da construção e um desenho esquemático de cada poço, encontra-se no APÊNDICE 1. A nomenclatura adotada seguiu o critério que a Universidade Federal de São Carlos utilizou nos primeiros poços construídos. Uma vez que o último poço construído pela UFSCar foi o L 14, os novos iniciaram em L 15 e a contagem seguiu o sentido horário.

Foram construídos 17 poços de monitoramento e amostragem. Todos possuem revestimento, filtro, pré-filtro, proteção sanitária, tampão e selo conforme as normas ditadas pela CETESB (Fig.16).

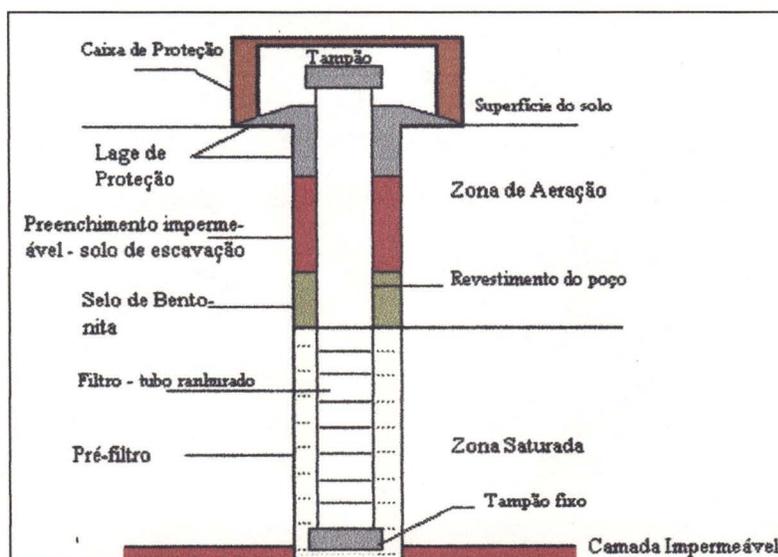


Figura 16 - Perfil esquemático de poço de monitoramento

Fonte - IPT - Manual de construção de poços de monitoramento e amostragem

O revestimento interno consiste de tubos PVC de 4 polegadas de diâmetro, da linha GEOMECÂNICA da empresa FORTILIT, com a função de revestir as paredes do poço. O filtro tem a propriedade de permitir a entrada de água e de impedir a penetração de alguma impureza. Existem vários tipos de filtros, mas o mais comum

é o do tipo ranhurado. Consiste de um tubo do mesmo material do revestimento, com ranhuras vazadas, distribuídas homoganeamente em sua superfície. A largura da ranhura varia de 2 a 3 mm e a distância entre elas não ultrapassa 1 cm.

O pré-filtro consiste de areia lavada de grãos de quartzo ou pedriscos de quartzo inertes e resistentes, ocupa o espaço anular entre o filtro e a parede de perfuração. No caso do projeto, o diâmetro médio do pré-filtro não ultrapassou 2 mm.

A proteção sanitária tem a função de evitar que a água superficial contamine o poço através da infiltração pelo espaço anular. É o conjunto formado pelo selo sanitário e pela laje de proteção. O selo sanitário consiste de uma argamassa de cimento na extremidade superior do espaço anular com aproximadamente 30 cm, e a laje de proteção é um piso de cimento ao redor da boca do poço construído com um pequeno declive.

5.4.2 - METODOLOGIA DA CONSTRUÇÃO

A construção constou de duas etapas. Uma primeira empregando o trado mecanizado com diâmetro de 12 polegadas da empresa BASE Fundações e Infraestrutura de Ribeirão Preto (Fig. 17). Esta fase consistiu da perfuração até a altura do nível estático e foi executada no dia 26 de outubro de 1995 e em uma única jornada foram perfurados 15 poços.

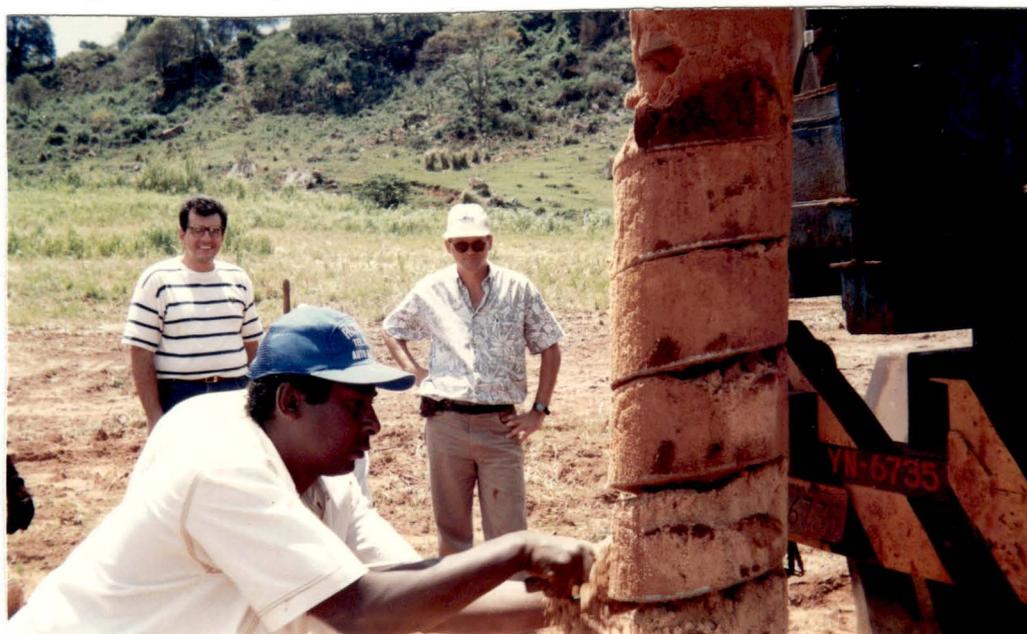


Figura 17: Trado mecanizado

A segunda etapa consistiu no término da perfuração e na construção dos poços. A máquina empregada para esta operação foi a sonda de fundações da empresa DESTACA Fundações (Fig. 18). As operações tiveram início no dia 31 de outubro de 1995 e terminaram no dia 23 de novembro do mesmo ano. Ao final destes trabalhos foram concluídos 17 poços de monitoramento e amostragem. O fluido de perfuração empregado nesta etapa foi a água, a fim de evitar qualquer dano de formação e deste modo alterar os resultados finais dos ensaios de bombeamento.



Figura 18: Sonda de fundações

A estratégia para a construção dos poços foi baseada na altura do nível estático e, nos poços construídos dentro da área ocupada pelos resíduos, a profundidade do “lixo” também foi levada em consideração. De um modo geral, os poços foram perfurados até 6 metros abaixo do nível estático e foram utilizados 4 metros de filtro, deixando um metro entre a base do filtro e o fundo do poço perfurado. O primeiro filtro sempre foi colocado um metro abaixo do nível estático. O espaço entre o revestimento e filtros e a formação foi preenchido com pré-filtro até 1 metro acima do NE aproximadamente. Sobre o pré-filtro foi feito um selo de bentonita de 1 m de espessura, e acima deste depositado o material da própria formação.

Nos poços construídos no “lixo” o procedimento seguido foi colocar o filtro três metros abaixo do contato entre o depósito e a formação, independente da altura

do NE, se este último alcançasse os resíduos. Foi adicionado um selo de cimento no contato da base do “lixo” aterrado com a formação, além do selo de bentonita.

Depois de construídos, os poços foram desenvolvidos, ou seja, foram efetuadas operações que têm por objetivo a limpeza do poço e a retomada das características originais da água e do aquífero. O desenvolvimento dos poços foi feito manualmente (Fig. 19) e empregou-se um tubo de PVC com diâmetro de 1 polegada e com 2 metros de comprimento aproximadamente, constando de um sistema de válvula de retenção em uma de suas extremidades. Nesta etapa o fluido de perfuração utilizado em todos os poços foi água, ou seja, não foram empregadas substâncias tais como bentonita ou polímeros, que possam alterar as características do aquífero, alterando o fluxo da água subterrânea.



Figura 19: Operação de desenvolvimento dos poços de monitoramento e amostragem

5.5 - PIEZOMETRIA E ENSAIOS DE BOMBEAMENTO

5.5.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Esta etapa teve como objetivo a determinação das características hidrodinâmicas do aquífero e do fluxo da água subterrânea na região de estudo. Consistiu de testes de bombeamento e recuperação e a elaboração de um mapa de equipotenciais. Os dados coletados em campo durante os ensaios realizados encontram-se no APÊNDICE 2.

Os testes de bombeamento, ou ensaios de bombeamento, consistem em bombear poços e determinar a taxa de declínio do nível dinâmico em relação ao tempo, tanto no poço bombeado quanto outros poços de observação (piezômetros).

Depois de um determinado tempo de bombeamento, o nível dinâmico aumenta mais lentamente. A região em volta do poço de bombeamento onde a carga hidráulica baixou é conhecida como cone de depressão. O gradiente hidráulico do cone de depressão faz com que a água flua para o poço. A recarga do poço possui uma geometria circular (FETTER, 1994).

A princípio, os piezômetros construídos se prestariam apenas para observação e acompanhamento de nível estático e coleta e amostragem de água subterrânea. Entretanto os piezômetros foram empregados também para a função de poços de bombeamento. Para tanto foram escolhidos poços estratégicos, ou seja, poços com maior profundidade e em posição central a vários poços (Tabela 11 e Fig. 20). Como os diâmetros e as profundidades são baixos, só foi possível realizar os ensaios com vazões reduzidas, obtendo então rebaixamentos pequenos.

TABELA 11: Relação das distâncias (em m) entre os poços de observação e bombeamento.

1º Ensaio de bombeamento							
POÇOS	L 31	L 25	L 26	L 30	L 27	L 28	L 29
L 31	-----	112,5	200	137,5	225	215	212,5
L 25	112,5	-----	100	87,5	145	152,5	162,5
L 26	200	100	-----	82,5	45	62,5	80
L 30	137,5	87,5	82,5	-----	100	80	75
L 27	225	145	45	100	-----	27	27
L 28	215	152,5	62,5	80	27	-----	27
L 29	212,5	162,5	80	75	27	27	-----
2º Ensaio de bombeamento							
POÇOS	L 31	L 32	L 33	L 12	L 16	L 17	
L 31	-----	270	355	226	194	415	
L 32	270	-----	96	105	146	198	
L 33	355	96	-----	196	240	189	
L 12	226	105	196	-----	192	237	
L 16	194	146	240	192	-----	266	
L 17	415	198	189	237	266	-----	

Os poços assinalados em verde são os poços de bombeamento.

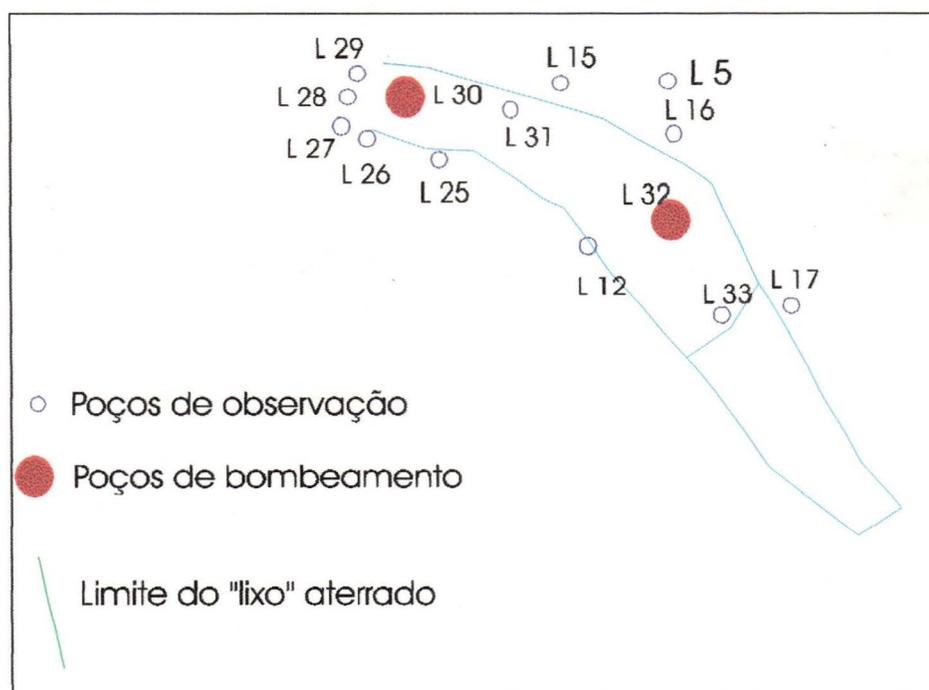


Figura 20: Desenho esquemático mostrando a posição dos poços de bombeamento em relação aos poços de observação

5.5.2 - METODOLOGIA DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO

Assim que foram concluídos os trabalhos de construção dos poços de monitoramento e amostragem, incluindo selo sanitário e caixa de proteção, iniciaram-se as operações necessárias à realização dos ensaios de bombeamento. Deste modo, foi preparado o sistema motor gerador bomba (Fig. 21), tubos elevatórios (Fig. 22), hidrômetro (Fig. 23), tubos para escoamento da água bombeada a uma distância de aproximadamente 150 m dos poços e outras estruturas de apoio para os testes.



Figura 21: Sistema moto-gerador

O primeiro ensaio teve início no dia 26 de abril, às 15:00 horas e consistiu de bombeamento a vazão constante ($0,4 \text{ m}^3/\text{h}$, aproximadamente) durante 48 horas e, após o desligamento da bomba, realizou-se o teste de recuperação. Além do acompanhamento do rebaixamento no poço bombeado (L 30), monitorou-se também o nível d'água de 7 piezômetros (L 29, L 28, L27, L 26, L 25, L 31 e L 15).

O segundo ensaio teve início no dia 8 de maio, às 17:00 horas e também consistiu de bombeamento a vazão constante ($0,6 \text{ m}^3/\text{h}$, aproximadamente) durante 24 horas e também foi realizado teste de recuperação após desligamento da bomba. Os poços escolhidos para monitoramento de nível d'água durante o bombeamento foram: L 12, L33, L17, L16, L5 e L 31 e foi bombeado o poço L 32.



Figura 22: Tubos elevatórios da bomba.

O intervalo de medida de níveis d'água, nos poços bombeados, seguiu o procedimento recomendado JORBA e ROCHA (1982) (Tabela 12).

TABELA 12: Relação entre tempo de bombeamento e intervalos de leitura
Fonte: Modificado de JORBA e ROCHA (1982)

TEMPO DE BOMBEAMENTO	INTERVALO DE LEITURA
10 minutos	1 minuto
18 minutos	2 minutos
30 minutos	3 minutos
90 minutos	5 minutos
120 minutos	10 minutos
300 minutos	30 minutos
1440 minutos	60 minutos
2880 minutos	120 minutos

Nos piezômetros a estratégia de medida do nível d'água seguiu parâmetros diferentes dos adotados para os poços de bombeamento, pois a distância entre os poços (chegando em alguns casos a 300 m), impedia que fosse utilizado um intervalo de medida inferior a 25 minutos. Deste modo, nos primeiros 300 minutos do teste o intervalo de medida nos piezômetros foi de 30 minutos, em seguida usaram-se os mesmos intervalos dos poços de bombeamento.



Figura 23: Hidrômetro utilizado nos testes de bombeamento.

As vazões de bombeamento foram escolhidas em testes preliminares de campo, procurando um determinado valor que não permitisse que o nível dinâmico chegasse a menos de 50 cm do crivo da bomba após um mínimo de 24 horas de bombeamento, o que poderia acarretar e entrada de ar no sistema e parada das operações (Fig. 24).

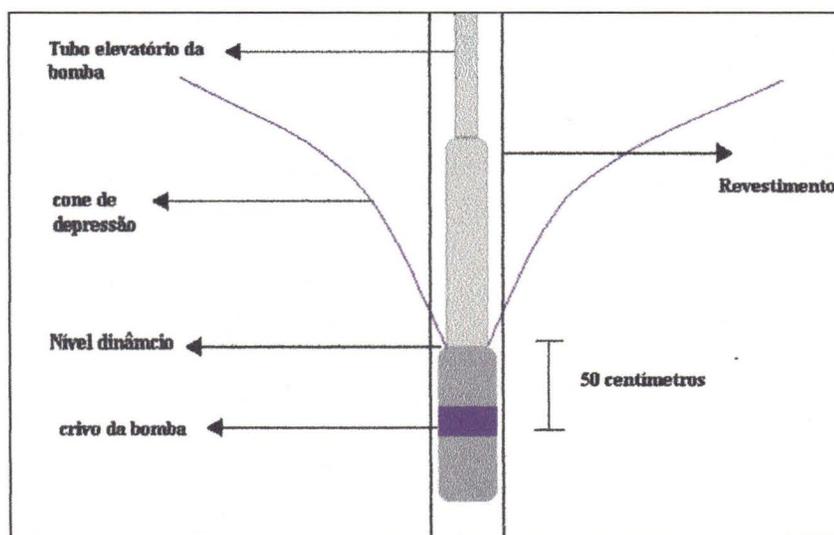


Figura 24: Desenho esquemático da bomba submersa e o nível dinâmico - distância de segurança.

Foi feito um teste de calibração do hidrômetro. As vazões foram medidas tanto em uma balança quanto no hidrômetro utilizado. Os valores medidos pela ba-

lança e pelo hidrômetro foram colocados na Tabela 13 e foi feito um gráfico de calibração dos resultados (Fig. 25):

TABELA 13: Resultados do teste de calibração do hidrômetro.

Tempo (min.)	Leit. Hidrôm. (m ³)	Leitura na Balança (m ³)	Vazão Hidrômetro (m ³ /h)	Vazão Balança (m ³ /h)
9,9	4,1	3,5	1,4909	1,2727
10	6,5	5,9	2,3400	2,1240
10	4,2	3,6	1,5120	1,2960
10	3	2,5	1,0800	0,9000
10,1	11	10,5	3,9208	3,7426
10,1	3	2,6	1,0693	0,9267
10,2	10,1	10,1	3,5647	3,5647
10,2	3,2	2,7	1,1294	0,9529
10,4	6,8	6,4	2,3538	2,2154
20	12,5	12,1	2,2500	2,1780
20	7,8	7,4	1,4040	1,3320
20	7,8	7,4	1,4040	1,3320
20	5,4	5,2	0,9720	0,9360
20,1	12,5	12	2,2388	2,1493
20,2	5,8	5,3	1,0337	0,9446
22	30	30,1	4,9091	4,9255
23,2	30	29,9	4,6552	4,6397
23,2	27	27,4	4,1897	4,2517
23,2	24	24,2	3,7241	3,7552
30	4,2	4,4	0,5040	0,5280
30	4,3	4,4	0,5160	0,5280
30,2	11,7	11,3	1,3947	1,3470
30,2	4,9	4,5	0,5841	0,5364
40	10,8	10,8	0,9720	0,9720
40,2	31	30,6	2,7761	2,7403
40,2	11	10,2	0,9851	0,9134
41,2	31,5	31,6	2,7524	2,7612
48	50	50	3,7500	3,7500
60	16,6	16	0,9960	0,9600
60	16,3	16,4	0,9780	0,9840
60,3	9,4	9,3	0,5612	0,5552
60,8	80	79,5	4,7368	4,7072

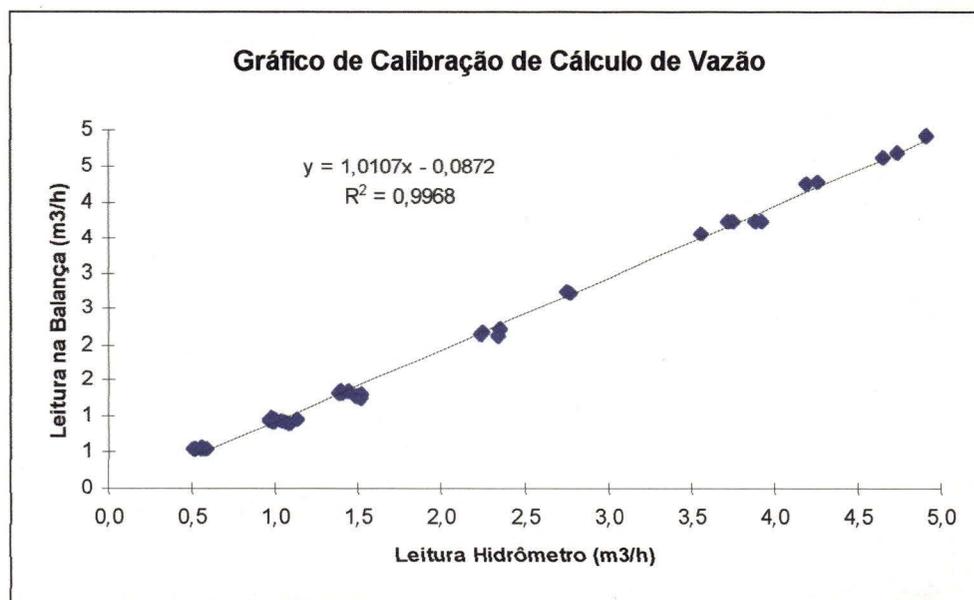


Figura 25: Gráfico de Calibração do hidrômetro.

5.5.3 - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A escolha do método de interpretação dos resultados dos ensaios de bombeamento baseou-se no tipo de aquífero livre e anisotrópico, e na relação entre os poços parcialmente penetrantes e a espessura do aquífero. Com base nesta realidade, o método que mais se adaptou aos propósitos da equipe foi o método de comparação de curvas. Este método baseia-se na elaboração de uma curva teórica em um gráfico bi-logarítmico, onde no eixo das coordenadas estão valores da função poço ($W(u)$) e no eixo das abscissas os valores de $1/u$

Vários autores definiram curvas padrão para cada tipo específico de teste de bombeamento e de aquífero. A equipe concordou em empregar a curva padrão de STRELTSOVA¹⁷ (1974) *apud* KRUSEMAN e RIDDER (1990). O autor definiu diversas curvas para testes de vazão constante, realizados em aquíferos livres e homogêneos, com poços parcialmente penetrantes. Para a determinação do comportamento dos rebaixamentos iniciais, STRELTSOVA (*op. cit.*) desenvolveu a seguinte equação:

¹⁷ STRELTSOVA, T.D. (1974). *Drawdown in compressible unconfined aquifer*. In: J. Hydraul. Div., Proceedings. Amer. Soc. Civil Engrs., Vol. 100 (HY11). P 1601 - 1616.

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot k_h \cdot D \cdot (b_1/D)} \cdot W(u_a, \beta, b_1/D, b_2/D) \quad (22)$$

onde, $u_a = \frac{r^2 \cdot S_a}{4 \cdot k_h \cdot D \cdot t}$ (23), S_a é a armazenabilidade do aquífero, Q é a vazão de bombeamento, r a distância entre o poço de bombeamento e o piezômetro, D a espessura do aquífero, t é o tempo de bombeamento, k_h condutividade horizontal, b_1 e b_2 a distância entre a base do filtro e o nível estático do poço de bombeamento e do piezômetro respectivamente (Fig. 26) e

$$\beta = \left(\frac{r^2}{D^2} \right) \cdot \frac{k_v}{k_h} \quad (24), \text{ onde } k_v \text{ é a condutividade hidráulica vertical.}$$

Para a análise dos rebaixamentos nos tempos intermediários e finais do teste de bombeamento, o autor desenvolveu as seguintes equações:

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot k_h \cdot D \cdot (b_1/D)} \cdot W(u_b, \beta, b_1/D, b_2/D) \quad (25),$$

onde, $u_b = \frac{r^2 \cdot S_y}{4 \cdot k_h \cdot D \cdot t}$ (26), onde S_y é a porosidade específica do aquífero.

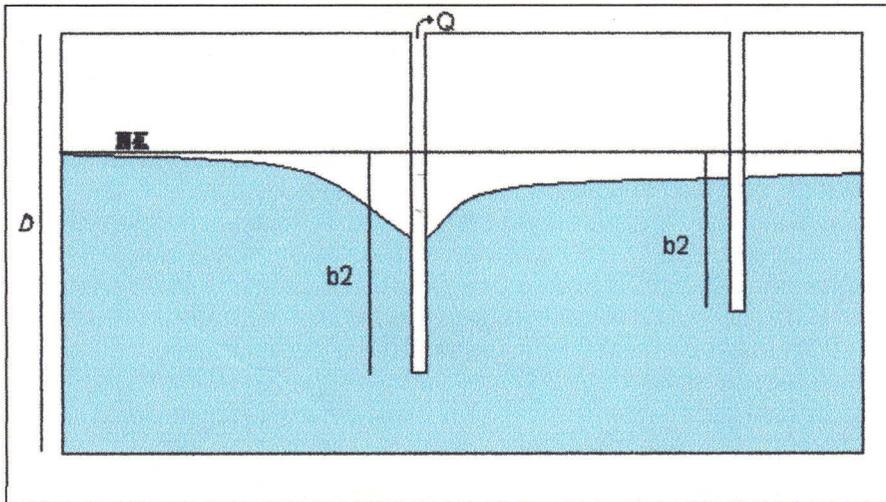


Figura 26: Relação entre a espessura do aquífero e as profundidade dos poços de observação e de bombeamento.

Fonte - KRUSEMAN e RIDDER (1990)

Este método só é empregado quando há outros piezômetros ou poços de observação. Para a análise procede-se da seguinte maneira:

1. faz-se uma estimativa para os valores das constantes hidrodinâmicas do aquífero baseando-se na literatura existente;
2. de posse das estimativas, desenha-se, em um papel bi-logaritmo, a curva padrão do tipo A, plotando os valores de $W\left(u_a, \beta, b_1/D, b_2/D\right)$ versus $1/u_a$, para determinados valores de $\sqrt{\beta}$;
3. sobre um papel bi-logaritmo desenha-se a curva padrão tipo B, plotando valores de $W\left(u_b, \beta, b_1/D, b_2/D\right)$ versus $1/u_b$, para os mesmos valores de $\sqrt{\beta}$.
4. Em uma folha bi-log, constroi-se um gráfico de tempo de bombeamento em minutos versus rebaixamento em metros para os piezômetros;
5. superpõe-se o papel da curva tipo A sobre o gráfico do poço e, por tentativa, encaixa-se a primeira parte da curva do poço a uma das curvas do gráfico padrão. Escolhe-se um determinado ponto (*match point*). Anotam-se os valores de s , t (no gráfico do poço) e de $W\left(u_a, \beta, b_1/D, b_2/D\right)$ e de $1/u_a$, no gráfico tipo A. Os valores anotados são substituídos nas equações 22 e 23 e encontram-se os valores de $k_h D$ e S_a ;
6. faz-se o mesmo com a curva padrão tipo B e a segunda parte do gráfico do poço, para o mesmo valor de β , substituindo agora nas equações 25 e 26 e encontram-se os valores de $k_h D$ e S_y ;
7. com o valor de β e de k_h , calcula-se o valor de k_v , pela equação 24.

Estes procedimentos devem ser repetidos para cada piezômetro. Os valores de $W\left(u_a, \beta, b_1/D, b_2/D\right)$, $W\left(u_b, \beta, b_1/D, b_2/D\right)$, $1/u_a$, $1/u_b$ e β estão tabelados para cada razão b_1/D e b_2/D em KRUSEMAN e RIDDER (1990).

A válvula de retenção da bomba utilizada nos ensaios de bombeamento apresentou um defeito, de modo que, quando cessava-se o bombeamento, a água contida no tubo elevatório voltava para o aquífero, adulterando os resultados do teste de recuperação. O gráfico obtido da relação t/t' contra s , mostrou um comportamento que impossibilitou o tratamento destes dados.

*det. umira
013 H do
local!*

5.6 - SUGESTÃO PARA CÁLCULO DE BALANÇO HÍDRICO

5.6.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Inicialmente um dos objetivos da pesquisa era calcular a recarga efetiva do aquífero através da elaboração de um balanço hídrico de pelo menos um ano. Em virtude das dificuldades encontradas, tais como o retorno das atividades de disposição final de lixo, dificultando a instalação de aparelhos e a permanência no local para aquisição de dados e dos limites de prazo impostos pela agência fornecedora da bolsa de estudos e pelo programa de pós-graduação, não foi possível determinar o balanço hídrico para o biênio 95/96.

Contudo, está sendo montada no local infra-estrutura imprescindível à realização desta tarefa a fim de que esta infra-estrutura sirva de laboratório para outros estudos que venham complementar este e para que se tenha um monitoramento permanente do local.

Encontram-se instalados um pluviômetro, um pluviógrafo, um actinógrafo e um heliógrafo e termômetros de bulbo úmido e bulbo seco. Está em fase de instalação um vertedouro para cálculo de vazão de saída da microbacia. Todos os equipamentos pertencem ao centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA).

5.6.2 - CÁLCULO DE BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico será efetuado, dividindo-se a micro bacia em dois reservatórios (Fig. 27) e executando-se o balanço de volume em cada um deles, seguindo um procedimento similar ao adotado no modelo SMAP 5.2 e em CONTIN NETO (1987). O balanço será calculado em base mensal.

O reservatório superior compreende a parte não saturada, enquanto que o reservatório inferior compreende a porção saturada. No primeiro, uma fração da precipitação (P) é transferida como escoamento direto (ED). O restante (P - ED) sofre perdas por evaporação potencial (EP) e a parcela remanescente ($I = P - ED - EP$) infiltra no reservatório.

Da quantidade infiltrada (I), uma parcela é evapotranspirada (ER), outra alimenta o reservatório inferior (R1) e outra produz a variação da umidade do solo (ΔU) do reservatório superior.

Para o reservatório inferior (porção saturada), tem-se como entrada a quantidade R1. Como saídas, tem-se a vazão básica (EB) e a recarga profunda (R2). A diferença entre a entrada e saída constitui o valor armazenado (ΔS) que se traduz na elevação do nível de água do lençol freático. As parcelas ED e EB somadas produzem a vazão total (Q) de saída da bacia, ou seja:

$$Q = ED + EB \quad (27)$$

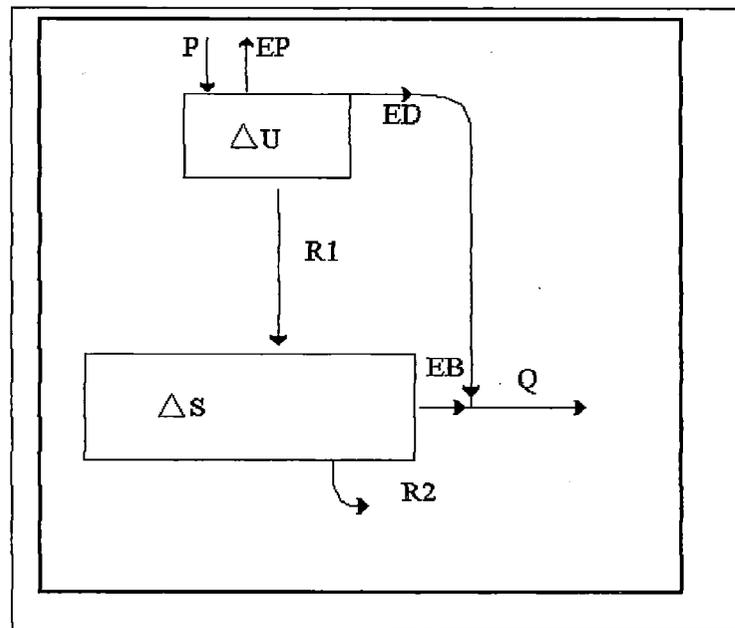


Figura 27: esquema de cálculo de balanço hídrico.

Desta forma as equações gerais do balanço são:

RESERVATÓRIO SUPERIOR	$I = P - EP - ED$ (28)
	$R1 = I - ER \pm \Delta U$ (29)
RESERVATÓRIO INFERIOR	$\Delta S = R1 - EB - R2$ (30)

5.6.3 - PROCEDIMENTO

A precipitação (P) será medida através da leitura de pluviômetros e pluviógrafo. A evapotranspiração potencial (EP) será avaliada através de dados climatológicos e evaporímetro (tanque classe A). O escoamento direto (ED) será avaliado através da análise dos hidrogramas de saída (vertedor limnígrafo).

Pela equação (28) obtêm-se o volume infiltrado (I). Na equação (29) a parcela ER será avaliada através de métodos climatológicos; a variação da umidade do solo (ΔU) será medida através da umidade média do solo, obtida com sonda de raios gama pertencente ao SHS. Obtêm-se a recarga R1 do lençol freático. Na equação (29), a parcela de variação do volume armazenado na parte saturada (ΔS) pode ser medida pela integração das variações dos níveis d'água nos piezômetros; a parcela correspondente ao escoamento básico (EB) pode ser avaliada pela análise dos hidrogramas de saída. Assim a equação (30) fornecerá uma avaliação da recarga profunda.

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 - LEVANTAMENTO GEOLÓGICO

6.1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados das análises do levantamento geológico estão esquematizados no ANEXO A que mostra 1 mapa geológico da região na escala 1:10.000 (A₁) com 2 perfis estratigráficos na escala 1:10.000 associados (A₂), enfatizando as relações regionais entre os tipos litológicos e a topografia e 3 perfis geológicos na escala 1:2.500 (A₃), baseados na carta planialtimétrica do APÊNDICE 3, mostrando em detalhe os tipos de material inconsolidado em relação à localização dos resíduos aterrados.

6.1.2 - FORMAÇÃO BOTUCATU

A Formação Botucatu ocupa grande parte da área adjacente àquela do projeto. Os afloramentos na área de estudo mostram-se ora como paredões, ora como matacões sobre as encostas.

Macroscopicamente a Formação Botucatu exhibe arenitos de granulometria areia fina a areia média. A cor predominante é a amarela clara, com lentes avermelhadas ocasionais. São comuns as estratificações cruzadas de baixo ângulo (Fig. 28).

Em grande parte de sua área de ocorrência o arenito Botucatu mostra-se silicificado. Essas porções mais resistentes sustentam a topografia mais elevada e, à medida em que se aproxima do topo das cristas, ou seja, próximo à área de exposição da Formação Serra Geral, tornam-se ainda mais resistentes. A espessura do arenito silicificado não é constante, variando de 30 centímetros a vários metros.

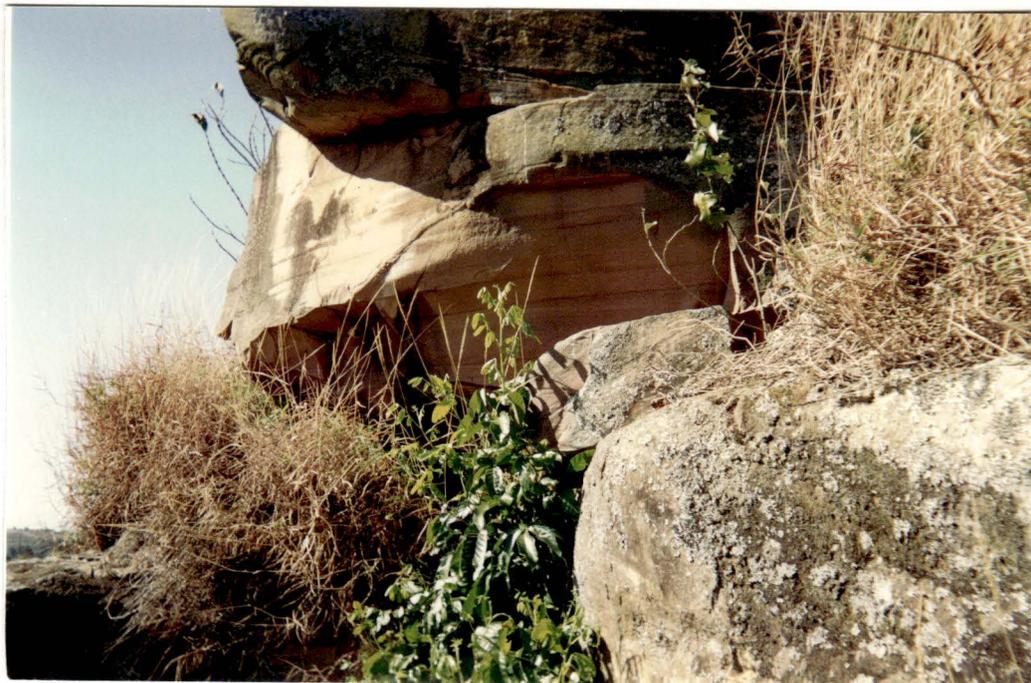


Figura 28: Aspecto geral dos afloramentos da Form. Botucatu na área de estudo. Estratificações cruzadas de baixo ângulo.

Não foram encontrados lineamentos na foto aérea que cobre a área. Contudo no local observou-se uma fratura subvertical com direção N37W (Fig. 29).



Figura 29: Fratura subvertical em arenito silicificado da Form. Botucatu.

Confrontando as afirmações de ZUQUETTE (1981) e AGUIAR (1989) com as observações obtidas em campo, pode-se dizer que a única fratura observada na área, com direção N37W corresponde ao mesmo evento dos lineamentos descritos pelos autores supracitados.

Na análise ao microscópio, verificou-se que os grãos de quartzo mostram-se arredondados a subarredondados, com tamanho médio em torno de 0,5 mm, encaixando-se na faixa de granulometria areia média. Nas faixas avermelhadas os grãos apresentam uma borda de oxidação.

6.1.3 - FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Formação Serra Geral ocorre nas cotas mais elevadas, acima de 875 m de altitude. Os afloramentos mostram-se bastante alterados (Fig. 30) e, na maioria das vezes, o que existe é seu solo residual. Onde predomina esta formação, o relevo é aplainado e apenas alguns pequenos matacões destacam-se na paisagem (Fig. 31). As rochas mostram granulação fina e cor cinza escuro e não é possível identificar minerais formadores da rocha.



Figura 30: Aspecto geral dos afloramentos da Form. Serra Geral na região do “lixão” de São Carlos

A jusante da descarga do chorume do “lixão”(ponto 1 - ANEXO A₁), há alguns blocos rolados de diabásio, de coloração cinza escura e granulação média, sendo mesmo possível a identificação de alguns minerais a olho nu, como o plagioclásio. Em lâmina delgada, identificam-se os seguintes minerais: plagioclásio (não é possível identificar o teor de cálcio em função da alteração dos minerais), diopsídio e alguns óxidos. O tamanho dos minerais varia de 0,5 a 1,5 mm. Apesar de só ter sido encontradas poucas amostras de diabásio, provavelmente deslocadas do seu local de origem, este fato indica a presença de diques e/ou *sill* nas proximidades.



Figura 31: Aspecto do afloramento da Form. Serra Geral nas porções mais elevadas do terreno.

6.1.4 - MATERIAIS INCONSOLIDADOS

As descrições dos materiais inconsolidados foram feitas a partir das amostras recolhidas durante os trabalhos de perfuração dos poços e a caracterização baseou-se em observações efetuadas em campo e nos resultados dos ensaios de granulometria feitos em laboratório. Os resultados estão expostos na Tabela 14.

TABELA 14: Resultados obtidos nos testes de granulometria

POÇO	PROFUNDIDADE	ARGILA %	SILTE %	AREIA FINA %	AREIA MÉDIA %	AREIA GROS. %
P.A.S. 1*	1,20 m	15,24	33,35	42,26	8,53	0,74
L 27	10 m	20,45	14,63	30,69	30,02	4,38
L 24	10 m	23,35	54,11	29,29	8,28	██████████
L 23	2 m	17,71	24,67	48,80	8,48	0,34
L 16	6 m	18,23	21,45	31,02	28,98	██████████

* P.A.S. - ponto de amostragem de solo para ensaio de permeabilidade

Os materiais inconsolidados ocupam a maior parte da área e sobre esta unidade, os resíduos sólidos vem sendo depositados a mais de 16 anos. Em praticamente toda a área de abrangência do projeto, junto ao local de disposição final de resíduos, os primeiros metros do solo (de 0 a aproximadamente 2 m de profundidade) foram profundamente alterados através da introdução de solos oriundos de outros locais a fim de servir de material de empréstimo para a estrada não pavimentada de cobertura do "lixo".

Este solo possui cor vermelho escuro e os ensaios de granulometria revelaram que a fração dominante é areia fina (em torno de 45,6 %) com uma importante contribuição da fração silte (em torno de 34 %). O teor de argila não ultrapassa 16 %. Até seis metros de profundidade o solo dominante mostra uma coloração vermelho a vermelho claro, e granulometria predominante areia fina.

Entre 6 e 10 metros, em geral, ocorre uma gradação dos solos vermelhos a solos amarelados cuja granulometria mais importante oscila entre areia fina (31 %) e areia média (29 %).

A partir de 10 metros de profundidade, o comportamento do solo varia conforme a localização no terreno. Na parte topograficamente superior da área de deposição dos resíduos, a esta profundidade, predominam solos de granulometria silte (54,11 %) mas a fração areia fina também é importante (em torno de 30 %). Na porção junto à descarga do chorume, o que se verifica a partir de 10 metros de profundidade são as frações areia fina e areia média em igual importância (30,1e 30 %, respectivamente). Em toda área, a coloração destes solos varia de amarelada, amarela a cinza ou branco. Por vezes encontram-se lentes de argila de espessuras centimétricas

(em torno de 2 cm) nestas camadas mais profundas. Não é possível identificar a granulometria deste material uma vez que ocorre em lentes restritas e é muito difícil a coleta deste material sem que haja interferência.

Nos poços L 17, L 18 e L 23, a partir da profundidade de 15 m (aproximadamente), os materiais inconsolidados exibem seixos rolados de quartzo arredondados com tamanho entre 0,5 a 5 centímetros, fragmentos de basalto angulosos e tamanho variável (em torno de 8 cm) e fragmentos de arenito silicificado de tamanho semelhante aos últimos. No poço L 23 estes fragmentos estão contidos na faixa de 4 m de profundidade. Muitos destes fragmentos possuem uma capa de oxidação.

Confrontando os resultados obtidos pelo ensaio granulométrico com a literatura existente sobre materiais inconsolidados da região, conclui-se que no local do “lixão” de São Carlos os materiais inconsolidados sofrem forte influência do material coluvionar da Formação Botucatu (presença marcante de finos e forte percentual de areia fina) e, em alguns locais pode haver influência de material semelhante às descrições do solo residual da Form. Botucau, em razão de uma maior contribuição de areia média (L 27 e L 16). Os materiais introduzidos no local não podem ser caracterizados uma vez que provavelmente foram influenciados pelos materiais locais, perdendo importantes características de seu material de origem.

Se compararmos os dados de granulometria da Tabela 14 com a Tabela 9 (GONÇALVES, 199\), nota-se que em ambos os casos a fração areia fina é a mais importante. Nas amostras descritas pelo autor a fração areia média é mais importante do que nas amostras aqui descritas. Já a fração silte foi mais importante nos resultados obtidos por esta dissertação.

As mudanças nos tipos de solo ocorrem de maneira gradual, sendo observado a repetição de alguns tipos típicos de estratos superiores em maiores profundidades, em geral sob forma lenticular, de espessura nunca superior a 5 cm.

6.2 - LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

6.2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Foram efetuados 6 caminhamentos geofísicos empregando o método da eletrorresistividade com arranjo dipolo-dipolo (Fig. 32). A escolha do traçado dos caminhamentos teve que se adaptar ao reinício das operações de disposição final de “lixo” no local. Elaborou-se por fim, 6 perfis mostrando a variação da resistividade aparente em profundidade (ANEXO B). A profundidade máxima atingida foi de 40 metros e o espaços entre os eletrodos foi de dez metros. É de suma importância a análise deste ANEXO durante a leitura do texto, a fim de facilitar sua compreensão.

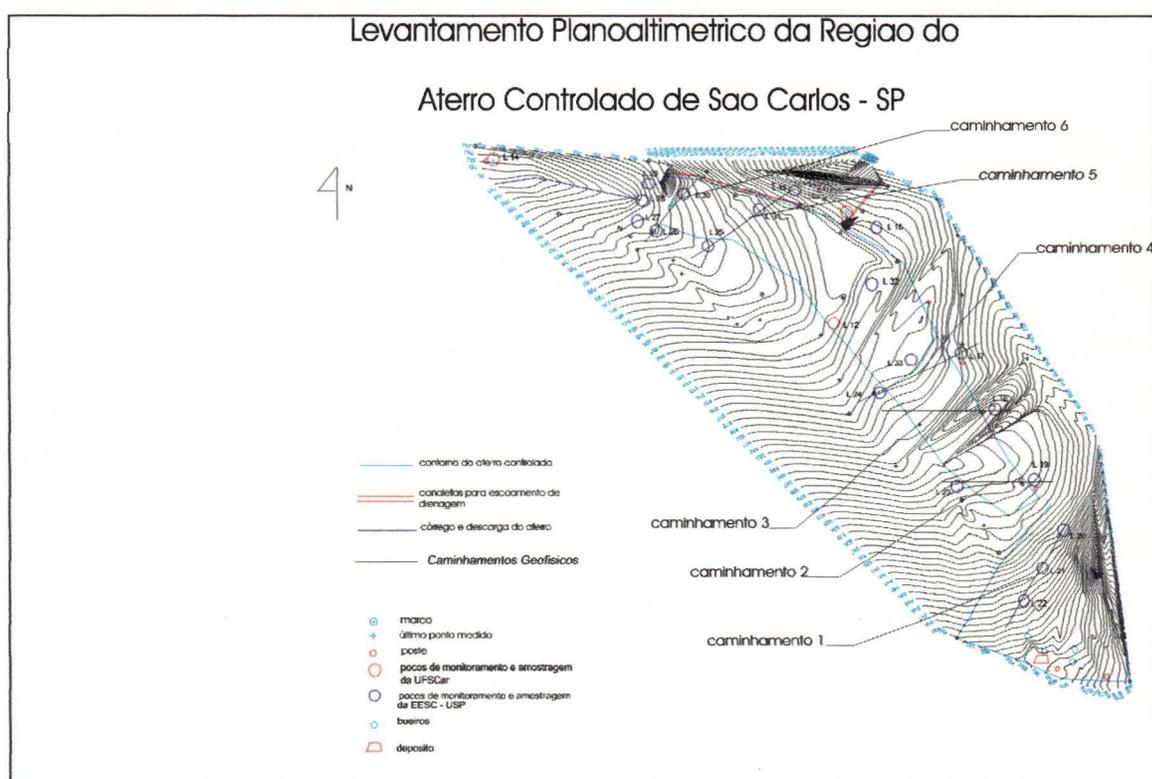


Figura 32 - Carta planialtimétrica em escala reduzida, mostrando os piezômetros e os caminhamentos geofísicos

6.2.2 - DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DE CAMPO

O caminhamento número 1 é o maior (210 m) e situa-se na região onde se desenvolveu a voçoroca que primeiro serviu de depósito. Observando-se atentamente o perfil deste caminhamento verifica-se que os menores valores de resistividade aparente situam-se no centro da linha percorrida e que há uma queda destes a partir das extremidades em direção ao centro. Os menores valores encontram-se justamente sob a parte de maior quantidade de resíduos. Este comportamento repete-se em todos os caminhamentos. Todo o conjunto parece ter, em maior profundidade, uma tendência de deslocamento para leste, obedecendo à topografia.

Os caminhamentos número 2 e 3 possuem comportamento semelhante ao descrito anteriormente, mas em virtude de possuir menor tamanho (100 e 150 m respectivamente), não foi possível observar valores maiores de resistividade aparente. Nestes perfis encontram-se valores inferiores aos encontrados no caminhamento número 1.

No caminhamento número 3 não há um deslocamento em profundidade para leste ou oeste. A partir de 30 m de profundidade há uma anomalia aparentemente circular, de valores de resistividade aparente de 60 Ω .m. Esta anomalia está sob a estaca de número 8. No perfil de número 2 ocorre processo semelhante, a anomalia mostra valores de 200 Ω .m, mais evidente do que no caso anterior e encontra-se sob a estaca de número 9.

O perfil de número 4 também possui comportamento geral semelhante aos demais. Observa-se um desvio geral no fluxo principal tal como ocorre no caminhamento número 1, todavia neste perfil a tendência de deslocamento é para oeste. Também nota-se uma anomalia de valores mais elevados (200 Ω .m) que está sob a estaca de número 3.

Os caminhamentos 5 e 6 mostram comportamentos muito semelhantes. Ambos possuem os menores valores de resistividade aparente e indícios de desvio de fluxo em profundidade são mais fracos do que o padrão apresentado em outros perfis. De qualquer forma há um indício de desvio para oeste, conforme à topografia do terreno.

Juntamente com os trabalhos de campo, foi feita uma entrevista com o operador do trator esteira que acompanha os trabalhos de operação do lixão desde seu início, com a finalidade de conhecer as profundidades aproximadas do “lixo” aterrado e sua dimensão horizontal. É importante ressaltar que estas informações estão sujeitas a erros grosseiros mas, mesmo assim, pode ser um importante auxílio na análise dos dados. Também foi feito um confronto entre os resultados obtidos no levantamento geofísico com os dados da perfuração dos poços, principalmente com relação a altura do nível estático. Deste modo pretendeu-se conhecer os valores de resistividade aparente do solo seco limpo, solo seco contaminado, solo saturado seco, solo saturado contaminado e do próprio lixo aterrado.

6.2.3 - CORRELAÇÃO COM OS RESULTADOS DO LEVANTAMENTO GEOLÓGICO

A resistividade das rochas não depende apenas dos seus minerais constituintes mas principalmente de sua textura e estrutura, estado de alteração e da presença de água e sais dissolvidos e intercomunicação entre os poros (MALAGUTTI, 1991).

A Tabela 15: exibe valores de resistividade de alguns materiais:

MATERIAIS GEOLÓGICOS	ρ ($\Omega.m$)
ÁGUAS DOCES SUPERFICIAIS	10^{-10^3}
ÁGUAS MARINHAS	0,2
ARGILAS	10^{-10^2}
AREIAS	$10^2 - 10^4$
AREIA SATURADA COM ÁGUA MINERAL	$10^{-1} - 10$
ALUVIÃO	$10 - 10^3$
CONGLOMERADOS	$10 - 10^4$
ARENITOS	$10 - 10^8$
MARGAS ARENOSAS	$10 - 10^2$
CALCÁRIOS	$10^2 - 10^4$
BASALTOS	$10^2 - 10^5$
GRANITOS	$10^2 - 10^5$

TABELA 15: valores de resistividade de alguns materiais
Fonte: MOREIRAS (1988)¹⁸ *apud* MALAGUTTI (*op. cit.*).

¹⁸ MOREIRAS, J.B.P. (1988). *Prospecção de cavidades subterrâneas em geologia de engenharia - aplicações de métodos geofísicos*. Lisboa - Dissertação de mestrado. Universidade Nova Lisboa.

Os caminhamentos geofísicos executados por ELLERT et al. (1990) não possuem nenhuma indicação de localização em mapa ou ponto de controle. Os autores encontraram valores de condutividade aparente (inverso de resistividade aparente) para solos isentos de soluções condutoras em torno de 4 mS/m e na parte correspondente ao aterro propriamente dito esta condutividade se eleva para valores superiores a 150 mS/m. Na maior parte dos pontos a resistividade dos sedimentos ficou ao redor de 200 a 300 Ω .m e nos pontos situados sobre o lixo estes valores caíram para 50 Ω .m.

Em todos os caminhamentos executados pela equipe do projeto, as leituras de pontos próximos à pluma de poluentes, sofrem uma clara influência de valores baixíssimos que esta apresenta, e esses pontos foram examinados com cuidado, sempre comparando os resultados com os dados obtidos na perfuração dos poços de monitoramento e amostragem e as análises químicas efetuadas.

Observando o perfil do caminhamento 1, onde há a maior variedade de resultados, e confrontando-o com os resultados de campo efetuados durante a perfuração dos poços e levantamento geológico, verifica-se que o solo residual seco, com baixa ou baixíssima umidade e presença de pedregulhos e matações de arenito e/ou basalto, exibe os mais altos valores de resistividade aparente, superiores a 1.000 Ω .m. O estudo dos perfis de números 2 e 3 sugere que valores de resistividade aparente superiores a 350 Ω .m e inferiores a 1.000 Ω .m representam o solo residual não saturado com alguma umidade.

Quando o nível estático dos poços e os limites do “lixo” são desenhados sobre os perfis, observa-se que o solo saturado apresenta valores em geral inferiores a 350 Ω .m. Imediatamente abaixo da área dos resíduos aterrados os valores de resistividade aparente caem drasticamente e encontram-se, via de regra, abaixo da faixa de 100 a 150 Ω .m para o solo contaminado, saturado ou não, e podem chegar a 1,5 Ω .m dentro da área abrangida pelos resíduos ou próximo a base do depósito (perfis 5 e 6, ANEXO B). Esta variação depende da idade do “lixo” aterrado.

Os caminhamentos 5 e 6 foram executados em uma área de depósito recente de resíduos e portanto possuem os menores valores de resistividade aparente, frequentemente atingindo valores abaixo de $10 \Omega.m$, enquanto que nos caminhamentos 1 e 2, onde, até a data do levantamento geofísico, estavam aterrados os resíduos mais antigos, os valores da pluma de contaminantes são maiores, situando-se na faixa de 25 a $40 \Omega.m$.

DAVINO¹⁹ (1980) *apud* MALAGUTTI (1991), revela que em diabásios os valores médios de resistividade são da ordem de $1.000 \Omega.m$ enquanto que em basalto permanece ao redor de $300 \Omega.m$. MOONEY²⁰ (1980) *apud* MALAGUTTI, observou valores de resistividade para diabásios entre 400 e $830 \Omega.m$. Finalmente MALAGUTTI (1991) obteve valores da ordem de 400 a $800 \Omega.m$ para diabásios na região de Limeira - SP.

O levantamento geofísico revelou uma anomalia que pode ser observada nos caminhamentos 2, 3 e 4 do ANEXO B a aproximadamente 27, 33 e 35 metros de profundidade respectivamente. Esta anomalia evidencia uma estrutura importante no contexto do projeto, uma vez que esta pode influenciar o fluxo subterrâneo em profundidade.

Se unirmos os pontos da anomalia (Fig. 33), fica evidente que esta possui direção N 27 W, semelhante à direção da falha descrita pela autora. Sabendo-se que na área há indícios da presença de intrusões de diabásio, conclui-se que a anomalia pode estar relacionada com esta estrutura, condicionada pelos lineamentos de direção NW. Os valores de resistividade aparente da anomalia não se mostram constantes, variando de 60 a $200 \Omega.m$ e estão abaixo dos resultados obtidos pelos autores citados. Entretanto, sabe-se que valores de resistividade aparente são a média dos valores próximos de cada ponto de leitura e as características do meio estão profundamente alteradas pelo chorume gerado.

¹⁹ DAVINO, A. (1980). *O lacólito de diabásio de Tamabaú. Determinação por sondagem elétrica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Camburiu, 1980. Anais..., SBG. Vol. 5, p 2583 - 2598.

²⁰ MONNEY, H.M. (1984). *Handbook of Engineering Geophysics - Electrical Resistivity*. Minneapolis, Bison Instruments Inc., vol. 2.

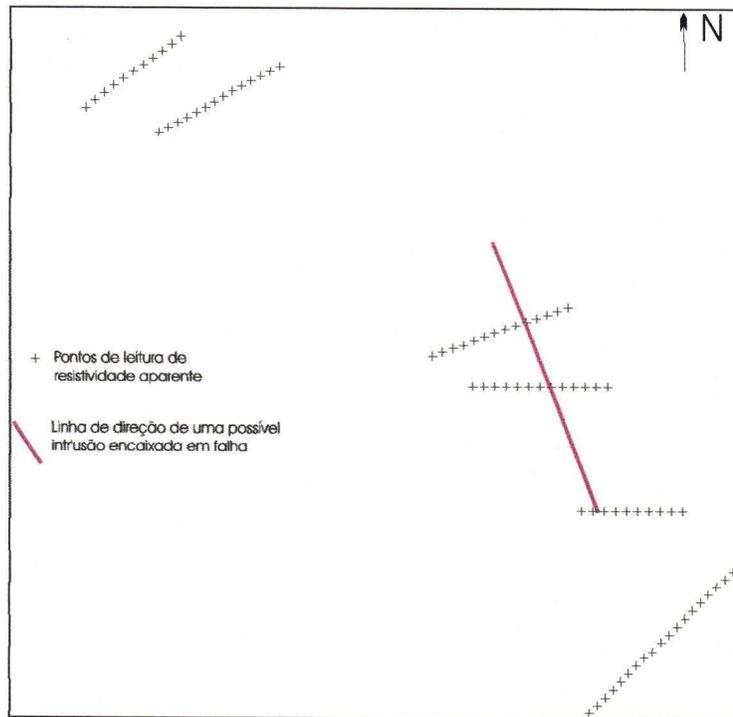


Figura 33 - Desenho esquemático mostrando a direção de uma possível falha, baseando-se na união de pontos que apresentam anomalias em profundidade.

6.3 - ENSAIOS DE BOMBEAMENTO

6.3.1 - DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO

Para a determinação da direção do fluxo subterrâneo, elaborou-se um mapa de linhas equipotenciais (linhas de mesma carga hidráulica) e, a partir desta carta, esboçou-se a direção e sentido do fluxo, uma vez que o último é sempre perpendicular às linhas equipotenciais (Fig. 34). Este mapa foi executado pelo programa computacional MODEFLOW. Analisando esta Figura, confirma-se que, salvo exceções pontuais, o fluxo possui tendência geral para WNW, mais precisamente a mesma direção do córrego que drena os efluentes do “lixão”, confirmando as conclusões de GONÇALVES *et al.* (1990) e ELLERT *et al.* (1991). O emprego do MODEFLOW nesta etapa do trabalho foi preliminar. A dissertação de mestrado do Matemático Sérgio Sadayoshi Matsuzaki tratará mais profundamente do assunto.

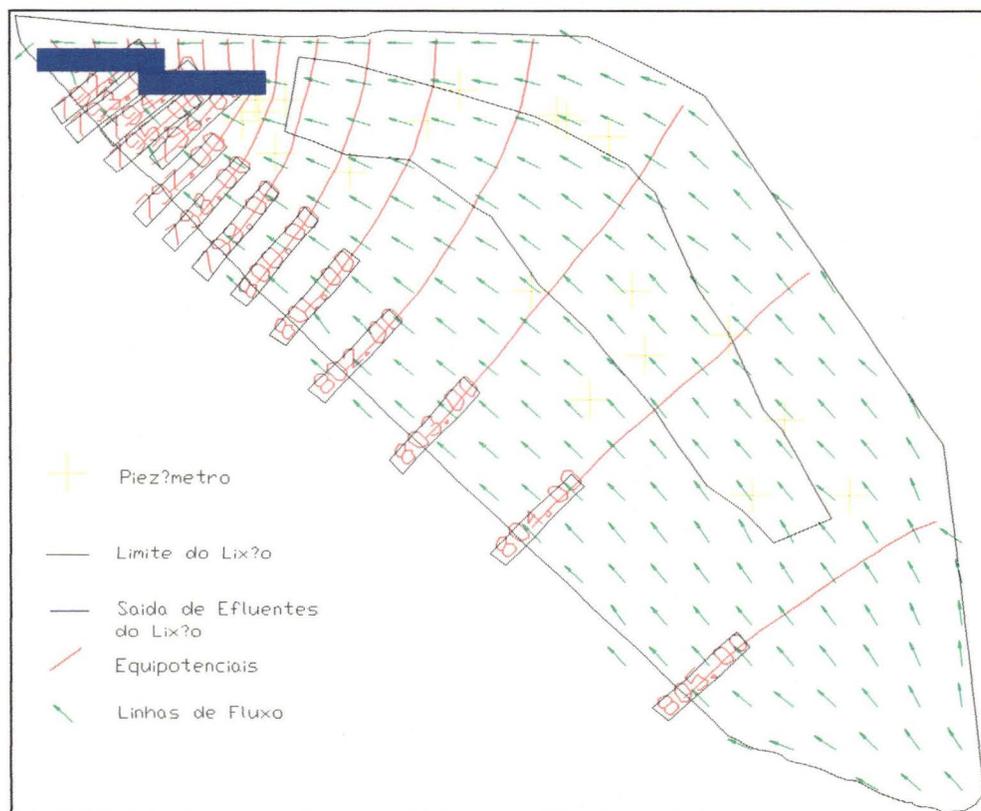


Figura 34: Direção principal do fluxo subterrâneo na área de estudo.

6.3.2 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE BOMBEAMENTO

Os dados de rebaixamento e tempo coletados nos poços de bombeamento e nos piezômetros, foram colocados em planilhas contendo todas as informações referentes aos ensaios de bombeamento (APÊNDICE 2). Esses dados foram plotados em gráficos do tipo bi-logaritmo em que o eixo das abcissas representa o tempo de bombeamento em minutos e o eixo das coordenadas o rebaixamento em metros. As Tabelas 16 e 17 mostram os rebaixamentos de cada poço em 6, 12, 18, 24, 30, 36 e 48 horas de bombeamento, para o primeiro ensaio, e em 6, 12, 18, 24 para o segundo.

TABELA 16: Alguns resultados do rebaixamento (em metros) em relação ao tempo de bombeamento. 1º Ensaio de bombeamento.

Poço	6 horas	12 horas	18 horas	24 horas	30 horas	36 horas	42 horas
L 30 [#]	2,39	2,58	2,61	2,61	2,64	2,63	2,66
L 29	0	0	0,02	0	0,02	0,01	0,01
L 28	0,01	0	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02
L 27	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
L 26	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
L 25	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02
L 31	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04
L 15	0,02	0,03	0,04	0,02	0,05	0,04	0,04

Poço bombeado

TABELA 17: Alguns resultados do rebaixamento (em metros) em relação ao tempo de bombeamento.

2º Ensaio de bombeamento.

Poço	6 horas	12 horas	18 horas	24 horas
L 32 [#]	4,48	4,6	4,63	4,7
L 12	0,05	0,05	0,04	0,03
L 33	0,05	0,05	0,06	0,03
L 17	0,04	0,04	0,04	0,04
L 16	0,02	0,02	0,01	0,01
L 5 ₁	0	0	0	0
L 5 ₂	0	0	0	0
L 31	0,03	0,04	0,04	0,03

Poço bombeado.

Em uma primeira análise dos dados do APÊNDICE 2 e destas Tabelas, conclui-se que:

1. os rebaixamentos são muito pequenos, em virtude das baixas vazões empregadas nos ensaios;
2. há um rebaixamento relativamente maior nas primeiras 6 horas de bombeamento e, em seguida, este torna-se menor, ou mesmo cessa;
3. a partir de 20 horas de bombeamento, a maioria dos piezômetros mostra uma recuperação dos níveis dinâmicos;
4. os poços de observação L 5₁ e L 5₂ não mostraram qualquer reação ao bombeamento.

A segunda observação pode ser interpretada de acordo com o comportamento normal de um aquífero livre sujeito a bombeamento com vazão constante. Nas primeiras horas de bombeamento apresenta um maior rebaixamento e, nas etapas posteriores, este rebaixamento torna-se menor ou mesmo cessa, podendo, com o correr do tempo, voltar a crescer. Isto ocorreu até as primeiras 20 horas dos ensaios executados pela equipe, entretanto a maioria dos piezômetros recuperou parte do nível dinâmico. Este último fato pode estar relacionado com a liberação de água da porção basal do "lixão" para o aquífero. Como os rebaixamentos são muito pequenos, qualquer contribuição da água contida nas células do aterro altera sensivelmente o nível dinâmico. Em razão das conclusões acima expostas, os valores máximos de tempo utilizados na interpretação dos gráficos de rebaixamento contra tempo, foram os relativos ao máximo rebaixamento obtido antes que houvesse recuperação.

Quanto aos poços L 5₁ e L 5₂, estes podem fazer parte de um aquífero restrito ao sopé da encosta a qual ambos estão próximos (Fig. 35). O fluxo deste aquífero dirige-se para o aquífero principal. Regionalmente podem ser considerados como o mesmo aquífero.

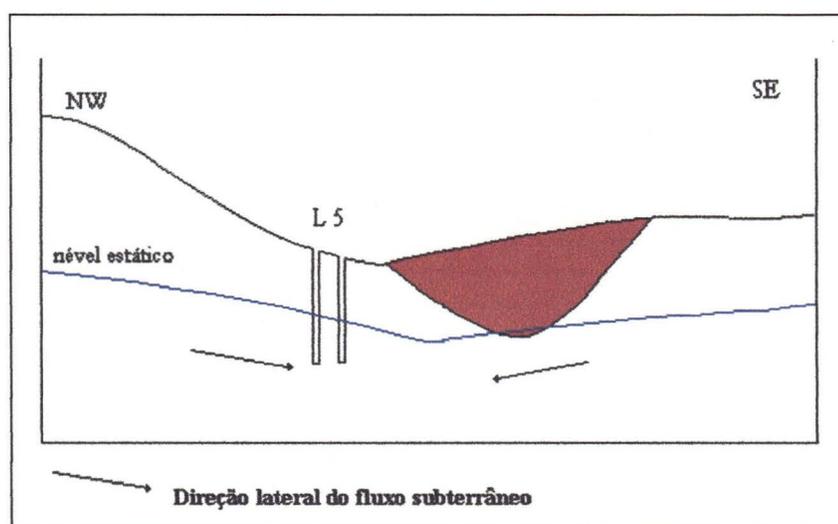


Figura 35 - Comportamento do fluxo lateral junto aos poços L5₁ e L5₂

6.3.3 - TRATAMENTO DOS DADOS

Todos os gráficos foram comparados às curvas padrão do tipo A e B (Fig.^s 36 e 37) de STRELTSOVA (1974). A espessura do aquífero foi estimada em 90 metros no local, seguindo informações sobre a espessura do aquífero Botucatu e no fato da vazão de bombeamento ter sido muito pequena, provavelmente não interferindo em toda a sua espessura.

A escolha das tabelas para a comparação de dados (Tabela 18, Tabela 19), foi baseada na relação b_1/D e b_2/D , que para os piezômetros e poços bombeados foi aproximadamente 0,1. As estimativas iniciais dos valores de $1/u_a$ situaram-se entre 1 e 100, enquanto que para $1/u_b$ variaram de 0,01 a 1. Na prática verificou-se que os valores de $1/u_a$ restringiram-se ao intervalo de 1 a 10. Os valores estimados para os cálculos de $1/u_a$ e $1/u_b$ foram: S_a de $1E-4$ a $1E-3$; $k_h D$ de 144 a 200 m²/h; t de 15 a 20 horas e S_y de 0,10 a 0,35; sempre tentando uma maior aproximação com a literatura. Para escolher β foi necessário fazer uma estimativa da relação k_v/k_h . A literatura cita valores entre 0,01 e 0,1 para tal relação. Comparando todas as curvas possíveis das Tabelas referentes a valores de b_1/D e b_2/D iguais a

0,1, para valores de $\frac{1}{u_a}$ e $\frac{1}{u_b}$ estimados, verificou-se que a curva que mais se adaptava às de campo, foi a curva cuja $\sqrt{\beta}$ era igual a 0,05.

TABELA 18: Valores da função de Streltsova, para poços parcialmente penetrantes, em aquíferos não confinados, Gráfico tipo A. Fonte: Modificados de KRUSEMAN e RIDDER (1990).

Valores de $W(u_a, \beta, b_1/D, b_2/D)$ para $b_1/D = 0,1$ e $b_2/D = 0,1$				
$\beta^{1/2}$				
$1/u_a$	0,05	0,3	0,5	1
0,2	5,70E-04	2,90E-04	1,10E-04	1,75E-05
0,4	0,0125	0,0037	0,0011	1,60E-04
0,6	0,0392	0,0083	0,0023	3,30E-04
0,8	0,0731	0,0122	0,0033	4,60E-04
1	0,1094	0,0152	0,004	5,50E-04
2	0,2723	0,0227	0,0058	7,80E-04
4	0,4674	0,0268	0,0067	9,00E-04
6	0,5676	0,0281	0,007	9,30E-04
8	0,6257	0,0286	0,0071	9,50E-04
10	0,6626	0,0289	0,0072	
20	0,7375	0,0295	0,0073	
40	0,7711	0,0296	0,0073	
60	0,7805	0,0297		
80	0,7846	0,0297		
100	0,7868			
200	0,7905			
1000	0,7922			

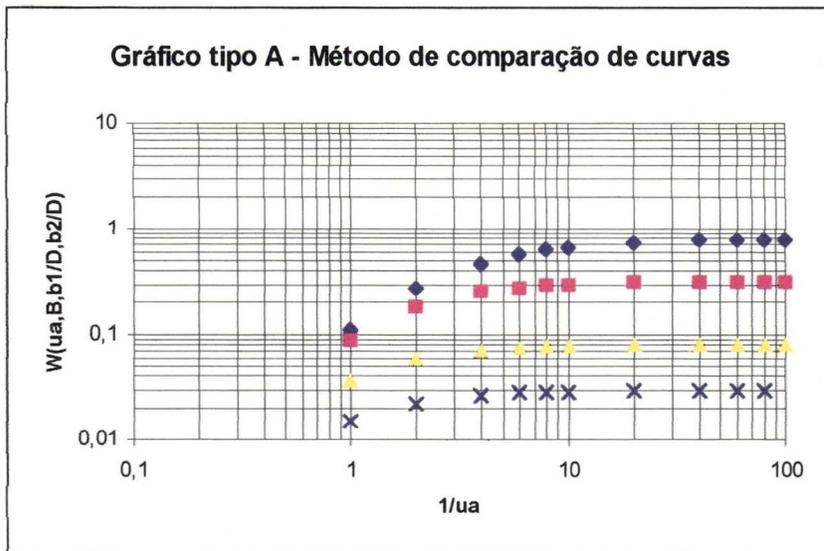


Figura 36: Gráfico tipo A correspondente à Tabela 18
 Fonte: KRUSEMAN e RIDDER (1990)

TABELA 19: Valores da função de Streltsova, para poços parcialmente penetrantes, em aquíferos não confinados, Gráfico tipo B.

Fonte: Modificados de KRUSEMAN e RIDDER (1990).

Valores de $W(u_b, \beta, b_1/D, b_2/D)$ para $b_1/D = 0,1$ e $b_2/D = 0,1$				
$\beta^{1/2}$				
$1/u_b$	0,05	0,3	0,5	1
0,001	0,793	0,0302	0,0077	0,0012
0,002	0,793	0,0302	0,0077	0,0012
0,005	0,7931	0,0303	0,0078	0,0012
0,01	0,7931	0,0304	0,0079	0,0013
0,02	0,7931	0,0305	0,008	0,0014
0,05	0,7933	0,0311	0,0084	0,0016
0,1	0,7935	0,032	0,0091	0,0021
0,2	0,7941	0,0338	0,0105	0,0032
0,5	0,7956	0,0392	0,0151	0,0071
1	0,7981	0,0484	0,0233	0,0156
2	0,8032	0,0674	0,0417	0,0373
5	0,8182	0,1251	0,1017	0,1033
10	0,8425	0,2122	0,1856	0,1745
20	0,8885	0,3358	0,2839	0,2479
50	1,0088	0,4995	0,4006	0,3426
100	1,1649	0,598	0,4782	0,413
200	1,3743	0,6808	0,5514	0,4829
1000	1,8513	0,8514	0,7154	0,6443
2000	1,9837	0,9219	0,7851	0,7136
5000	2,1099	1,0142	0,8769	0,8053
10000	2,1891	1,0837	0,9463	0,8746

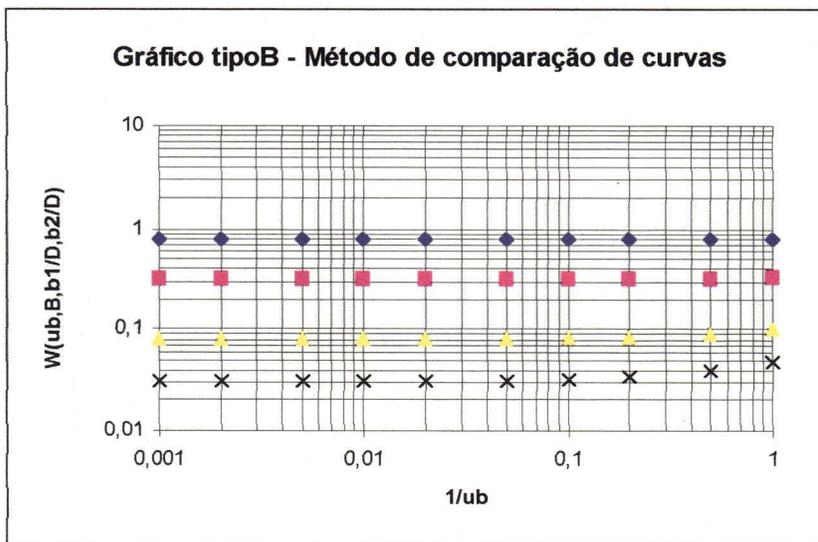


Figura 37: Gráfico tipo B correspondente à Tabela 19

Fonte: KRUSEMAN e RIDDER

Os valores de $W(u_a, \beta, b_1/D, b_2/D)$, $1/u_a$, $1/u_b$, $W(u_b, \beta, b_1/D, b_2/D)$ e t , foram anotados para cada poço de observação e substituídos nas fórmulas matemáticas modificadas por Steltsova, calculando-se assim as características hidrodinâmicas. Os resultados finais encontram-se na Tabela abaixo.

TABELA 20: Resultados da análise gráfica dos ensaios de bombeamentos

Resultado do Primeiro Ensaio de Bombeamento - 26/04/96				
Lixão de São Carlos - SP				
Método de Comparação de Curvas de Steltsova				
Poço	$k_h D$ (m ² /dia)	S_a	$k_h D$ (m ² /dia)	S_y
L31	152,79	1,30E-04	244,46	0,08
L15	55,00	8,20E-05	285,21	0,06
L28	122,23	9,30E-04	488,92	0,48
L27	42,78	2,80E-03	405,69	1,62
L26	140,57	9,90E-04	475,34	0,78
L25	91,67	3,70E-04	244,46	0,36
L29	122,23	3,30E-05	264,83	0,02

Poço	r (m)	k_h (m/dia)	k_v (m/dia)	k_v/k_h
L31	137,5	2,72	0,003	1,07E-03
L15	305,0	3,17	0,001	2,18E-04
L28	75,0	5,43	0,020	3,60E-03
L27	92,5	4,07	0,010	2,37E-03
L26	75,0	5,28	0,019	3,60E-03
L25	90,0	2,72	0,007	2,50E-03
L29	82,5	2,94	0,009	2,98E-03

Resultado do Segundo Ensaio de Bombeamento - 08/05/96				
Lixão de São Carlos - SP				
Método de Comparação de Curvas de Steltsova				
Poço	$k_h D$ (m ² /dia)	S_a	$k_h D$ (m ² /dia)	S_y
L33	84,23	3,90E-04	187,16	0,52
L17	93,58	1,20E-03	202,16	0,16
L16	112,3	1,10E-03	249,56	0,48
L31	159,09	5,70E-05	257,35	0,04
L12	44,45	5,90E-04	202,76	0,56
Poço	r (m)	k_h (m/dia)	k_v (m/dia)	k_v/k_h
L33	100,0	2,08	0,004	2,03E-03
L17	112,5	2,25	0,004	1,60E-03
L16	105,0	2,77	0,005	1,84E-03
L31	275,0	2,86	0,001	2,68E-04
L12	100,0	2,25	0,005	2,03E-03

6.3.4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS (Ensaio de Bombeamento)

A grande diferença entre S_a e S_y , se deve ao fato de S_a representar aqui a armazenabilidade elástica definida por CUSTÓDIO (1994) e apresentada no capítulo 4, enquanto que S_y é a porosidade específica do aquífero.

Entretanto, esperava-se que os valores de $k_h D$ calculados tanto pelo gráfico padrão tipo A quanto pelo tipo B fossem semelhantes, o que não ocorreu. BEAR (1979) adverte que “Dados coletados durante os estágios iniciais de um teste de bombeamento podem não estar de acordo com a teoria, uma vez que a última não leva em consideração componentes verticais do fluxo e o retardamento na liberação da água do aquífero...”. Este fator pode ter adulterado de forma definitiva os resultados da transmissividade calculada pelo gráfico tipo A. Outra possibilidade para a grande disparidade dos resultados pode residir no fato de na área predominar o solo coluvionar da Formação Botucatu, com contribuições do solo residual da formação Botucatu, o que, em última análise, confere ao meio uma característica de heterogeneidade. Os valores calculados para $k_h D$ no gráfico tipo B mostram maior coerência que os primeiros, além de representarem valores obtidos durante um maior tempo de bombeamento e de estabilização do fluxo subterrâneo.

Analisando-se a segunda parte da Tabela 17 que exhibe os resultados obtidos pela análise do gráfico padrão do tipo B, fica evidente que se pode dividir os valores de $k_h D$ em dois grupos:

1. um primeiro grupo que representa a maioria dos resultados, com valores entre 202,16 m²/dia a 285,21 m²/dia, com média de 243,85 m²/dia, sem qualquer relação com a porosidade específica;
2. um segundo grupo de valores muito altos em comparação aos primeiros (488,92 e 475,34 m²/dia) e apresentando porosidade específica da ordem de 0,48; 0,78; etc.. Para melhor compreensão, os resultados serão analisados separadamente conforme os grupos que foram anteriormente divididos.

Os resultados do grupo 1 indicam que seus valores de $k_h D$ são dominantes para toda a área, em todas as direções. Contudo, a porosidade específica varia significativamente de poço para poço (de 0,02 a 0,78). Este fato pode ter ligação com dois aspectos importantes no local. O primeiro é o fato do meio ser heterogêneo e o se-

gundo é a posição de cada poço em relação ao “lixo” aterrado e às diferentes espessuras do depósito.

Observando a Figura 38, que mostra um corte esquemático do terreno, nota-se que os valores mais baixos de porosidade específica (0,02 a 0,16) estão relacionados a poços que possuem grande área de “lixo” aterrado entre eles e o poços de bombeamento. Durante os trabalhos de construção dos poços verificou-se que, na área ocupada pelo “lixo” aterrado, o solo residual da Formação Botucatu mostrava-se muito escuro até poucos metros abaixo dos resíduos, em virtude do percolado e do chorume gerados. As obras de construção de piezômetros na área também permitiram averiguar que a espessura de “lixo” aterrado junto a esses poços não ultrapassa 7 metros (aproximadamente a altura do NE). Tendo em conta que os rebaixamentos foram muito pequenos e que o chorume possui uma grande quantidade de sais, matéria orgânica degradada e materiais em suspensão, que podem obstruir parcialmente os poros, afetando a porosidade específica, pelo menos a alguns metros abaixo do “lixão”, influenciando a porosidade média.

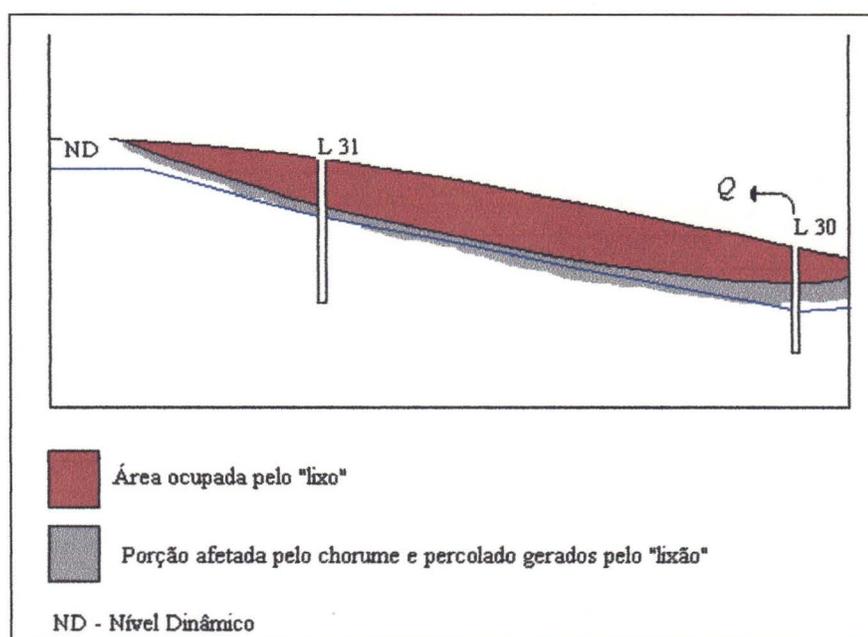


Figura 38 - Desenho esquemático mostrando a alteração da porosidade efetiva natural pelos líquidos percolados gerados pelo “lixão de São Carlos.

Os valores mais altos de S_y (0,36; 0,56; etc.) representam valores de porosidade específica condizentes com o solo coluvionar da Formação Botucatu e são dominantes no local.

Observando a localização do grupo 2 no mapa (APÊNDICE 3), verifica-se que encontram-se à direita do “lixo” aterrado, no sentido jusante montante. As perfurações “lixão” executadas do em áreas próximas mostram espessuras da ordem de 6 metros para o lixo nesta porção topograficamente mais baixa da área. Entretanto, o operador do trator esteira no local informou à equipe que, naquela área mais baixa, a maior profundidade não estava no meio da área ocupada, e sim deslocada na direção dos poços “anômalos”. Supõe-se, então, que a maior espessura do “lixo” no local esteja entre o poço de bombeamento (L 30) e os piezômetros que acusaram grandes valores de $k_h D$ e S_y (Fig. 39).

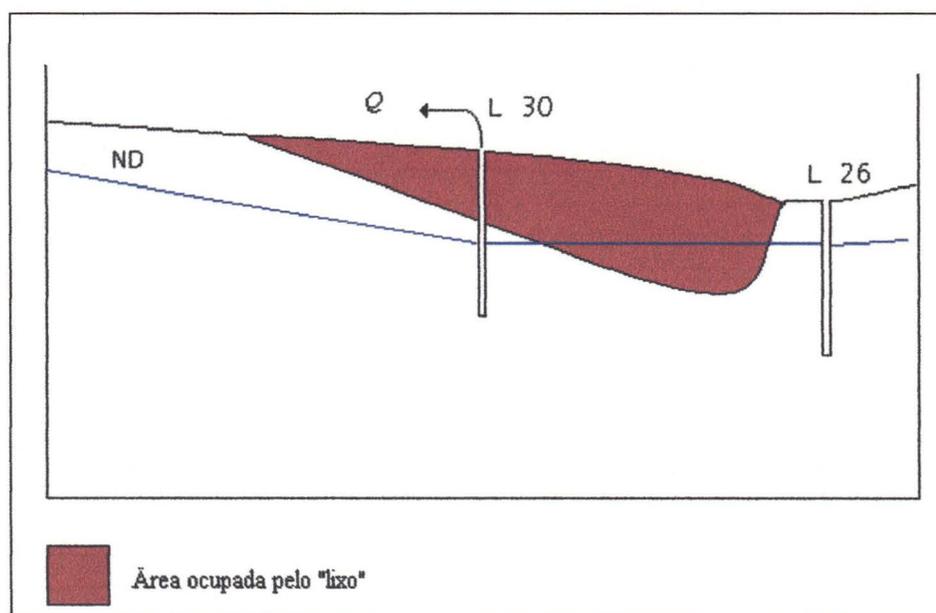


Figura 39 - Desenho esquemático exibindo grande parte do nível dinâmico inserido na área ocupada pelo “lixão”.

Como a vazão do teste foi muito baixa e os rebaixamentos verificados nestes poços também o foram, acredita-se que o cone de rebaixamento tenha estado, em sua maior parte, contido dentro da área ocupada por resíduos aterrados. Logo, os resultados estariam fortemente influenciados pela porosidade efetiva e permeabilidade do “lixão”. Mesmo tendo sido desprezado nesta análise, não se pode negar que o poço L

27 corrobora para uma conclusão neste sentido, uma vez que mostrou um alto valor de $k_h D$ e uma porosidade específica exagerada.

Finalmente, não se deve esquecer de analisar estes últimos resultados com base na heterogeneidade do local, podendo estes estarem revelando uma grande diferença no comportamento do meio físico no tocante à hidrogeologia.

6.3.5 - ENSAIO DE PERMEABILIDADE E ESTIMATIVAS DE K PELA GRANULOMETRIA

O ensaio de permeabilidade com carga constante teve a duração de 4 dias. Foram tomadas diversas medidas neste intervalo de tempo. Os valores apresentaram médias de $5,5E-3$ cm/s, ou seja, 4,75 m/dia. As causas por se mostrarem acima do valor obtido pelo teste de bombeamento podem ser:

1º o tamanho e a quantidade de amostras coletadas foi inferior ao necessário para um meio anisotrópico e heterogêneo;

2º o teste de permeabilidade foi realizado em amostra coletada muito próxima à superfície (no intervalo de 0 a 1 m), enquanto que o ensaio de bombeamento atingiu profundidades maiores, onde a formação encontra-se mais compactada.

Contudo, deve-se salientar aqui, que todos os valores obtidos, seja por ensaio de bombeamento, seja por ensaio de permeabilidade, são da ordem de 10^{-3} cm/s, próximos a valores estipulados pela literatura para este tipo de solo.

Vários autores citam a possibilidade de se fazer uma estimativa da permeabilidade conhecendo-se a granulometria do material. A fórmula utilizada é:

$K = 100 \cdot D_{10}^2$ (31), onde D_{10}^2 é o quadrado do diâmetro tal que todos os grãos menores constituam 10 % do peso total da amostra. Aplicando esta fórmula para a média dos resultados das análises granulométricas, tem-se que:

- K é igual a 0,0016 cm/s ou 1,38 m/dia.

Deve-se sempre lembrar que o ensaio de bombeamento reflete uma situação real de campo (compactação do terreno, teor de umidade entre outros) e, por isso mesmo, os resultados obtidos em laboratório devem ser analisados com cautela.

7 - CONCLUSÕES FINAIS

7.1 - CONCLUSÕES

Os objetivos propostos no início da pesquisa foram alcançados de maneira satisfatória, tendo em vista as condições que imperaram durante o processo de aquisição de dados. Após a análise dos resultados obtidos, foi possível compreender melhor alguns processos que regem o fluxo subterrâneo e o deslocamento da pluma de poluentes. As conclusões finais da dissertação estão elencadas a seguir:

↳ deve-se destacar, em primeiro lugar, a importância dos resultados obtidos e da implantação de infra-estrutura (construção de piezômetros e de estação climatológica) na continuação dos trabalhos de pesquisa no “lixão” de São Carlos;

↳ os resultados do levantamento geológico, geofísico e ensaios de granulometria indicaram que na área predominam solos coluvionares da Formação Botucatu, com possíveis contribuições de solos residuais da Formação Botucatu e que pode haver a ocorrência de intrusão de diabásio encaixada em falha;

↳ o emprego do levantamento geofísico (caminhamento geoelétrico - arranjo dipolo dipolo) mostrou-se mais uma vez de grande valia no estudo de áreas impactadas por disposição inadequada de resíduos sólidos, evidenciando a alteração da qualidade da água em profundidade (até aproximadamente 40 m);

↳ os resultados dos ensaios de bombeamento evidenciaram que o aquífero na região do lixão de São Carlos comporta-se como um meio heterogêneo e anisotrópico. Entretanto, os valores encontrados para transmissividade (187,16 a 285,21 m²/dia),

condutividade hidráulica horizontal (2,08 a 5,43 m/dia), porosidade específica (0,16 a 0,56) ressaltam a facilidade com que ocorre o fluxo subterrâneo e o deslocamento da pluma de poluentes;

↳ os ensaios de bombeamento também levaram a resultados que apontam para uma provável influência do chorume e do percolado gerados pelo “lixo” aterrado nas constantes hidrodinâmicas. Esta influência seria a colmatação de alguns espaços vazios ou poros do material inconsolidado, poucos metros abaixo do “lixão”, diminuindo o valor da porosidade;

↳ o método de comparação de curvas mostrou-se eficiente para análise de dados de ensaios de bombeamento, em especial o método de Streltsova, que atendeu a todas as peculiaridades do teste realizado pela equipe (aqüífero livre, anisotrópico, com poços parcialmente penetrantes);

↳ os resultados obtidos para a condutividade hidráulica através de outras metodologias (ensaio de permeabilidade - 4,75 m/dia - e cálculo através da granulometria - 1,38 m/dia) também geraram valores da ordem de 10^{-3} cm/s. Estes encontram-se fora dos limites dos valores encontrados pelos ensaios de bombeamento. Isto pode ocorrer pelo fato das amostras coletadas para ensaio de permeabilidade serem representativas da porção superior do solo com pouca compactação, pela não representatividade da amostra e da imprecisão do método da granulometria;

↳ finalmente, a metodologia utilizada no desenvolvimento da projeto mostrou-se eficiente, podendo ser empregada em outras áreas com problemas semelhantes, desde que sejam tomados os devidos cuidados, evitando grande imprecisão nos resultados coletados em campo.

7.2 - SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS DE PESQUISA NA ÁREA DO "LIXÃO" DE SÃO CARLOS

Desde o início do desenvolvimento desta dissertação foi enfatizado para o leitor, que o trabalho está inserido em um projeto maior de pesquisa na região do "lixão" de São Carlos. Deste modo, esta dissertação só possui sentido dentro de um contexto em que outras atividades sejam executadas. Algumas destas atividades já vêm acontecendo, tais como a coleta de água subterrânea nos poços construídos e sua análise química (metais, nitrogênio total, cloretos, etc.), a comparação dos resultados das análises químicas com os resultados do levantamento geofísico e o estudo de programas computacionais que possam empregar os resultados ora obtidos na análise do deslocamento da pluma de contaminantes no tempo e no espaço.

Entretanto, o "lixão" de São Carlos é uma fonte inesgotável de pesquisa, seja na parte descritiva dos processos de contaminação e poluição, seja no desenvolvimento de alternativas de mitigação dos impactos gerados. Neste sentido, a autora sugere a seguir, uma série de atividades e trabalhos importantes para o estudo e compreensão dos fenômenos no local:

- ↳ construção de um poço profundo, com mais de 40 metros de profundidade e realização de outro teste de bombeamento com vazões e rebaixamento superiores a fim de verificar os parâmetros obtidos por este trabalho;
- ↳ execução de um balanço hídrico com base semanal e/ou mensal, com o objetivo de estimar a recarga efetiva do aquífero na área do projeto;
- ↳ dimensionamento do volume de resíduos sólidos aterrados através de técnicas de prospecção mineral, com o objetivo de determinar o potencial de contaminação do "corpo" do "lixão";

- ↳ estudar em detalhe os processos de adsorção, troca catiônica e dispersão que ocorrem no meio saturado, visando o estudo da capacidade de depuração do aquífero;
- ↳ estudo detalhado da interação de outros aquíferos próximos ao local (arenito silicificado, entre outros) com o aquífero sobre o qual os resíduos se encerraram;
- ↳ comparação dos dados de contaminação e poluição da água subterrânea com os valores do chorume gerado pelo “lixão” de São Carlos, levando em consideração também o levantamento geofísico;
- ↳ refazer o levantamento planialtimétrico pois a retomada das operações alteraram sensivelmente a topografia.

ANEXOS

ANEXO A***Mapa e perfis geológicos***

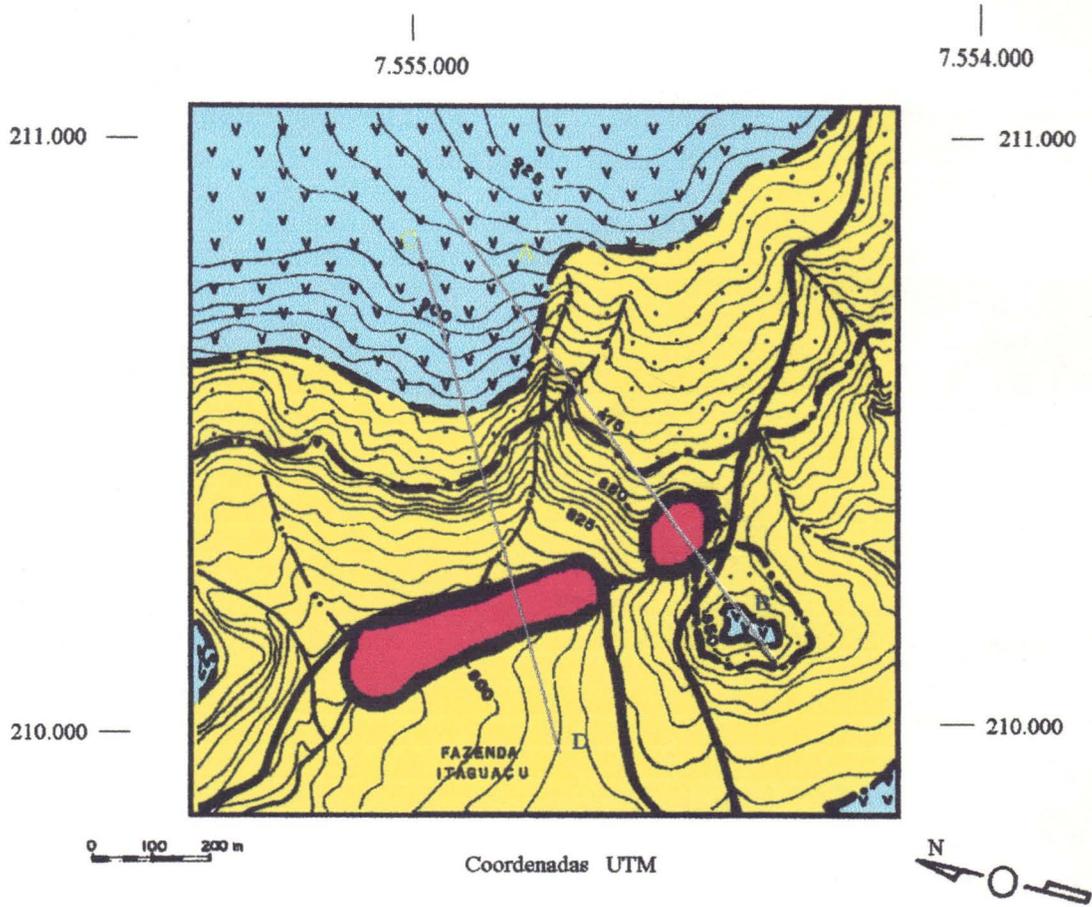
A₁ - geológico escala 1:10.000

A₂ - 2 perfis geológicos baseados no mapa supracitado (escala 1:10.000)

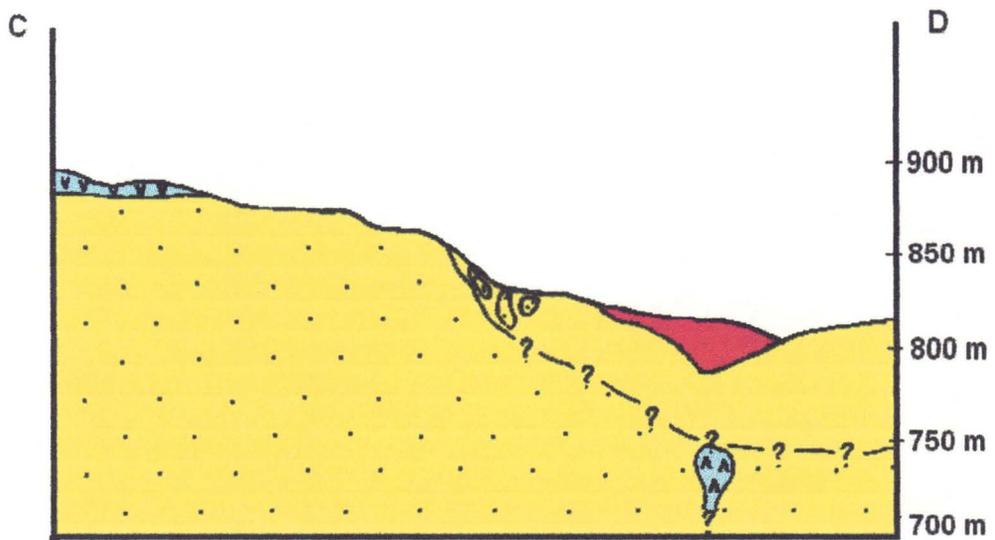
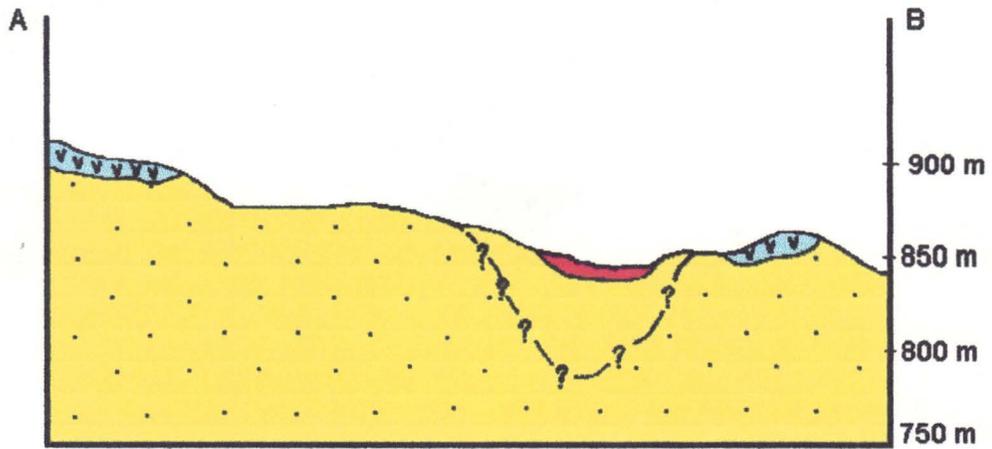
***A₃ - 3 perfis geológicos baseados na carta planialtimétrica que
encontra-se no APÊNDICE 3 (escala 1:2.500)***

ANEXO A - A₁

Mapa Geológico - Região do "lixão" de São Carlos - SP



-  Formação Botucatu - há porções silicificadas próximo ao contato com a Form. Serra Geral
-  Formação Serra Geral - basalto
-  Solo residual da Form. Botucatu com contribuições de solo coluvionar da Form. Botucatu e Serra Geral
-  "lixão" de São Carlos
-  Limites não definidos
-  Contato Geológico
-  Estradas de Acesso não pavimentadas
-  Córrego São José
-  Rios intermitentes

ANEXO A - A₂

Escala Horizontal _____ 1:10.000

Escala Vertical _____ 1:5.000

Legenda segue na página seguinte



Resíduos sólidos aterrados



Solo Coluvionar da Form. Botucatu



Solo coluvionar da Form. Botucatu com influência da de solos residuais da Formação Botucatu e Serra Geral



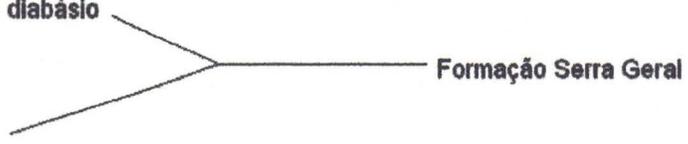
Intrusão de diabásio

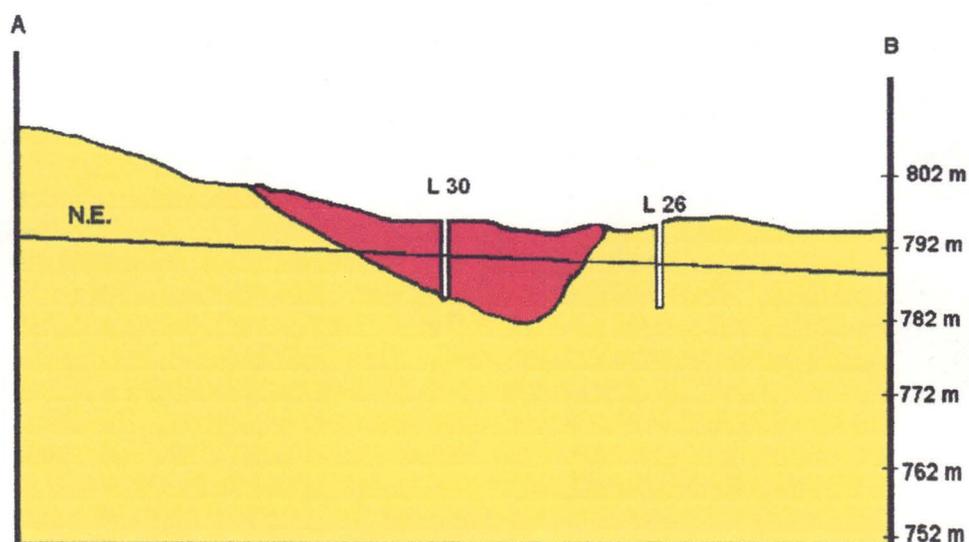


Basaltos



Formação Botucatu



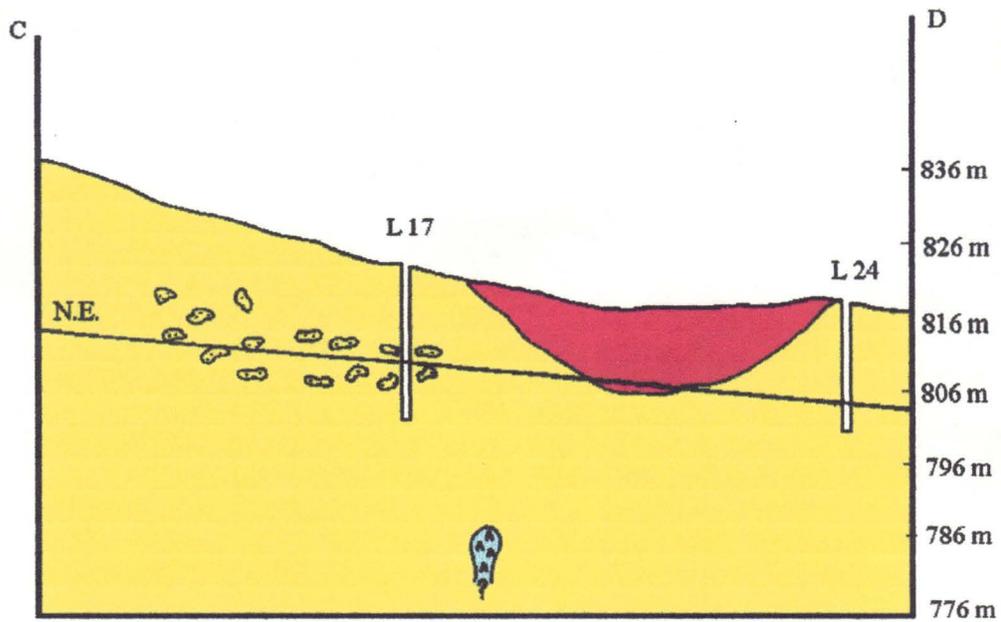
ANEXO A - A₃

Escala Horizontal _____ 1:2.500

Escala Vertical _____ 1:1.000

N.E. - Nível Estático

-  Resíduos sólidos aterrados
-  Material Coluvionar da Formação Botucatu
-  Solo coluvionar da Form. Botucatu com influência do solo residual da Form. Botucatu
-  Intrusão de diabásio
-  Formação Botucatu

ANEXO A - A₃

Escala Horizontal _____ 1:2.500

Escala Vertical _____ 1:1.000

N.E. - Nível Estático



Resíduos sólidos aterrados



Material Coluvionar da Formação Botucatu



Solo coluvionar da Form. Botucatu com influência do solo residual da Form. Botucatu

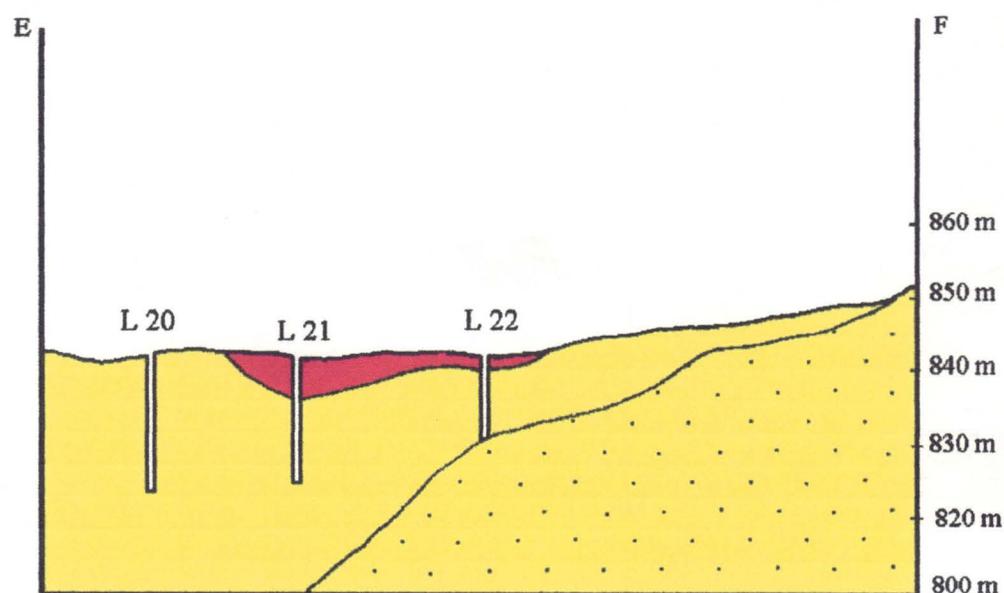


Intrusão de diabásio



Formação Botucatu



ANEXO A - A₃

Escala Horizontal _____ 1:2.500

Escala Vertical _____ 1:1.000

N.E. - Nível Estático

-  Resíduos sólidos aterrados
-  Material Coluvionar da Formação Botucatu
-  Solo coluvionar da Form. Botucatu com influência do solo residual da Form. Botucatu
-  Intrusão de diabásio
-  Formação Botucatu

ANEXO B***Perfis geofísico***

↳ caminhada geofísico - linha 1

↳ caminhada geofísico - linha 2

↳ caminhada geofísico - linha 3

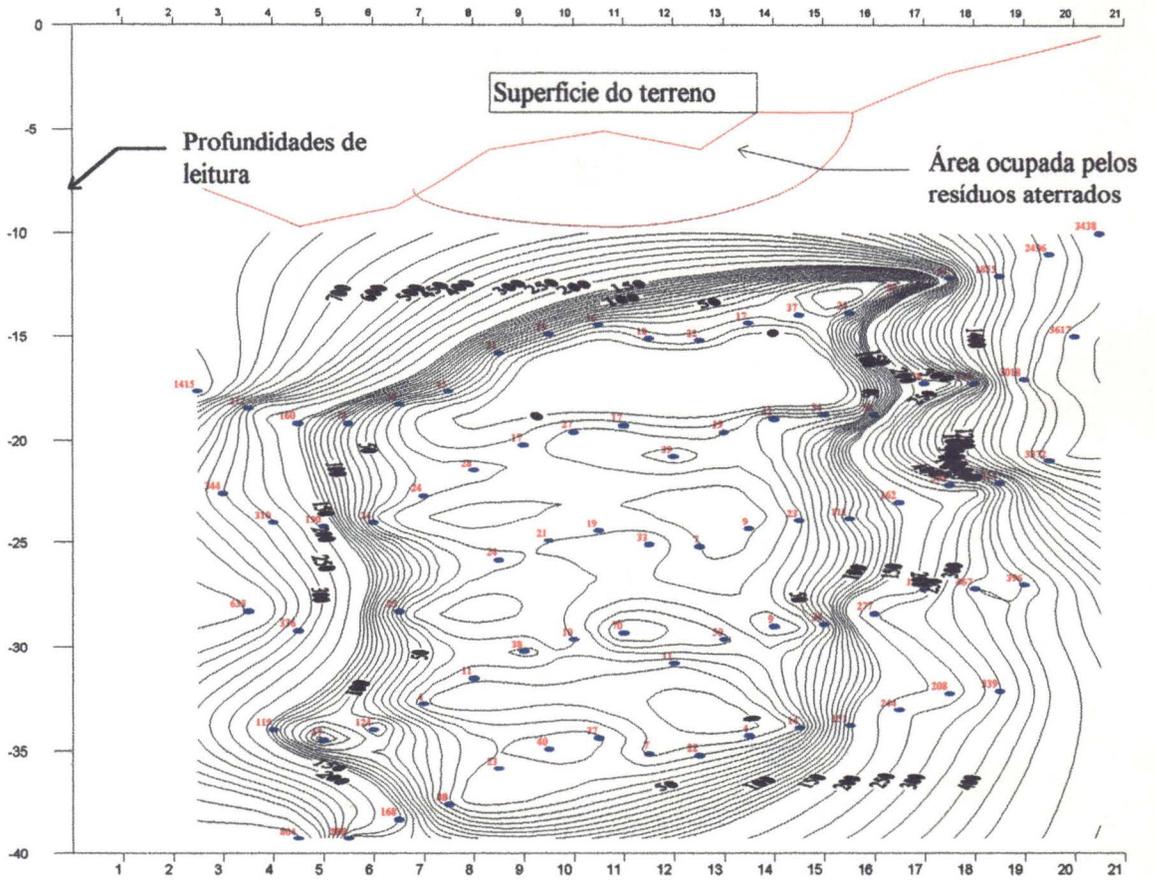
↳ caminhada geofísico - linha 4

↳ caminhada geofísico - linha 5

↳ caminhada geofísico - linha 6

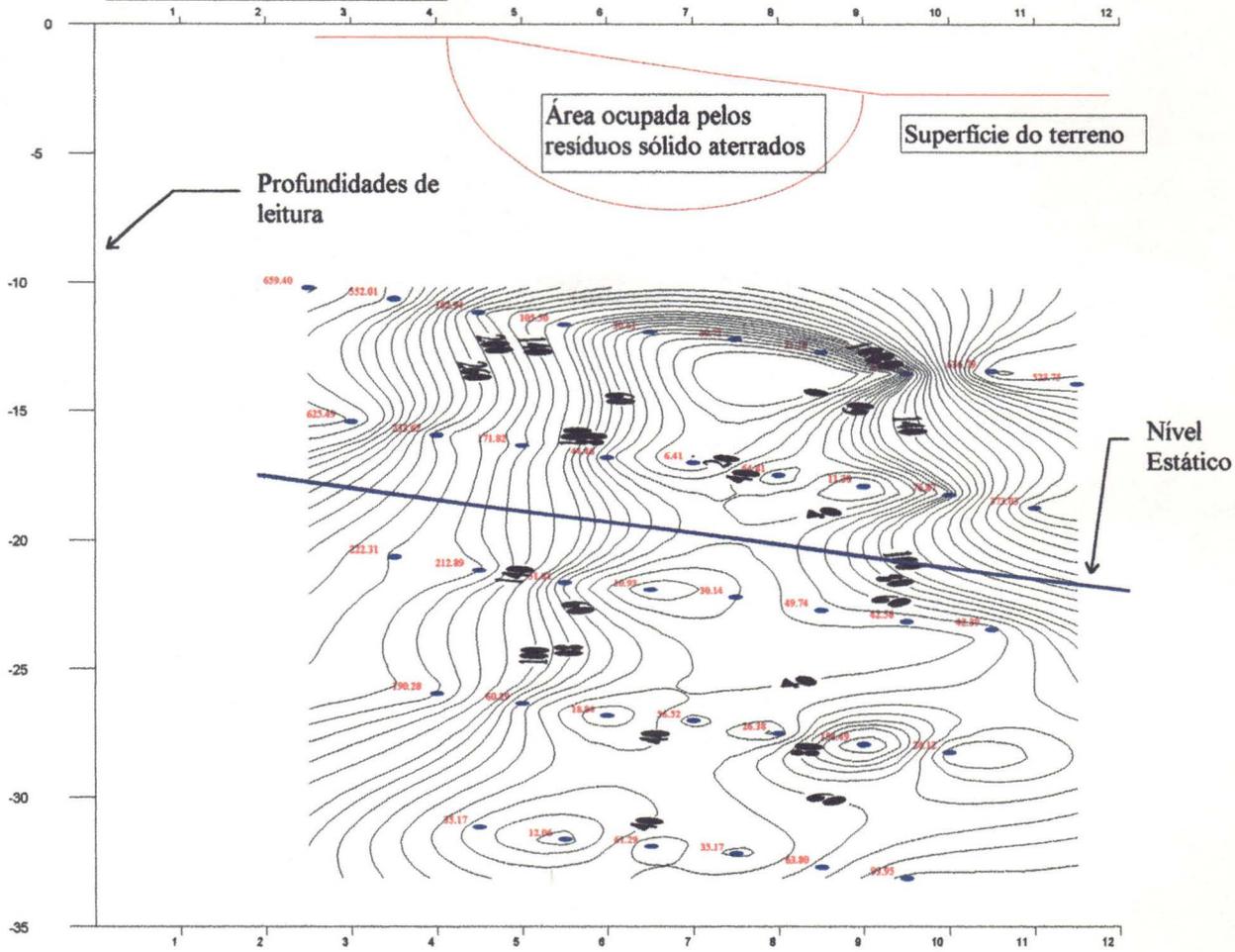
Caminhamento Geométrico - linha 1

Eletrodos de leitura - espaçamento de 10 m

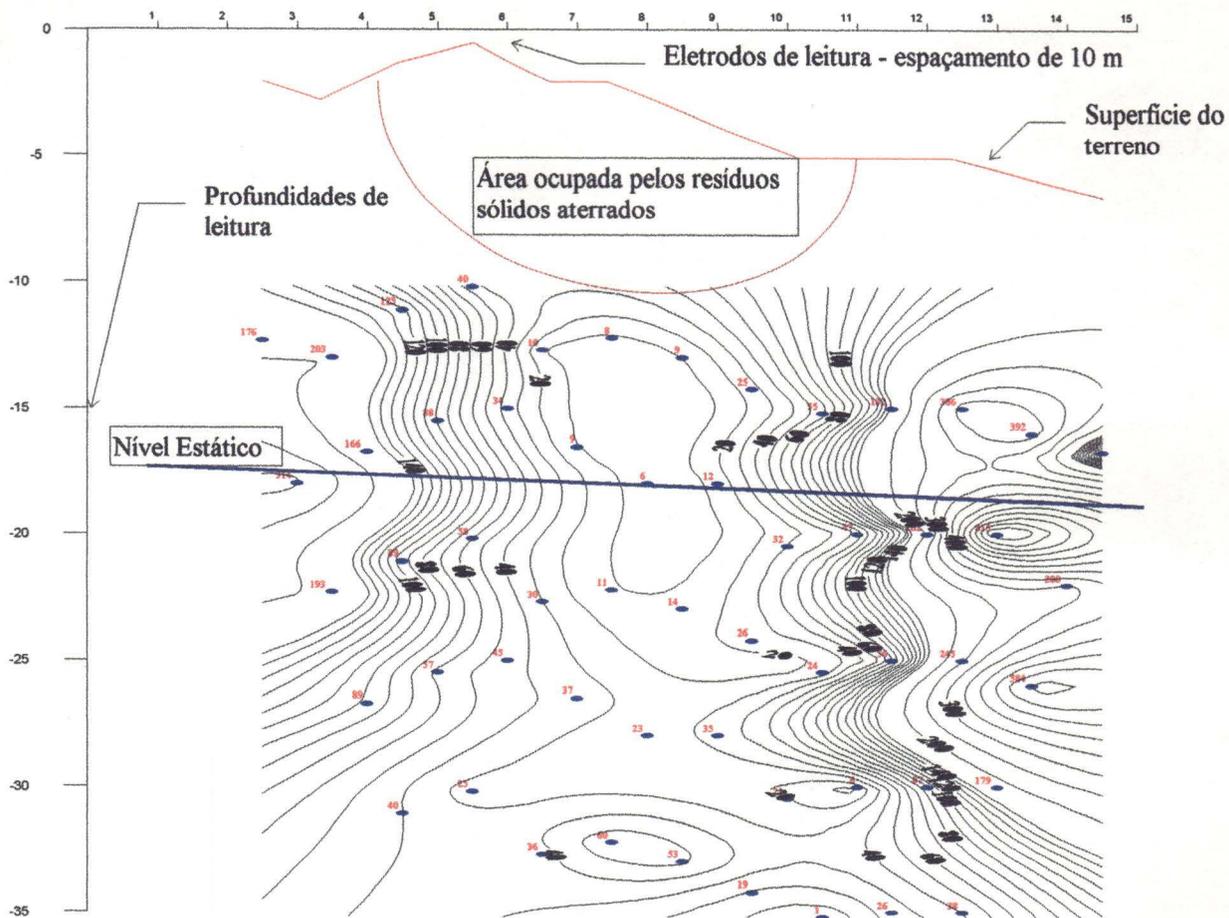


Eletrodos de leitura
espaçamento de 10 m

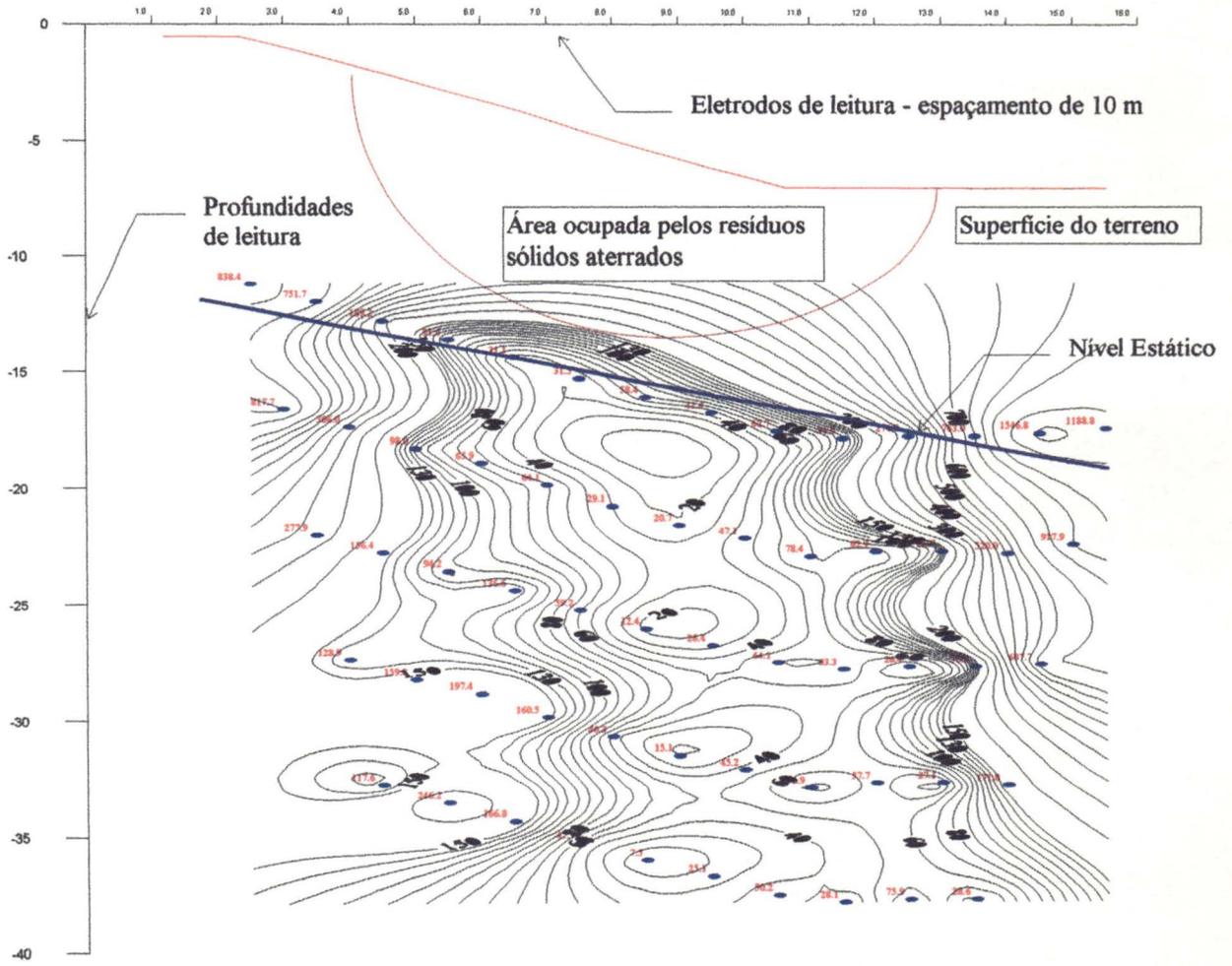
Caminhamento Geométrico - linha 2



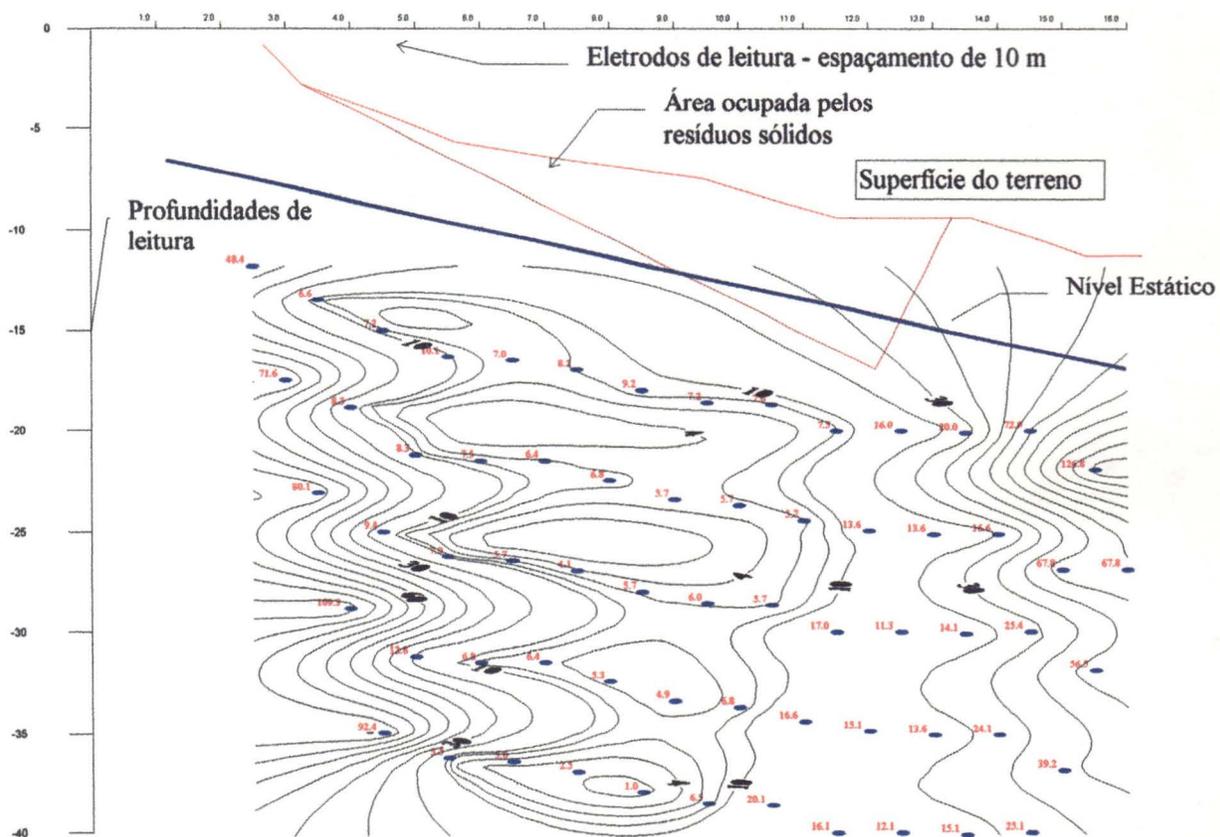
Caminhamento Geofísico - linha 3



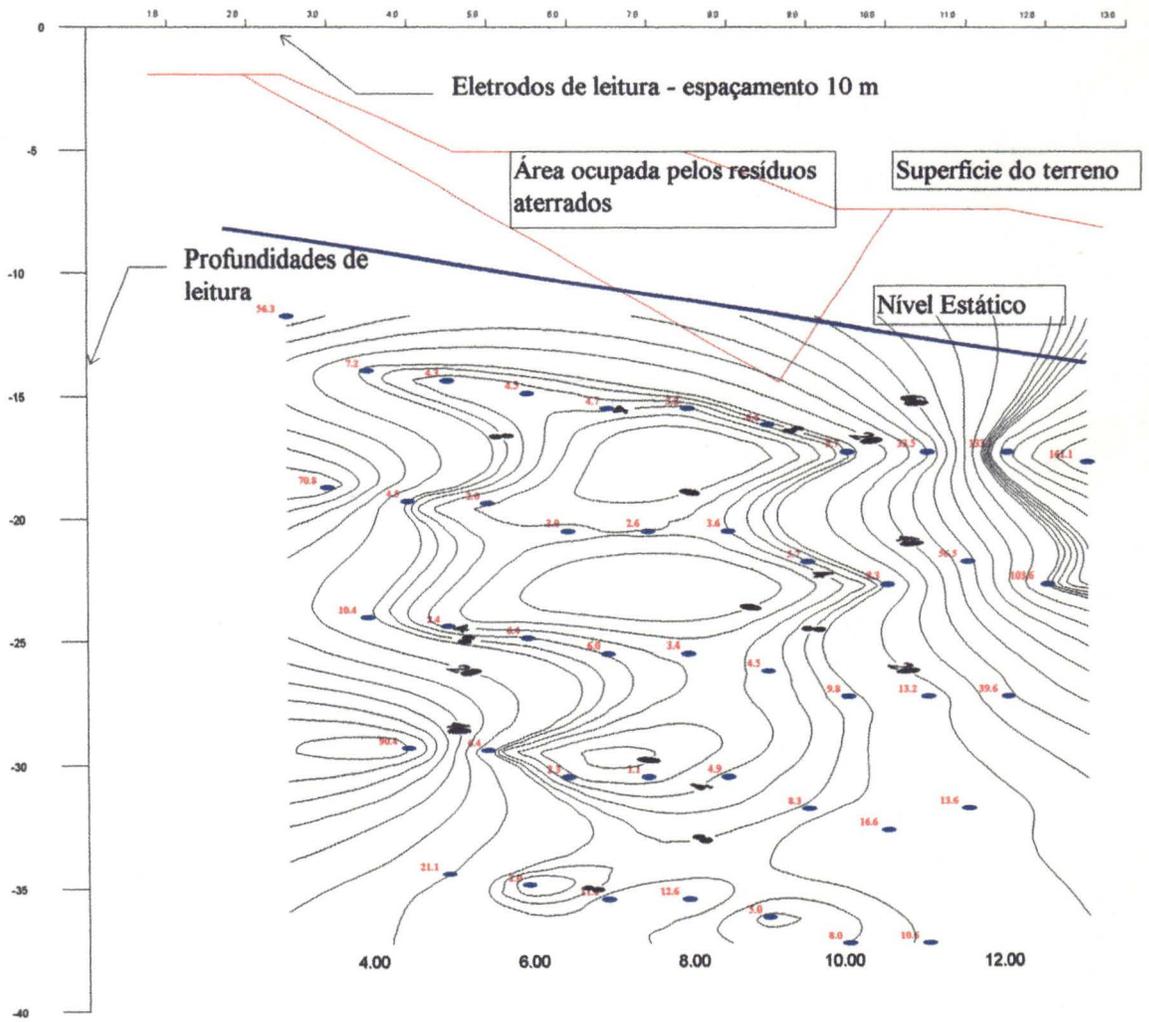
Caminhamento Geométrico - linha 4



Caminhamento Geométrico - linha 5



Caminhamento Geométrico - linha 6



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ♣ ABDULRAZZAK, M.J.; SORMAN, A.U.; ALHAMES, A.S. (1989). *Water balance approach under extreme arid conditions - A case study of Tablah Basin, Saudi Arabia*. Hydrological Processes, Vol. 3, 107 - 177. (1989).
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) (1987). *Resíduos sólidos: classificação - NBR 10004*.
- ⊗ AGUIAR, R. L. (1989). *Mapeamento Geotécnico da Área Urbana de São Carlos - SP: contribuição ao planejamento*. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- ♠ BEAR, J. (1979). *Hydraulics of groundwater*. McGraw-Hill Inc.
- △ BENGTTSSON, L.; BENDZ, D.; HOGLAND, W.; ROSQVIST, H.; ÅKESSON, M. (1994). *Water balance for landfills of different age*. In: Journal of Hydrology, V 158 p 203 - 217.
- ♠ BERGER, D.L. (1992). *Ground-water recharge through active sand dunes in northwestern Nevada*. In: Water Resources Bulletin - American Water Resources Association, V 28 n.5, p 959 - 965, out. 1992.
- BOSSOLAN, N.R.S. (1993). *Aspectos Ecológicos das Populações Bacterianas em águas Subterrâneas sob Efeito de um Aterro Controlado - São Carlos - SP*. São Carlos. 120 p. Dissertação de Mestrado - Centro de Ciências Biológicas da Saúde - Universidade Federal de São Carlos.
- ⊗ CAICEDO, N.L. (1993). *Hidrologia: Ciência e Aplicação. Capítulo 8 - Água Subterrânea*. 1ª Edição - Editora da Universidade - Universidade Federal do Rio Grande do Sul e edusp - Universidade de São Paulo.
- ♠ CAMPBELL, D.J.V. (1993). *Environmental management of landfill sites*. I Journal of the Institute of Water and Environmental Management. IWEM 92 Conference paper, 7, april, 1993.



- Δ CETESB - CENTRO TECNOLÓGICO DE SANEAMENTO BÁSICO (1988). *Construção de poços de monitoramento de aquífero freático*. CETESB 06.010. São Paulo, 1988.
- CONTIN NETO, D. (1987). *Balanço Hídrico em Bacia Hidrográfica situada em região de recarga do Aquífero Botucatu*. São Carlos 130 p. Tede de Doutorado - Departamento de Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- Δ CUSTODIO, E (1994). *Hidrología Subterránea*. Volume 1, capítulo 8.1 - Principios generales del movimiento del agua en medios prosos. Ley de Darcy. 2ª edição. Ediciones Omega, Barcelona
- ELLERT, N; ROSS, S.; MENDES, J.M.B.; MARTINS, E. (1990). *Mapeamento Geofísico do lixão de São Carlos*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 6., Porto Alegre, ABAS. p. 82 - 88.
- Δ FETTER, C.W. (1994). *Applied Hydrogeology*. 3ª Edição Macmillian College Publishing Company, Nova York.
- Δ GALOFRÉ, T.A. (1994). *Hidrologia Subterranea*. Volume 1, capítulo - Los acuíferos o embalses subterráneos. 2ª edição Ediciones Omega S.A., Barcelona.
- Δ GILVEAR, D.J.; ANDREWS, R.; TELLAM, J.H.; LLOYD, J.W. e LERNER, D.N. (1993). *Quantification of the water balance and hydrogeological processes in the vicinity of a small groundwater-fed wetland, East Anglia, UK*. In: Journal of Hydrology, 144 p 311 - 334. (1993).
- GOMES, L. (1989). *Estudo da Caracterização Física e da Biodegradabilidade dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterros Sanitários*. São Carlos - 159p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- Δ GONÇALVES, A.R.L. (1986). *Geologia ambiental da área de São Calos*. São Paulo. 138 p. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- Δ GONÇALVES, A.R.L. (199/). *Resultados de análises granulométricas e de capacidade de troca catiônica em materiais coletados na área do "lixão" de São Carlos-SP*. Apostila interna - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de São Carlo.
- Δ GONÇALVES, A.R.L.; BOSSOLAN, N.R.S.; ORLANDO, M.J.G. (1992). *Determinação da direção do fluxo defreativo no aterro sanitário de São Carlos*. In 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Anais p 114 - 116.

- ⊕ HAITJEMA, H.M., (1991) *Ground water hydraulics considerations regarding landfills*. Water Resources Bulletin - American Water Resources Association. V. 27, n. 5 p 791 - 796, out. 1991.
- IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO). 1981). *Mapa Geológico do Estado de São Paulo - Escala 1:500.000. Volume I*; Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo.
- _____(1981). *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo - Escala 1 : 500.00. Volume I*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).
- _____(1990). *Considerações gerais sobre os métodos geoeletricos*. Apostila Interna. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
- JORBA, A.F.; ROCHA, G.A. (1982). *Manual de operação e manutenção de poços*. 2ª Edição. Governo do Estado de São Paulo - Secretaria de obras e do meio ambiente - Departamento de águas e energia elétrica. São Paulo.
- KRUSEMAN G.P.; RIDDER N.A. (1990). *Analyses and Evaluation of Pumping Test Data*. Interantional Institute for Land Reclamation Improvement, Publication 47. Amsterdam - Holanda.
- ♡ LANGSHOLT E. (1994). *Water balance modelling in lateritic terrain*. In: Hydrological Process, V. 8 p 83 - 99 (1994).
- LLAMAS, M.R. (1994). *Hidrologia Subterranea*. Volume 1, capítulo 11.2 - Relaciones entre las escorrentías superficial y subterránea. 2ª edição Ediciones Omega S.A., Barcelona.
- MALAGUTTI FILHO, W. (1991). *Utilização de Técnicas Geofísicas na Caracterização de Solos e Rochas com aplicações na Geologia de Planejamento Urbano*. Rio Claro - SP, Tese de Doutorado - UNESP - Rio Claro.
- MENDES, J.M.B. (1990). *Métodos geofísicos aplicados à investigação da poluição das águas subterrâneas*. Apostila interna - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
- MENEZES, D.B. (1994). *Diagnóstico dos impactos do lixão de São Carlos (SP) no meio físico*. São Carlos, 101 p. Dissertação de Mestrado - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- ⊕ MIKKELSEN, P.S.; WEYER, G.; BERRY,C.; WALDEN,Y.; COLANDINI, V.; POULSEN, S.; GROTEHUSMANN, D.; ROHHLFING,R. (1994). *Pollution from Urban stormwater infiltration*. In: Water Science Technology, V. 29, n. 1 - 2, p. 293 - 302, 1994.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (1990). PORTARIA Nº 36, de 19 de janeiro de 1990. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, terça-feira, 23 de jan. de 1990, seção I, pág. 1650 - 1655.

♣ MWENIFUMBO, C.J. (1993). *Borehole geophysics in environmental applications*. In: CIM Bulletin, V. 86 n. 966, p 43 - 49, jan. 1993.

♣ PEREIRA NETO, J.T. (1996). *Relatório interno do laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental - LESA/UFV. Universidade Federal de Viçosa.

♣ PEYTON, T. L.; SCHROEDER, P.R. (1995). *Geotechnical practice for waste disposal*. Capítulo 10 - Water balance for landfills. 1ª Ed. Chapman & Hall.

♣ PFEIFFER, S.C. (1993). *Avaliação da viabilidade técnico-econômica de aproveitamento de águas subterrâneas na área urbana de São Carlos (SP)*. São Carlos. Dissertação de Mestrado - Departamento de Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

♣ PETRI, S.; FULFARO, V. (1983). *Geologia do Brasil (Fanerozóico)*. 1ª Edição EDUSP, São Paulo.

POHL, D.L. (1993). *Resultados de ensaios geotécnicos realizados em material da área do "lixão" de São Carlos*. Apostila interna - Departamento de Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos.

RAMADE, F. (1979). *Enciclopédia de Ecologia*. 1ª Edição EDUSP, São Paulo.

RISSO, W.M. (1994). *Conceituação e terminologia - consequência da existência do lixão em relação à saúde pública*. In: 6º Evento do programa de atualização em ecnologias de interesse ambiental: Aterro sanitário versus lixão - problemas e soluções. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), São Paulo. Anais ... p 7 - 21.

♣ ROUSE, V.J.; PYRIH, R.Z. (1993). *Geotechnical practice for waste disposal*. Capítulo 2 - Geochemistry. 1ª Ed. Chapman & Hall.

SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO - COORDENADORIA DE AÇÃO REGIONAL DIVISÃO DE GEOGRAFIA (1979). Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. 56/086, 56/087, 57/086, 57/087.

♣ SCHALCH, V.; LEITE, W.C.A.; GOMES, L.P. (1990). *Curso sobre gerenciamento de resíduos sólidos*. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

- ◇ SCHALCH, V. (1992). *Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia*. Tese de Doutorado - Departamento de Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- ◇ SILVA, R.B.G. (1983). *Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo*. São Paulo. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- ◇ STANCATI, G; NOGUEIRA, J.B.; VILAR, O. M. (1981). *Ensaio de Laboratório em Mecânica dos solos*. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Geotecnia.
- ◇ SU, N. (1994). *A formula for computation of time-varying recharge of groundwater*. In: Journal of Hydrology, 160, p 123 - 135 (1994).
- SWAMI, M.V.; MATTOS, A.(1975). *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill, Ltda.
- TEIXEIRA, J. A. (1978). *Estimativa da infiltração como parâmetro básico para o estudo do aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos do município de Olinda - PE*. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - USP. 194 p.
- TUCCI, C.E.M.; BELTRAME, L.F.S. (1993). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Capítulo 7 - Evaporação e Evapotranspiração. 1ª Edição - Editora da Universidade - Universidade Federal do Rio Grande do Sul e edusp - Universidade de São Paulo.
- YASSUDA, R.E.; NAGAMI, P.S. (1973). *Técnicas de abastecimento e tratamento de água*. Vol 1, capítulo 5 - Captação de água subterrânea. Faculdade de Saúde Pública - Universidade de São Paulo - Centro Técnico de Saneamento Básico.
- ◇ WILKINSON, W.B.; COOPER, D.M. (1993). *The response of idealized aquifer/river systems to climate change*. In: Journal of Hydrological Sciences, V 38 n. 5, p 379 - 90, out. 1993.
- ◇ ZUQUETTE, L.V. (1981). *Mapeamento geotécnico preliminar na Região de São Carlos - SP*. São Carlos. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geotecnia - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

APÊNDICES

1 13
17 10
10 5
50 2

APÊNDICE 1

↳ *Relatório final dos poços de monitoramento e amostragem*

↳ *Desenho esquemático de todos os poços construídos*

↳ **RELATÓRIO FINAL DOS POÇOS DE MONITORAMENTO E AMOSTRAGEM**

1 - Informações referentes a todos os poços

Identificação e localização:

- Município - São Carlos.
- Local - “lixão” municipal.
- Proprietário - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
- Tipo de poço - monitoramento e amostragem

Construção:

- Início da primeira etapa - 26/10/95.
- Término da primeira etapa - 26/10/95.
- Início da segunda etapa - 31/10/95.
- Término da segunda etapa - 23/11/95.
- Sonda de perfuração (primeira etapa) - Trado mecânico ou rosca .
- Empresa responsável - BASE Fundações e Infra estrutura.
- Sonda de perfuração (segunda etapa) - Etraus.
- Empresa responsável - DESTACA Fundações.
- Fluido de perfuração - água.
- Material dos revestimentos e dos filtros - PVC geomecânico - FORTILIT.
- Diâmetro dos revestimentos e dos filtros - 4 polegadas.
- Altura da boca dos poços - 80 centímetros.

Acabamento:

- Desenvolvimento manual.
- Duração - média de 3 dias por poço.

- Laje de proteção - 1,00 X 1,00 X 0,20 metros.
- Material da caixa de proteção - ferro.
- Dimensões da caixa de proteção - altura: 1 metro; diâmetro: 6 polegadas

2 - Informações detalhadas de cada poço

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 15
- Profundidade - 11,30 metros
- Cota folha topográfica - 809,5
- Nível estático - 7,30 metros (31/10/95)
- Cota do nível estático - 802,2

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	10	12	300	TRADO MECÂNICO
10	11,30	12	300	SONDA DE FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 6,40 a 5,15 metros
- Pré-filtro: Extensão - 11,30 a 6,40 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 7,30 metros
- Filtros - 7,30 a 11,30 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	8	solo friável, granulometria areia média, coloração vermelha;
8	9	mesma litologia mas com maior umidade;
9	10	mesma granulometria anterior mas com uma coloração mais clara;
10	11,30	granulometria areia média, coloração vermelho claro a rósea, com lentes amarelas. Mostra pequenos níveis com hidróxido de ferro.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 16
- Profundidade - 10,35 metros
- Cota folha topográfica - 812,5
- Nível estático - 5,45 metros (01/11/95)
- Cota do nível estático - 807,05

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	9	12	300	TRADO MECÂNICO
9	10,35	12	300	SONDA STRAUS

- Selo de Bentonita - 4,45 a 3,45 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 11,10 a 4,45 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 6,35 metros
- Filtros - 6,35 a 10,35 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	6	solo argiloso de cor vermelho escuro
6	7	mesma granulometria que a anterior com maior umidade
7	8	mesma granulometria anterior mas com uma coloração mais clara;
8	9	grande teor de umidade

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 17
- Profundidade - 20,20 metros

- Cota folha topográfica - 823
- Nível estático - 12 metros (3/11/95)
- Cota do nível estático - 802,8

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MLÍMETRO	
0	14	12	300	TRADO MECÂNICO
14	21,80	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 13,5 a 15 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 21,80 a 15 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 16,20 metros
- Filtros - 16,20 a 20,20 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	6	solo de granulometria argila de coloração vermelho escura, com porções de areia fina;
6	7	granulometria areia fina;
7	8	mantém características do estrato anterior;
8	9	porção arenosa importante, granulometria passa a areia média;
9	10,5	granulometria areia média predomina e a coloração passa a cinza clara
10,5	11	intercalações de argila com coloração cinza;
11	12	mantém características do estrato anterior;
12	13	granulometria volta a areia fina e aumenta a umidade, coloração passa a cinza médio;
13	14	alta umidade
14	17,35	granulometria areia média, coloração cinza claro;
17,35	19	coloração passa a amarela e vermelha amarelada;
19	21,8	areia média com grande quantidade de seixos de quartzo com diâmetros aproximados entre 0,5 a 3 cm, e alguns fragmentos de basalto e arenito silicificado.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 18
- Profundidade - 23,45 metros
- Cota folha topográfica - 825
- Nível estático - 17,60 metros (6/11/95)
- Cota do nível estático - 807,4

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	10	12	300	TRADO MECÂNICO
10	11,30	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 16,68 a 17,98 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 26,30 a 17,98 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 19,45 metros
- Filtros - 19,45 a 23,45 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	4,5	solo friável, de coloração vermelho escuro;
4,5	5	areia fina com importante contribuição de argila e coloração marrom;
5	5,5	areia fina de coloração branca;
5,5	8	areia fina mais escura (cinza escuro a marrom), aumenta o teor de umidade;
8	12	maior contribuição de argila;
12	13	areia fina a média, de cor cinza médio com pouca ou nenhuma argila;
13	14	areia fina com lentes milimétricas de argila;
14	15	leito de seixos e fragmentos de arenito silicificado e basalto alterado;
15	17	areia média de coloração cinza amarelado com seixos de quartzo e fragmentos de arenito silicificado de cor marrom e basaltos
17	19	areia média com seixos de quartzo de diâmetro não superior a 1 cm,

		sem fragmentos de rocha
19	26,30	granulometria areia fina predominante, coloração amarelada, ausência de seixos

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 19
- Profundidade - 17,40 metros
- Cota folha topográfica - 833
- Nível estático - 15,60 metros (03/11/95)
- Cota do nível estático - 817,4

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	16	12	300	TRADO MECÂNICO
16	17,40	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 12,90 a 14,35 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 17,40 a 14,35 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 15,60 metros
- Filtros - 15,40 a 17,40 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	14	da superfície até 14 metros o comportamento da formação é homogêneo, mostrando granulometria areia média de coloração amarelo clara a branca;
14	15	mesma litologia mas com maior umidade;
15	16	lentes de material de granulometria areia média e coloração vermelha, nesta profundidade ocorre impedimento da perfuração;
16	17,40	volta material do intervalo de 0 a 14 metros

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 20
- Profundidade - 19,40 metros
- Cota folha topográfica - 841
- Nível estático - 19,40 metros (3/11/95)
- Cota do nível estático - 821,60

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	15	12	300	TRADO MECÂNICO
15	19,40	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 14,50 a 16 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 19,40 a 16 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 17,40 metros
- Filtros - 19,40 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	3	granulometria argila/silte, coloração vermelha;
3	4	mantém granulometria, cor passa a vermelho clara;
4	9,40	granulometria areia média e coloração amarelo escuro;
9,40	15	granulometria areia média e coloração amarelo avermelhado;
15	17	mantém características da litologia anterior;
17	18	areia média, coloração amarelo escuro;
18	19,40	granulometria areia média areia fina finas lentes vermelhas e escuras.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 21
- Profundidade - 18,30 metros
- Cota folha topográfica - 842

■ Nível estático - 12 metros (20/11/95)

■ Cota do nível estático - 802,8

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	7	12	300	TRADO MECÂNICO
7	18,30	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 12,50 a 13,30 metros
- Calda de cimento - 5 a 6 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 18,30 a 13,30 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 14,30 metros
- Filtros - 14,30 a 18,30 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	5	pacote formado por resíduos sólidos aterrados
5	7	solo marrom escuro com cheiro muito forte, infiltração de chorume;
7	8	formação não mostra mais coloração influenciada pelo chorume e sua coloração varia da branca a amarelada, cheiro continua forte;
8	16	coloração amarelada a amarelo escuro, granulometria areia fina impedimento a perfuração;
16	18,30	mantém características da litologia anterior.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 22
- Profundidade - 11,6 metros
- Cota folha topográfica - 844,5

Este poço não foi concluído em virtude de a sonda ter alcançado rocha dura, impedindo o prosseguimento dos trabalhos de perfuração.

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De (m)	A(m)	
0	2,5	pacote de resíduos aterrados;
2,5	4	solo vermelho com manchas negras, provável influência da infiltração do chorume;
4	7	solo alaranjado;
7	8	aumento da fração arenosa
8	9,5	solo passa a areia média de coloração amarelo escuro;
9,5	11,6	rocha resistente, provável arenito Botucatu silicificado.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 23
- Profundidade - 19,67 metros
- Cota folha topográfica - 830
- Nível estático - 19,20 metros (19/11/95)
- Cota do nível estático - 810,80

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	11	12	300	TRADO MECÂNICO
11	19,67	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 15 a 16,60 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 16,70 a 19,67 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 16,70 metros
- Filtros - 16,70 a 19,70 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	2	granulometria silte com coloração vermelho escuro;
2	3	coloração vermelho claro;
3	4	presença de seixos rolados de quartzo com diâmetro de aproximadamente 8 cm;
4	7	cessam os níveis de seixos e mantém-se as características da litologia anterior;
7	8	porção mais argilosa, granulometria varia de silte a argila;
8	9,5	granulometria passa a areia fina e a coloração a vermelho claro;
9,5	10	coloração varia de vermelho claro a amarelo;
10,5	11	coloração variando de cinza claro a amarelado;
11	17	granulometria areia média de coloração creme a amarelo claro;
17	19,67	granulometria areia fina, coloração amarelo escuro.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 24
- Profundidade - 18,40 metros
- Cota folha topográfica - 817
- Nível estático - 13,40 metros (18/11/95)
- Cota do nível estático - 798.6

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	15	12	300	TRADO MECÂNICO
15	18,65	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 12 a 13,30 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 18,65 a 13,30 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade

- Revestimento - 0 a 14,40 metros
- Filtros - 14,40 a 18,40 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	2	granulometria varia de silte a argila com coloração vermelho clara;
2	5,5	granulometria areia fina de coloração vermelho clara a laranjada;
5,5	9,5	granulometria areia fina de coloração amarelada;
9,5	14	granulometria areia média com lentes argilosas;
14	15	mantém aspectos da litologia anterior;
15	18,65	granulometria areia fina de coloração amarelada.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 25
- Profundidade - 12 metros
- Cota folha topográfica - 797
- Nível estático - 7 metros (14/11/95)
- Cota do nível estático - 790

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	7	12	300	TRADO MECÂNICO
7	14,14	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 5,25 a 6,98 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 14,14 a 6,98 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 8 metros
- Filtros - 8 a 12 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	2	granulometria silte coloração vermelho escuro;
2	5	granulometria silte/areia fina;
5	6	granulometria areia média de coloração cinza médio com níveis centimétricos de argila de coloração cinza escuro;
6	7	granulometria areia média de coloração cinza escuro;
7	9	mantém características da litologia anterior;
9	14,14	granulometria areia fina coloração amarelada.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 26
- Profundidade - 10,90 metros
- Cota folha topográfica - 795
- Nível estático - 5,90 metros (13/11/95)
- Cota do nível estático - 789,1

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	7	12	300	TRADO MECÂNICO
7	11,80	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 5 a 5,9 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 11,80 a 5,90 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 6,90 metros
- Filtros - 6,90 a 10,90 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	5	granulometria silte/argila coloração vermelho escuro;
5	6	granulometria areia fina coloração amarela;
6	7	granulometria areia fina/silte de coloração cinza clara com intercalação de areia de coloração amarelada;
7	8	granulometria areia média de coloração cinza clara
8	11	granulometria areia fina de coloração amarelo clara com lentes de 1 centímetro de material argiloso de coloração cinza escuro.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 27
- Profundidade - 11,5 metros
- Cota folha topográfica - 793,5
- Nível estático - 3,67 metros (9/11/95)
- Cota do nível estático - 789,83

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	4,5	12	300	TRADO MECÂNICO
4,5	11,5	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 5,57 a 6,99 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 11,5 a 6,99 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 7,5 metros
- Filtros - 7,5 a 11,5 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	2	granulometria silte;
2	3	granulometria areia fina de coloração amarelada;
3	4	granulometria areia média de coloração cinza escura com contribuições de argila;
4	4,5	granulometria areia média de coloração cinza escura;
4,5	8	mantém características da litologia anterior;
8	11,5	granulometria areia média de coloração branca.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 28
- Profundidade - 8 metros
- Cota folha topográfica - 792
- Nível estático - 1,28 metros (10/11/95)
- Cota do nível estático - 790.72

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	2	12	300	TRADO MECÂNICO
2	9,5	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 1,5 a 2,75 metros
- Calda de cimento - 0,85 a 1,5 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 9,5 a 2,75 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 4 metros
- Filtros - 4 a 8 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	1	solo negro (influência de choro-me) com restos de resíduos;
1	2	solo de cor negra sem resíduos;
2	10	solo ainda apresenta cor negra em virtude do choro-me.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 29
- Profundidade - 5,35 metros
- Cota folha topográfica - 795
- Nível estático - 2,20 metros (10/11/95)
- Cota do nível estático - 792,8

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	5	12	300	TRADO MECÂNICO
5	5,5	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 0,85 a 2,80 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 5,5 a 2,80 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 3,35 metros
- Filtros - 3,35 a 5,35 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	2	granulometria areia fina de coloração negra;
2	3	coloração cinza clara;
3	5	granulometria areia média de coloração amarelo clara;
5	5,5	nível marcado quase que exclusivamente por fragmentos de arenito silicificado de diversos tamanhos (de 6 cm a 15 cm).

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 30
- Profundidade - 12 metros
- Cota folha topográfica - 796
- Nível estático - 5,30 metros (9/11/95)
- Cota do nível estático - 790,7

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	7,5	12	300	TRADO MECÂNICO
7,5	13,80	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 7,7 a 8,9 metros
- Calda de cimento - 6 a 7,7 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 13,80 a 8,9 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 10 metros
- Filtros - 10 a 12 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	6,5	pacote formado por resíduos sólidos aterrados;
6,5	10	coloração negra, influenciada pela ação do chorume;
10	13,80	coloração mais clara, presença de fragmentos de arenito silicificado de tamanho variando de 2 a 20 cm, granulometria silte.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 31
- Profundidade -14 metros
- Cota folha topográfica - 803
- Nível estático - 6,67 metros (8/11/95)
- Cota do nível estático - 796,33

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	15	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 7,15 a 8,61 metros
- Pré-filtro:
- Calda de cimento - 6 a 7,15 metros
 - * Extensão - 15 a 8,61 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 10 metros
- Filtros - 10 a 14 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	6,5	pacote de resíduos sólidos aterrados;
6,5	15	coloração negra, forte influência do chorume gerado pelo aterro.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 32
- Profundidade - 18,50 metros
- Cota folha topográfica - 812
- Nível estático - 8,30 metros (7/11/95)
- Cota do nível estático - 803,7

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	19,60	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 11,98 a 13,35 metros
- Calda de cimento - 10,91 a 11,98 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 19,60 a 13,35 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 14,5 metros
- Filtros - 14,5 a 18,4 metros

Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	11,5	pacote formado por resíduos sólidos aterrados;
11,5	16	forte influência do chorume apresentando coloração negra;
16	19,60	coloração amarelada, mas ainda persiste forte cheiro.

Identificação e Localização:

- Identificação do poço - L 33

- Profundidade - 17,90 metros
- Cota folha topográfica - 817
- Nível estático - 12,47 metros (7/11/95)
- Cota do nível estático - 804,56

Construção:

PROFUNDIDADE		DIÂMETRO DA PERFURAÇÃO		MÉTODO
DE (m)	A (m)	POLEGADAS	MILÍMETRO	
0	19,90	12	300	SONDA FUNDAÇÕES

- Selo de Bentonita - 11,73 a 12,90 metros
- Calda de cimento - 10,17 a 11,73 metros
- Pré-filtro:
 - * Extensão - 18,90 a 12,90 metros
 - * Granulometria - 2 mm
 - * Método de injeção - gravidade
- Revestimento - 0 a 13,90 metros
- Filtros - 13,90 a 17,90 metros

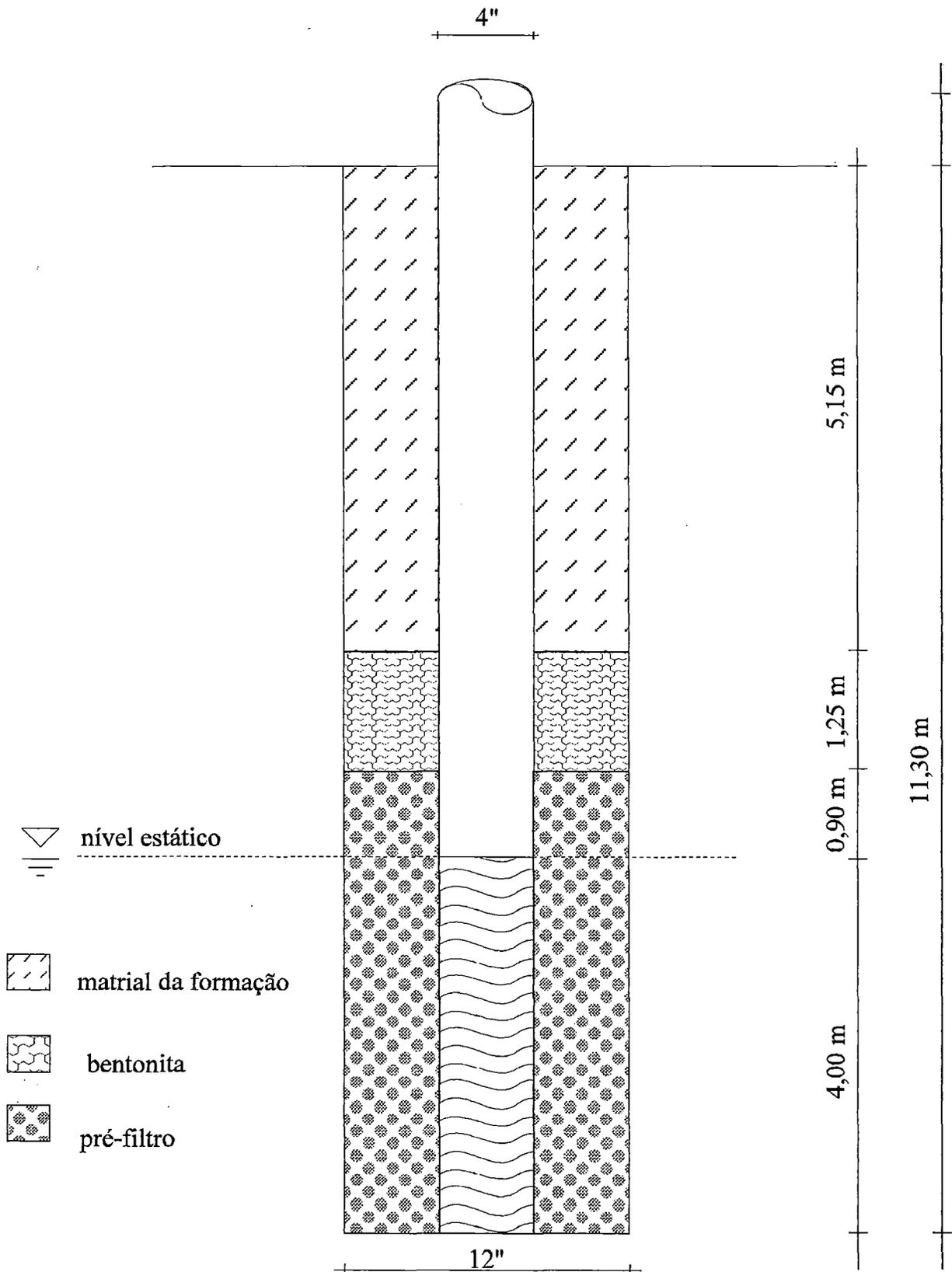
Intervalo (m)		Descrição Litológica de Campo
De	A	
0	8,76	pacote de resíduos sólidos aterrados;
8,76	15	forte influência do chorume, coloração negra;
15	18,90	coloração cinza amarelado, persistindo forte cheiro.

APÊNDICE 2

Dados de ensaios de bombeamento

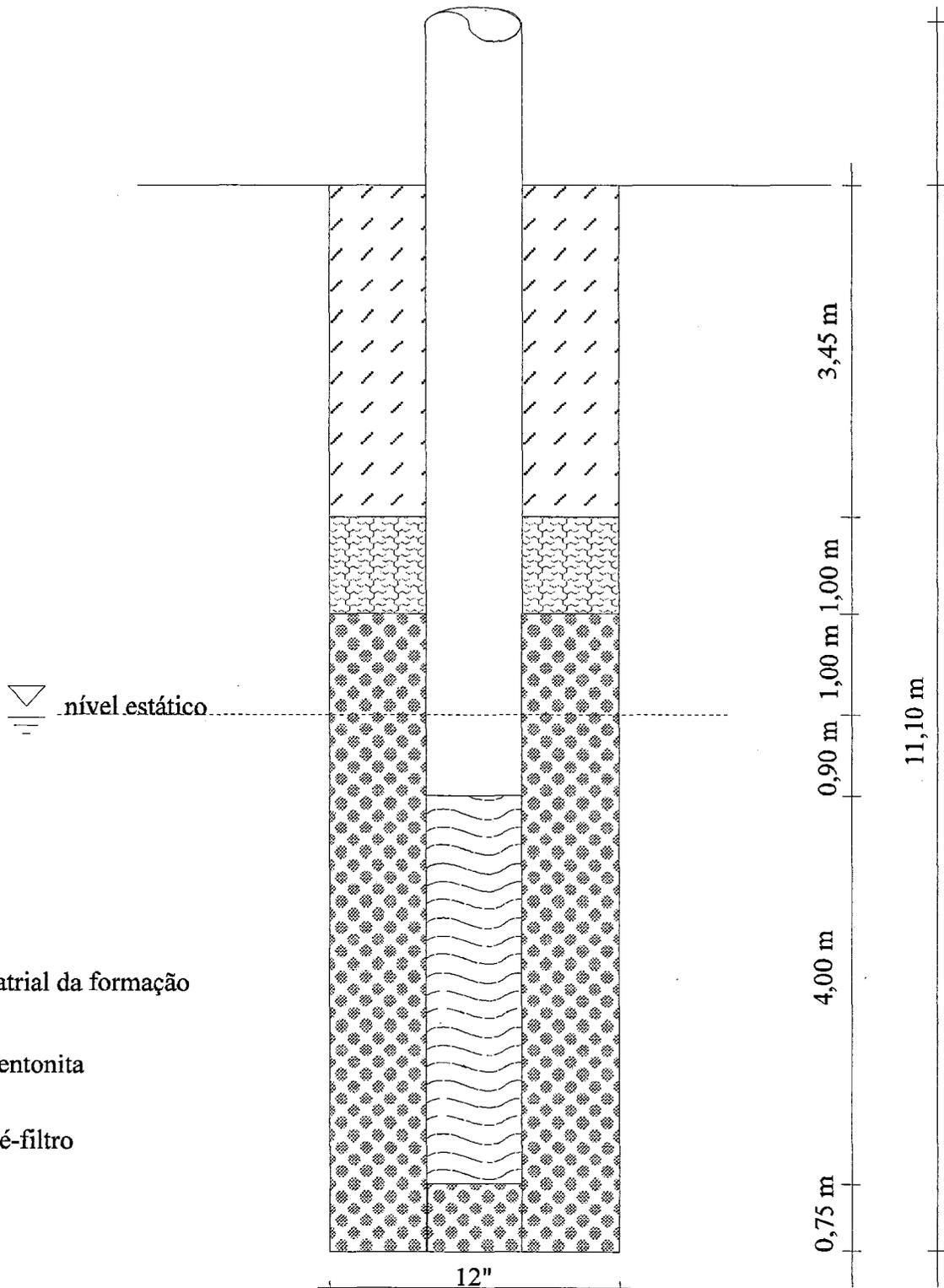
- ↳ *Dados de rebaixamento, tempo, vazão, etc. coletados em campo durante os ensaios de bombeamento para todos os poços envolvidos nesta operação.*
- ↳ *Gráficos de rebaixamento versus tempo para todos os poços envolvidos nos ensaios de bombeamento.*

L 15



L 16

4"



material da formação



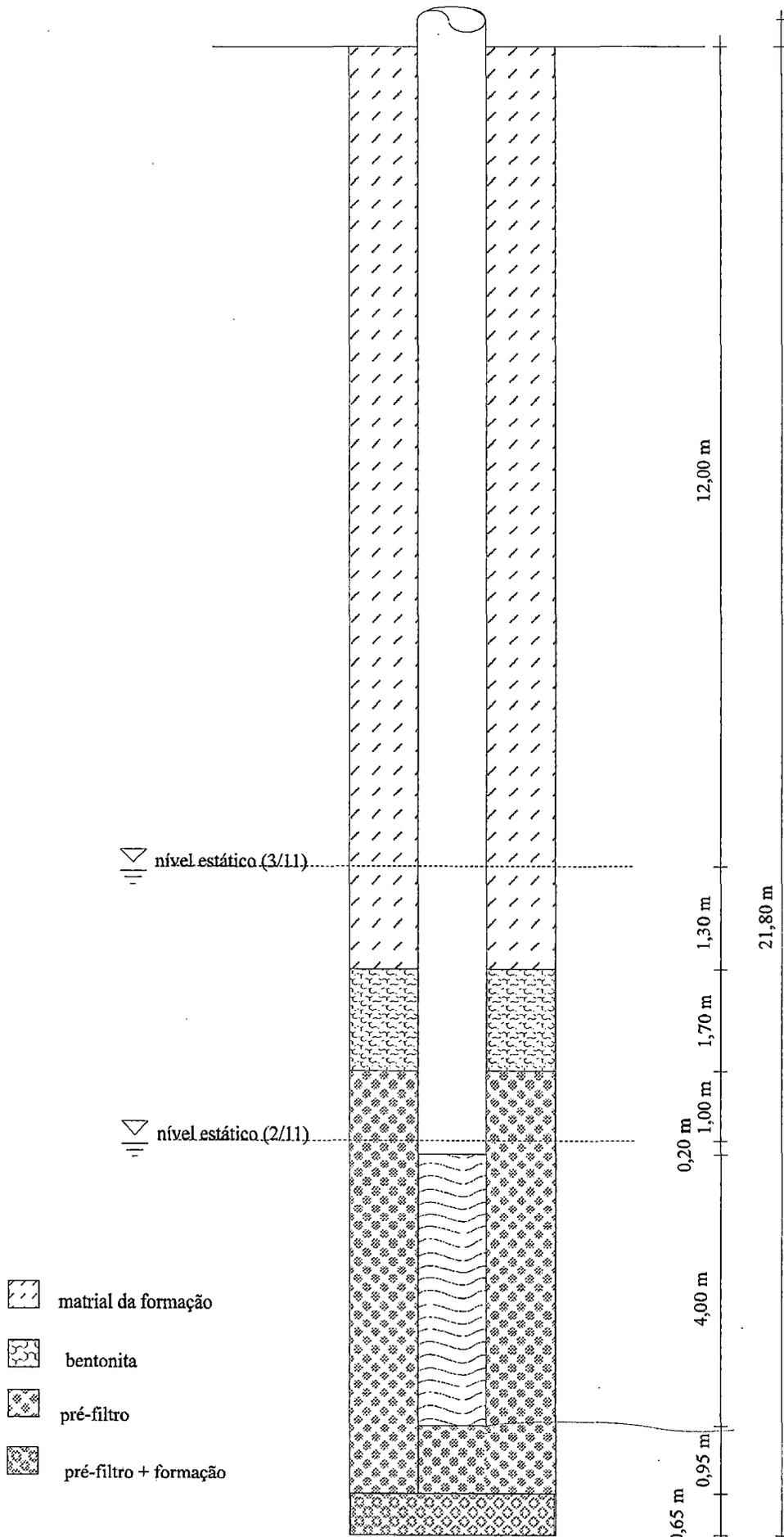
bentonita

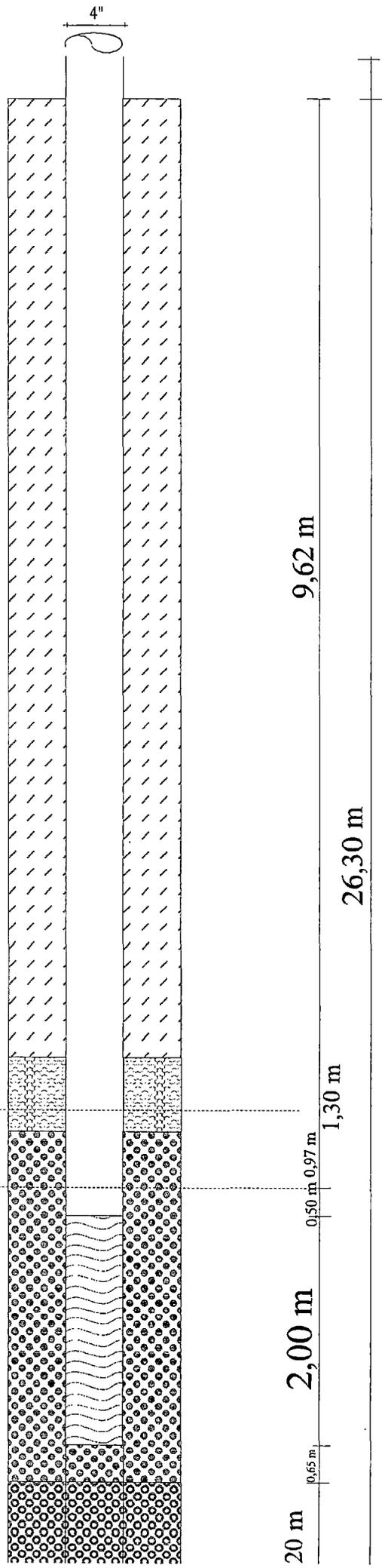


pré-filtro

L 17

4"





-  material da formação
-  bentonita
-  pré-filtro
-  pré-filtro + formação

▽
≡ nível estático 2

▽
≡ nível estático 1

20 m

0,65 m

2,00 m

0,50 m

0,97 m

1,30 m

9,62 m

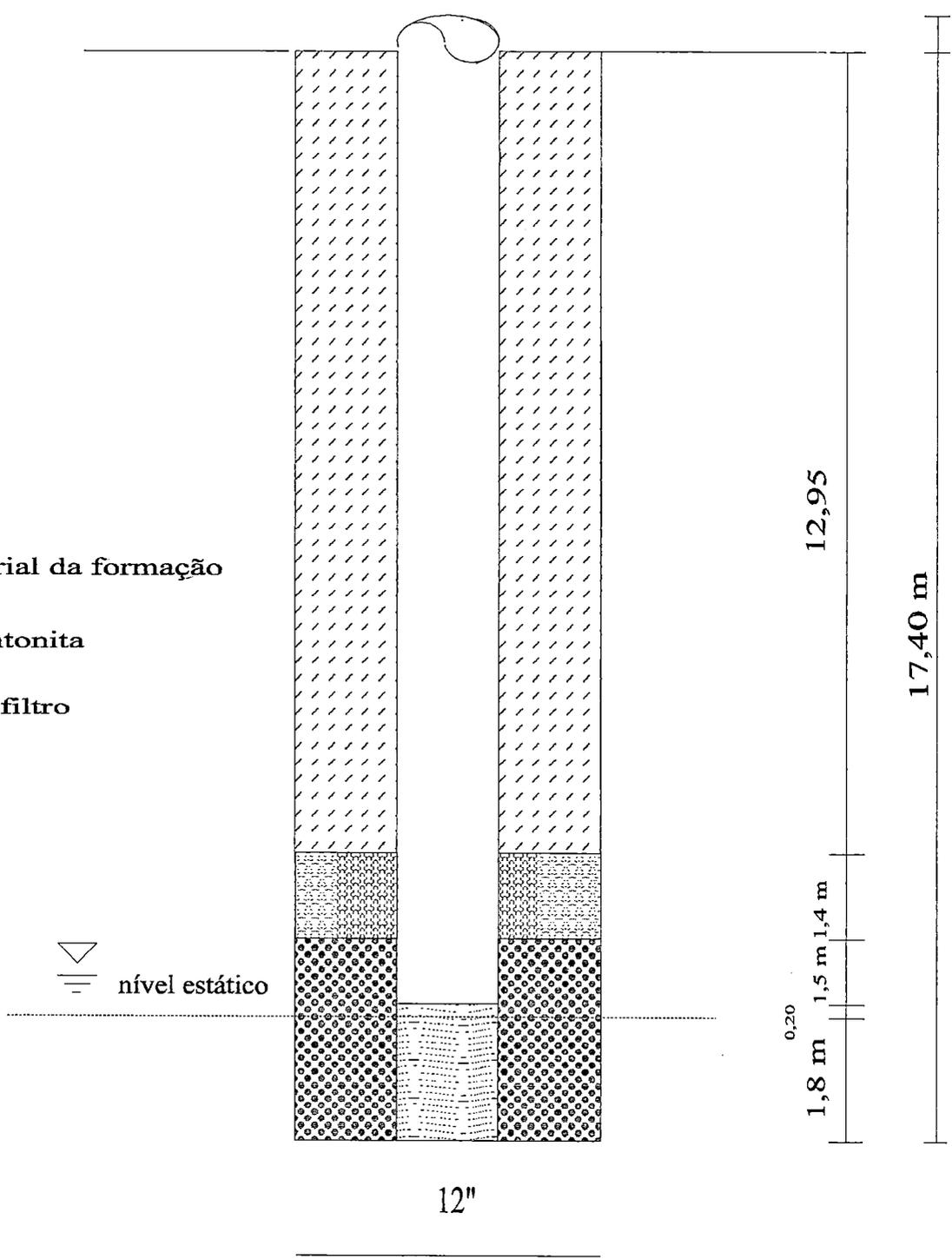
26,30 m

L 19

4"

-  material da formação
-  bentonita
-  pré-filtro

 nível estático

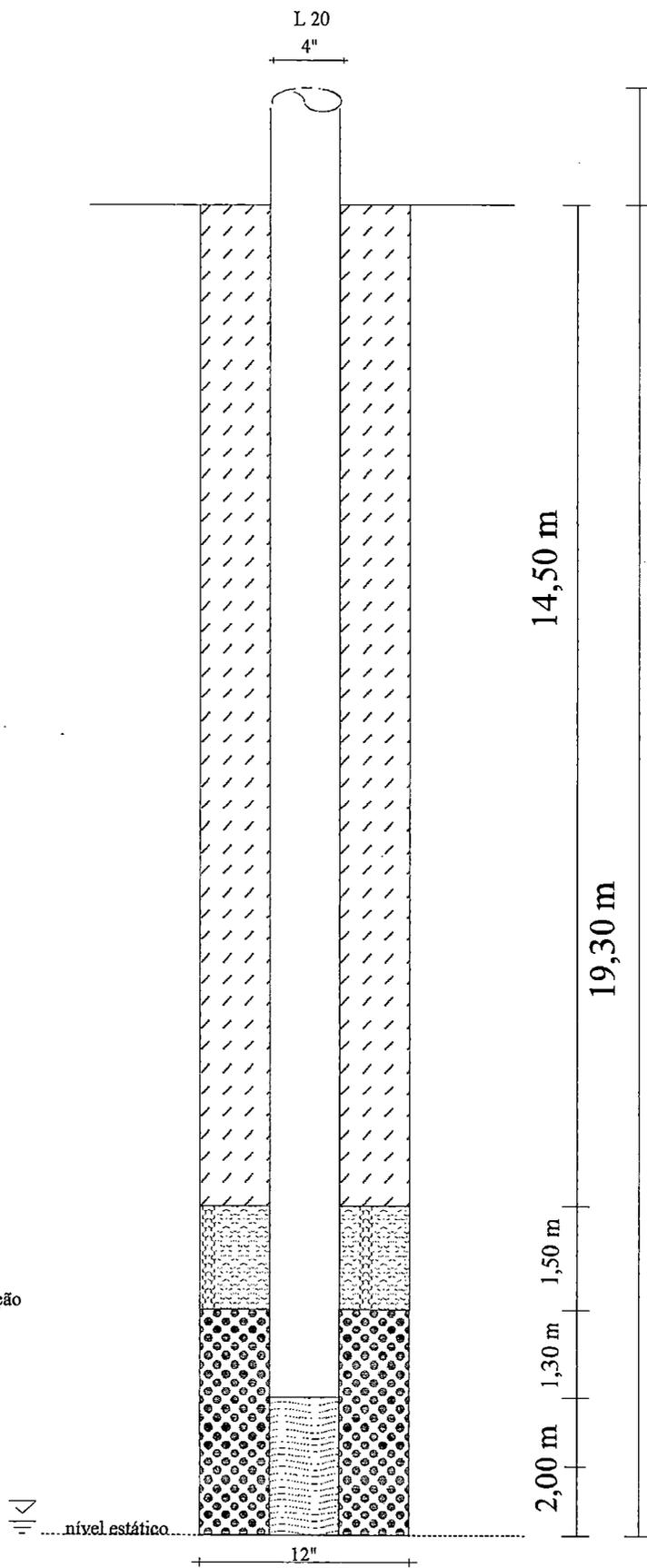


12,95
1,8 m 0,20 1,5 m 1,4 m

17,40 m

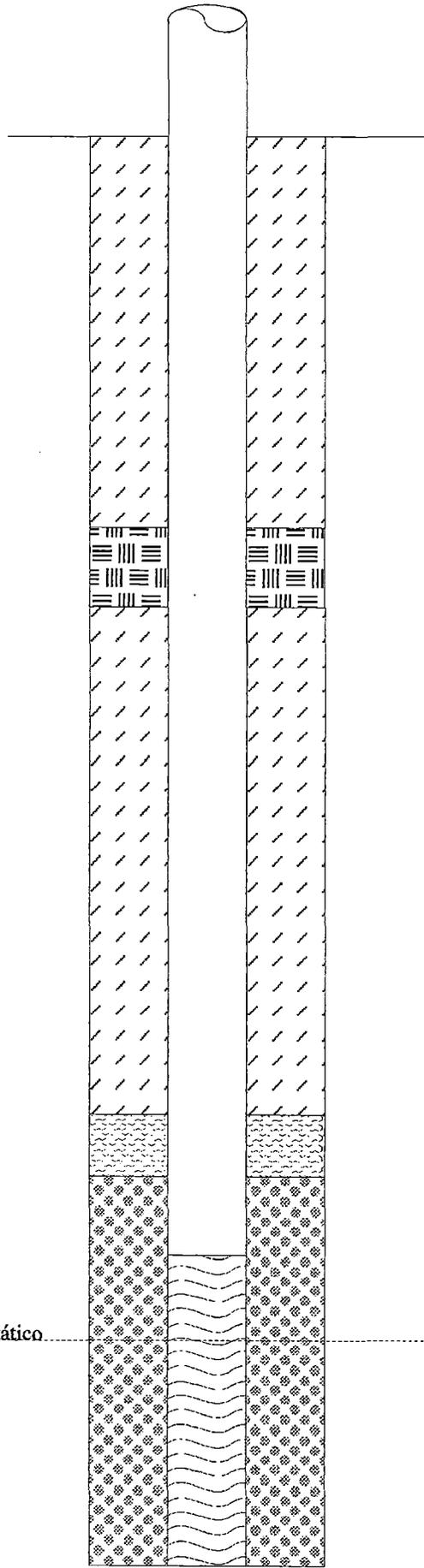
12"

-  material da formação
-  bentonita
-  pré-filtro



L 21

4"



5,00 m

1,00 m

6,00 m

18,30 m

1,10 m

1,00 m

0,80 m

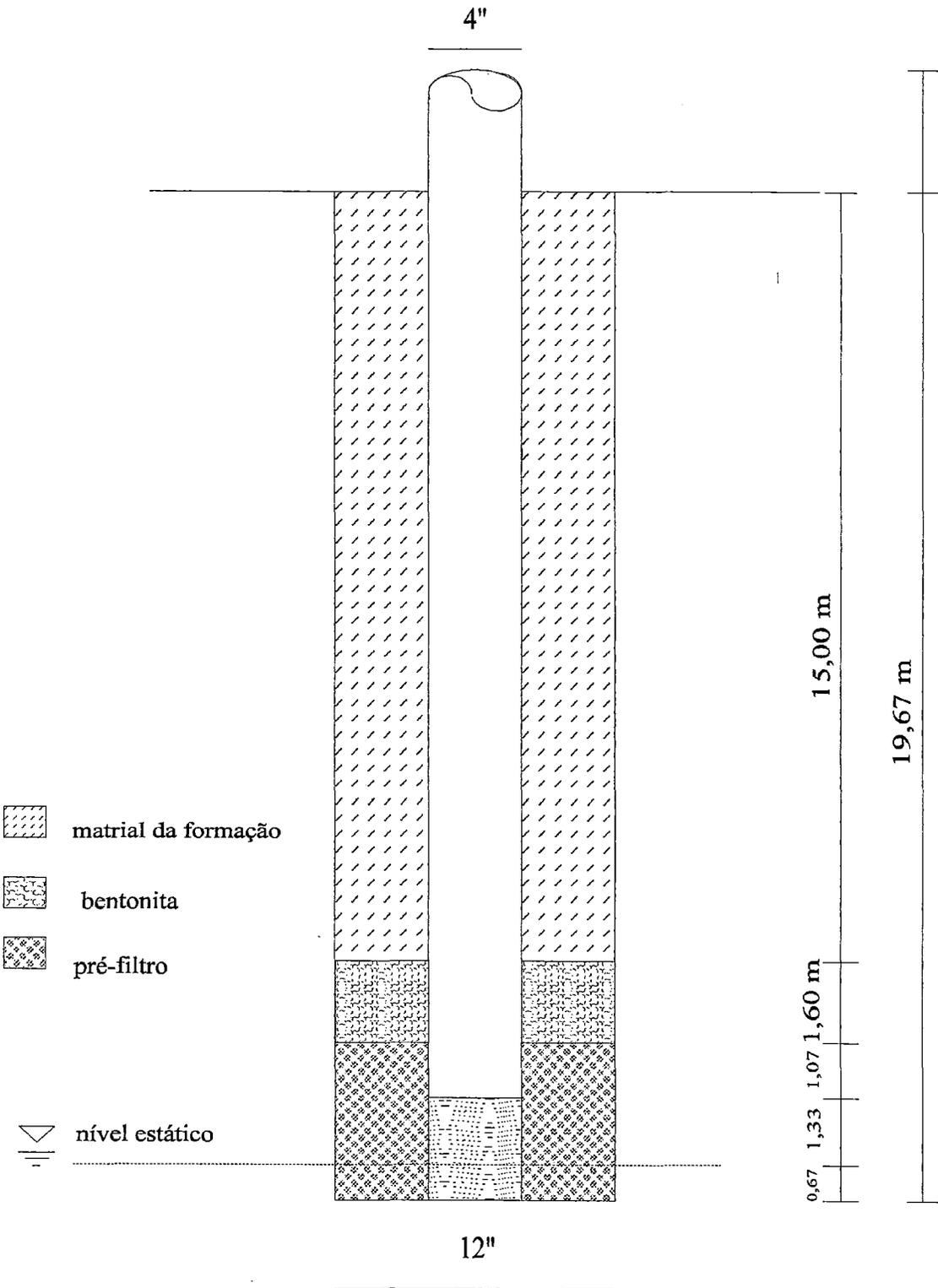
2,90 m

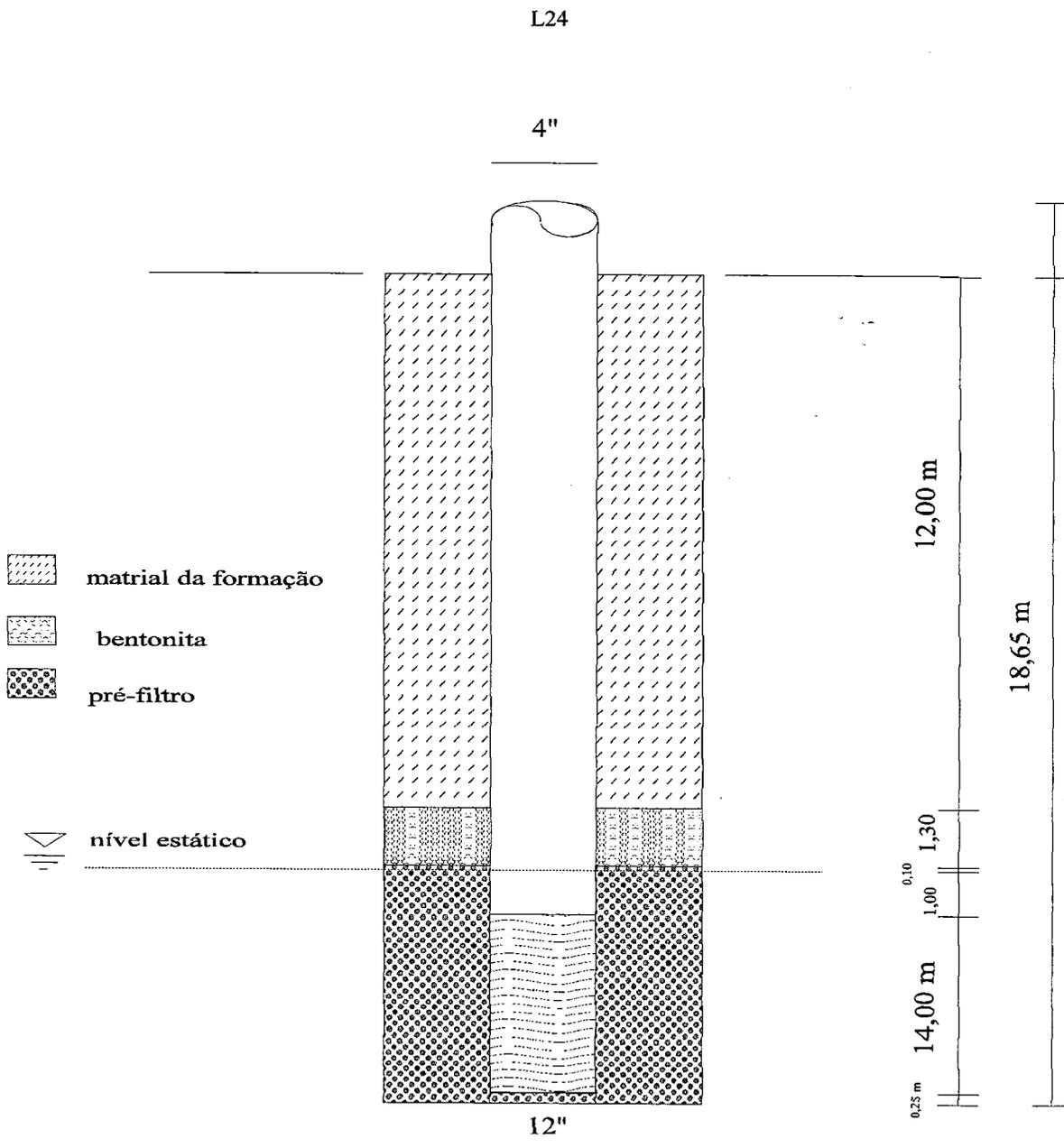
12"

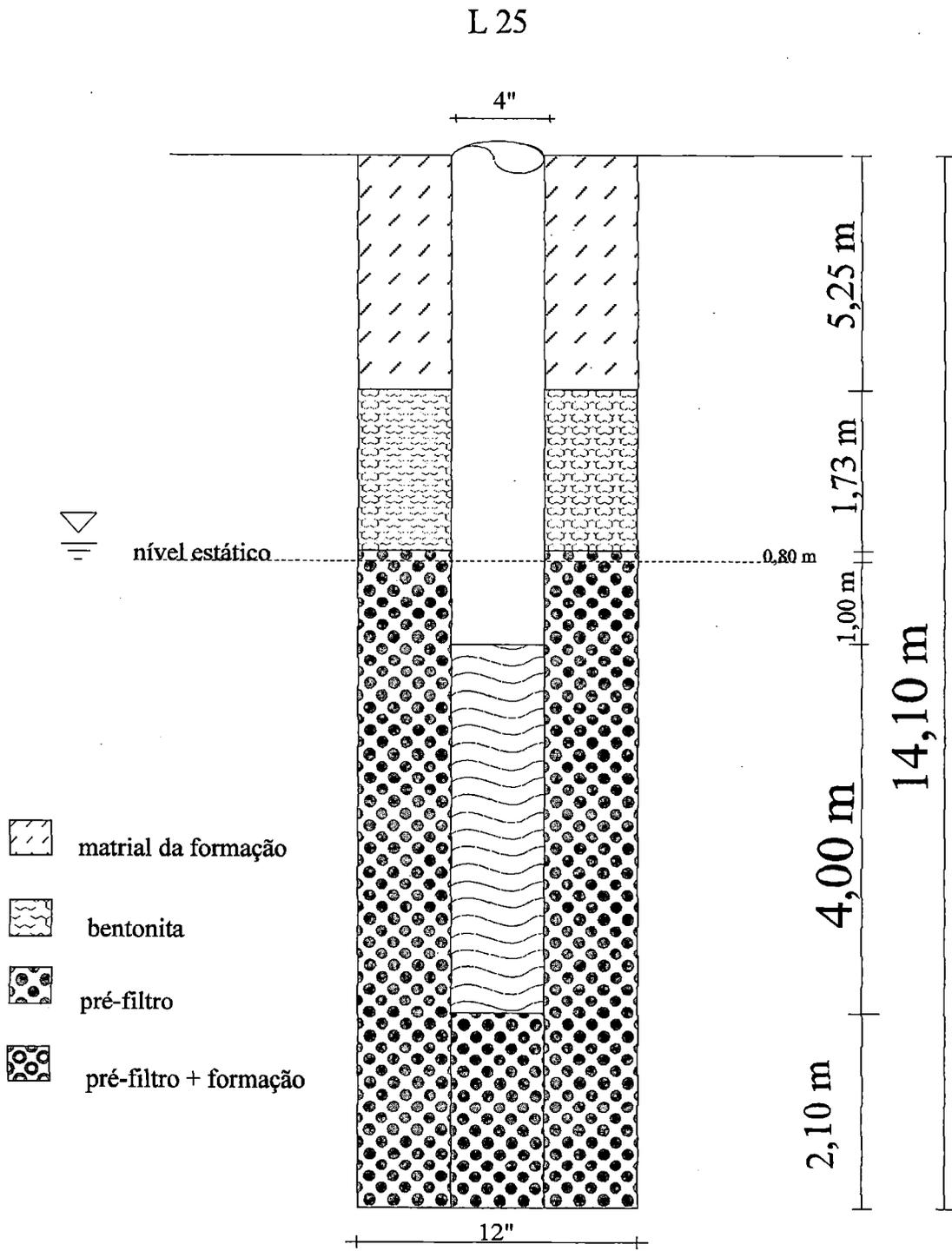
-  material da formação
-  bentonita
-  pré-filtro
-  calda de cimento


----- nível estático

L 23

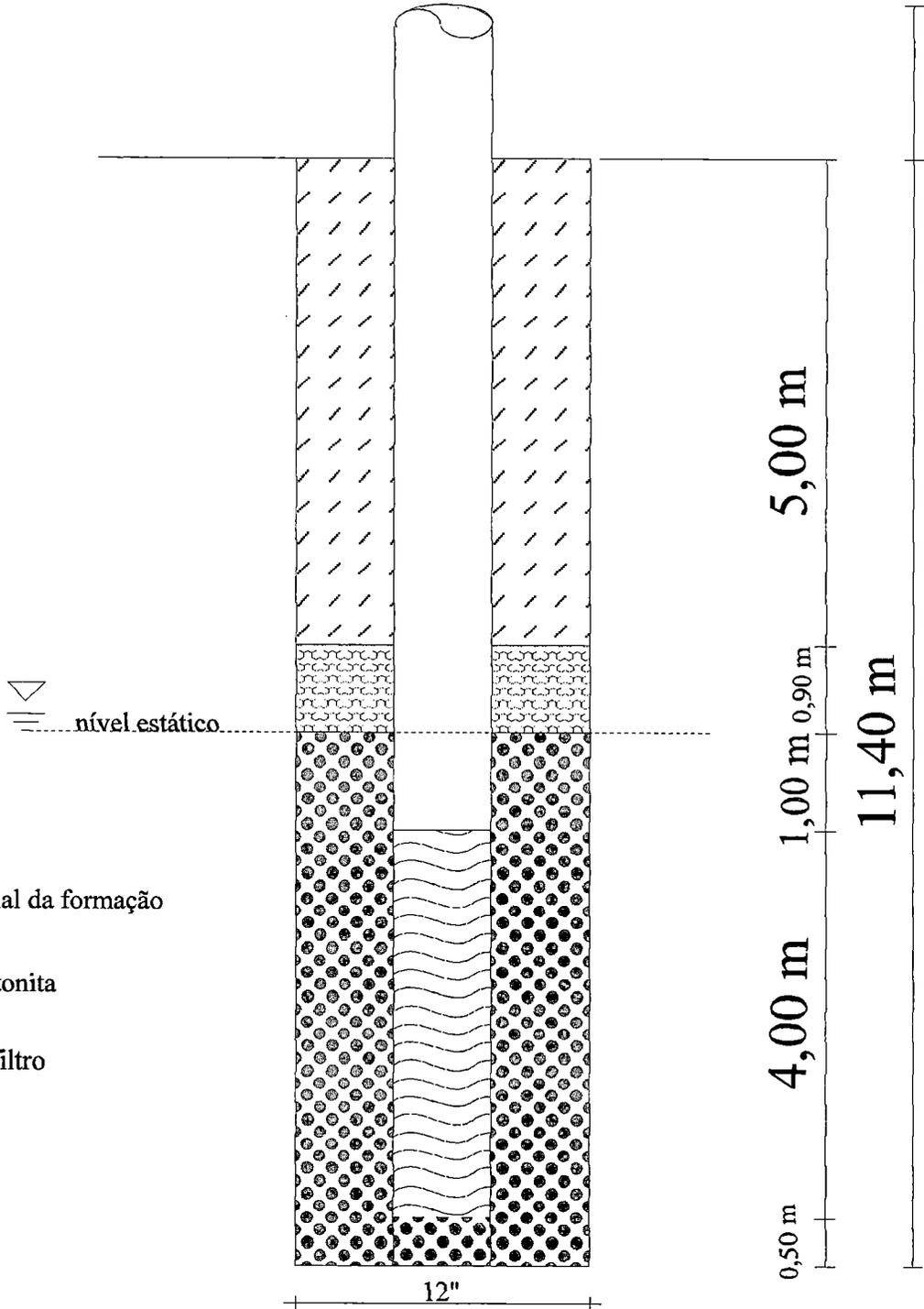






L 26

4"



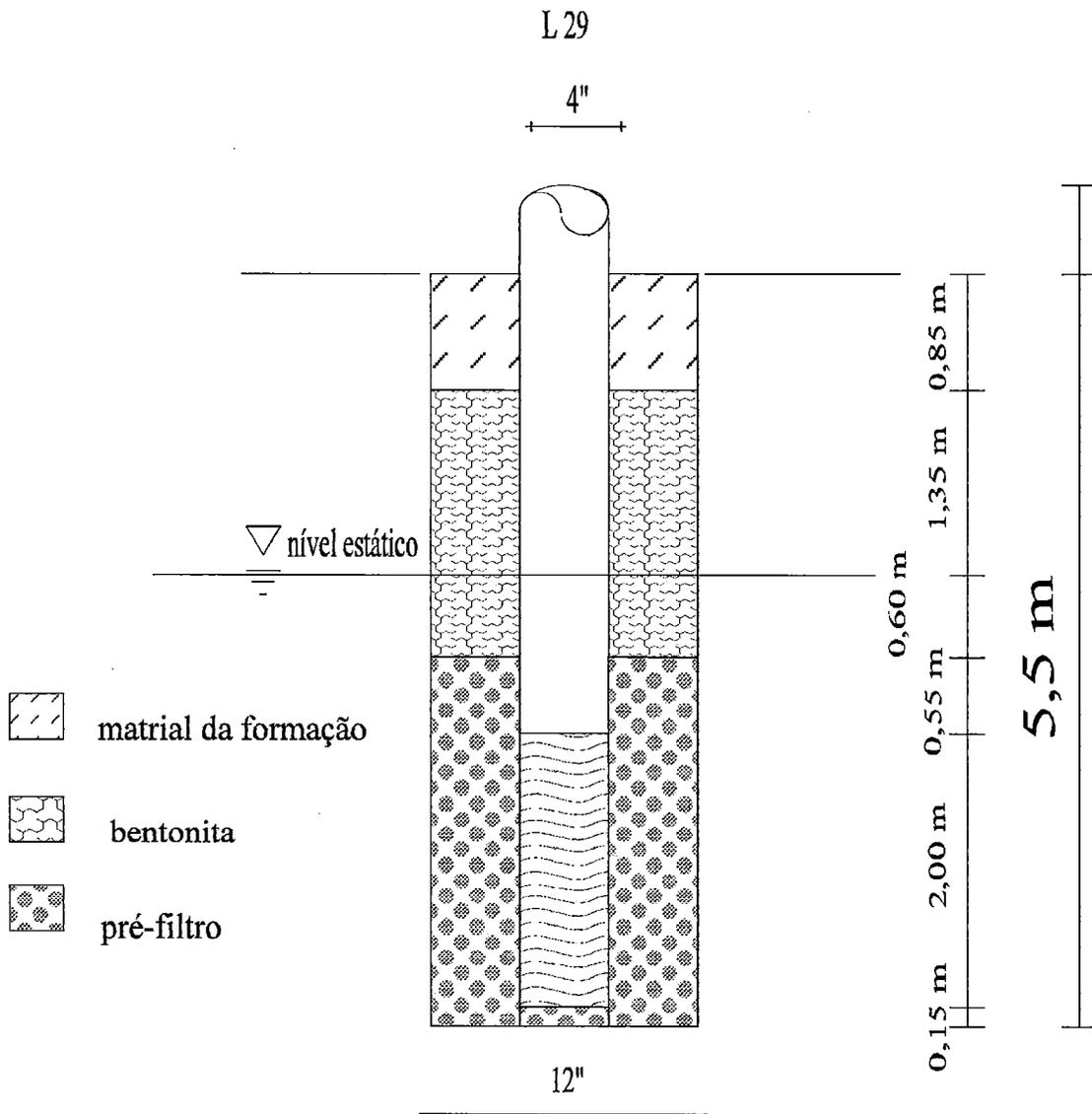
matrial da formação



bentonita



pré-filtro

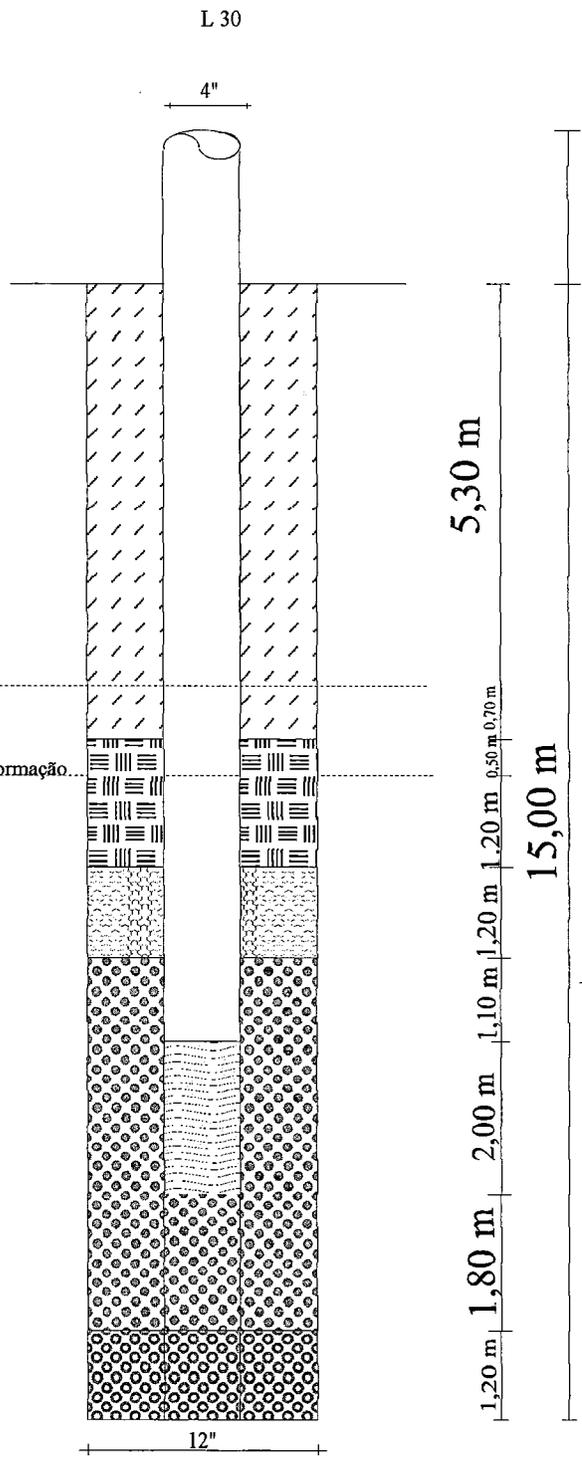


-  material da formação
-  bentonita
-  pré-filtro
-  cimento



nível estático

Contato lixo / formação



L 31

4"

Contato lixo / solo
nível estático

0,02 m

-  material da formação
-  bentonita
-  pré-filtro
-  pré-filtro + formação

6,00 m

0,50 m

1,46 m

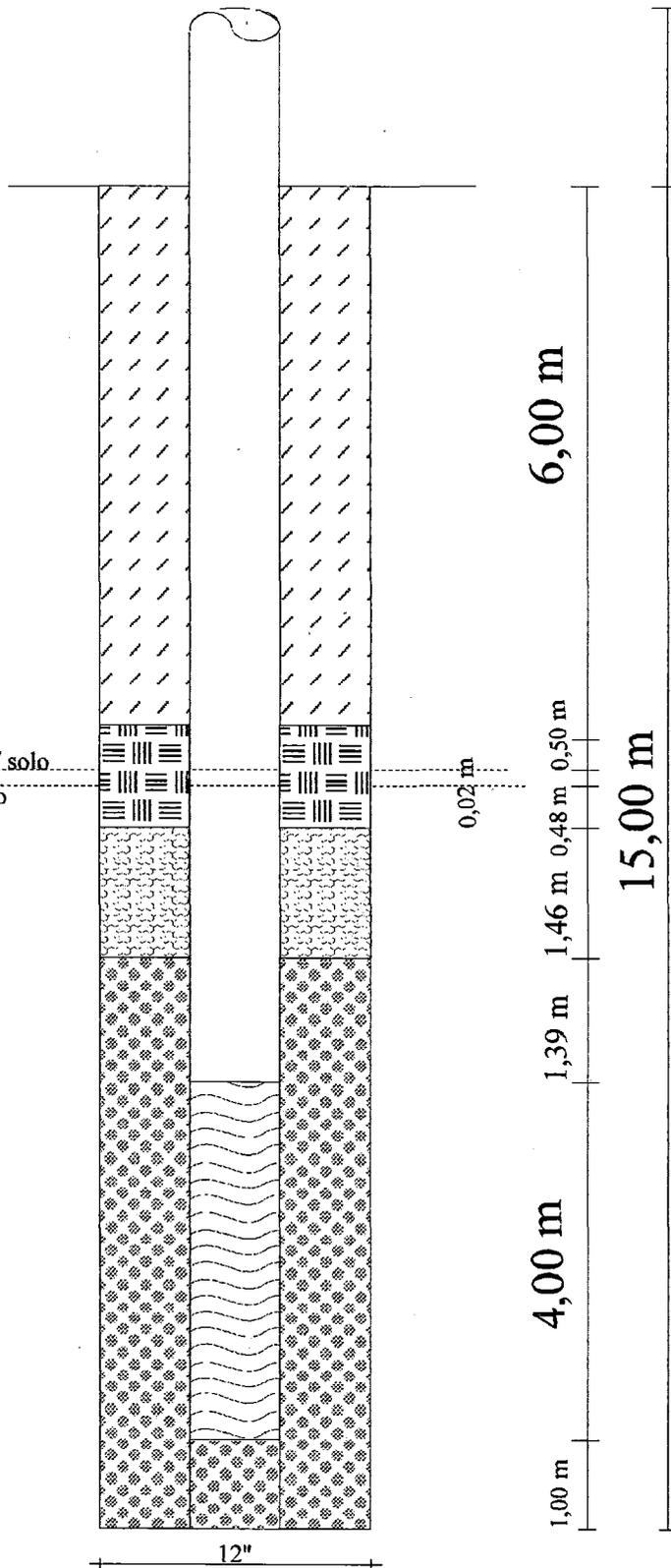
1,39 m

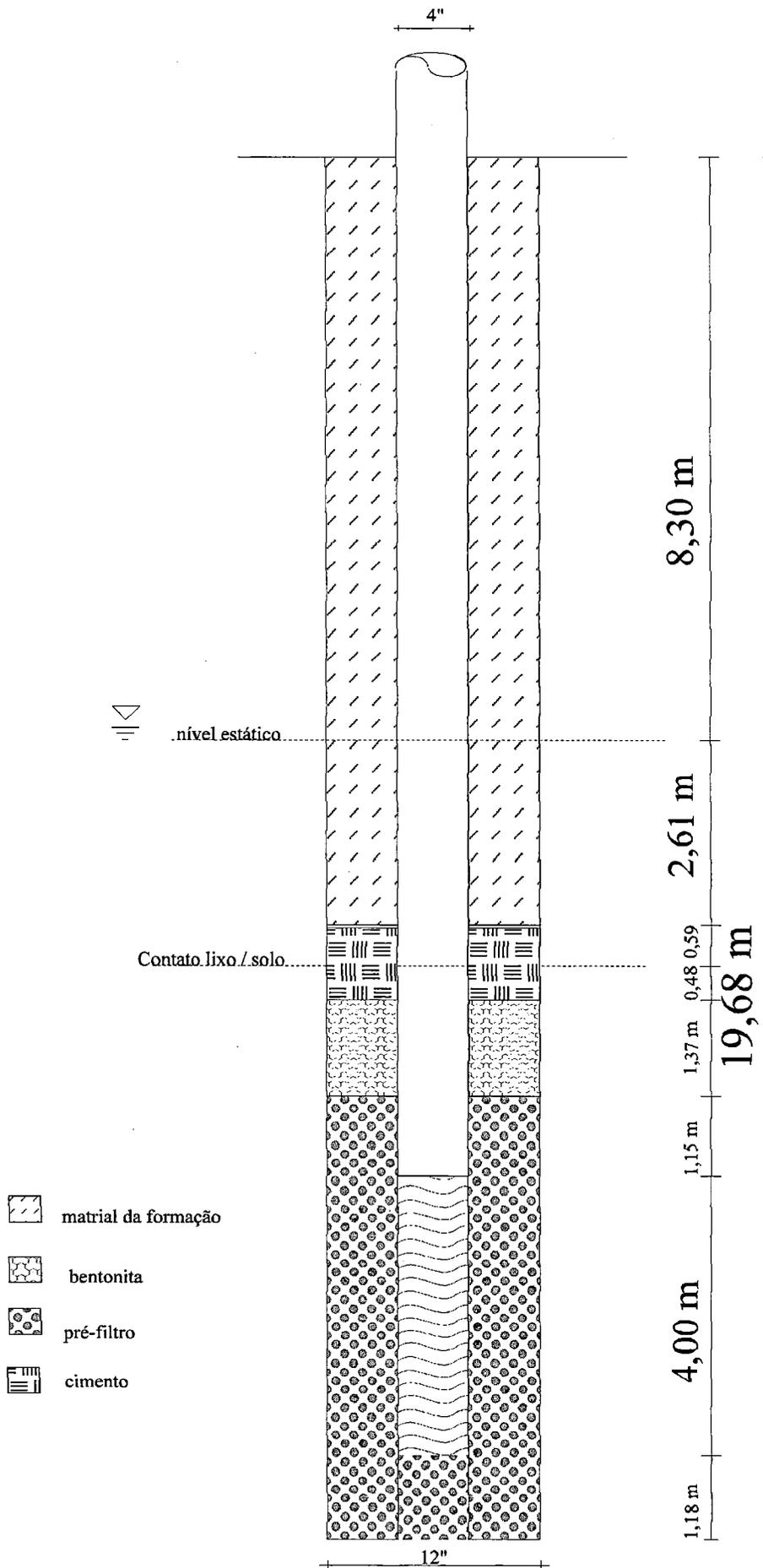
4,00 m

1,00 m

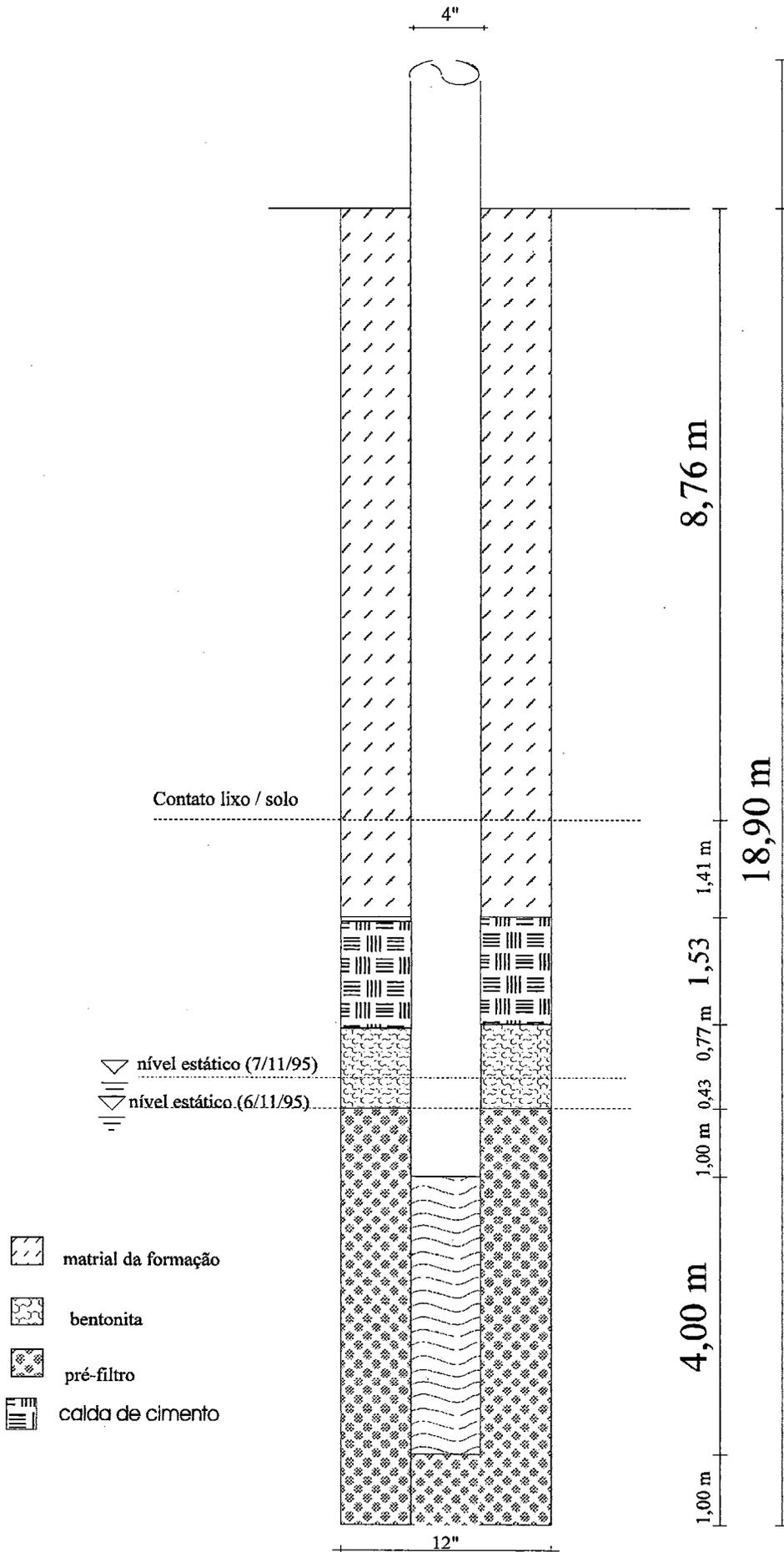
15,00 m

12"





L 33



Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP

local: lixão municipal

Poço: L 30 (poço de bombeamento)

Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Medidas Rebaixamento - 2,62 data - 25/04/95 hora - 12:16 NE- 6,45 data - 25/04/96 hora - 15:20 NE - 6,49

data	hora	tempo (min.)	ND (m)	t. hidr. (s)	vazão (l/h)	vazão (m3/h)	leitura hidr.	observação
25/4/96	15:30	0	6,49	9,48	379,75	0,38		leitura inferida
	15:31	1	7,78	9,48	379,75	0,38		do tempo
	15:32	2	8,00	9,46	380,55	0,38		leitura inferida
	15:33	3	8,11	9,44	381,36	0,38		do tempo
	15:34	4	8,17	9,07	396,91	0,40		
	15:35	5	8,23	9,33	385,85	0,39		
	15:36	6	8,29	8,91	404,04	0,40		
	15:37	7	8,31	9,20	391,30	0,39		
	15:38	8	8,34	9,16	393,01	0,39		leitura inferida
	15:39	9	8,35	9,16	393,01	0,39		do tempo
	15:40	10	8,36	9,11	395,17	0,40		
	15:42	12	8,39	9,15	393,44	0,39		leitura inferida
	15:44	14	8,39	9,15	393,44	0,39		do tempo
	15:46	16	8,41	9,15	393,44	0,39		leitura inferida
	15:48	18	8,43	9,15	393,44	0,39		do tempo
	15:51	21	8,44	9,18	392,16	0,39	29,0610	
	15:54	24	8,45	8,97	401,34	0,40		
	15:57	27	8,47	9,18	392,16	0,39		
	16:00	30	8,48	8,94	402,68	0,40		
	16:05	35	8,51	9,18	392,16	0,39		
	16:10	40	8,52	9,15	393,44	0,39		
	16:15	45	8,54	8,94	402,68	0,40		
	16:20	50	8,57	9,00	400,00	0,40		
	16:25	55	8,57	8,91	404,04	0,40		
	16:30	60	8,57	9,04	398,23	0,40	29,9160	
	16:40	70	8,58	9,24	389,61	0,39	29,9780	
	16:50	80	8,59	9,28	387,93	0,39	30,0380	
	17:00	90	8,59	9,27	388,35	0,39	30,0940	
	17:10	100	8,61	9,15	393,44	0,39	30,1550	
	17:30	120	8,63	9,30	387,10	0,39	30,2930	

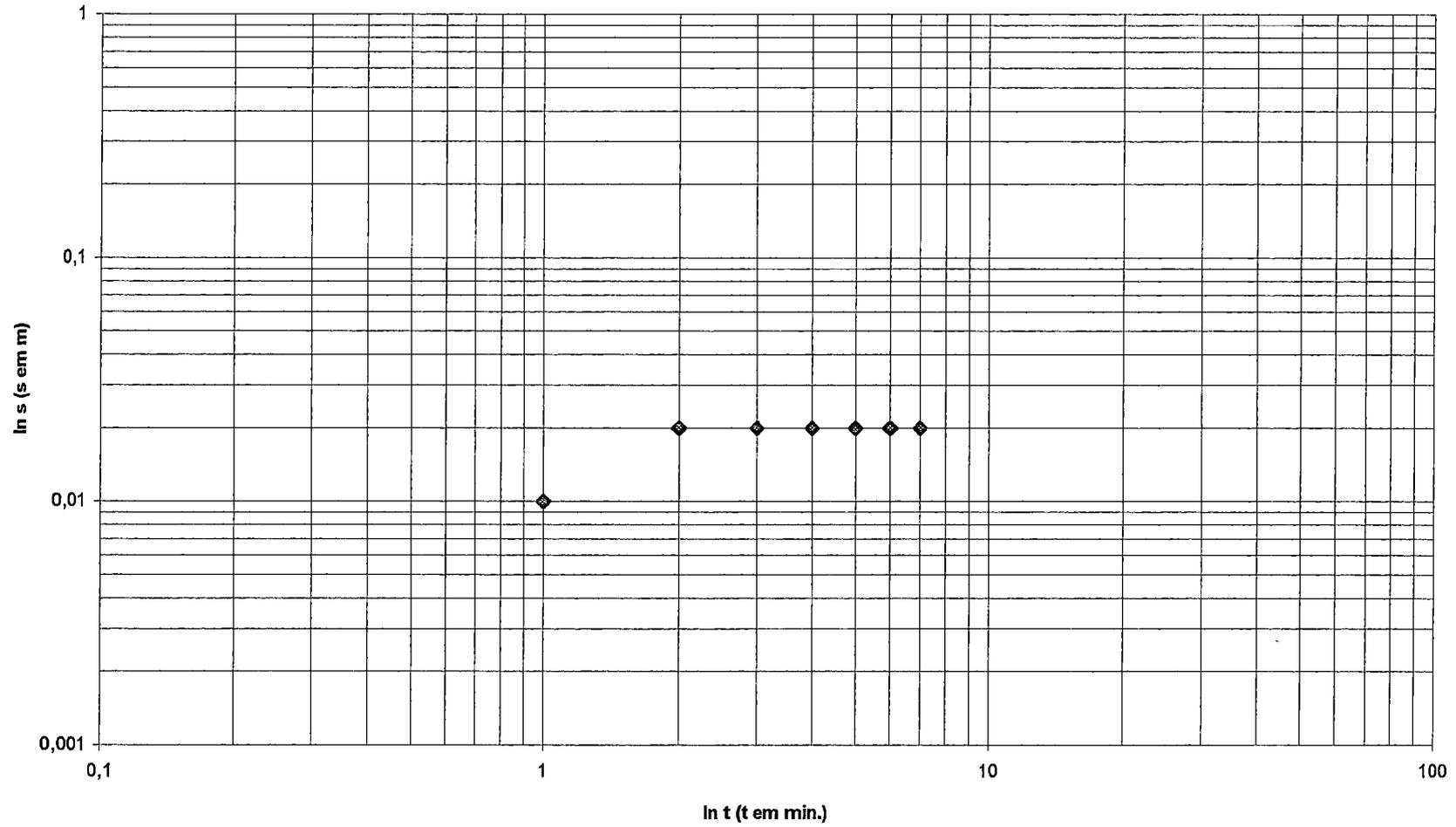
	17:50	140	8,65	9,36	384,62	0,38	30,4390	controle de vazão
	18:10	160	8,67	9,42	382,17	0,38	30,5590	
	18:30	180	8,68	9,21	390,88	0,39	30,7560	
	18:50	200	8,79	9,11	395,17	0,40	30,8430	
	19:20	230	8,79	9,18	392,16	0,39	31,0050	
	19:50	260	8,79	9,07	396,91	0,40	31,2000	
	20:30	300	8,82	9,06	397,35	0,40	31,4630	
	21:30	360	8,84	8,90	404,49	0,40	31,8560	
	22:30	420	8,87	9,07	396,91	0,40	32,7000	
	23:30	480	8,88	8,79	409,56	0,41	32,6670	
26/4/96	0:30	540	8,90	9,16	393,01	0,39	33,0520	
	1:30	600	8,93	8,53	422,04	0,42	33,4830	
	2:30	660	8,94	9,07	396,91	0,40	33,8530	
	3:30	720	8,95	8,85	406,78	0,41	34,2520	
	4:30	780	8,99	8,72	412,84	0,41	34,6400	
	5:30	840	8,99	8,94	402,68	0,40	35,0400	
	6:30	900	9,02	8,79	409,56	0,41	35,4350	
	7:30	960	9,03	8,96	401,79	0,40	35,8460	
	8:30	1020	9,04	8,89	404,95	0,40	36,2490	
	9:30	1080	9,06	8,77	410,49	0,41	36,6530	
	10:30	1140	9,06	8,42	427,55	0,43	37,0590	
	11:30	1200	9,06	8,92	403,59	0,40	37,4500	
	12:30	1260	9,06	8,94	402,68	0,40	37,8540	
	13:30	1320	9,06	9,05	397,79	0,40	38,2690	
	14:30	1380	9,06	8,93	403,14	0,40	38,6540	
	15:30	1440	9,06	8,89	404,95	0,40	39,0650	
	17:30	1560	9,06	8,98	400,89	0,40	15793	
	19:30	1680	9,08	9,03	398,67	0,40	55314	
	21:30	1800	9,09	9,14	393,87	0,39	75124	
	23:30	1920	9,09	9,17	392,58	0,39	27924	
27/4/96	1:30	2040	9,08	9,23	390,03	0,39	36834	
	3:30	2160	9,08	9,19	391,73	0,39	83544	
	5:30	2280	9,09	9,12	394,74	0,39	23354	
	7:30	2400	9,10	9,05	397,79	0,40	42164	
	9:30	2520	9,11	9,19	391,73	0,39	4667	
média dos valores de vazão medidos em campo:				9,08	385,74	0,39		

Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP local: lixão municipal Poço: L 29
Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP
Rebaixamento: 2 cm data - 25/04/96 hora - 15:00 NE- 2,83

data	hora	tempo (min.)	ND (m)
25/04/96	15:40	0	2,83
	16:03	23	2,83
	16:27	47	2,83
	16:45	65	2,83
	17:04	84	2,83
	17:27	107	2,83
	17:58	138	2,84
	18:31	171	2,83
	19:25	225	2,83
	20:35	295	2,83
	21:32	353	2,83
	22:36	417	2,83
	23:36	477	2,83
26/04/96	00:34	535	2,83
	01:39	600	2,83
	02:36	657	2,83
	03:35	716	2,83
	04:35	776	2,83
	05:35	836	2,84
	06:33	894	2,84
	07:33	954	2,85
	08:34	1013	2,85
	09:37	1076	2,85
	10:32	1131	2,85
	11:34	1193	2,85
	12:30	1249	2,85
	13:30	1309	2,84
	14:30	1369	2,84
	15:32	1431	2,83
	17:25	1544	2,84
	19:30	1669	2,85
	21:31	1790	2,85
	23:33	1912	2,84
28/04/96	01:41	2043	2,84
	03:53	2175	2,84
	05:33	2295	2,84
	07:35	2417	2,84
	09:32	2534	2,84

Poço L 29 - observação

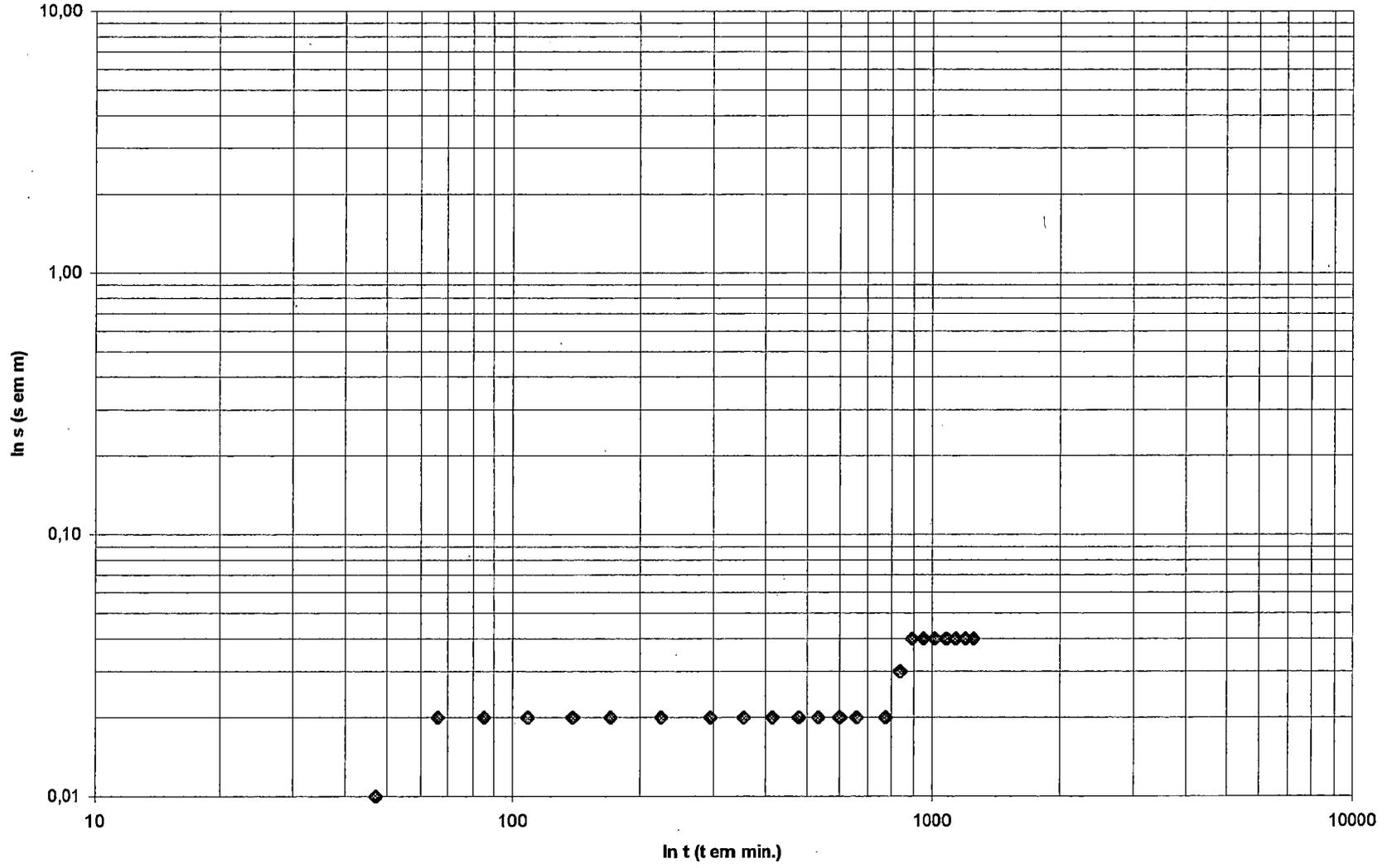


Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP local: lixão municipal Poço: L 28
Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP
Rebaixamento: 4 cm data - 25/04/96 hora - 15:00

data	hora	tempo (min.)	ND (m)
25/04/96	15:41	0	1,87
	16:05	24	1,86
	16:28	47	1,87
	16:47	66	1,88
	17:06	85	1,88
	17:29	108	1,88
	18:00	139	1,88
	18:32	171	1,88
	19:27	226	1,88
	20:36	295	1,88
	21:34	353	1,88
	22:37	416	1,88
	23:38	477	1,88
26/04/96	00:35	534	1,88
	01:41	600	1,88
	02:37	656	1,88
	03:37	716	1,87
	04:36	775	1,88
	05:36	835	1,89
	06:34	893	1,90
	07:34	953	1,90
	08:35	1014	1,90
	09:38	1077	1,90
	10:33	1132	1,90
	11:35	1194	1,90
	12:31	1250	1,90
	13:33	1308	1,89
	14:31	1366	1,89
	15:36	1421	1,88
	17:26	1531	1,89
	19:32	1657	1,89
	21:33	1778	1,90
	23:35	1900	1,90
28/04/96	1:44	2029	1,89
	3:55	2160	1,89
	5:36	2261	1,89
	7:37	2382	1,89
	9:34	2499	1,89

Poço L 28 - observação



Medidas de Teste de Bombeamento

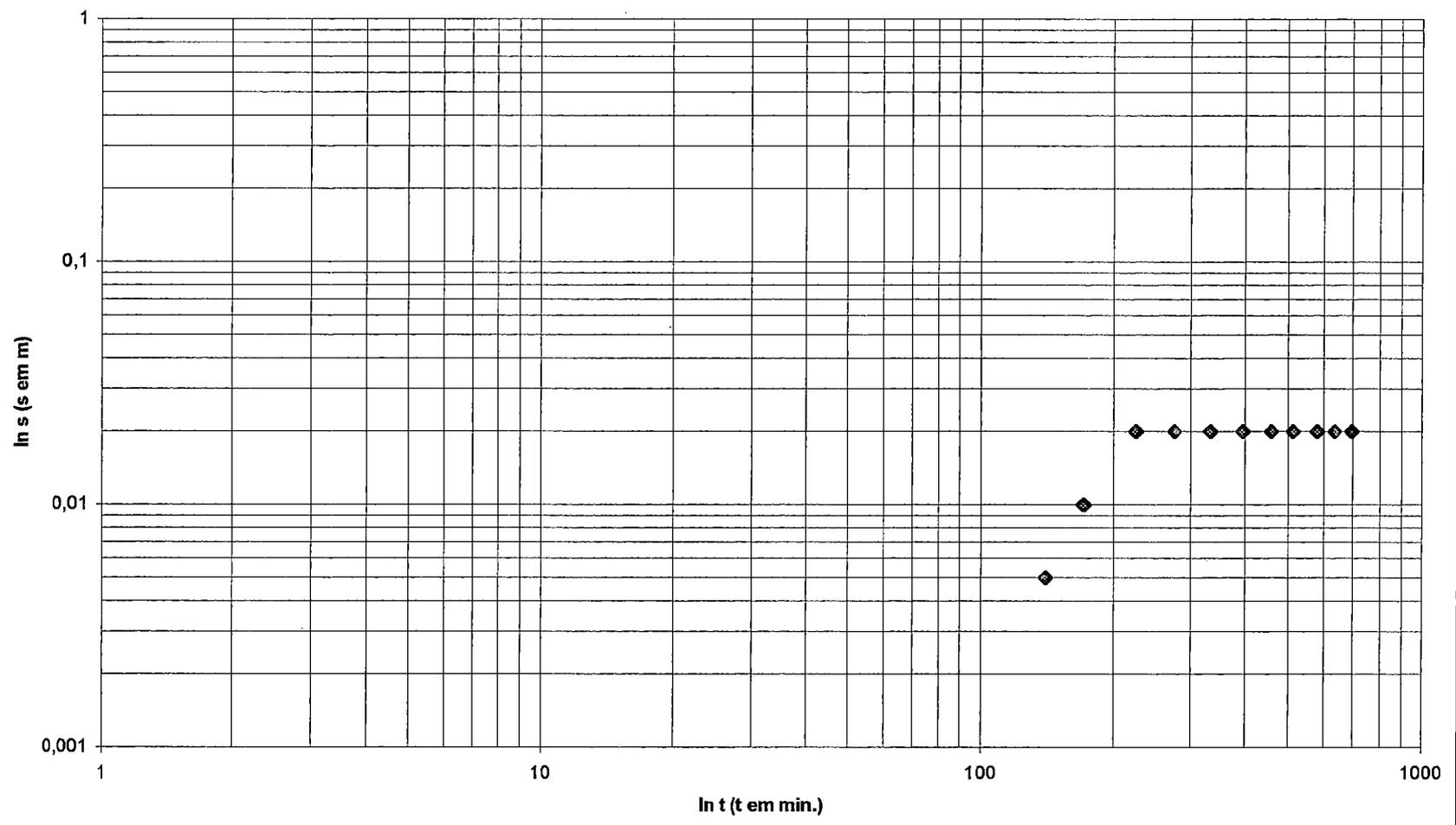
Município: São Carlos local: lixão municipal Poço: L 27

Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Rebaixamento: 4cm data - 25/04/96 hora - 15:00 NE- 3,64

data	hora	tempo (min.)	ND (m)
25/04/96	15:43	0	3,64
	16:07	24	3,64
	16:29	46	3,64
	16:48	65	3,64
	17:07	84	3,64
	17:30	107	3,64
	18:01	138	3,64
	18:34	171	3,65
	19:28	225	3,66
	20:38	275	3,66
	21:35	332	3,66
	22:38	395	3,66
	23:39	456	3,66
	00:36	513	3,66
	01:42	579	3,66
	02:38	635	3,66
	03:39	696	3,66
	04:38	755	3,67
	05:38	815	3,67
	06:35	870	3,68
	07:35	930	3,68
	08:36	991	3,68
	09:40	1055	3,67
	10:34	1109	3,67
	11:36	1171	3,67
	12:33	1228	3,66
	13:35	1290	3,66
	14:33	1348	3,66
	15:37	1412	3,66
	17:28	1523	3,67
	19:35	1650	3,68
	21:34	1769	3,67
	23:37	1892	3,67
28/04/96	01:48	2023	3,67
	03:57	2152	3,67
	05:38	2253	3,67
	07:38	2373	3,67
	09:35	2490	3,67

Poço L 27 - observação

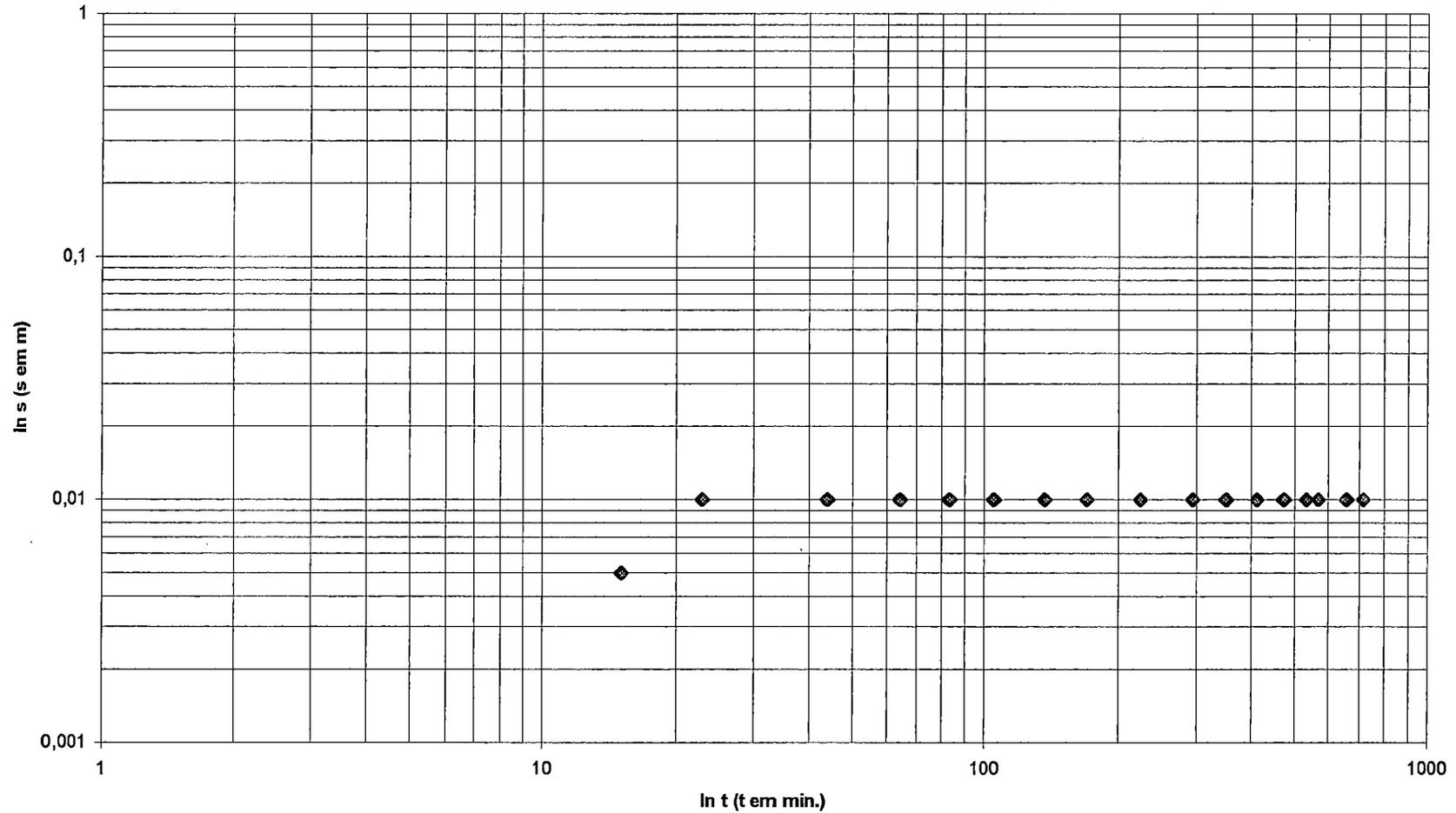


Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP local: lixão municipal Poço: L 26
 Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP
 Rebaixamento: 2 cm data - 25/04/96 hora - 15:00 NE- 6,31

data	hora	tempo (min.)	ND (m)
25/04/96	15:46	0	6,31
	16:09	23	6,32
	16:30	44	6,32
	16:50	64	6,32
	17:09	83	6,32
	17:31	105	6,32
	18:03	137	6,32
	18:36	170	6,31
	19:30	224	6,32
	20:40	294	6,32
	21:37	351	6,32
	22:39	413	6,32
	23:40	474	6,32
	26/04/96	00:38	532
01:43		568	6,32
02:40		655	6,32
03:40		715	6,32
04:40		775	6,33
05:40		835	6,32
06:36		891	6,33
07:36		951	6,33
08:38		1013	6,33
09:41		1076	6,33
10:36		1131	6,33
11:38		1193	6,33
12:34		1249	6,33
13:36		1311	6,32
14:34	1369	6,32	
15:39	1434	6,33	
17:30	1545	6,32	
19:37	1672	6,33	
21:38	1793	6,33	
23:39	1914	6,33	
28/04/96	01:51	2046	6,32
	04:00	2175	6,33
	05:41	2276	6,33
	07:41	2396	6,33
	09:37	2512	6,33

Poço L 26 - observação



Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - local: lixão municipal

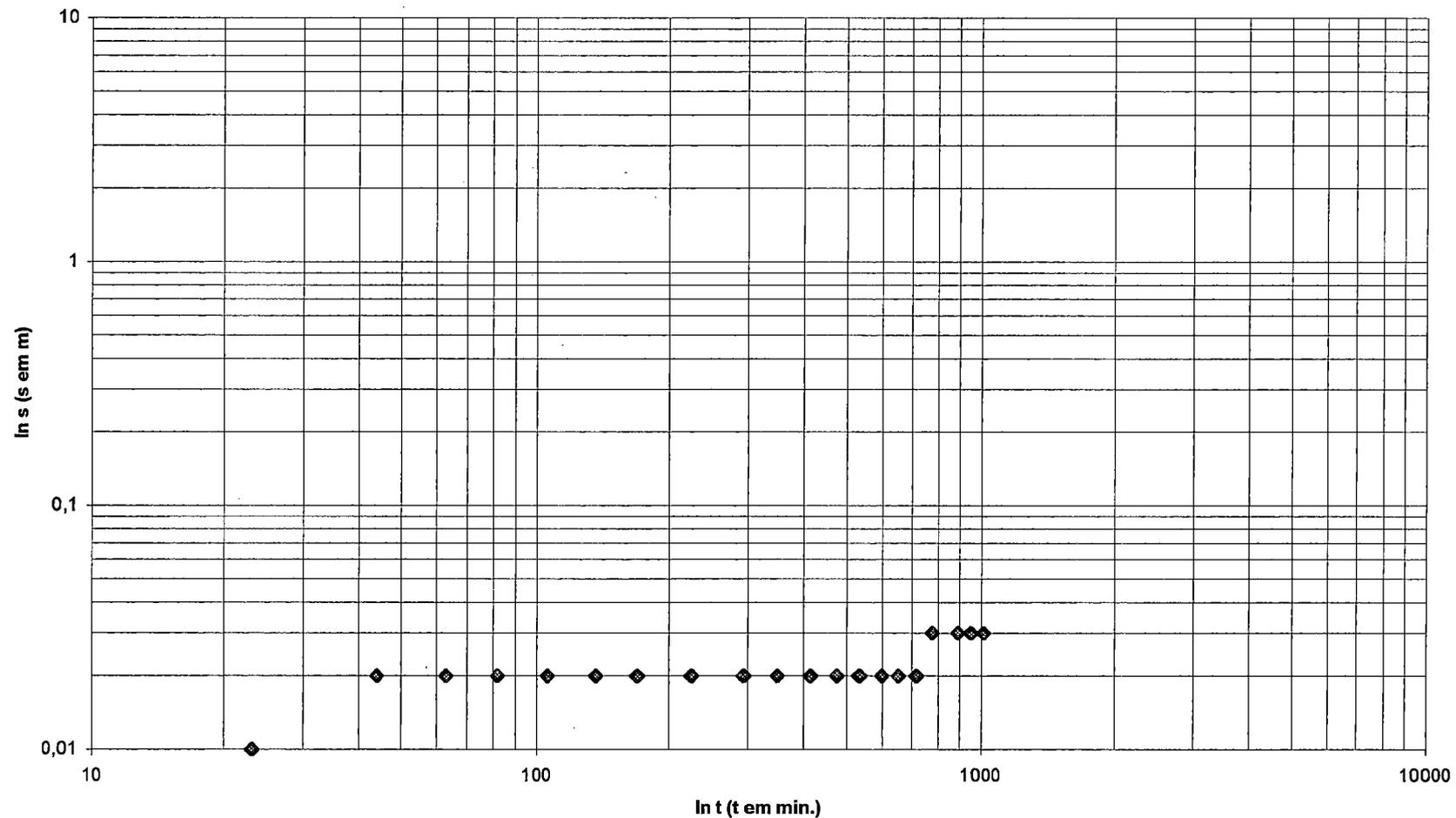
Poço: L 25

Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Rebaixamento: 3 cm data - 25/04/96 hora - 15:00 NE- 6,42

data	hora	tempo (min.)	ND (m)
25/04/96	15:49	0	6,43
	16:12	23	6,43
	16:33	44	6,44
	16:52	63	6,44
	17:11	82	6,44
	17:35	106	6,44
	18:05	136	6,44
	18:38	169	6,44
	19:33	224	6,44
	20:43	294	6,44
	21:39	350	6,44
	22:42	413	6,44
	23:43	475	6,44
26/04/96	00:40	532	6,44
	01:46	598	6,44
	02:42	654	6,44
	03:43	715	6,44
	04:43	775	6,45
	05:42	834	6,44
	06:39	891	6,45
	07:38	950	6,45
	08:40	1012	6,45
	09:44	1076	6,45
	10:38	1130	6,45
	11:40	1192	6,45
	12:36	1248	6,45
	13:39	1311	6,45
	14:36	1368	6,45
	15:41	1433	6,44
	17:30	1544	6,42
	19:37	1665	6,43
	21:38	1786	6,43
	23:39	1907	6,43
28/04/96	01:51	2039	6,42
	04:00	2168	6,43
	05:41	2269	6,43
	07:41	2389	6,43
	09:37	2505	6,43

Poço L 25 - observação



Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP

local: lixão municipal

Poço: L 31

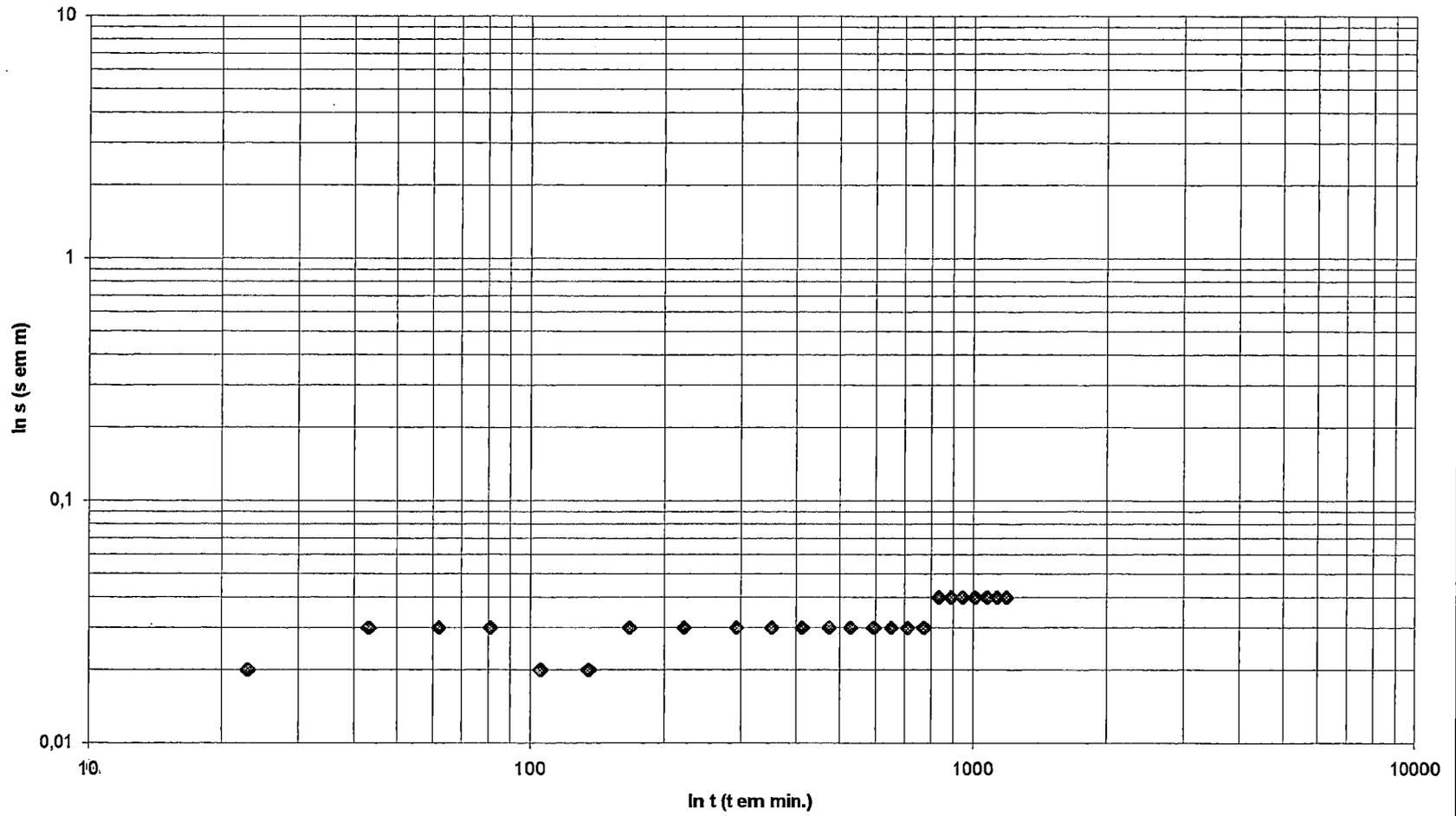
Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Rebaixamento: 2 cm

data - 25/04/ hora - 15:00 NE- 7,33

data	hora	tempo (min.)	ND (m)
25/04/96	15:53	0	7,34
	16:16	23	7,35
	16:36	43	7,36
	16:55	62	7,36
	17:14	81	7,36
	17:38	105	7,35
	18:08	135	7,35
	18:41	168	7,36
	19:36	223	7,36
	20:46	293	7,36
	21:43	350	7,36
	22:46	413	7,36
	23:46	473	7,36
26/04/96	00:44	531	7,36
	01:49	596	7,36
	02:45	652	7,36
	03:46	713	7,36
	04:46	773	7,36
	05:46	833	7,37
	06:42	889	7,37
	07:41	948	7,37
	08:43	1010	7,37
	09:46	1073	7,37
	10:41	1128	7,37
	11:43	1190	7,37
	12:40	1247	7,36
	13:42	1309	7,36
	14:40	1367	7,36
	15:45	1432	7,36
	17:36	1543	7,35
	19:44	1671	7,365
	21:45	1792	7,373
	23:45	1912	7,362
27/04/96	02:01	2047	7,348
	04:07	2173	7,363
	05:48	2274	7,365
	07:48	2394	7,365
	09:42	2510	7,366

Poço L 31 - observação



Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP local: lixão municipal Poço: L 15
 Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP
 Rebaixamento: 4 cm data - 25/04/96 hora - 15:00 NE-7,91

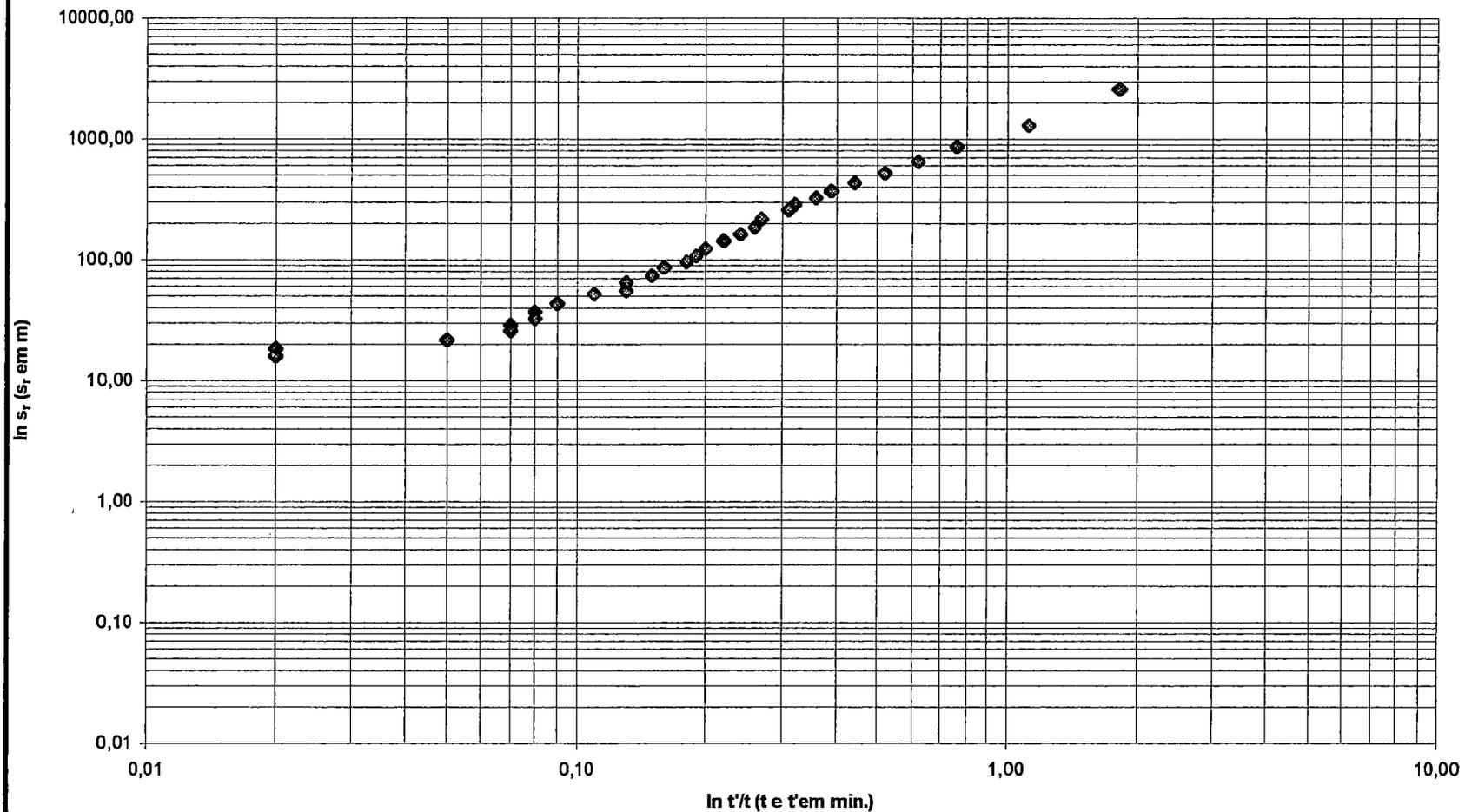
data	hora	tempo (min.)	ND (m)	rebaixamento
25/04/96	15:56	0	7,91	0
	16:18	22	7,92	0,01
	16:38	42	7,92	0,01
	16:58	62	7,92	0,01
	17:16	80	7,92	0,01
	17:40	104	7,92	0,01
	18:11	135	7,92	0,01
	18:43	167	7,93	0,02
	19:39	223	7,93	0,02
	20:49	293	7,93	0,02
	21:45	349	7,93	0,02
	22:41	405	7,93	0,02
	23:49	470	7,93	0,02
26/04/96	00:47	528	7,93	0,02
	01:52	593	7,93	0,02
	02:48	649	7,93	0,02
	03:48	709	7,93	0,02
	04:50	771	7,94	0,03
	05:49	830	7,94	0,03
	06:44	885	7,95	0,04
	07:44	945	7,95	0,04
	08:45	1006	7,95	0,04
	09:48	1069	7,95	0,04
	10:43	1124	7,95	0,04
	11:45	1186	7,95	0,04
	12:43	1244	7,94	0,03
	13:44	1305	7,93	0,02
	14:42	1363	7,93	0,02
	15:50	1431	7,93	0,02
	17:41	1542	7,93	0,02
	19:48	1669	7,945	0,035
	21:50	1791	7,955	0,045
	23:49	1910	7,942	0,032
28/04/96	02:07	2048	7,938	0,028
	04:11	2172	7,93	0,02
	05:52	2273	7,935	0,025
	07:53	2194	7,947	0,037
	09:45	2506	7,948	0,038

Medidas de Teste de Recuperação

Município: São Carlos - SP local: lixão municipal Poço: L 30
 Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP
 Medidas Recuperação: 2,60 m data - 27/04/ hora - 9:30 ND - 9,11

data	hora	tempo (min.)	ND (m)	REBAIXAMENTO	t'/t
RRESIDUAL					
27/04/96	10:55	0	9,11		
	10:56	1	8,31	1,82	2606,00
	10:57	2	7,61	1,12	1303,00
	10:58	3	7,25	0,76	868,67
	10:59	4	7,11	0,62	651,50
	11:00	5	7,01	0,52	521,20
	11:01	6	6,93	0,44	434,33
	11:02	7	6,88	0,39	372,29
	11:03	8	6,85	0,36	325,75
	11:04	9	6,81	0,32	289,56
	11:05	10	6,80	0,31	260,60
	11:07	12	6,76	0,27	217,17
	11:09	14	6,75	0,26	186,14
	11:11	16	6,73	0,24	162,88
	11:13	18	6,71	0,22	144,78
	11:16	21	6,69	0,20	124,10
	11:19	24	6,68	0,19	108,58
	11:22	27	6,67	0,18	96,52
	11:25	30	6,65	0,16	86,87
	11:30	35	6,64	0,15	74,46
	11:35	40	6,62	0,13	65,15
	11:43	47	6,62	0,13	55,45
	11:46	50	6,60	0,11	52,12
	11:56	60	6,58	0,09	43,43
12:06	70	6,57	0,08	37,23	
12:16	80	6,57	0,08	32,58	
12:26	90	6,56	0,07	28,96	
12:36	100	6,56	0,07	26,06	
12:56	120	6,54	0,05	21,72	
13:17	141	6,51	0,02	18,48	
13:39	163	6,51	0,02	15,99	
	13:56	180			
	14:26	210			
	14:56	240			

L 30 - Teste de Recuperação



Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP

local: lixão municipal

Poço: L 32 (poço de bombeamento)

Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Medidas Rebaixamento - 4,785 m data - 08/05/96 hora - 16:38 NE - 8,65 m

data	hora	tempo (min.)	ND (m)	t. hidr. (s)	vazão (l/h)	vazão (m3/h)	leitura hidr.	observação
08/05/96	17:00	0	8,650	6,10	590,164	0,590	47,4646	
	17:01	1	10,730	5,98	602,007	0,602	47,4795	
	17:02	2	11,335	6,13	587,276	0,587	47,4965	
	17:03	3	11,710	6,03	597,015	0,597	47,5090	
	17:04	4	11,870	6,03	597,015	0,597		
	17:05	5	12,000	5,99	601,002	0,601		
	17:06	6	12,070	6,11	589,198	0,589	47,5210	
	17:07	7	12,180	6,28	573,248	0,573	47,5330	
	17:08	8	12,250	6,35	566,929	0,567	47,5430	
	17:09	9	12,340	6,13	587,276	0,587		
	17:10	10	12,375	6,19	581,583	0,582	47,5605	
	17:12	12	12,465	6,04	596,026	0,596	47,5800	
	17:14	14	12,520	6,25	576,000	0,576	47,6070	
	17:16	16	12,565	6,12	588,235	0,588	47,6275	
	17:18	18	12,600	6,18	582,524	0,583	47,6470	
	17:21	21	12,640	6,25	576,000	0,576	47,6770	
	17:24	24	12,690	6,29	572,337	0,572	47,6930	
	17:27	27	12,720	6,10	590,164	0,590	47,7205	
	17:30	30	12,735	6,28	573,248	0,573	47,7523	
	17:35	35	12,758	6,35	566,929	0,567	47,8080	
	17:40	40	12,770	6,17	583,468	0,583	47,8580	
	17:45	45	12,800	6,41	561,622	0,562	47,8995	
	17:50	50	12,810	6,03	597,015	0,597	47,9495	
	17:55	55	12,810	6,44	559,006	0,559	47,9950	
	18:00	60	12,835	6,35	566,929	0,567	48,0460	
18:05	65	12,860	6,29	572,337	0,572	48,0800		
18:10	70	12,855	6,31	570,523	0,571	48,1475		
18:15	75	12,860	6,37	565,149	0,565	48,1773		
18:20	80	12,875	6,16	584,416	0,584	48,2370		
18:25	85	12,865	6,22	578,778	0,579	48,2720		

09/05/96

18:30	90	12,880	6,00	600,000	0,600	48,3295
18:40	100	12,890	6,47	556,414	0,556	48,4100
18:50	110	12,910	6,25	576,000	0,576	48,5180
19:00	120	12,925	6,36	566,038	0,566	48,6050
19:20	140	12,970	6,17	583,468	0,583	48,8181
19:40	160	12,960	6,06	594,059	0,594	49,0005
20:00	180	13,005	6,32	569,620	0,570	49,1860
20:20	200	13,050	6,30	571,429	0,571	49,4295
20:50	230	13,080	6,25	576,000	0,576	49,6439
21:20	260	13,110	6,20	580,645	0,581	49,9320
21:50	290	13,135	6,16	584,416	0,584	50,2208
22:20	320	13,110	6,29	572,337	0,572	50,4590
23:20	380	13,140	6,10	590,164	0,590	50,7990
0:20	440	13,170	6,48	555,556	0,556	51,6579
1:20	500	13,180	6,10	590,164	0,590	52,2120
2:20	560	13,240	6,24	576,923	0,577	52,8000
3:20	620	13,245	6,35	566,929	0,567	53,3800
4:20	680	13,240	6,23	577,849	0,578	53,9620
5:20	740	13,250	6,04	596,026	0,596	54,5310
6:20	800	13,250	6,22	578,778	0,579	55,1100
7:20	860	13,275	6,16	584,416	0,584	55,6780
8:20	920	13,275	6,11	589,198	0,589	56,3260
9:20	980	13,280	6,22	578,778	0,579	56,8500
10:20	1040	13,275	6,30	571,429	0,571	57,3730
11:20	1100	13,280	6,32	569,620	0,570	57,9590
12:20	1160	13,420	6,14	586,319	0,586	58,5220
13:20	1220	13,340	6,13	587,276	0,587	59,1170
14:20	1280	13,330	6,37	565,149	0,565	59,7060
15:20	1340	13,330	6,28	573,248	0,573	60,2660
16:20	1400	13,324	6,27	574,163	0,574	60,8510
17:00	1440	13,345	6,31	570,523	0,571	61,3380
valor médio da vazão medida em campo:				580,343	0,580	

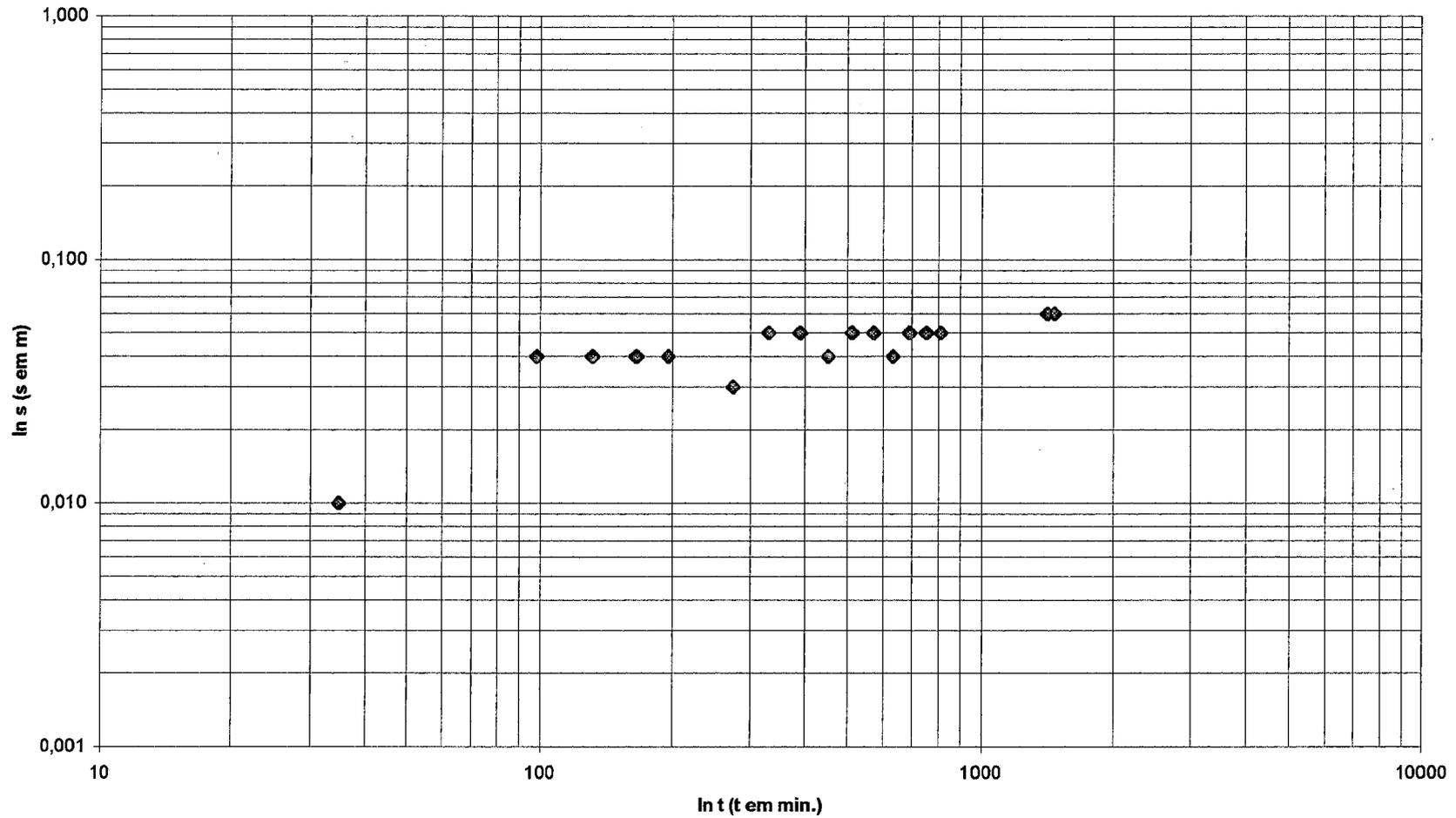
às 13:00 houve
estouro de
algumas lâmpadas.

Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP local: lixão Poço: L 33
 Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP
 Rebaixamento: 2 cm data - 08/0/96 hora - 16:17 NE- 12,88 m

data	hora	tempo (min.)	ND (m)	
08/05/96	17:05	5	12,880	
	17:35	35	12,880	
	18:03	98	12,910	
	18:36	131	12,910	
	19:10	165	12,910	
	19:40	195	12,910	
	21:00	275	12,900	
	21:55	330	12,920	
	22:55	390	12,920	
	23:55	450	12,910	
09/05/96	0:58	513	12,920	
	1:55	570	12,920	
	2:58	633	12,910	
	3:56	691	12,920	
	4:55	750	12,920	
	5:55	810	12,920	
	6:55	1410	12,930	
	7:55	1470	12,930	
	8:46	1521	12,920	
	9:44	1579	12,910	
	10:48	1643	12,910	
	11:44	1699	12,910	
	12:47	1762	12,905	
	13:45	1820	12,905	
	14:45	1880	12,895	
	15:45	1940	12,895	
	16:47	2002	12,895	

Poço L 33 - observação

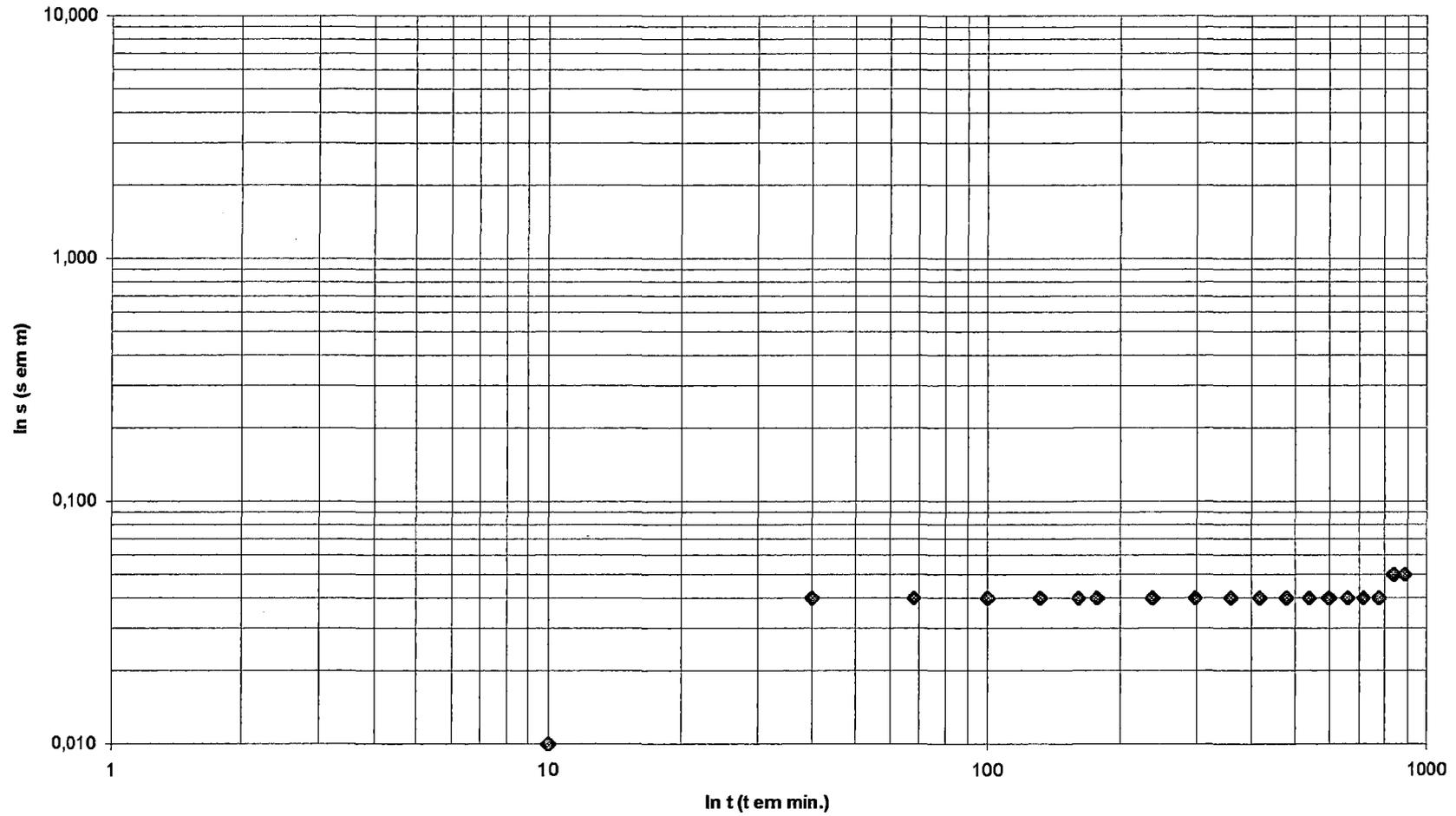


Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP local: lixão Poço: L 17
Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP
Rebaixamento - data - 08/0/96 hora - 16:20 NE- 12,52 m

data	hora	tempo (min.)	ND (m)	
08/06/96	17:10	10	12,530	
	17:40	40	12,560	
	18:08	68	12,560	
	18:42	100	12,560	
	19:14	132	12,560	
	19:43	161	12,560	
	21:00	178	12,560	
	22:00	238	12,560	
	23:00	298	12,560	
09/05/96	0:00	358	12,560	
	1:00	418	12,560	
	2:00	478	12,560	
	3:03	541	12,560	
	4:01	599	12,560	
	5:00	658	12,560	
	6:00	718	12,560	
	7:01	779	12,560	
	8:00	838	12,570	
	8:49	887	12,570	
	9:48	946	12,565	
	10:51	1009	12,565	
	11:48	1066	12,560	
	12:50	1128	12,560	
	13:49	1187	12,560	
	14:48	1246	12,555	
	15:49	1307	12,555	
	16:50	1368	12,556	

Poço L 17 - observação

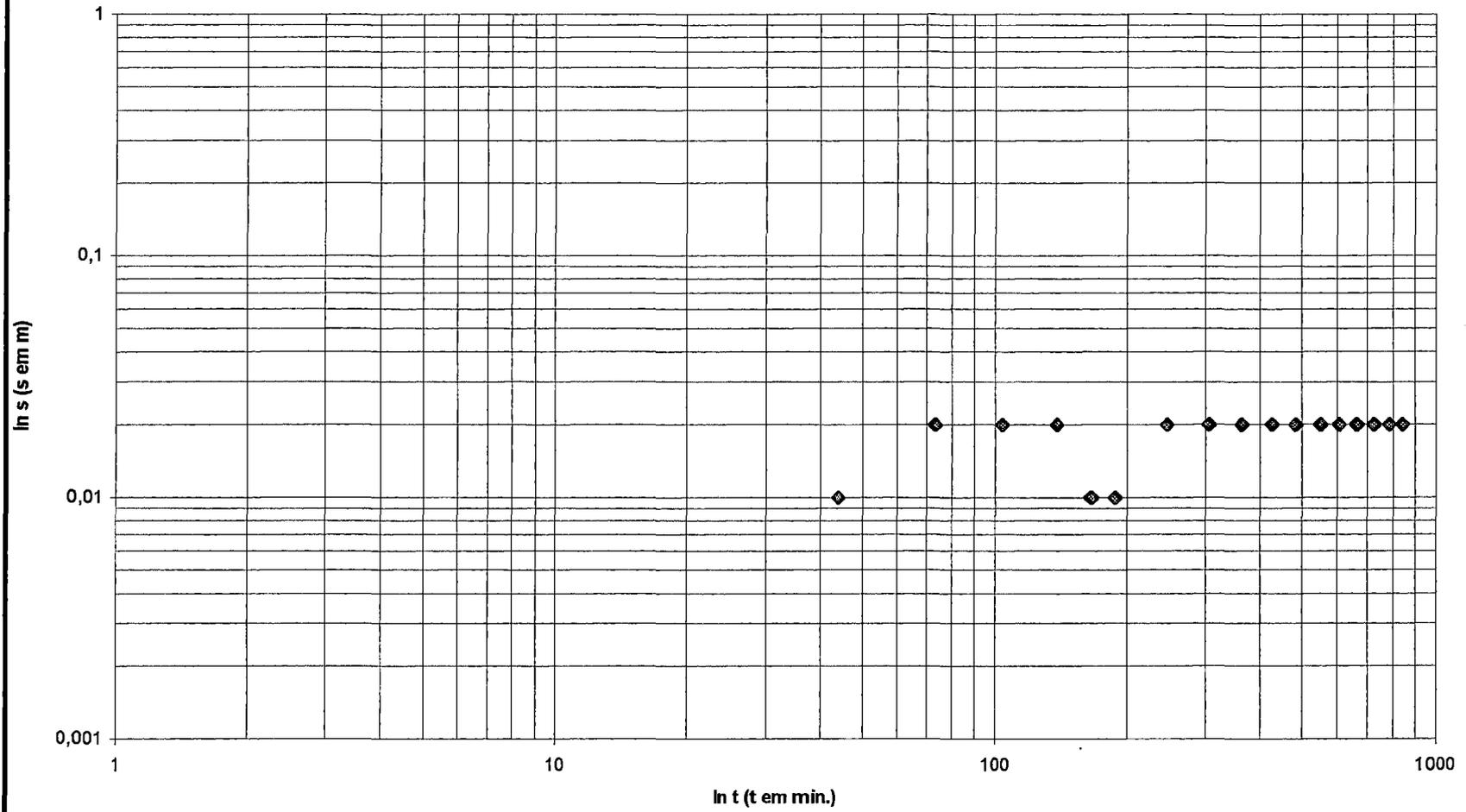


Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP local: lixão Poço: L 16
 Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP
 Rebaixamento: 1 cm data - 08/0/96 hora - 16:24 NE- 6,07 m

data	hora	tempo (min.)	ND (m)
08/05/96	17:15	15	6,070
	17:44	44	6,080
	18:13	73	6,090
	18:44	104	6,090
	19:18	138	6,090
	19:45	165	6,080
	21:07	187	6,080
	22:05	245	6,090
	23:05	305	6,090
09/05/96	00:05	365	6,090
	01:05	425	6,090
	02:05	485	6,090
	03:08	548	6,090
	04:06	606	6,090
	05:05	665	6,090
	06:05	725	6,090
	07:05	785	6,090
	08:05	845	6,090
	08:54	894	6,085
	09:52	952	6,080
	10:55	1015	6,080
	11:51	1071	6,080
	12:55	1127	6,075
	13:53	1185	6,080
	14:52	1244	6,085
	15:53	1305	6,078
	16:55	1367	6,076

Poço L 16 - observação



Município: São Carlos - SP local: lixão municipal Poço: L 5₁
 Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP (poço de monitoramento)
 Medidas Rebaixamento - data - 08/0/96 hora - 16:26 NE- 7,42 m

data	hora	tempo (min.)	ND (m)	observações
08/05/96	17:17	17	7,43	
	17:46	46	7,43	
	18:18	78	7,43	
	18:48	108	7,43	
	19:22	142	7,43	
	19:48	168	7,43	
	21:10	190	7,43	
	22:06	246	7,43	
	23:05	305	7,43	
09/05/96	00:06	366	7,43	
	01:06	426	7,43	
	02:06	486	7,43	
	03:11	551	7,43	
	04:12	612	7,43	
	05:07	667	7,43	
	06:07	727	7,43	
	07:08	788	7,43	
	08:06	846	7,43	
	08:56	896	7,43	
	09:54	954	7,43	
	10:57	1017	7,43	
	11:52	1072	7,43	
	12:58	1138	7,43	
	13:55	1195	7,43	
	14:54	1254	7,43	
	15:56	1316	7,43	
	16:57	1377	7,43	

Município: São Carlos - SP local: lixão municipal Poço: L 5₂
 Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP (poço de monitoramento)
 Medidas Rebaixamento - data - 08/0/96 hora - 16:24 NE- 6,07 m

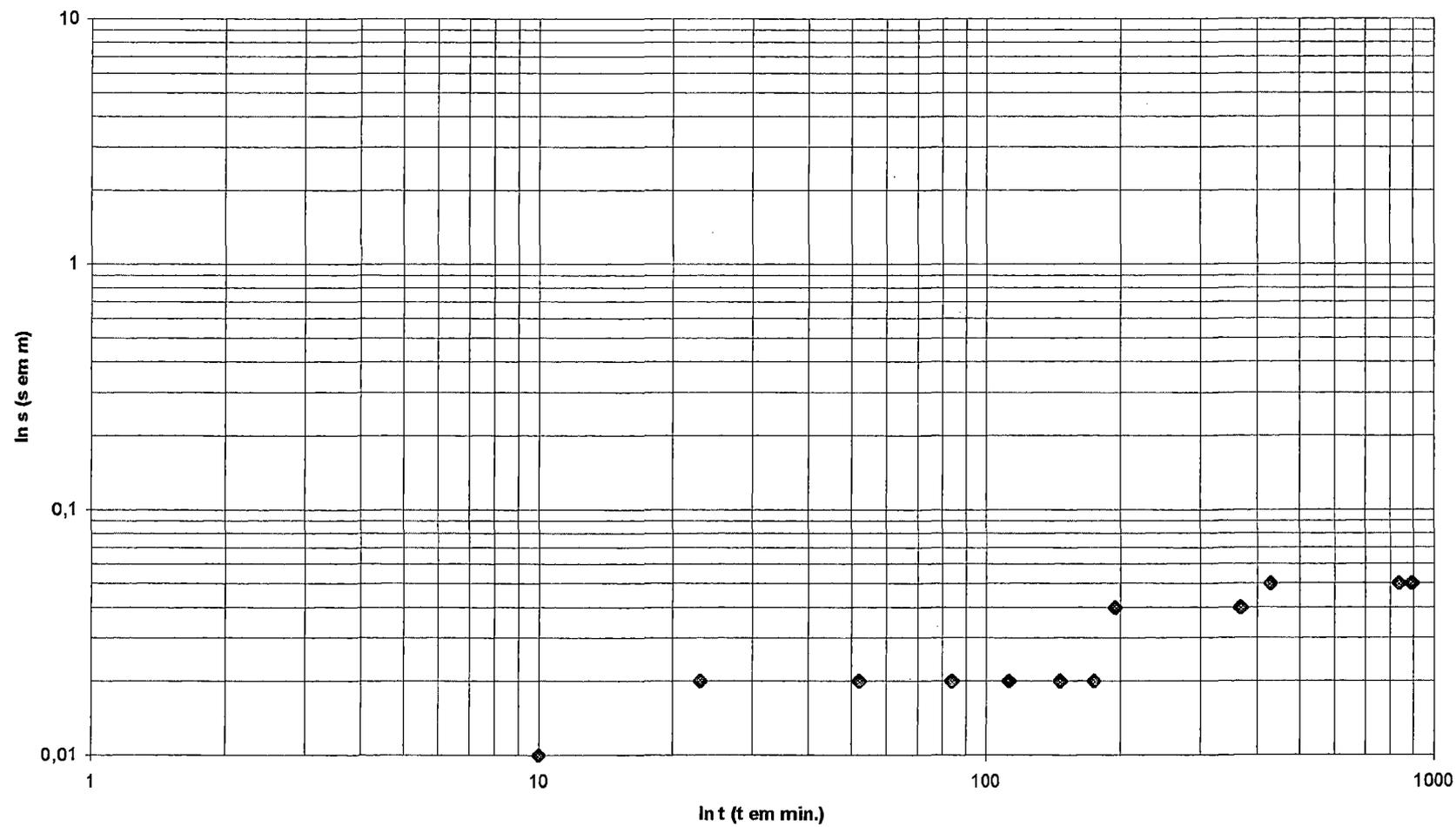
data	hora	tempo (min.)	ND (m)	observações
08/05/96	17:20	20	8,05	
	17:47	47	8,05	
	18:19	79	8,05	
	18:50	110	8,05	
	19:24	144	8,05	
	19:49	169	8,05	
	21:10	190	8,05	
	22:07	243	8,05	
	23:06	302	8,05	
09/05/96	00:07	363	8,05	
	01:07	423	8,05	
	02:07	483	8,05	
	03:12	548	8,05	
	04:14	610	8,05	
	05:09	665	8,05	
	06:09	725	8,05	
	07:09	785	8,05	
	08:06	842	8,05	
	08:57	893	8,05	
	09:57	953	8,05	
	10:58	1014	8,05	
	11:54	1070	8,05	
	12:58	1134	8,05	
	13:56	1192	8,05	
	14:55	1251	8,05	
	15:58	1314	8,05	
	16:58	1374	8,05	

Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP local: lixão Poço: L 31
 Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP
 Rebaixamento: 3,1 cm data - 08/0/96 hora - 16:31 NE- 7,415 m

data	hora	tempo (min.)	ND (m)
08/05/96	17:23	23	7,440
	17:52	52	7,440
	18:24	84	7,440
	18:53	113	7,440
	19:27	147	7,440
	19:54	174	7,440
	21:15	195	7,460
	22:10	250	7,470
	23:10	310	7,450
09/05/96	00:10	370	7,460
	01:10	430	7,470
	02:10	490	7,460
	03:15	545	7,460
	04:17	607	7,460
	05:12	662	7,460
	06:12	722	7,460
	07:13	783	7,460
	08:10	840	7,470
	09:03	893	7,470
	09:59	946	7,765
	11:01	1008	7,460
	12:00	1067	7,460
	13:03	1130	7,450
	13:59	1186	7,450
	14:58	1245	7,450
	16:02	1309	7,445
	17:01	1370	7,446

Poço L 31 - observação

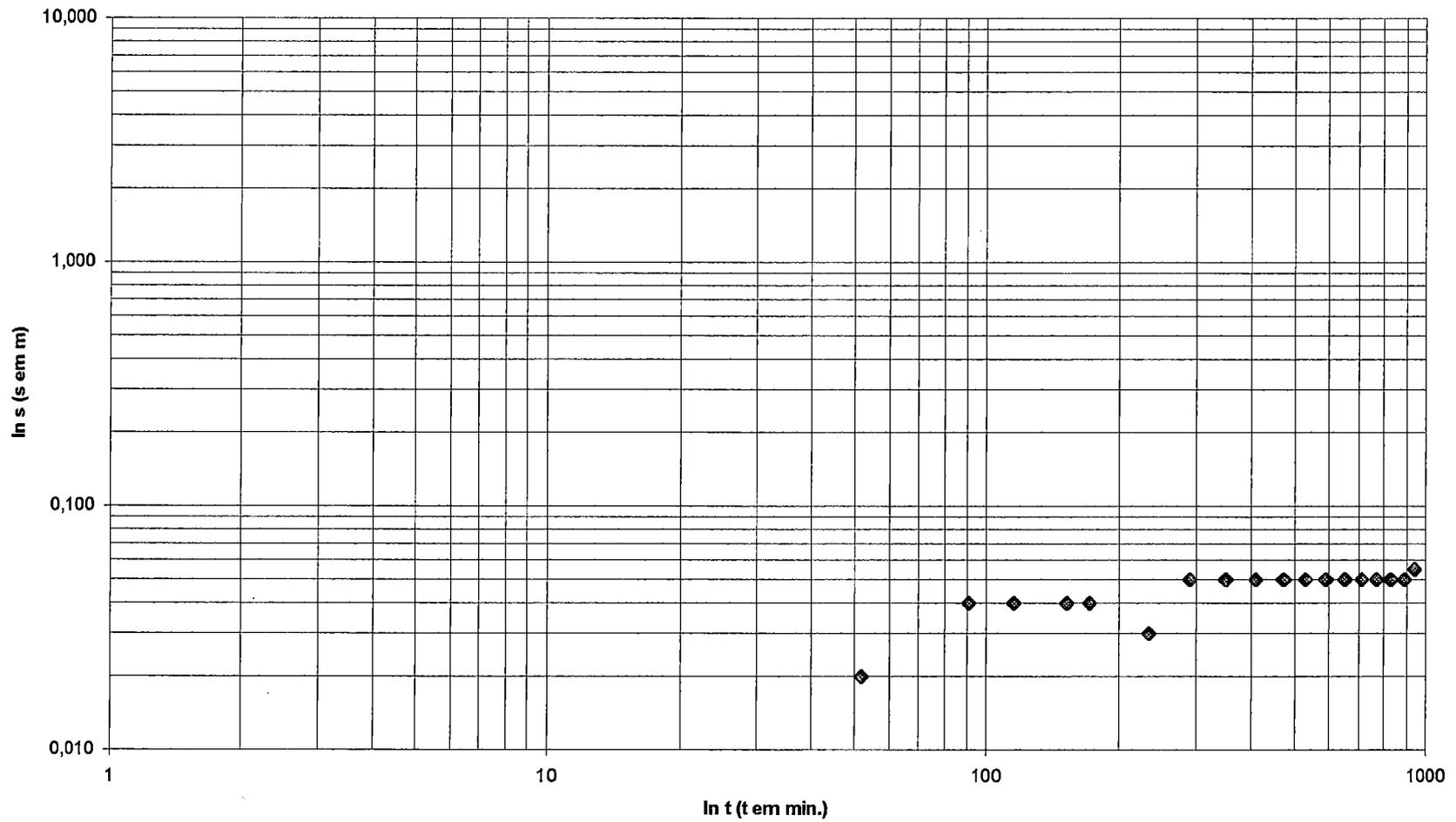


Medidas de Teste de Bombeamento

Município: São Carlos - SP local: lixão municipal Poço: L 12
Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP
Medidas Rebaixamento: 3 cm data - 08/0/96 hora - 16:35 NE- 8,74 m

data	hora	tempo (min.)	ND (m)	
08/05/96	17:30	30	8,740	
	17:52	52	8,760	
	18:31	91	8,780	
	18:55	115	8,780	
	19:32	152	8,780	
	19:52	172	8,780	
	20:55	235	8,770	
	21:50	290	8,790	
	22:50	350	8,790	
	23:50	410	8,790	
09/05/96	00:52	472	8,790	
	01:50	530	8,790	
	02:52	592	8,790	
	03:50	650	8,790	
	04:52	712	8,790	
	05:52	772	8,790	
	06:51	831	8,790	
	07:50	890	8,790	
	08:41	941	8,795	
	09:41	1001	8,790	
	10:40	1060	8,780	
	11:40	1120	8,780	
	12:42	1182	8,780	
	13:41	1243	8,780	
	14:41	1303	8,760	
	15:41	1363	8,760	
	16:41	1423	8,765	

Poço I 12 - observação



Medidas de Teste de Recuperação

Município: São Carlos - SP

local: lixão municipal

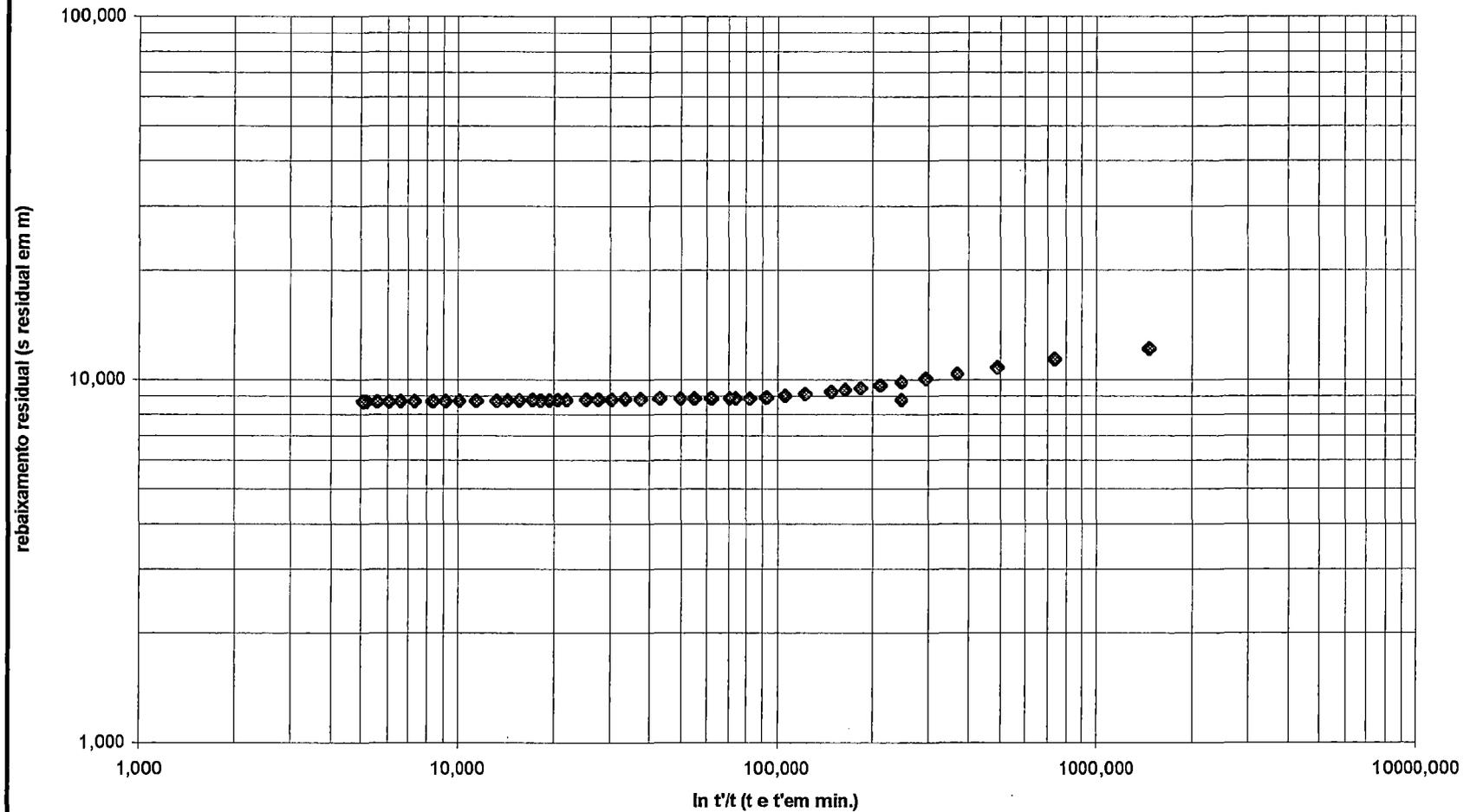
Poço: L 32

Proprietário: Escola de Engenharia de São Carlos - USP

data - 08/05/96 hora - 17:00 ND - 13,345 m

data	hora	tempo (min.)	t+t'/t	ND (m)	rebaixamento residual
09/05/96	17:24	0		13,345	4,695
	17:25	1	1466,000	12,160	3,510
	17:26	2	733,500	11,390	2,740
	17:27	3	489,333	10,810	2,160
	17:28	4	367,250	10,380	1,730
	17:29	5	294,000	10,080	1,430
	17:30	6	245,167	9,830	1,180
	17:31	7	210,286	9,630	0,980
	17:32	8	184,125	9,480	0,830
	17:33	9	163,778	9,360	0,710
	17:34	10	147,500	9,260	0,610
	17:36	12	123,083	9,110	0,460
	17:38	14	105,643	9,010	0,360
	17:40	16	92,563	8,920	0,270
	17:42	18	82,389	8,870	0,220
	17:44	20	74,250	8,870	0,220
	17:47	21	70,762	8,870	0,220
	17:50	24	62,042	8,870	0,220
	17:53	27	55,259	8,870	0,220
	17:57	30	49,833	8,870	0,220
	18:02	35	42,857	8,855	0,205
	18:07	40	37,625	8,840	0,190
	18:12	45	33,556	8,830	0,180
	18:17	50	30,300	8,810	0,160
	18:22	55	27,636	8,800	0,150
	18:27	60	25,417	8,798	0,148
	18:32	6	245,167	8,790	0,140
	18:37	70	21,929	8,785	0,135
	18:42	75	20,533	8,780	0,130
	18:47	80	19,313	8,770	0,120
	18:52	85	18,235	8,760	0,110
	18:57	90	17,278	8,775	0,125
	19:07	100	15,650	8,750	0,100
	19:17	110	14,318	8,745	0,095
	19:27	120	13,208	8,740	0,090
	19:47	140	11,464	8,730	0,080
20:07	160	10,156	8,720	0,070	
20:27	180	9,139	8,710	0,060	
20:47	200	8,325	8,710	0,060	
21:17	230	7,370	8,700	0,050	
21:47	260	6,635	8,695	0,045	
22:17	290	6,052	8,690	0,040	
22:47	320	5,578	8,685	0,035	
23:17	350	5,186	8,680	0,030	
23:47	360	5,069	8,680	0,030	

Gráfico de Ensaio de Recuperação



APÊNDICE 3

Carta Planialtimétrica na escala 1:2.500.